



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

Τσορμπατζόγλου Γεωργία-Χρυσοστόμη
Γιόρτσιος Αθανάσιος

Εισηγητής: Δρ Παναγιώτης Γιαννακόπουλος

ΙΟΥΝΙΟΣ 2019

Περίληψη

Οι οπτικές ίνες είναι η επιτομή της τεχνολογίας στο κομμάτι των τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Για τον λόγο αυτό οι εφαρμογές τους αυξάνονται με αλματώδη ρυθμό. Πλέον φτάνουν στο σημείο να τερματίζονται τα δίκτυα οπτικών ινών εντός των σπιτιών. Η σημαντικότητά τους τις καθιστά αντικείμενο συνεχούς ερευνητικής μελέτης. Στο πλαίσιο αυτό εντάσσεται και η παρούσα πτυχιακή εργασία. Σκοπός της είναι να κάνει μια ανασκόπηση στις οπτικές ίνες και στις τεχνολογίες στις οποίες χρησιμοποιούνται.

Για να εξυπηρετήσει τον παραπάνω σκοπό η παρούσα εργασία δομείται σε τέσσερα κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στις οπτικές ίνες παρουσιάζοντας τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τον τρόπο λειτουργίας τους. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στις τεχνολογίες παραγωγής οπτικών ινών και στον τρόπο δημιουργίας καλωδίων οπτικών ινών. Το τρίτο κεφάλαιο ασχολείται με τα οπτικά δίκτυα τηλεπικοινωνιών. Αφού παρουσιάσει το βασικό οπτικό δίκτυο εν συνεχεία παρουσιάζει την αρχιτεκτονική των συνηθέστερων οπτικών δικτύων τηλεπικοινωνιών. Τέλος το τέταρτο κεφάλαιο κάνει μια ανασκόπηση στις εφαρμογές των οπτικών ινών και παρουσιάζει στατιστικά στοιχεία που αφορούν την διείσδυση τους στον τομέα των δικτύων. Αντί επιλόγου η εργασία κλείνει με την καταγραφή των συμπερασμάτων.

Abstract

Fiber optic is the state of the art in telecommunication networks. That's why their applications are growing at a rapid pace. Now they reach the point where the fiber optic networks are terminated inside the homes. Their importance makes them the subject of a continuous research study. This thesis is part of this framework. Aims to review the optical fibers and the technologies in which they are used.

To serve the above aim, the present work is structured in four chapters. The first chapter refers to fiber optics presenting their technical characteristics and how they work. The second chapter refers to fiber optic production technology and how to produce fiber optic cables. The third chapter deals with optic telecommunication networks. After presenting the basic optical network, it then presents the architecture of the most common telecommunication optical networks. Finally, the fourth chapter reviews the applications of fiber optics and presents statistics on their networking installation. The current thesis closes by recording the conclusions.

Πίνακας περιεχομένων

Εισαγωγή	9
1 Κεφάλαιο 1° «Γενικά στοιχεία οπτικών ινών»	11
1.1 Ορισμός - Ετυμολογία	11
1.2 Ιστορία δικτύων και οπτικών ινών	11
1.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	12
1.3.1 Δομή οπτικής ίνας.....	12
1.3.2 Τύποι οπτικών ινών	13
1.3.2.1 Ανάλογα με τον τρόπο μετάδοσης του φωτός.....	14
1.3.2.2 Ανάλογα με το υλικό κατασκευής.....	16
1.3.3 Βασικές αρχές λειτουργίας.....	17
1.3.4 Απώλεια σήματος στις οπτικές ίνες.....	18
1.4 Πλεονεκτήματα.....	22
2 Κεφάλαιο 2° «Παραγωγή οπτικών ινών και καλωδίων»	24
2.1 Καλώδια οπτικών ινών	24
2.1.1 Τυπική δομή.....	24
2.1.2 Τύποι καλωδίων.....	28
2.2 Τεχνολογίες παραγωγής οπτικών ινών	33
2.2.1 Τροποποιημένη χημική εναπόθεση ατμών	33
2.2.2 Εξωτερική εναπόθεση ατμών	36
2.2.3 Αξονική εναπόθεση ατμών.....	37
2.2.4 Τοποθέτηση προστατευτικής επίστρωσης.....	38
3 Κεφάλαιο 3° «Δίκτυα οπτικών ινών»	40
3.1 Βασικό οπτικό σύστημα τηλεπικοινωνιών	40
3.1.1 Λειτουργία – μετάδοση σήματος.....	40
3.1.2 Δομή δικτύου.....	42
3.2 Αρχιτεκτονική δικτύων οπτικών ινών	47
3.2.1 Ενεργό οπτικό δίκτυο AON.....	51
3.2.2 Παθητικό οπτικό δίκτυο PON	52
3.2.3 Δίκτυα Fiber To The x.....	57
3.3 Πλεονεκτήματα οπτικών δικτύων σε σχέση με συμβατικά δίκτυα	60

4	Κεφάλαιο 4° «Χρήση και αγορά οπτικών ινών»	63
4.1	Πεδία χρήσης οπτικών ινών.....	63
4.1.1	Τηλεπικοινωνίες	63
4.1.2	Στρατιωτικές επικοινωνίες.....	64
4.1.3	Ιατρική επιστήμη	66
4.1.4	Μετρητική τεχνολογία – Αυτοματισμοί βιομηχανίας	67
4.1.5	Διακόσμηση.....	68
4.2	Αγορά οπτικών ινών	69
5	Κεφάλαιο 5° «Συμπεράσματα».....	73
	Βιβλιογραφία	75

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Δομή οπτικής ίνας ^[8]	13
Εικόνα 2: Διατομές πυρήνα και μανδύα μονότροπης και πολύτροπων οπτικών ινών ^[14]	14
Εικόνα 3: Μονότροπη οπτική ίνα ^[20]	14
Εικόνα 4: Πολύτροπη οπτική ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης ^[20]	15
Εικόνα 5: Πολύτροπη οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη διάθλασης ^[20]	16
Εικόνα 6: Κρίσιμη γωνία για εμφάνιση φαινομένου ολικής ανάκλασης ^[8]	18
Εικόνα 7: Σύζευξη φωτός και κώνος αποδοχής στην οπτική ίνα ^[8]	18
Εικόνα 8: Εξασθένηση σήματος οπτικής ίνας λόγω μακροσκοπικής κάμψης ^[12]	20
Εικόνα 9: Απώλειες σήματος σε οπτικές ίνες ^[12]	22
Εικόνα 10: Καλώδιο κολλητού απομονωτή ^[2]	25
Εικόνα 11: Καλώδιο χαλαρού απομονωτή ^[2]	26
Εικόνα 12: Καλώδιο οπτικής ίνας αποτελούμενο από πολλά καλώδια χαλαρού απομονωτή ^[2]	26
Εικόνα 13: Χρήση πυρήνα σε καλώδιο οπτικών ινών ^[2]	27
Εικόνα 14: Απλό καλώδιο οπτικής ίνας ^[26]	29
Εικόνα 15: Κορδέλα αποτελούμενη από 4 απλά καλώδια ^[2]	29
Εικόνα 16: Καλώδια σφιχτού περιβλήματος ^[2]	30
Εικόνα 17: Διαρρηγνόμενα καλώδια με περιεχόμενο απλού καλωδίου ^[2]	31
Εικόνα 18: Διαρρηγνόμενα καλώδια με μορφή κορδέλας ^[2]	29
Εικόνα 19: Καλώδιο χαλαρού σωλήνα ^[2]	32
Εικόνα 20: Σύνθετο καλώδιο οπτικών ινών ^[24]	33
Εικόνα 21: Παραγωγή πρωτογενούς οπτικής ίνας με τροποποιημένη χημική εναπόθεση ατμών ^[1]	34
Εικόνα 22: Διάταξη εφελκυσμού πρωτογενούς οπτικής ίνας ^[3]	35
Εικόνα 23: Παραγωγή πρωτογενούς οπτικής ίνας με εξωτερική εναπόθεση ατμών ^[3]	36
Εικόνα 24: Παραγωγή πρωτογενούς οπτικής ίνας με αξονική εναπόθεση ατμών ^[27]	37
Εικόνα 25: Επίστρωση και δημιουργία καρουλιού οπτικής ίνας ^[23]	39
Εικόνα 26: Βασικό οπτικό σύστημα τηλεπικοινωνιών ^[8]	41
Εικόνα 27: Τυπική διάταξη οπτικού πομπού ^[3]	42
Εικόνα 28: Τυπική διάταξη οπτικού δέκτη ^[3]	44
Εικόνα 29: Λειτουργία ενισχυτή ερβίου ^[13]	46
Εικόνα 30: Αρχιτεκτονική ενός μητροπολιτικού οπτικού δικτύου τηλεπικοινωνιών ^[15]	48
Εικόνα 31: Διατάξεις σύνδεσης κόμβων δικτύου ^[16]	51
Εικόνα 32: Ενεργό οπτικό δίκτυο ^[17]	52
Εικόνα 33: Παθητικό οπτικό δίκτυο ^[17]	53
Εικόνα 34: Παθητικό οπτικό δίκτυο GPON ^[17]	55
Εικόνα 35: Παθητικό οπτικό σύστημα WDM ^[17]	56
Εικόνα 36: Παθητικό οπτικό σύστημα P2P ^[17]	57
Εικόνα 37: Δίκτυο FTTN ^[17]	58
Εικόνα 38: Δίκτυο FTTC ^[17]	58
Εικόνα 39: Δίκτυο FTTB ^[17]	59

Εικόνα 40: Δίκτυο FTTH ^[29]	60
Εικόνα 41: Ρυθμός μετάδοσης και απόσταση μετάδοσης δεδομένων διάφορων τεχνολογιών ^[19]	61
Εικόνα 42: Δίκτυο οπτικής ίνας SEA-ME-WE ^[14]	64
Εικόνα 43: Σύγκριση συμβατικού με οπτικό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο στρατιωτικής χρήσης ^[25]	65
Εικόνα 44: Χρήση ενδοσκοπίου οπτικής ίνας για εξέταση στο στομάχι ^[21]	67
Εικόνα 45: Τυπική δομή αισθητήρα οπτικών ινών ^[7]	68
Εικόνα 46: Διακόσμηση πισίνας με χρήση φωτός από οπτικές ίνες ^[30]	69
Εικόνα 47: Μέγεθος αγοράς οπτικών ινών ^[31]	70
Εικόνα 48: Κάλυψη της Ευρωπαϊκής Επικράτειας από δίκτυα ^[22]	71
Εικόνα 49: Κάλυψη της Ευρωπαϊκής Επικράτειας εκτός των αστικών κέντρων από δίκτυα ^[22]	71
Εικόνα 50: Κάλυψη δικτύων FTTP ανά χώρα το 2017 ^[22]	72

Εισαγωγή

Η εξέλιξη της τεχνολογίας από την βιομηχανική επανάσταση και έπειτα είναι αλματώδης. Μάλιστα ο ρυθμός εξέλιξης της τεχνολογίας, με την πορεία των ετών, είναι ακόμη μεγαλύτερος. Έτσι η τεχνολογία έρχεται να εξυπηρετήσει και να καλύψει συνεχώς νέες προκύπτουσες ανάγκες των ανθρώπων αυξάνοντας το βιοτικό τους επίπεδο. Μια από τις σημαντικότερες ανάγκες του ανθρώπου ήταν η επικοινωνία.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας λοιπόν επέτρεψε την δημιουργία δικτύων τηλεπικοινωνίας που συνδέουν και τα πιο απομακρυσμένα τμήματα του πλανήτη επιτρέποντας την επικοινωνία των ανθρώπων μεταξύ τους, οπουδήποτε και αν βρίσκονται. Κατάφερε λοιπόν με την δημιουργία ενός δικτύου μεταφοράς δεδομένων να συνδέει τους ανθρώπους μεταξύ τους.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας όμως οδήγησε και στην δημιουργία του διαδικτύου. Στο διαδίκτυο πλέον οι άνθρωποι ανταλλάσσουν κάθε λογής δεδομένα που τους ενδιαφέρουν, δεν περιορίζονται απλά στην συνομιλία. Έτσι πλέον τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών έχουν μετατραπεί σε δίκτυα μεταφοράς δεδομένων και όχι δίκτυα μεταφοράς ήχου. Τα δεδομένα όμως έχουν πολύ μεγαλύτερο όγκο έτσι οι απαιτήσεις από τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών είναι πολύ μεγαλύτερες. Και όσο προχωρούν τα χρόνια τα δεδομένα είναι ακόμη μεγαλύτερου όγκου και κυρίως πολύ περισσότερα εξαιτίας της αύξησης των χρηστών του διαδικτύου.

Η εποχή του διαδικτύου δημιούργησε την ανάγκη για την τεχνολογική εξέλιξη των δικτύων τηλεπικοινωνιών. Η δυνατότητα μεταφοράς μεγάλου όγκου δεδομένων έγινε ανάγκη. Ταυτόχρονα, η αύξηση του όγκου των δεδομένων απαιτούσε από το δίκτυο μεγαλύτερες ταχύτητες μεταφοράς ώστε να είναι εφικτή σε λογικό χρονικό πλαίσιο. Επίσης η συνεχής αυξανόμενη μάζα χρηστών του διαδικτύου απαίτησε την δημιουργία νέων δικτύων ακόμη και σε απομακρυσμένα σημεία τα οποία να έχουν την δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων. Φυσικά η αξιοπιστία των νέων δικτύων είναι ένας σημαντικός παράγοντας καθώς πολλές επιχειρήσεις βασίζονται πλέον στην λειτουργία τους σε δικτυακές εφαρμογές.

Σε αυτό το πεδίο βρήκαν μια από τις κυριότερες εφαρμογές τους οι οπτικές ίνες. Εμφανίστηκαν ως μέρος ενός νέου τηλεπικοινωνιακού δικτύου, του οπτικού δικτύου. Το οπτικό δίκτυο χρησιμοποιεί φωτεινά σήματα για την μετάδοση δεδομένων αντί των συμβατικών ηλεκτρικών σημάτων. Το φως όμως κινείται πολύ γρηγορότερα, σε μικρότερες διαμέτρους

καναλιών και με πολύ χαμηλότερες απώλειες. Αυτό επέτρεψε στα δίκτυα οπτικών ινών να εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες και πολύ μεγαλύτερες χωρητικότητες όγκου δεδομένων. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τους είναι αυτά που έστρεψαν τους μηχανικούς δικτύων να πειραματιστούν και να δημιουργήσουν οπτικά δίκτυα.

Το αποτέλεσμα διαρκούς μελέτης των οπτικών δικτύων για περίπου 30 χρόνια είναι πλέον τα οπτικά δίκτυα να επικρατούν. Τουλάχιστον μέχρι τις τηλεπικοινωνιακές καμπίνες που υπάρχουν στις γειτονιές τα δίκτυα ηλεκτρικού παλμού έχουν αντικατασταθεί πλήρως από οπτικά δίκτυα. Μάλιστα τα τελευταία χρόνια άρχισαν τα δίκτυα οπτικών ινών να φτάνουν μέχρι τους χρήστες μεγιστοποιώντας τα οφέλη από την χρήση των οπτικών ινών. Προς τούτο αποκτάει σκοπό και η παρούσα εργασία η οποία εκτελεί μια βιβλιογραφική ανασκόπηση στις οπτικές ίνες και στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών οπτικών ινών προσπαθώντας να εισάγει τον αναγνώστη στα βασικά τους χαρακτηριστικά.

1 Κεφάλαιο 1^ο «Γενικά στοιχεία οπτικών ινών»

Οι οπτικές ίνες είναι το επίκεντρο της ανάπτυξης των τελευταίων δεκαετιών στα συστήματα μετάδοσης πληροφοριών. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά αποκλειστικά στην οπτική ίνα παρουσιάζοντας γενικά στοιχεία που την αφορούν. Έτσι πρώτα ορίζεται η οπτική ίνα και ακολούθως γίνεται μια ιστορική αναδρομή. Εν συνεχεία καταγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οπτικών ινών και στο τέλος αναφέρονται τα πλεονεκτήματά τους, πλεονεκτήματα που οδήγησαν στην επανάσταση της μετάδοσης της πληροφορίας.

1.1 Ορισμός - Ετυμολογία

Ως οπτική ίνα ορίζεται μια ίνα η οποία μεταφέρει το φως κατά μήκος της. Ονομάζεται ίνα γιατί είναι πολύ λεπτή, έχει διάμετρο συγκρίσιμη με την διάμετρο της ανθρώπινης τρίχας. Ονομάζεται οπτική γιατί διαπερνάται από το φως. Το φως έχει την ικανότητα να διαπερνά την οπτική ίνα γιατί αυτή είναι κατασκευασμένη από γυαλί ή από συγκεκριμένο πλαστικό, υλικά διαπερατά στην ακτινοβολία. ^[8]

1.2 Ιστορία δικτύων και οπτικών ινών

Τα δίκτυα και οι οπτικές ίνες είναι ιστορικά πρόσφατες ανακαλύψεις, η ζωή τους δεν εκτείνεται στο βάθος των αιώνων. Μπορούμε να θεωρήσουμε ως πρώτο σταθμό λοιπόν το 1837, το έτος κατά το οποίο ο Samuel Morse παρουσίασε τον ηλεκτρικό τηλεγράφο και επινόησε τον δυαδικό κώδικα μεταβλητού μήκους αναπαριστώντας με μια σειρά τελειών και παυλών, τα γράμματα του αγγλικού αλφαβήτου. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί λοιπόν το πρώτο δίκτυο επικοινωνίας. Μια άλλη ημερομηνία σταθμός είναι το έτος 1858. Κατά το έτος αυτό εγκαταστάθηκε το καλώδιο επικοινωνίας μεταξύ Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής και Αγγλίας. Παρόλο που το καλώδιο αυτό λειτούργησε για μόλις τέσσερις εβδομάδες εντούτοις θεωρήθηκε κοσμοϊστορικό γεγονός. Οκτώ χρόνια αργότερα, το 1866 ποντίστηκε ένα νέο καλώδιο που αντικατέστησε το προηγούμενο και αποκαταστάθηκε η επικοινωνία. Αυτό ήταν το πρώτο υπερατλαντικό δίκτυο.

Μόλις μερικά χρόνια μετά, το 1870, μια άλλη εφεύρεση έφερε μια νέα επανάσταση στον χώρο των δικτύων επικοινωνίας. Πρόκειται για το τηλέφωνο που παρουσιάστηκε από τον Graham Bell. Το 1876 ο Bell κατοχυρώνει την ευρεσιτεχνία για το τηλέφωνο και το 1877 ιδρύει την πρώτη

τηλεπικοινωνιακή εταιρία την Bell Telephone Company. Τα πρώτα συστήματα τηλεφωνίας είχαν δυνατότητα μεταφοράς του ήχου μερικών χιλιάδων μιλίων. Το 1906 όμως ανακαλύφθηκε η τρίοδος λυχνία κενού η οποία χρησιμοποιήθηκε ως ενισχυτής και επέτρεψε την αλματώδη αύξηση των αποστάσεων διάδοσης του ήχου στα συστήματα τηλεφώνου. Επέτρεψε μάλιστα και την υπερατλαντική τηλεφωνική σύνδεση η οποία όμως ολοκληρώθηκε 50 σχεδόν χρόνια αργότερα, το 1953 εξαιτίας των δύο παγκοσμίων πολέμων.

Ταυτόχρονα με την ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιακών δικτύων αναπτύσσεται και η επιστήμη της διάδοσης του φωτός διαμέσου υλικών. Το 1940 οι Κόλαντον και Μπαμπινέ ανακαλύπτουν ότι το φως μπορεί να καθοδηγηθεί διαμέσου της διάθλασης η οποία είναι και η βασική αρχή λειτουργίας της οπτικής ίνας. Το 1952 ο Καπάνι εφευρίσκει την οπτική ίνα. Αργότερα, στην ίδια δεκαετία, εφευρίσκεται η οπτική ίνα γυαλιού, ντυμένη με ένα διαφανές περίβλημα για καλύτερη διάθλαση, η συνηθέστερη οπτική ίνα που υπάρχει ακόμη και σήμερα. Το 1966 οι επιστήμονες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι οι γυάλινες οπτικές ίνες είναι κατάλληλοι κυματοδηγοί φωτεινής ακτινοβολίας. Το 1970 παράγεται η πρώτη εμπορεύσιμη οπτική ίνα. Το 1973 παράγεται η πρώτη οπτική ίνα που προσομοιάζει τις σημερινές, η οποία δομείται από τον πυρήνα, τον μανδύα και το περίβλημα. Το 1976 στο Σικάγο χρησιμοποιείται για πρώτη φορά σε τηλεφωνικό δίκτυο και από το 1980 αρχίζει να χρησιμοποιείται ευρέως σε τηλεφωνικά δίκτυα μεγάλων αποστάσεων. Τέλος, το 1996 εμφανίζονται στο εμπόριο οι φωτονιακές ίνες κρυστάλλου, η τελευταία μεγάλη εξέλιξη στις οπτικές ίνες. ^{[2], [11], [14], [19]}

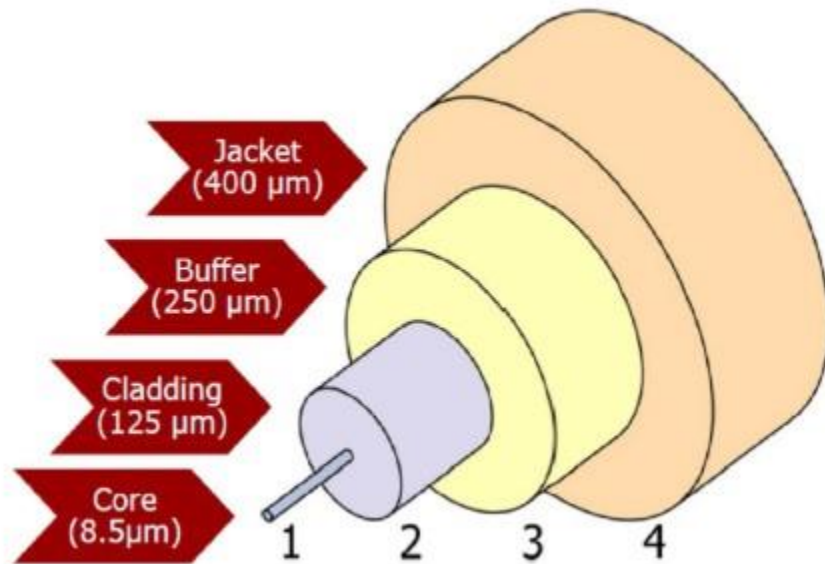
1.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Η οπτική ίνα έχει κάποια πολύ σημαντικά τεχνικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την λειτουργία της. Τα σημαντικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι η δομή της οπτικής ίνας, οι διαφορετικοί τύποι οπτικών ινών, η αρχή λειτουργίας της οπτικής ίνας και οι απώλειες σήματος που αυτές εμφανίζουν. Στις επόμενες ενότητες αναλύονται αυτά τα τεχνικά χαρακτηριστικά.

1.3.1 Δομή οπτικής ίνας

Οι οπτικές ίνες κατασκευαστικά είναι ίνες γυαλιού ή πλαστικού, συνήθως γυαλιού, εύκαμπτες, πολύ μικρού πάχους, μικρότερου από μια ανθρώπινη τρίχα. Είναι κατασκευασμένες από ένα διηλεκτρικό υλικό. Οι απλούστερες, οι μονότροπες οπτικές ίνες έχουν κυλινδρικό σχήμα

αποτελούμενες από τρεις ομόκεντρους κύλινδρους. Ένας τέταρτος κύλινδρος χρησιμοποιείται εξωτερικά για προστασία της οπτικής ίνας, ονομάζεται περίβλημα (jacket) και δεν παίζει κανένα ρόλο στην λειτουργία της. Ο πρώτος, ο εσωτερικός κύλινδρος ονομάζεται πυρήνας (core) της οπτικής ίνας. Είναι κατασκευασμένος από γυαλί υψηλού δείκτη διάθλασης, υψηλής καθαρότητας. Ο δεύτερος κύλινδρος που καλύπτει τον πυρήνα ονομάζεται μανδύας (cladding). Είναι κατασκευασμένος επίσης από γυαλί υψηλής καθαρότητας. Σπανιότερα κατασκευάζονται ο πυρήνας και ο μανδύας από πολυμερή γιατί εμφανίζουν υψηλότερες απώλειες έτσι είναι ικανά μόνο για ζεύξεις μικρών αποστάσεων. Τέλος, ο τρίτος κύλινδρος, εξωτερικά, πριν το περίβλημα, η οπτική ίνα καλύπτεται από τον απομονωτή (buffer) ένα πλαστικό υλικό. Μια οπτική ίνα έχει εξωτερική διάμετρο 4 δέκατων του χιλιοστού. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η δομή μιας τυπικής οπτικής ίνας. Το 1 είναι ο πυρήνας, το 2 ο μανδύας, το 3 ο απομονωτής και το 4 το περίβλημα. ^[1]
[6], [8]



Εικόνα 1: Δομή οπτικής ίνας ^[8]

1.3.2 Τύποι οπτικών ινών

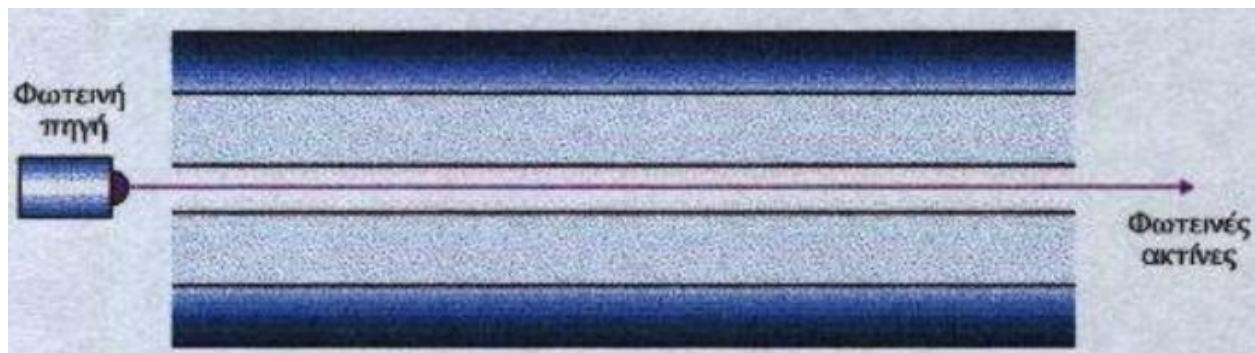
Οι οπτικές ίνες διαχωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες. Τα κριτήρια κατηγοριοποίησης των οπτικών ινών είναι είτε ο τρόπος μετάδοσης του φωτός σε αυτές είτε το υλικό κατασκευής. Στις παρακάτω ενότητες παρουσιάζονται αυτές οι κατηγορίες.

1.3.2.1 Ανάλογα με τον τρόπο μετάδοσης του φωτός

Οι οπτικές ίνες αναλόγως του τρόπου μετάδοσης του φωτός χωρίζονται σε μονότροπες (singlemode) ή πολύτροπες (multimode). Οι μονότροπες οπτικές ίνες υποστηρίζουν μόνο ένα τρόπο μετάδοσης του φωτός ενώ οι πολύτροπες υποστηρίζουν πέραν του ενός τρόπους μετάδοσης φωτός. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες χωρίζονται σε δύο επιμέρους υποκατηγορίες, τις ίνες βηματικού δείκτη μεταβολής και τις ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης. Στην επόμενη εικόνα φαίνονται οι διατομές των οπτικών ινών μονότροπων και πολύτροπων.

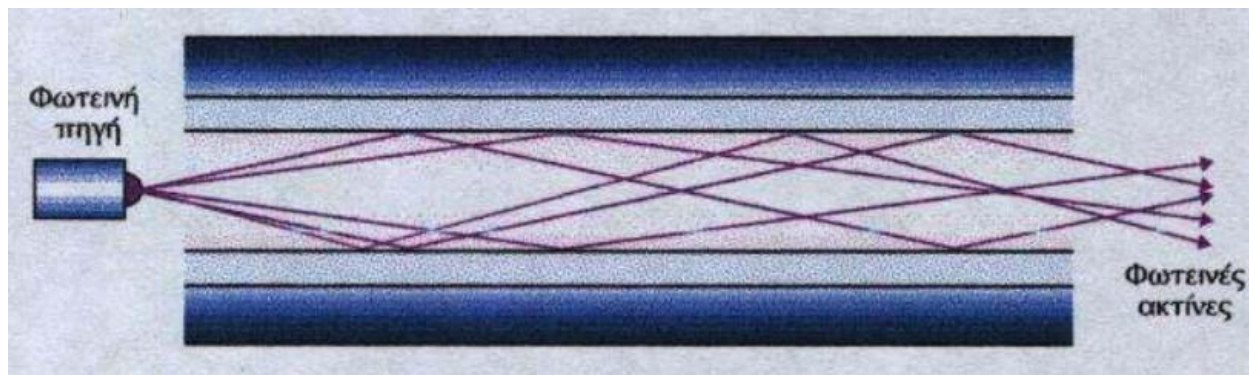


Στις μονότροπες οπτικές ίνες το φως δεν μεταδίδεται με συνεχείς ανακλάσεις στην διεπιφάνεια πυρήνα μανδύα αλλά έχει μια ευθεία πορεία κατά μήκος του πυρήνα. Για να επιτευχθεί αυτή η μετάδοση του φωτός οι μονότροπες ίνες έχουν πολύ μικρές διαμέτρους πυρήνα, μικρότερες των 10μm. Αυτή την στιγμή οι μονότροπες οπτικές ίνες του εμπορίου έχουν διάμετρο 9μm και συνδυάζονται μόνο με πηγές laser εξαιτίας της μικρής διαμέτρου. Τα μήκη κύματος του laser που χρησιμοποιούνται είναι τα 1310nm (στο αστικό δίκτυο) και 1550nm (σε υπεραστικό και υποβρύχιο δίκτυο). Χρησιμοποιούνται κυρίως για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, σε όλες τις ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων και στους οπτικούς μητροπολιτικούς δακτύλιους. Ακολουθώντας βλέπουμε την μετάδοση της ακτινοβολίας μέσα από μια μονότροπη οπτική ίνα.



Εικόνα 2: Μονότροπη οπτική ίνα ^[20]

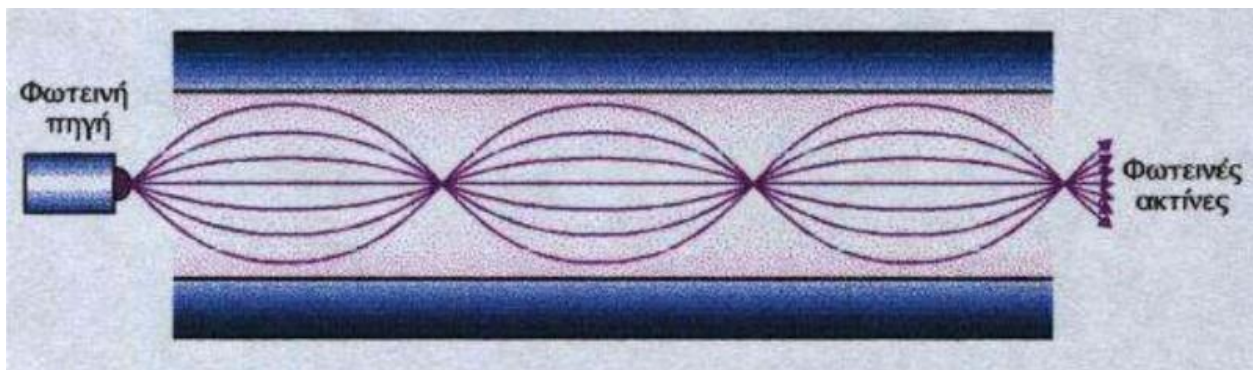
Οι πολύτροπες οπτικές ίνες βηματικού δείκτη μετάδοσης είναι οι απλούστερες οπτικές ίνες που υπάρχουν. Το φως σε αυτές τις οπτικές ίνες μπορεί να μεταδοθεί με διάφορους τρόπους. Η μικρότερη διαδρομή γίνεται με την κίνηση του φωτός στο κέντρο της οπτικής ίνας, χωρίς ανάκλαση, και ονομάζεται βασικός τρόπος μετάδοσης. Οι υπόλοιπες ακτίνες φωτός κινούνται ανακλώμενες στην διεπιφάνεια μανδύα – πυρήνα. Η ακτίνα με την μικρότερη γωνία ολικής ανάκλασης έχει την μεγαλύτερη διαδρομή. Όλες οι άλλες ακτίνες έχουν διαφορετικού μήκους διαδρομές ανάμεσα στην μικρότερη και την μεγαλύτερη. Το αποτέλεσμα είναι οι ακτίνες φωτός να φτάνουν στην έξοδο της ίνας σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα και να προκαλούν παραμόρφωση του σήματος στον δέκτη η οποία ονομάζεται διασπορά τρόπου μετάδοσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η διασπορά τόσο μειώνεται το διαθέσιμο εύρος ζώνης της οπτικής ίνας. Έχουν διαμέτρους από 100 έως και 970μm. Μπορεί να είναι γυάλινες, με γυάλινο πυρήνα και πλαστικό μανδύα ή πλαστικές. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης πλέον χρησιμοποιούνται σε απλές εφαρμογές εξαιτίας της μεγάλης διασποράς που εμφανίζουν. Για εφαρμογές μεταφοράς δεδομένων έχουν αντικατασταθεί από τις ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η μετάδοση φωτός σε μια πολύτροπη οπτική ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης.



Εικόνα 3: Πολύτροπη οπτική ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης ^[20]

Οι πολύτροπες οπτικές ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης είναι η εξέλιξη των πολύτροπων ινών με στόχο την μείωση της διασποράς. Κατασκευαστικά λοιπόν οι ίνες αυτές ο πυρήνας δεν είναι ενιαίος αλλά αποτελείται από στρώσεις διαφορετικής πυκνότητας άρα και διαφορετικού δείκτη διάθλασης. Συνέπεια αυτής της τροποποίησης του πυρήνα είναι η διάθλαση σε κάθε στρώση και όχι μόνο στην διεπιφάνεια πυρήνα – μανδύα. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι ακτίνες του φωτός να εμφανίζουν καμπύλες διαδρομές εξαιτίας των συνεχόμενων διαθλάσεων. Αυτό όμως

δεν περιορίζει το μήκος της διαδρομής ώστε οι ακτίνες να φτάνουν με μικρότερη διασπορά στο τέλος της διαδρομής. Για αυτό τον λόγο οι στρώσεις του πυρήνα έχουν διαφορετική πυκνότητα. Οι στρώσεις προς το κέντρο του πυρήνα έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα ενώ οι στρώσεις πλησιέστερα στον μανδύα έχουν μικρότερη πυκνότητα. Οι ακτίνες φωτός κινούνται γρηγορότερα στα υλικά μικρότερης πυκνότητας έτσι παρά το ότι εκτελούν μεγαλύτερη διαδρομή εντούτοις το κάνουν πιο γρήγορα. Αυτό σημαίνει πως το χρονικό εύρος μεταξύ των ακτινών που κινούνται στο κέντρο του πυρήνα και αυτών που κινούνται στα άκρα του πυρήνα είναι μικρότερο σε σχέση με τις ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης. Αυτό οδηγεί στην μείωση της διασποράς της ίνας. Ενδεικτικά ενώ η διασπορά μιας ίνας βηματικού δείκτη διάθλασης κυμαίνεται μεταξύ 15 και 30ns/km η διασπορά μιας ίνας βαθμιαίου δείκτη διάθλασης μειώνεται σε 1ns/km. Πρακτικά πλέον έχουν εξαφανίσει τις ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης και είναι οι μόνες πολύτροπες ίνες που χρησιμοποιούνται. Οι τυποποιημένες πολύτροπες ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης που υπάρχουν στην αγορά είναι διαμέτρων πυρήνα 50 μm , 62,5 μm και 85 μm . Χρησιμοποιούνται κυρίως σε οπτικές συνδέσεις μικρού μήκους, σε καλωδιώσεις τοπικών δικτύων και σε δίκτυα δομημένης καλωδίωσης. Παρακάτω βλέπουμε την μετάδοση του φωτός σε μια πολύτροπη οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη διάθλασης. ^{[1], [8], [10]}



Εικόνα 4: Πολύτροπη οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη διάθλασης ^[20]

1.3.2.2 Ανάλογα με το υλικό κατασκευής

Οι οπτικές ίνες κατασκευάζονται από δύο κατηγορίες υλικών, από γυαλί και από πλαστικό. Προκύπτουν λοιπόν τρεις κατηγορίες οπτικών ινών αναλόγως του υλικού κατασκευής τους. Είναι οι γυάλινες οπτικές ίνες, οι πλαστικές οπτικές ίνες και οι οπτικές ίνες γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα.

Οι γυάλινες οπτικές ίνες έχουν κατασκευασμένο τόσο τον μανδύα όσο και τον πυρήνα από γυαλί. Το γυαλί που χρησιμοποιείται είναι ένα συνθετικό γυαλί, οξειδίο του πυριτίου, υψηλής καθαρότητας. Συνήθως στο οξειδίο του πυριτίου προστίθενται προσμίξεις όπως φωσφόρο ή γερμάνιο στον πυρήνα για να αυξηθεί η διάθλαση ή φθόριο και βόριο στον μανδύα για να μειωθεί η διάθλαση. Η πλειοψηφία των οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες είναι γυάλινες.

Οι πλαστικές οπτικές ίνες έχουν κατασκευασμένο τόσο τον πυρήνα όσο και τον μανδύα από πλαστικό. Αυτό οδηγεί σε πολύ χαμηλό κόστος αλλά και σε μεγάλη μείωση της απόδοσης καθώς παρουσιάζουν μικρό εύρος ζώνης, υψηλή ελάχιστη εξασθένιση και είναι ευαίσθητες σε θερμοκρασιακές μεταβολές. Κυρίως εφαρμόζονται σε εφαρμογές χαμηλών απαιτήσεων όπως τα τοπικά δίκτυα και οι εσωτερικές καλωδιώσεις κτιρίων.

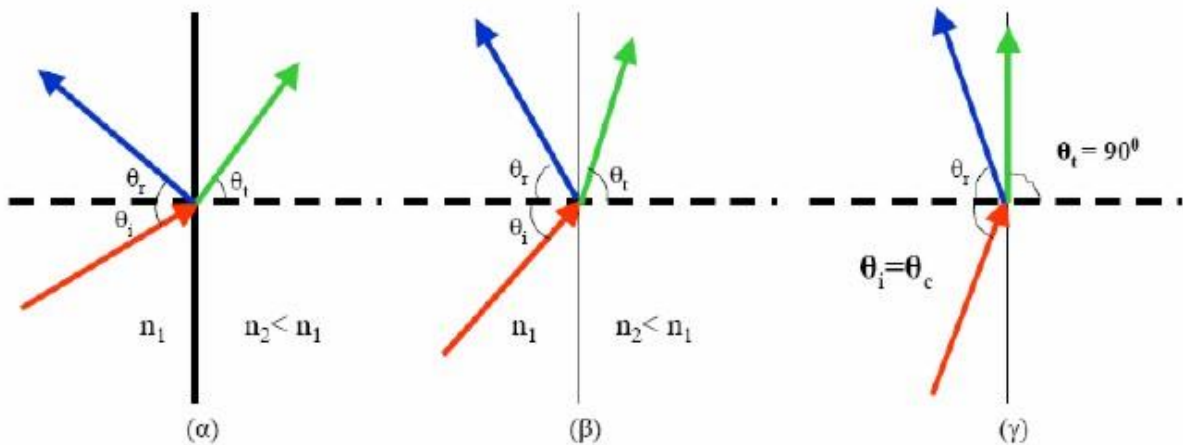
Οι οπτικές ίνες γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα εμφανίστηκαν πριν τις πλαστικές οπτικές ίνες και είχαν ως στόχο την μείωση του κόστους των οπτικών ινών. Η χρήση του πλαστικού, χαμηλότερου κόστους, στον μανδύα, περιόριζε μεν κάπως την απόδοση αλλά σε εφαρμογές χαμηλών απαιτήσεων τις καθιστούσε ιδανικές. Αργότερα όμως η εμφάνιση των πλαστικών οπτικών ινών, πυρήνα και μανδύα, ακόμη χαμηλότερου κόστους, εκτόπισε τις ίνες γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα. Πλέον εφαρμογές βρίσκουν μόνο σε εξειδικευμένες χρήσεις όπως οι ενδοσκοπήσεις.^[10]

1.3.3 Βασικές αρχές λειτουργίας

Η λειτουργία της οπτικής ίνας είναι πολύ απλή. Το φως διαδίδεται στο γυαλί του πυρήνα. Ο μανδύας ανακλά τις ακτίνες του φωτός πίσω στον πυρήνα μη επιτρέποντας τους επί της ουσίας να φύγουν από τον πυρήνα, παρά μόνο να συνεχίσουν την πορεία τους εντός του πυρήνα. Ο απομονωτής χρησιμοποιείται για να παρέχει προστασία και να αυξάνει την αντοχή του πυρήνα, του γυαλιού της ίνας, δεν είναι απαραίτητος για την λειτουργία της, βελτιώνει όμως την αντοχή και περιορίζει τις απώλειες της.

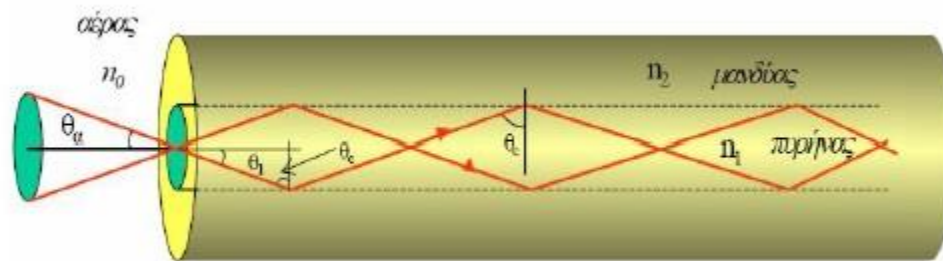
Στην ουσία λοιπόν το φαινόμενο της ολικής ανάκλασης περιγράφει πλήρως την λειτουργία της οπτικής ίνας. Για να εμφανιστεί το φαινόμενο της ολικής ανάκλασης υπάρχει μια κρίσιμη γωνία, η γωνία που προκύπτει από τον νόμο του Snell και είναι η ελάχιστη γωνία θ_c για την οποία

εμφανίζεται η ολική ανάκλαση. Γωνίες μικρότερες της θ_c δεν επιτρέπουν την εμφάνιση ανάκλασης. Η κρίσιμη γωνία φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Στα δυο πρώτα σχήματα που η εικόνα είναι μικρότερη της κρίσιμης βλέπουμε ότι μέρος της ακτινοβολίας περνάει στο δεύτερο σώμα, στον μανδύα. Στην τρίτη εικόνα βλέπουμε ότι υπάρχει ολική ανάκλαση.



Εικόνα 5: Κρίσιμη γωνία για εμφάνιση φαινομένου ολικής ανάκλασης [8]

Η γωνία θ_c ορίζει ένα κώνο μέσα στον οποίο η ακτινοβολία μπορεί να ανακλαστεί στην διεπιφάνεια πυρήνα μανδύα. Ο κώνος αυτός ονομάζεται κώνος αποδοχής, έχει γωνία κορυφής την θ_a και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. [1], [6], [8]



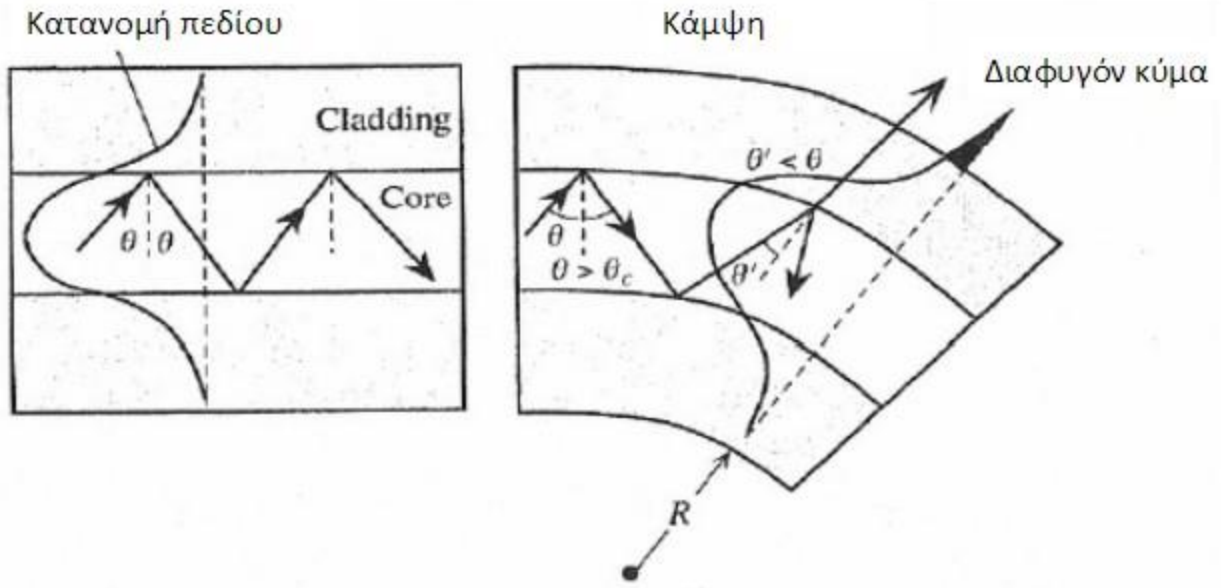
Εικόνα 6: Σύζευξη φωτός και κώνος αποδοχής στην οπτική ίνα [8]

1.3.4 Απώλεια σήματος στις οπτικές ίνες

Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν, διαμέσου ακτινών φωτός, σήματα από το ένα τους άκρο στο άλλο τους άκρο. Όπως σε κάθε μέσο μεταφοράς σημάτων έτσι και στις οπτικές ίνες υπάρχουν απώλειες οι οποίες οφείλονται σε πολλές αιτίες. Οι σημαντικότερες εξ

αυτών είναι η εξασθένηση, η διασπορά και η απορρόφηση. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται αυτές οι αιτίες.

Η εξασθένηση είναι ίσως η σημαντικότερη αιτία απώλειας σήματος ειδικά όσο αυξάνεται το μήκος της οπτικής ίνας. Εκφράζει την μείωση της οπτικής ισχύος, άρα και την απώλεια σήματος, μεταξύ της αρχής και του τέλους της οπτικής ίνας. Η σχέση αυτή είναι εκθετική κάτι που σημαίνει ότι η αύξηση του μήκους της οπτικής ίνας πολλαπλασιάζει την εξασθένηση. Η εξασθένηση οφείλεται σε πολλές αιτίες ενδογενείς και εξωγενείς. Σημαντικότερη όμως είναι μια ενδογενής αιτία, η σκέδαση του φωτός με κυριότερη την σκέδαση Rayleigh. Σύμφωνα με την θεωρία που παρουσίασε ο Rayleigh κατά την κίνηση του φωτός στην οπτική ίνα είναι πιθανόν κάποιες ακτίνες να προσκρούσουν σε ανωμαλίες, κατασκευαστικές, με αποτέλεσμα να μην συνεχίσουν την πορεία τους κατά μήκος της οπτικής ίνας αλλά να χαθούν. Η σκέδαση περιορίζεται σε ακτινοβολίες μεγάλου μήκους κύματος αλλά είναι αισθητή σε ακτινοβολίες μικρού μήκους κύματος. Από τις εξωγενείς αιτίες σημαντικότερες είναι οι κάμψεις της οπτικής ίνας (μικροκάμψεις ή μακροκάμψεις) οι οποίες δεν επιτρέπουν στο φως να συνεχίσει την ομαλή του πορεία και χάνετε. Οι χαμηλότερες εξασθενήσεις, μετά από χρόνια μελετών έχουν προκύψει σε τρία «παράθυρα» της ακτινοβολίας φωτός, σε τρία μήκη κύματος. Αυτά είναι τα 850nm, τα 1300nm και τα 1550nm. Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε την εξασθένηση ακτινοβολίας ελέω κάμψης της οπτικής ίνας. Βλέπουμε πως ένα κύμα της ακτινοβολίας μπορεί να διαφύγει από την οπτική ίνα εξαιτίας της κάμψης.



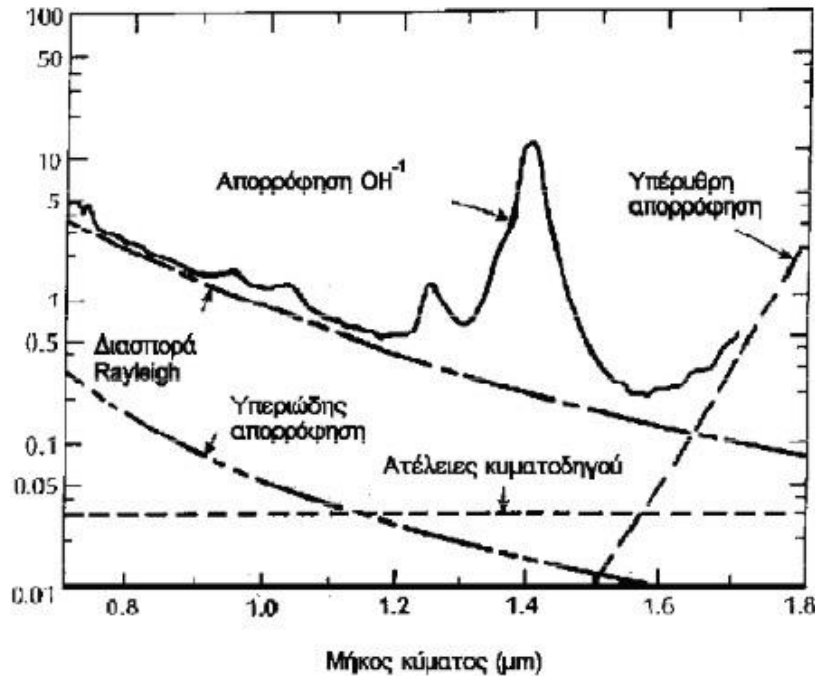
Εικόνα 7: Εξασθένηση σήματος οπτικής ίνας λόγω μακροσκοπικής κάμψης ^[12]

Η δεύτερη αιτία απωλειών σήματος στις οπτικές ίνες είναι η διασπορά. Η διασπορά συμβαίνει με τρεις τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι η διασπορά τρόπου μετάδοσης η οποία εμφανίζεται στις πολύτροπες ίνες όπως ήδη έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, και οφείλεται στην αρχή λειτουργίας της ίνας. Πολλές φορές αναφέρεται και ως πολύτροπη διασπορά. Η διασπορά αυτή δεν μπορεί να εξαλειφτεί, μπορεί όμως να μειωθεί όπως παρουσιάστηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο με την χρήση πολύτροπων ινών βαθμιαίας διασποράς ή με την χρήση μονότροπων οπτικών ινών. Ο δεύτερος τρόπος είναι η διασπορά υλικού. Φωτεινή ακτινοβολία διαφορετικού μήκους κύματος, μεταδίδεται με διαφορετικές ταχύτητες ακόμη και στην ίδια διαδρομή κίνησης, στο ίδιο υλικό κίνησης, προκαλώντας απώλεια σήματος. Ο τρίτος τρόπος εμφάνισης διασποράς είναι η διασπορά κυματοδηγού. Η κίνηση του φωτός και η διάθλασή του στα όρια πυρήνα μανδύα είναι η αρχή λειτουργίας της οπτικής ίνας. Αναλόγως της κατασκευής αυτής της περιοχής υπάρχουν ορισμένες ακτινοβολίες, ορισμένα μήκη κύματος τα οποία διασπείρονται. Τα μήκη κύματος είναι διαφορετικά ανά περίπτωση και εξαρτώνται από τον σχεδιασμό της περιοχής. Πολλές φορές η διασπορά κυματοδηγού και η διασπορά υλικού, λόγω του ότι εξαρτώνται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, αθροίζονται και ονομάζονται χρωματική διασπορά. Η πολύτροπη διασπορά είναι η κύρια αιτία διασποράς στις πολύτροπες ίνες ενώ η διασπορά υλικού είναι η κύρια αιτία διασποράς στις μονότροπες ίνες. Με σωστό σχεδιασμό

της διεπιφάνειας πυρήνα μανδύα η διασπορά κυματοδότησης μπορεί να έχει αντίθετα αποτελέσματα από την διασπορά υλικού έτσι να μειώσει εν τέλει τις απώλειες κάτι που συμβαίνει στην σχεδίαση μονότροπων οπτικών ινών.

Η απορρόφηση είναι η τρίτη αιτία απώλειας σήματος στις οπτικές ίνες. Σε αυτή την περίπτωση η ακτινοβολία καθώς κινείται εντός της οπτικής ίνας απορροφάται από αυτήν με αποτέλεσμα να χάνεται. Η απορρόφηση οφείλεται σε προσμίξεις που υπάρχουν στο οξείδιο του πυριτίου, στο γυαλί. Όσο μεγάλης καθαρότητας και αν είναι κάποιες προσμίξεις όπως ιόντα σιδήρου, χαλκού, νικελίου και υδροξύλια θα έχει. Εκτός των προσμίξεων όμως απορρόφηση ακτινοβολίας μπορεί να εμφανιστεί και εξαιτίας ταλάντωσης των μορίων του οξειδίου του πυριτίου λόγω συντονισμού με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Τα φαινόμενα αυτά είναι μεγαλύτερα για μήκη κύματος από 1700nm για αυτό και το τρίτο παράθυρο εμφανίζεται στα 1550nm.

Στην εικόνα που παρατίθεται ως επίλογος στην παρούσα ενότητα βλέπουμε τις συνολικές απώλειες σήματος στην οπτική ίνα. Εμφανίζονται οι κυριότερες απώλειες όπως η σκέδαση Rayleigh, η απορρόφηση και η διασπορά κυματοδηγού. Εκεί όπου αθροιστικά οι απώλειες είναι οι λιγότερες εμφανίζεται η μέγιστη ισχύς σήματος. Παρατηρούμε λοιπόν ότι η ισχύς του σήματος εμφανίζει τρία μέγιστα που αντιστοιχούν με μήκη κύματος κοντά στα 850nm, στα 1300nm και στα 1550nm. Τα μέγιστα αυτά συμπίπτουν με τα τρία παράθυρα που έχουν προαναφερθεί. Για αυτό τον λόγο λοιπόν προτιμούνται αυτές οι τρεις συχνότητες για την λειτουργία των οπτικών ινών. [2], [10], [12]



Εικόνα 8: Απώλειες σήματος σε οπτικές ίνες ^[12]

1.4 Πλεονεκτήματα

Η χρήση των οπτικών ινών εμφανίζει σειρά πλεονεκτημάτων με αποτέλεσμα η χρήση της να διαδίδεται συνεχώς. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά τους είναι τα ακόλουθα:

- Οι οπτικές ίνες εμφανίζουν μεγάλες χωρητικότητες πληροφορίας. Αυτό οφείλεται στην χρήση της οπτικής περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.
- Το κόστος των οπτικών ινών είναι πολύ μικρότερο σε σχέση με τα χάλκινα καλώδια. Το γυαλί συναντάται εν αφθονία καθώς η πρώτη του ύλη, το οξείδιο του πυριτίου, είναι η κοινή άμμος. Εν αντιθέσει τα αποθέματα χαλκού είναι περιορισμένα και το κόστος εξόρυξης μεγάλο.
- Οι οπτικές ίνες έχουν μικρότερο βάρος και μέγεθος. Το γυαλί είναι ελαφρύτερο από τον χαλκό και οι διαμέτροι που απαιτούνται είναι πολύ μικρότερες. Έτσι ένα τυπικό καλώδιο οπτικής ίνας έχει την μισή διάμετρο σε σχέση με ένα αντίστοιχο χάλκινο καλώδιο και το ένα τέταρτο του βάρους.

- Οι οπτικές ίνες δεν επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικά πεδία, δεν δέχονται ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές γιατί το γυαλί ή το πλαστικό δεν είναι διηλεκτρικά υλικά έτσι δεν εμφανίζουν ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.
- Οι οπτικές ίνες είναι ασφαλέστερα συστήματα μετάδοσης πληροφοριών. Καταρχήν δεν διέρχεται από μέσα ηλεκτρικό ρεύμα έτσι αποφεύγεται η πιθανότητα σπινθηρισμού που σε μερικές εφαρμογές είναι πολύ επικίνδυνος. Κατά δεύτερον, δεν μπορεί να γίνει υποκλοπή της πληροφορίας με κανένα τρόπο από μια οπτική ίνα.
- Οι οπτικές ίνες εμφανίζουν πολύ μικρότερη εξασθένηση, πολύ μικρότερη απώλεια σήματος σε σχέση με τα χάλκινα καλώδια. Αυτό επιτρέπει στα οπτικά σήματα να διατρέχουν πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις και ταυτόχρονα να έχουν και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων λόγω του μεγαλύτερου διαθέσιμου εύρους ζώνης. Άρα εξασφαλίζουν μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων.
- Οι οπτικές ίνες έχουν μικρότερες απαιτήσεις ενέργειας σε σχέση με τα συμβατικά χάλκινα καλώδια. Αυτό οφείλεται καταρχήν στο ότι εμφανίζουν πολύ μικρότερες απώλειες σήματος όπως αναφέρθηκε αμέσως παραπάνω άρα επί της ουσίας έχουν πολύ μικρότερες απώλειες ενέργειας. Κατά δεύτερον η χρήση δέσμης φωτός συνεπάγεται την κατανάλωση μικρότερης ενέργειας εν αντιθέσει με το ηλεκτρικό σήμα το οποίο για να παραχθεί απαιτεί περισσότερη ενέργεια.

Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι πολλά και σαφή έτσι επέτρεψαν στις οπτικές ίνες να κυριαρχήσουν τα τελευταία χρόνια σε δίκτυα μετάδοσης πληροφοριών έναντι των συμβατικών χάλκινων καλωδίων. [8], [10], [14]

2 Κεφάλαιο 2^ο «Παραγωγή οπτικών ινών και καλωδίων»

Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται, υπάρχουν, στην αγορά υπό την μορφή καλωδίων. Δεν υπάρχει μόνο ένας τύπος καλωδίου οπτικών ινών, υπάρχουν πολλοί τύποι, για διάφορες εφαρμογές με διαφορετική δομή. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται λοιπόν τα καλώδια οπτικών ινών. Εν συνεχεία, γίνεται αναφορά στην τεχνολογία παραγωγής τους. Τέλος περιγράφεται η βιομηχανική παραγωγή οπτικής ίνας.

2.1 Καλώδια οπτικών ινών

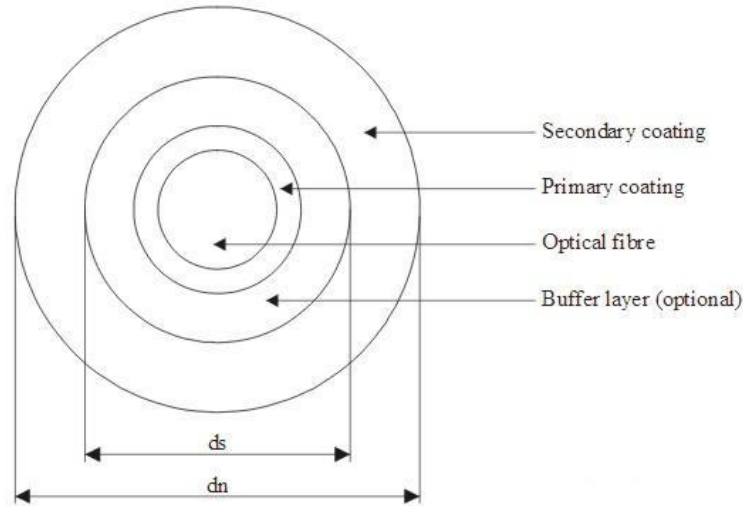
Τα καλώδια οπτικών ινών είναι το κύριο μέσο χρησιμοποίησης της οπτικής ίνας. Κατασκευάζονται ώστε να προσφέρουν αντοχή και προστασία στην οπτική ίνα χωρίς να επηρεάζουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της. Ένα καλώδιο μπορεί να έχει είτε μια είτε περισσότερες οπτικές ίνες. Το καλώδιο που φέρει μια οπτική ίνα ονομάζεται καλώδιο κολλητού απομονωτή. Το καλώδιο που φέρει περισσότερες της μιας οπτικές ίνες ονομάζεται καλώδιο χαλαρού απομονωτή. Στις επόμενες παραγράφους αναλύεται η δομή κάθε μιας εξ αυτών των κατηγοριών. Ακολούθως καταγράφονται οι τύποι των καλωδίων που κυκλοφορούν στην αγορά και μπορεί να περιλαμβάνουν ένα ή περισσότερα από τα τυπικά καλώδια οπτικών ινών. Τέλος περιγράφεται η διαδικασία παραγωγής των καλωδίων.

2.1.1 Τυπική δομή

Η τυπική δομή των καλωδίων οπτικών ινών είναι πολύ συγκεκριμένη. Αποτελείται σε γενικές γραμμές από την οπτική ίνα, από μια ενίσχυση και από ένα εξωτερικό περίβλημα. Σε περιπτώσεις που απαιτείται υπάρχει εσωτερικός πυρήνας ενίσχυσης, υλικά περιορισμού διεύθυνσης υγρασίας και ενισχυμένα περιβλήματα ώστε να παρέχουν αντοχή σε διάφορες περιστάσεις.

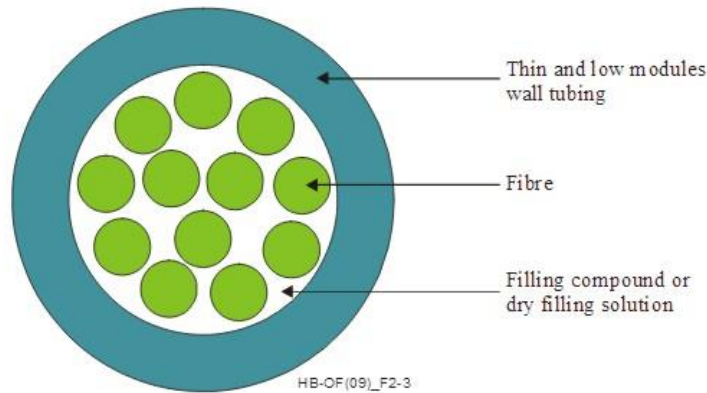
Τα καλώδια οπτικής ίνας κατά βάση έχουν δύο δομές, ανήκουν σε δύο κατηγορίες, στα καλώδια κολλητού απομονωτή και στα καλώδια χαλαρού απομονωτή. Μικροδιαφοροποιήσεις υπάρχουν αναλόγως του τύπου του καλωδίου. Έτσι λοιπόν το καλώδιο κολλητού απομονωτή έχει στο κέντρο του την οπτική ίνα, συνήθως με την δική της επίστρωση, χωρίς κάποια επιπλέον

επίστρωση. Ακολουθεί η ενίσχυση και εν τέλει τοποθετείται το εξωτερικό περίβλημα. Τα καλώδια κολλητού απομονωτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αυτούσια χωρίς άλλη επικάλυψη και όπως καταγράφεται στην επόμενη ενότητα ονομάζονται απλά καλώδια οπτικών ινών. Παρακάτω φαίνεται η δομή ενός καλωδίου κολλητού απομονωτή.

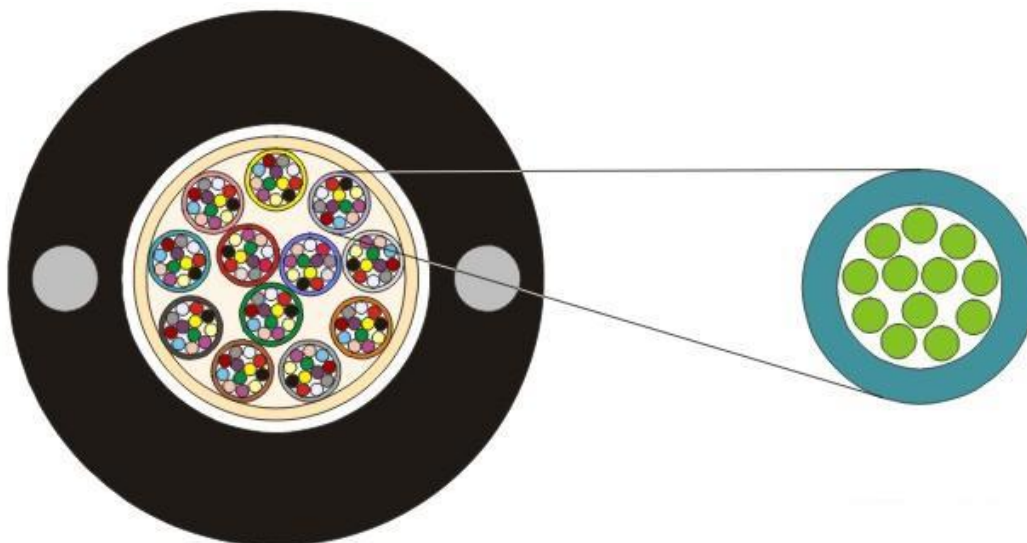


Εικόνα 9: Καλώδιο κολλητού απομονωτή ^[2]

Τα καλώδια χαλαρού απομονωτή έχουν ένα εξωτερικό περίβλημα μέσα από το οποίο διέρχονται οπτικές ίνες χαλαρές. Οι χαλαροί σωλήνες που περιέχουν τις οπτικές ίνες στα άκρα τους σφραγίζονται με χρήση κάποιου ζελέ ώστε να μην διαπερνούνται από υγρασία σε περίπτωση που αυτό είναι απαραίτητο. Τα καλώδια χαλαρού απομονωτή σπάνια χρησιμοποιούνται αυτούσια. Συνήθως είναι μέρος σύνθετων καλωδίων με ένα στιβαρό εξωτερικό περίβλημα όπως παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα. Στην επόμενη εικόνα διακρίνουμε τα καλώδια χαλαρού απομονωτή. Στην δεύτερη εικόνα βλέπουμε πως πολλά καλώδια χαλαρού απομονωτή συνδυάζονται σε ένα σύνθετο καλώδιο με στιβαρό εξωτερικό περίβλημα.

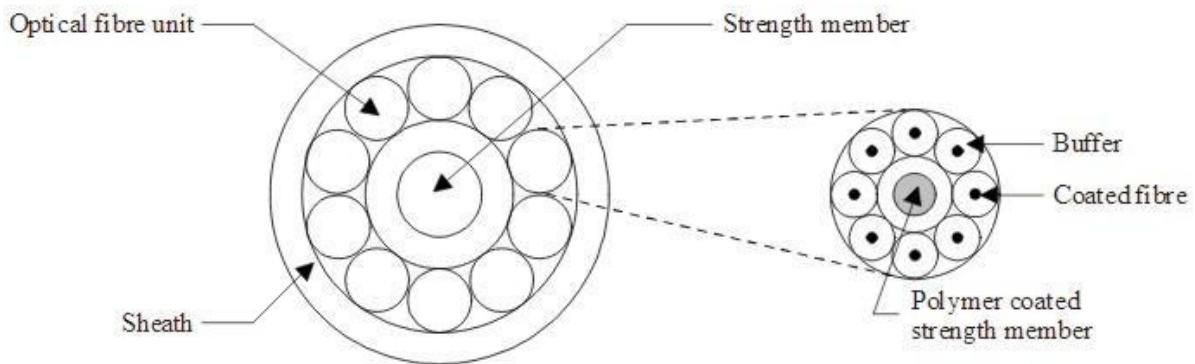


Εικόνα 10: Καλώδιο χαλαρού απομονωτή [2]



Εικόνα 11: Καλώδιο οπτικής ίνας αποτελούμενο από πολλά καλώδια χαλαρού απομονωτή [2]

Ο πυρήνας είναι ένα υλικό ενίσχυσης που χρησιμοποιείται όταν το τελικό καλώδιο έχει πέραν του ενός καλωδίου οπτικής ίνας, είτε κολλητού είτε χαλαρού απομονωτή. Ο πυρήνας αποτρέπει την συστροφή των καλωδίων μεταξύ τους και ταυτόχρονα τα διατηρεί στην θέση τους αποτρέποντας την μεταξύ τους μηχανική φόρτιση. Ταυτόχρονα αυξάνει την αντοχή του καλωδίου σε εφελκυσμό. Συνήθως ο πυρήνας είναι κατασκευασμένος από πολυμερές υψηλής αντοχής. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η χρήση πυρήνα σε ένα σύνθετο καλώδιο. Παρατηρείται ότι ο πυρήνας χρησιμοποιείται τόσο στο μικρό επιμέρους καλώδιο όσο και στο μεγάλο σύνθετο καλώδιο.



Εικόνα 12: Χρήση πυρήνα σε καλώδιο οπτικών ινών ^[2]

Για την προστασία των καλωδίων από την υγρασία και το νερό, ιδιαίτερα στα καλώδια χαλαρού απομονωτή, χρησιμοποιούνται διάφορα μονωτικά υλικά. Τα κυριότερα από αυτά είναι διογκωτικές ταινίες, διογκωτική σκόνη και ένα διεισδυτικό μίγμα. Συνήθεστο ολων είναι το διεισδυτικό μίγμα το οποίο χρησιμοποιείται για να κλείσει τα κενά ανάμεσα στα επιμέρους καλώδια και τον πυρήνα ή ανάμεσα στον απομονωτή και τα χαλαρά καλώδια. Συνήθως έχει την μορφή ζελέ ώστε να μην επηρεάζει την ελευθερία κίνησης των καλωδίων στο εσωτερικό του απομονωτή και ταυτόχρονα να απομακρύνεται και να καθαρίζεται εύκολα ώστε να μπορεί το καλώδιο να συνδεθεί στην άκρη του.

Το περίβλημα είναι η τελική επίστρωση του καλωδίου, είναι το τμήμα του καλωδίου που είναι εκτεθειμένο. Κατασκευάζεται από πλειάδα υλικών και μπορεί να έχει και εσωτερική ενίσχυση. Η επιλογή του υλικού, της διαμέτρου και της πιθανής ενίσχυσης του καλωδίου εξαρτάται από την εφαρμογή του. Υπάρχουν πάρα πολλοί τύποι περιβλημάτων. Συνήθεστοροι όλων είναι οι ακόλουθοι:

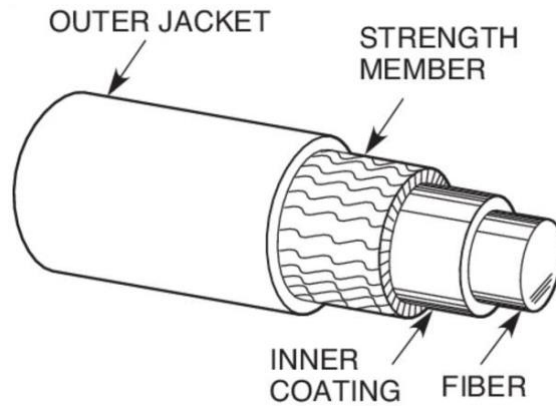
- Περιβλήματα με συνδυασμό μετάλλου, πλαστικού σε στρώσεις: Συνήθως τα περιβλήματα αυτά είναι ταινίες μεταλλικές όπου στο εσωτερικό τους έχουν μια πλαστική επίστρωση. Χρησιμοποιούνται για να παράξουν προστασία υγρασίας στο καλώδιο.
- Αμιγώς πλαστικά περιβλήματα: Κατασκευάζονται συνήθως από πολυαιθυλένιο ή PVC και δεν παρέχουν καμιά προστασία υγρασίας ενώ έχουν και μικρή αντοχή. Χρησιμοποιούνται σε απλές κοινές εφαρμογές.

- Πλαστικά περιβλήματα με εσωτερική ενίσχυση: Τα συγκεκριμένα περιβλήματα στο εσωτερικό τους έχουν στρώσεις από ενίσχυση. Η ενίσχυση αυτή μπορεί να είναι είτε μεταλλική (μορφή πλέξης μεταλλικών ινών) είτε συνθετική (πλέξη συνθετικών ινών όπως cenlar για παράδειγμα).
- Πλαστικά περιβλήματα με ενσωματωμένη μεταλλική ενίσχυση: Στα περιβλήματα αυτά δύο παράλληλα μεταλλικά στελέχη υπάρχουν κατά μήκος του περιβλήματος, ενσωματωμένα στο πλαστικό, προσφέροντας περαιτέρω αντοχή, ειδικά σε εφελκυστικά φορτία.
- Πλαστικά περιβλήματα με θωράκιση: Τα περιβλήματα αυτά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές σε ιδιαίτερα δυσμενή περιβάλλοντα. Συνήθως, εξωτερικά από το πλαστικό περίβλημα υπάρχει μια πλέξη μεταλλικού σύρματος, είτε από ανοξείδωτο χάλυβα είτε από γαλβανισμένο χάλυβα. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η αντοχή σε διάβρωση έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα καλώδια οπτικών ινών μέσα σε υγρά περιβάλλοντα (νερό, λύματα κλπ). [2]. [3]

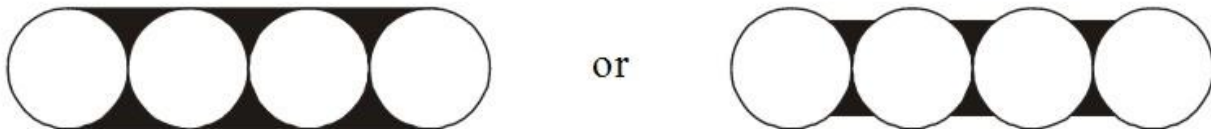
2.1.2 Τύποι καλωδίων

Καλώδια οπτικών ινών υπάρχουν σε διάφορες μορφές. Υπάρχουν εκατοντάδες διατάξεις καλωδίων αναλόγως της εφαρμογής της οπτικής ίνας. Τα συνηθέστερα καλώδια όμως μπορούν να διαχωριστούν σε πέντε κατηγορίες, τα απλά καλώδια και καλώδια ταινίες, τα καλώδια σφιχτού πακέτου, τα διαρρηγνύομενα καλώδια, τα καλώδια χαλαρού σωλήνα και τα σύνθετα και υβριδικά καλώδια.

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα απλά καλώδια και τα καλώδια κορδόνια. Σε αυτή την κατηγορία ένα καλώδιο αποτελείται από μια οπτική ίνα κολλητού απομονωτή και ονομάζεται απλό καλώδιο. Υπάρχει το ενδεχόμενο ένα καλώδιο όμως να αποτελείται από δύο συνδεδεμένα μεταξύ τους απλά καλώδια (σύνδεση στο περίβλημα) και τότε ονομάζεται καλώδιο κορδόνι. Τα καλώδια αυτά, λόγω της μικρής εξωτερικής τους αντοχής (έχουν μόνο ένα απλό περίβλημα καλωδίου) χρησιμοποιούνται κατά βάση για συνδέσεις. Δεν βρίσκουν πολλές άλλες εφαρμογές.

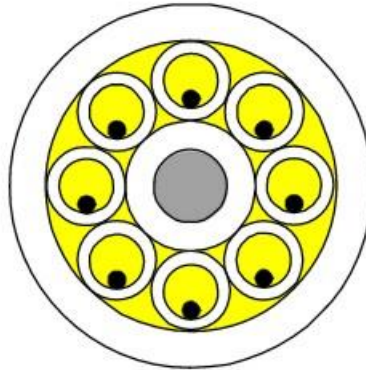


Εικόνα 13: Απλό καλώδιο οπτικής ίνας [26]



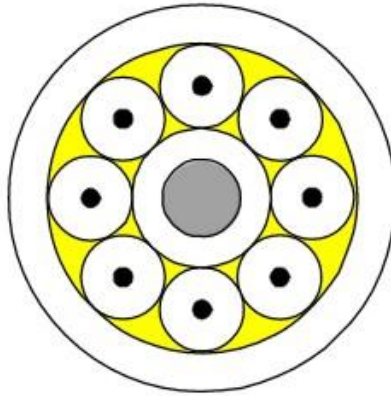
Εικόνα 14: Κορδέλα αποτελούμενη από 4 απλά καλώδια [2]

Η δεύτερη κατηγορία είναι τα καλώδια σφιχτού πακέτου. Στα καλώδια αυτά υπάρχει ένα εξωτερικό δεύτερο περίβλημα και μέσα τοποθετούνται καλώδια οπτικών ινών. Τα εσωτερικά καλώδια είναι χαλαρού απομονωτή. Πυρήνας στο κέντρο χρησιμοποιείται για την ενίσχυση της αντοχής του καλωδίου όπως και μονωτικό υλικό ή υλικό υψηλής αντοχής ανάμεσα στα καλώδια και το περίβλημα. Τα καλώδια αυτά είναι υψηλής αντοχής, χρησιμοποιούνται σε περιβάλλοντα καταπόνησης και κατά βάση για να εκτελούν διαδρομές από ανάμεσα σε κυτία διασύνδεσης. Η χρήση καλωδίων χαλαρού απομονωτή συνεπάγεται ότι κάθε ίνα δεν έχει δικό της απομονωτή για αυτό και οι διασυνδέσεις γίνονται πάντα μέσα στα κυτία διασύνδεσης.

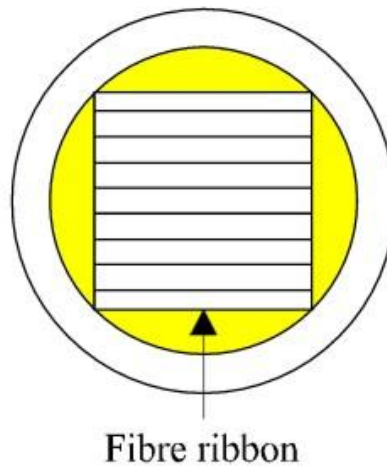


Εικόνα 15: Καλώδια σφιχτού περιβλήματος ^[2]

Η τρίτη κατηγορία καλωδίων οπτικών ινών είναι τα διαρρηγνύμενα καλώδια. Τα καλώδια αυτά ομοιάζουν με τα καλώδια της προηγούμενης κατηγορίας με μόνη διαφορά ότι στο εσωτερικό χρησιμοποιούνται οπτικές ίνες κολλητού απομονωτή. Αυτό σημαίνει ότι κάθε ίνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην έξοδο του καλωδίου κατευθείαν χωρίς την απαραίτητη ύπαρξη κυτίου διασύνδεσης. Αυτά είναι τα συνηθέστερα καλώδια που συναντούμε στην κατασκευή δικτύων και τα βλέπουμε να τερματίζουν με βύσματα κατευθείαν στις συσκευές που συνδέουν. Φέρουν αυτή την ονομασία γιατί όταν διαρραγεί το εξωτερικό περίβλημα στην ουσία υπάρχουν πολλά ανεξάρτητα καλώδια οπτικών ινών. Στα διαρρηγνύμενα καλώδια μπορούν να τοποθετηθούν και κορδέλες καλωδίων αυξάνοντας περαιτέρω τον αριθμό των οπτικών ινών που περιέχει το καλώδιο. Στην πρώτη εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε διαρρηγνύμενο καλώδιο με ίνες κολλητού απομονωτή (μορφή απλού καλωδίου) και στην δεύτερη με ίνες σε μορφή κορδέλας.

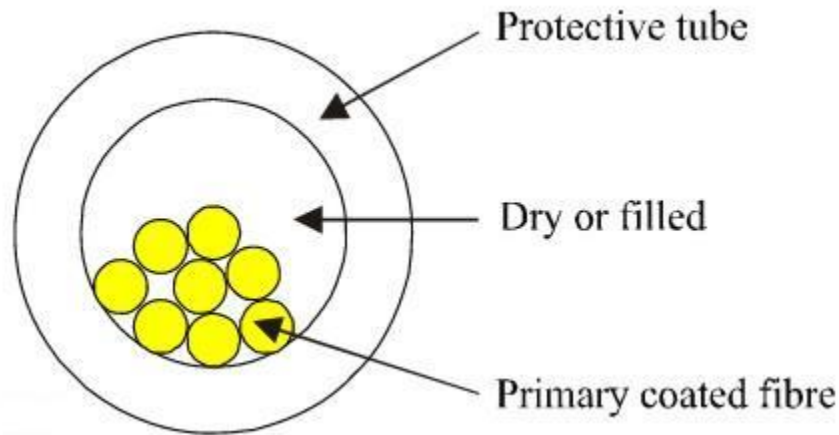


Εικόνα 16: Διαρρηγνύμενα καλώδια με περιεχόμενο απλού καλωδίου^[2]



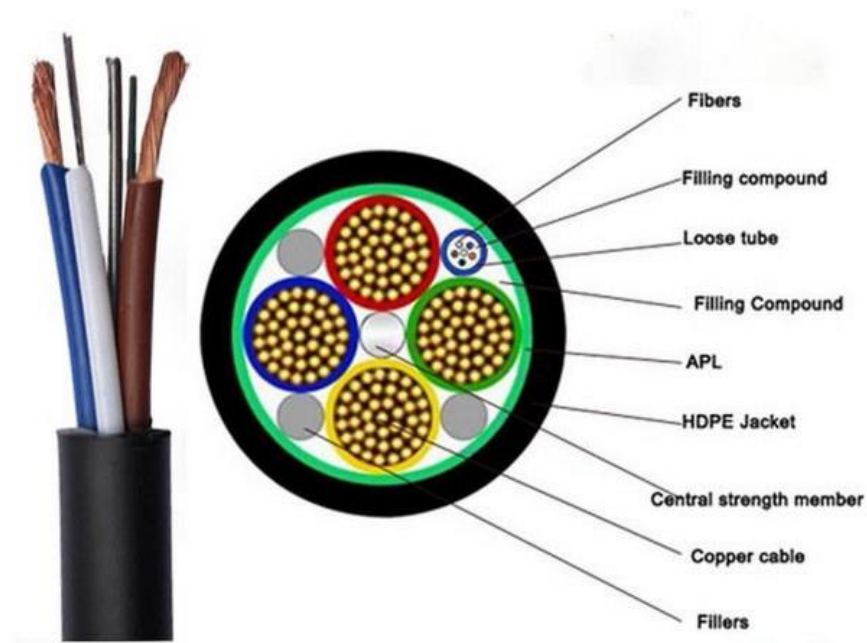
Η τέταρτη κατηγορία είναι τα καλώδια χαλαρού σωλήνα. Σε αυτή την κατηγορία τα καλώδια της οπτικής ίνας τοποθετούνται χύδην σε ένα σωλήνα, συνήθως πλαστικό. Εντός του σωλήνα τοποθετούνται είτε καλώδια κολλητού απομονωτή ώστε να φέρουν κάποια προστασία είτε συνηθέστερα οπτικές ίνες με το δικό τους περίβλημα χωρίς καμία επιπλέον προστασία. Στον σωλήνα αυτό διέρχεται πλήθος οπτικών ινών όμως η διάμετρός του είναι πολύ μεγαλύτερη από τον χώρο που καταλαμβάνουν οι οπτικές ίνες που διέρχονται μέσα από αυτόν. Αυτό επιτρέπει στις οπτικές ίνες να κινούνται ελεύθερα στο καλώδιο ακολουθώντας φυσικές διαδρομές με μικρότερες μηχανικές φορτίσεις. Πολλές φορές, μετά την εγκατάσταση, στα άκρα του σωλήνα τοποθετείται υλικό ώστε να γεμίζει ο σωλήνας και να μην επιτρέπεται η διείσδυση νερού σε αυτόν. Τα καλώδια αυτά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτείται υψηλότερη προστασία όπως για παράδειγμα

σε περιπτώσεις ταφής των καλωδίων. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η τυπική διάταξη ενός καλωδίου χαλαρού σωλήνα.



Εικόνα 17: Καλώδιο χαλαρού σωλήνα ^[2]

Τα σύνθετα και υβριδικά καλώδια είναι η πέμπτη κατηγορία καλωδίων οπτικών ινών. Είναι καλώδια τα οποία εμπεριέχουν συνδυασμό οπτικών ινών ή οπτικές ίνες και χάλκινους αγωγούς μέσα στο ίδιο περίβλημα. Ειδικότερα, σύνθετα ονομάζονται τα καλώδια που εμπεριέχουν οπτικές ίνες και αγωγούς στο ίδιο περίβλημα. Υβριδικά ονομάζονται τα καλώδια που στο περίβλημα εμπεριέχουν οπτικές ίνες διαφορετικού τύπου, μονότροπες και πολύτροπες. Η δομή τους είναι αντίστοιχη των προηγούμενων με ενίσχυση και εξωτερικό περίβλημα. Στην αγορά οι δύο όροι πολλές φορές συγχέονται και αυτό οφείλεται στο ότι στο παρελθόν υβριδικά ονομάζονταν τα καλώδια τα οποία είχαν συνδυασμό χάλκινων αγωγών και οπτικών ινών με αποτέλεσμα πολλές βιομηχανίες να εξακολουθούν να ονομάζουν υβριδικά αυτά τα καλώδια. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ένα σύνθετο καλώδιο που έχει 4 καλώδια χάλκινων αγωγών και ένα καλώδιο οπτικών ινών χαλαρού περιβλήματος.



Εικόνα 18: Σύνθετο καλώδιο οπτικών ινών ^[24]

2.2 Τεχνολογίες παραγωγής οπτικών ινών

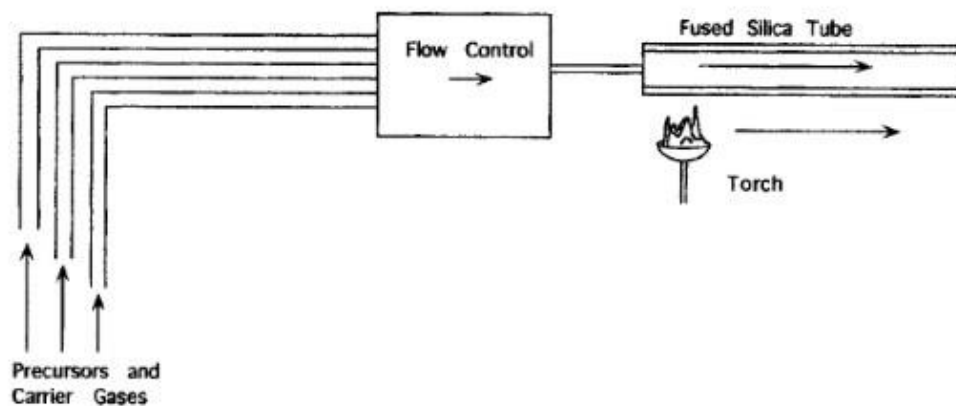
Η παραγωγή οπτικών ινών είναι μια βιομηχανοποιημένη δραστηριότητα η οποία γίνεται σε μεγάλα εργοστάσια από λίγους κατασκευαστές. Σήμερα είναι διαθέσιμες τρεις τεχνολογίες για την παραγωγή αυτών των ινών, η τροποποιημένη χημική εναπόθεση ατμών, η εξωτερική εναπόθεση ατμών και η αξονική εναπόθεση ατμών. Και οι τρεις τεχνολογίες βασίζονται στην ίδια αρχή, στην εναπόθεση ατμών ενός μίγματος αερίων με πρωταγωνιστή το οξείδιο του πυριτίου. Τα αέρια αυτά ατμοποιούνται ακουμπώντας μια θερμή επιφάνεια και ακολούθως υαλοποιούνται. Εκείνο που διαφέρει στις μεθόδους είναι η διάταξη, ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η εναπόθεση. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται αυτές οι τρεις τεχνολογίες. Στο τέλος της ενότητας γίνεται και αναφορά στον τρόπο με τον οποίο τοποθετείται η προστατευτική επίστρωση της οπτικής ίνας μετά την παραγωγή ώστε να παραχθεί το καλώδιο της οπτικής ίνας.

2.2.1 Τροποποιημένη χημική εναπόθεση ατμών

Η πρώτη τεχνική παραγωγής οπτικών ινών είναι η τροποποιημένη χημική εναπόθεση ατμών (Modified Chemical Vapor Deposition – MCVD). Όπως είναι αντιληπτό και από το όνομά

της η οπτική ίνα σε αυτή την περίπτωση παράγεται από εναπόθεση ατμών. Η σύσταση των ατμών καθορίζει και τον δείκτη διάθλασης της οπτικής ίνας. Επειδή υπάρχει δυνατότητα μεταβολής της σύστασης των ατμών υπάρχει η δυνατότητα μεταβολής του δείκτη διάθλασης σε διαφορετικά στρώματα της οπτικής ίνας. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να παραχθούν και οι πολύτροπες οπτικές ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης.

Για την παραγωγή της οπτικής ίνας με αυτή την τεχνική είναι απαραίτητη η χρήση ενός γυάλινου σωλήνα με διαστάσεις συνήθως διαμέτρου 2,5 εκατοστών και μήκους 1 μέτρου. Ο σωλήνας αυτός χρησιμοποιείται ως μήτρα για την οπτική ίνα. Μέσα στον σωλήνα διοχετεύεται μίγμα αερίων. Η σύσταση του μίγματος αερίων είναι κατά βάση διοξείδιο του πυριτίου με διάφορες προσμίξεις. Ο έλεγχος του ποσοστού της πρόσμιξης καθορίζει και τον δείκτη διάθλασης. Ο έλεγχος αυτός γίνεται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Κάτω από τον σωλήνα βρίσκεται μια θερμική πηγή υπό την μορφή φλόγας. Η πηγή αυτή είναι υπεύθυνη για την δημιουργία του γυαλιού από το μίγμα αερίων. Η παραπάνω διάταξη απεικονίζεται στην επόμενη εικόνα.

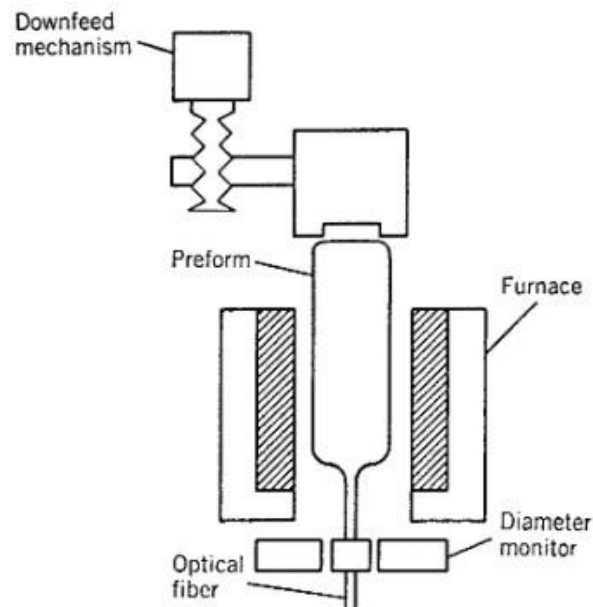


Εικόνα 19: Παραγωγή πρωτογενούς οπτικής ίνας με τροποποιημένη χημική εναπόθεση ατμών ^[1]

Η παραγωγή της οπτικής ίνας από την παραπάνω διάταξη είναι πολύ απλή. Η φλόγα δίδει θερμότητα στην γυάλινη μήτρα. Η φλόγα κινείται σε όλο το μήκος της μήτρας και η μήτρα περιστρέφεται έτσι ώστε να θερμαίνεται ομοιόμορφα σε όλο το μήκος της. Το μίγμα αερίων που κινείται εντός της μήτρας ακουμπάει με τα ζεστά τοιχώματα της μήτρας στο σημείο που βρίσκεται η φλόγα και υαλοποιείται. Με αυτό τον τρόπο παράγεται ένα στρώμα γυαλιού το οποίο θερμαίνεται με την σειρά του και λειτουργεί ως μήτρα για το μίγμα αερίων που περνάει πλέον

μέσα από αυτό. Το μίγμα αερίων υαλοποιείται εκ νέου δημιουργώντας ένα νέο στρώμα. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να υαλοποιηθεί και το κέντρο της μήτρας.

Αφαιρώντας την αρχική μήτρα προκύπτει μια γυάλινη οπτική ίνα μήκους 1 μέτρου και διαμέτρου 2,5 εκατοστών. Οι οπτικές ίνες όμως έχουν πολύ μικρότερη διάμετρο. Η τελική διάμετρος προκύπτει μετά από εφελκυσμό της πρωτογενούς οπτικής ίνας. Από μια μήτρα σαν και την προαναφερόμενη μπορεί να προκύψει μια οπτική ίνα μήκους έως και 10 χιλιομέτρων. Η διαδικασία εφελκυσμού της οπτικής ίνας είναι συγκεκριμένη και είναι ίδια ανεξαρτήτως της τεχνολογίας παραγωγής της οπτικής ίνας για αυτό περιγράφεται εδώ και ισχύει και για τις επόμενες δύο ενότητες. Η αρχικά παραγόμενη οπτική ίνα οδηγείται σε ένα κλίβανο ο οποίος την θερμαίνει έτσι ώστε να μπορεί να παραμορφωθεί πλαστικά. Πέραν τούτου ο κλίβανος οδηγεί στην εξάτμιση της υγρασίας που υπάρχει στην οπτική ίνα εξαιτίας της εναπόθεσης των ατμών δημιουργώντας μια στερεή, διαπερατή, γυάλινη οπτική ίνα. Ακολούθως, θερμή, η στερεά πλέον οπτική ίνα περνάει από μια μήτρα όπου μειώνεται η διάμετρός της και αυξάνεται το μήκος της. Ένας μετρητής laser ελέγχει την τελική της διάμετρο και ρυθμίζει την ταχύτητα κίνησης στην μήτρα ώστε να προκύψει η επιθυμητή διάμετρος. Η ίνα που διέρχεται του μετρητή οδηγείται στην διάταξη παραγωγής επίστρωσης που περιγράφεται στην τέταρτη ενότητα. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η διάταξη εφελκυσμού της οπτικής ίνας.



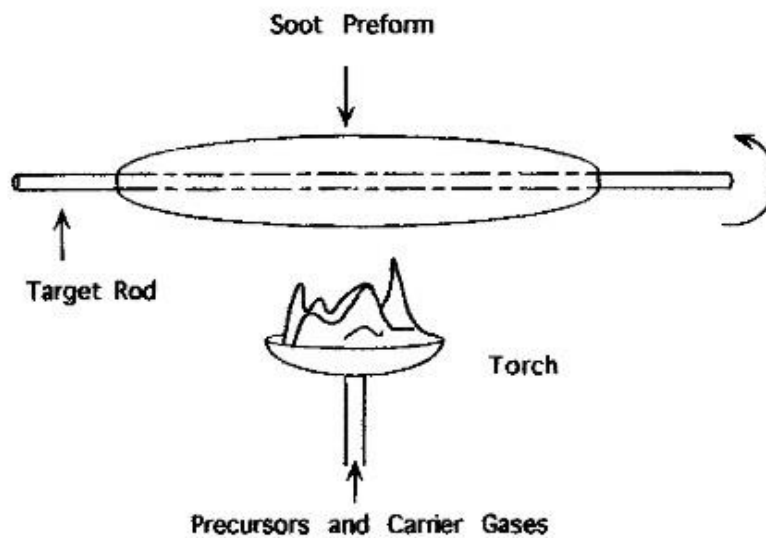
Εικόνα 20: Διάταξη εφελκυσμού πρωτογενούς οπτικής ίνας ^[3]

Εάν υπάρχει μεταβολή στην σύσταση του μίγματος αερίων όπως έχει προαναφερθεί τότε τα στρώματα που υαλοποιούνται κατά σειρά θα έχουν διαφορετικό δείκτη διάθλασης και θα επιτρέπουν την βαθμιαία διάθλαση παράγοντας μια οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη διάθλασης. Εάν είναι ίδια η σύσταση τότε παράγουν είτε πολύτροπες ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης είτε μονότροπες οπτικές ίνες. [1], [3], [27]

2.2.2 Εξωτερική εναπόθεση ατμών

Η δεύτερη μέθοδος παραγωγής οπτικών ινών είναι η εξωτερική εναπόθεση ατμών (Outside Vapor Deposition – OVD). Είναι σε λογική παρόμοια με την προηγούμενη μόνο που η εναπόθεση των ατμών δεν γίνεται στο εσωτερικό μιας μήτρας αλλά στο εξωτερικό μιας ράβδου.

Η διάταξη λοιπόν περιλαμβάνει την γυάλινη ράβδο η οποία περιστρέφεται και κάτω από αυτήν διέρχεται το μίγμα αερίων. Η σύσταση του μίγματος, όπως και στην προηγούμενη τεχνολογία, ελέγχεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Στο κάτω μέρος της διάταξης βρίσκεται και πάλι μια θερμική πηγή, μια φλόγα, η οποία κινείται κατά μήκος της ράβδου. Η διάταξη αυτή φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



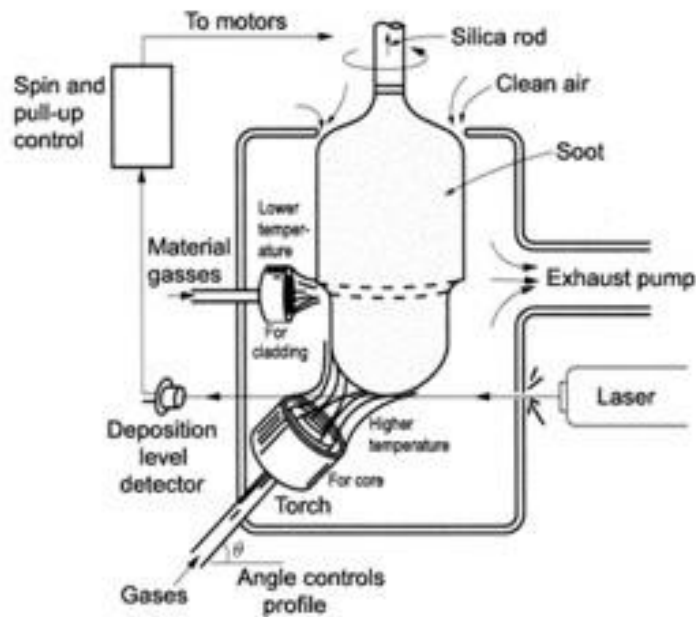
Εικόνα 21: Παραγωγή πρωτογενούς οπτικής ίνας με εξωτερική εναπόθεση ατμών [3]

Η διαδικασία παραγωγής της οπτικής ίνας με αυτή την διάταξη είναι πολύ απλή. Η φλόγα ζεσταίνει το μίγμα αερίων που κινείται μεταξύ αυτής και της ράβδου και προκαλεί την εναπόθεσή

του στην αρχική ράβδο δημιουργώντας ένα στρώμα. Ακολούθως ζεσταίνεται το νέο στρώμα στο οποίο εναποτίθεται νέο στρώμα και ούτω καθ' εξής μέχρι να παραχθεί το απαιτούμενο πάχος. Αφού παραχθεί η οπτική ίνα, μεγάλου πάχους, οδηγείται σε ένα κλίβανο στον οποίο και εφελκύεται με την διαδικασία που έχει ήδη περιγραφεί προηγουμένως. [3], [23], [27]

2.2.3 Αξονική εναπόθεση ατμών

Η τρίτη τεχνική παραγωγής οπτικών ινών είναι η αξονική εναπόθεση ατμών (Vapor Axial Deposition – VAD). Η τεχνική αυτή προσομοιάζει με την προηγούμενη τεχνική στην τεχνική δημιουργίας των επιστρώσεων, διαφέρει όμως στην διάταξη. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται και πάλι μια γυάλινη ράβδος η οποία όμως είναι πολύ μικρού μήκους, τοποθετείται κάθετα συγκρατημένη από το ένα άκρο και δεν περιστρέφεται. Στο κάτω μέρος της ράβδου υπάρχει η θερμική πηγή και ενδιάμεσα του άκρου της ράβδου και της πηγής διέρχεται το μίγμα αερίων. Η διάταξη της μεθόδου αυτής φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 22: Παραγωγή πρωτογενούς οπτικής ίνας με αξονική εναπόθεση ατμών [27]

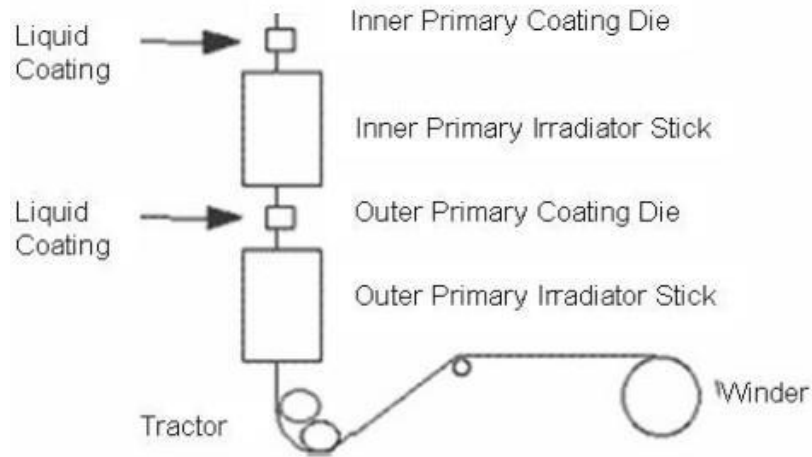
Η παραγωγή της οπτικής ίνας βασίζεται στην ίδια αρχή με τις προηγούμενες τεχνολογίες. Μόνο που σε αυτή την περίπτωση η ράβδος δεν περιστρέφεται και η φλόγα δεν κινείται δεξιά –

αριστερά αλλά προς τα κάτω. Το μίγμα αερίων κινείται μεταξύ της αρχικής ράβδου και της φλόγας και ένα στρώμα υαλοποιείται στο κάτω μέρος της ράβδου. Καθώς η φλόγα κινείται προς τα κάτω το μίγμα αερίων κινείται μεταξύ του πρώτου στρώματος και της φλόγας και υαλοποιείται δημιουργώντας ένα δεύτερο στρώμα. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να παραχθεί η οπτική ίνα μήκους όσο επιτρέπει η μηχανή. Εν συνεχεία ακολουθεί η διαδικασία εφελκυσμού που έχει ήδη περιγραφεί ώστε η οπτική ίνα να πάρει τελικά την προκαθορισμένη διάμετρο.

Με την τεχνική αυτή δεν μπορούν να παραχθούν οπτικές ίνες βαθμιαίου δείκτη ανάκλασης καθώς τα στρώματα τοποθετούνται αξονικά και όχι ακτινικά. Η αξονική τοποθέτηση δεν επιτρέπει να τοποθετηθούν στρώματα από διαφορετικά μίγματα αερίων σε διαφορετικές ακτίνες της οπτικής ίνας. [27]

2.2.4 Τοποθέτηση προστατευτικής επίστρωσης

Αφού παραχθεί η οπτική ίνα και φτάσει στην τελική της διάμετρο θα πρέπει να καλυφθεί από μια επίστρωση η οποία της προσφέρει προστασία τόσο από μηχανικές καταπονήσεις όσο και από άλλες καταπονήσεις όπως η υγρασία. Σε αυτό το στάδιο επί της ουσίας τοποθετείται το προστατευτικό περίβλημα της ίνας. Το περίβλημα αυτό αποτελείται από δύο στρώσεις, την εσωτερική και την εξωτερική, διαφορετικού πάχους και σκληρότητας. Το εσωτερικό είναι πάντα μαλακότερο και το εξωτερικό πιο σκληρό για να αντέχει τις μηχανικές καταπονήσεις. Η τοποθέτηση των περιβλημάτων γίνεται με την χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας η οποία οδηγεί σε συγκόλληση στο γυαλί των επιστρώσεων. Ένας μετρητής laser ελέγχει και πάλι την διάμετρο ώστε αυτή να προκύπτει με ακρίβεια. Αυτόματα ρυθμίζει την ταχύτητα διέλευσης από τις λάμες υπεριώδους ακτινοβολίας ώστε να αλλάζει το πάχος της επίστρωσης και εν τέλει η τελική διάμετρος της ίνας. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η διάταξη παραγωγής της επίστρωσης της οπτικής ίνας η οποία είναι συνέχεια της διάταξης εφελκυσμού.



Εικόνα 23: Επίστρωση και δημιουργία καρουλιού οπτικής ίνας [23]

Μετά την τοποθέτηση των επιστρώσεων η οπτική ίνα οδηγείται για αποθήκευση. Συγκεκριμένα τυλίγεται σε καρούλια, σε συνεχές μήκος, μέχρι να φτάσει στο όριο του καρουλιού. Η δημιουργία του καρουλιού οπτικής ίνας είναι και το τέλος της γραμμής παραγωγής της. Στην προηγούμενη εικόνα φαίνεται να ακολουθεί μετά την παραγωγή της επίστρωσης της οπτικής ίνας. Κάθε καρούλι ελέγχεται και αποθηκεύεται πριν οδηγηθεί στην αγορά. [3], [23]

3 Κεφάλαιο 3^ο «Δίκτυα οπτικών ινών»

Τα οπτικά δίκτυα είναι δίκτυα τα οποία μεταφέρουν τις πληροφορίες με την χρήση οπτικών παλμών, παλμών από φως, ορατό ή μη, με μήκος κύματος από 0,4μm έως 3μm. Χρησιμοποιούνται έναντι των συμβατικών δικτύων μετάδοσης πληροφορίας με την χρήση ηλεκτρικού παλμού. Ο λόγος είναι ότι μπορούν να μεταφέρουν πολύ περισσότερο όγκο πληροφοριών με πολύ μικρότερες απώλειες. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα οπτικά δίκτυα, τα δίκτυα οπτικών ινών. Στην αρχή παρουσιάζεται η βασική δομή αυτών των δικτύων. Ακολούθως παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική τους και καταγράφονται τρία εκ των σημαντικότερων, βασικών οπτικών δικτύων. Το κεφάλαιο κλείνει με την παρουσίαση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των οπτικών δικτύων έναντι των συμβατικών.

3.1 Βασικό οπτικό σύστημα τηλεπικοινωνιών

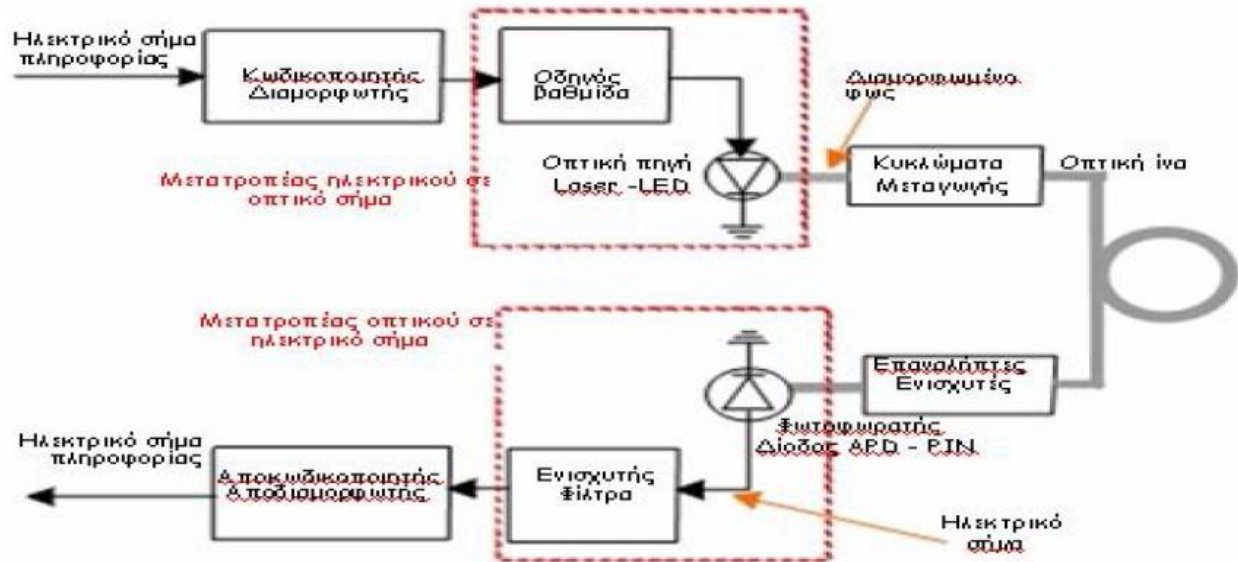
Το βασικό οπτικό σύστημα τηλεπικοινωνιών είναι ένα σύστημα μεταφοράς πληροφορίας που δεν διαφέρει σε τίποτα με το κλασικό ηλεκτρικό σύστημα παρά μόνο στον τρόπο μετάδοσης της πληροφορίας. Σε αυτή την περίπτωση αντί η κωδικοποίηση της πληροφορίας να γίνεται διαμέσου έντασης ηλεκτρικού παλμού γίνεται διαμέσου έντασης ακτινοβολίας. Για αυτό τον λόγο η δομή του είναι πανομοιότυπη. Στην ενότητα αυτή εξετάζουμε το βασικό οπτικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Αρχικά παρουσιάζεται η λειτουργία του και εν συνεχεία τα κυριότερα μέρη που το απαρτίζουν.

3.1.1 Λειτουργία – μετάδοση σήματος

Ένα τυπικό οπτικό δίκτυο χρησιμοποιείται για να μεταφέρει πληροφορίες οι οποίες στην είσοδό του φτάνουν ως ηλεκτρικά σήματα και από την έξοδό του αναχωρούν επίσης ως ηλεκτρικά σήματα. Αυτό προϋποθέτει την ύπαρξη ενός μετατροπέα του ηλεκτρικού σήματος σε οπτικό στην είσοδο της οπτικής ίνας και ενός μετατροπέα του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό στην έξοδο της οπτικής ίνας. Ο μετατροπέας στην είσοδο του οπτικού συστήματος είναι ο πομπός ο οποίος είναι συνήθως είτε laser είτε φωτοδίοδος LED. Ο μετατροπέας στην έξοδο του οπτικού συστήματος είναι ο δέκτης ο οποίος είναι ένας φωτοφωρατής, μια δίοδος APD-PIN.

Ενδιάμεσα το οπτικό σήμα μεταφέρεται από την οπτική ίνα και με διάφορες διατάξεις μεταγωγής μπορεί να μεταφερθεί και σε άλλες οπτικές ίνες. Ενδιάμεσα, κατά μήκος της οπτικής

ίνας είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ενισχυτές ώστε να ενισχύσουν το οπτικό σήμα του οποίου η ισχύς μειώνεται κατά μήκος της οπτικής ίνας εξαιτίας της εξασθένησης που παρουσιάζει. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται το διάγραμμα ενός τυπικού δικτύου οπτικών ινών.



Εικόνα 24: Βασικό οπτικό σύστημα τηλεπικοινωνιών [8]

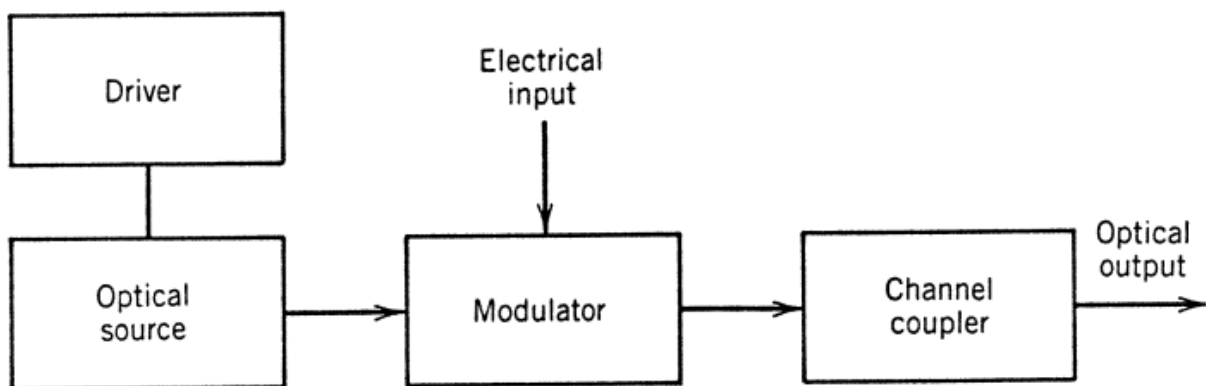
Το βασικό οπτικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα έχει την δυνατότητα να λειτουργεί είτε με αναλογικό είτε με ψηφιακό σήμα. Στα συστήματα που λειτουργούν με αναλογικό σήμα η μεταβολή της έντασης του φωτός του πομπού (άρα η μεταβολή της πληροφορίας) γίνεται με συνεχή διακύμανση. Στα συστήματα που λειτουργούν με ψηφιακό σήμα η μεταβολή της έντασης του φωτός του πομπού γίνεται με διακριτή διακύμανση. Κατά βάση τα οπτικά συστήματα λειτουργούν με ψηφιακό σήμα καθώς τα συστήματα αυτά είναι αποτελεσματικότερα, με λιγότερες απώλειες. Τα αναλογικά συστήματα χρησιμοποιούνται μόνο σε συγκεκριμένες εφαρμογές μικρών αποστάσεων.

Τα οπτικά συστήματα μετάδοσης μπορούν να είναι είτε αμφίδρομης κατεύθυνσης είτε μονόδρομης κατεύθυνσης. Τα συστήματα μονόδρομης κατεύθυνσης εκτελούν σε μια ίνα την εκπομπή και την λήψη προς μια κατεύθυνση και σε μια δεύτερη ίνα την εκπομπή και την λήψη από την αντίθετη κατεύθυνση. Τα αμφίδρομα συστήματα εκτελούν εκπομπή και λήψη διαμέσου μιας οπτικής ίνας και από τις δύο κατευθύνσεις. [3], [8]

3.1.2 Δομή δικτύου

Όπως αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο τα κύρια μέρη του βασικού οπτικού τηλεπικοινωνιακού δικτύου είναι ο πομπός και ο δέκτης. Πέραν αυτών χρησιμοποιούνται επίσης οι ενισχυτές και οι μεταγωγείς, διακλαδωτές ή πολυπλέκτες. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα κυριότερα στοιχεία για κάθε ένα από τα παραπάνω τμήματα του δικτύου.

Ο πομπός είναι το πρώτο τμήμα του δικτύου. Είναι το τμήμα που δέχεται το ηλεκτρικό σήμα και το μετατρέπει σε οπτικό. Μάλιστα δεν εκτελεί μόνο την μετατροπή, είναι υπεύθυνος και για να το εισάγει στην οπτική ίνα. Ο πομπός λοιπόν, για να επιτύχει το παραπάνω έχει μια οπτική πηγή (source) και ένα ζεύκτη (coupler) με το τηλεπικοινωνιακό κανάλι. Η οπτική πηγή αναβοσβήνοντας δημιουργεί ένα οπτικό σήμα. Για να μεταφραστεί στον πομπό ένα ηλεκτρικό σήμα σε οπτικό θα πρέπει η πηγή να αναβοσβήνει με συγκεκριμένο τρόπο ο οποίος θα εξαρτάται από το ηλεκτρικό σήμα που φτάνει στην είσοδό του. Αυτό γίνεται με την χρήση ενός κυκλώματος οδήγησης (driver). Μια τυπική διάταξη ενός πομπού φαίνεται στο διάγραμμα της επόμενης εικόνας.



Εικόνα 25: Τυπική διάταξη οπτικού πομπού ^[3]

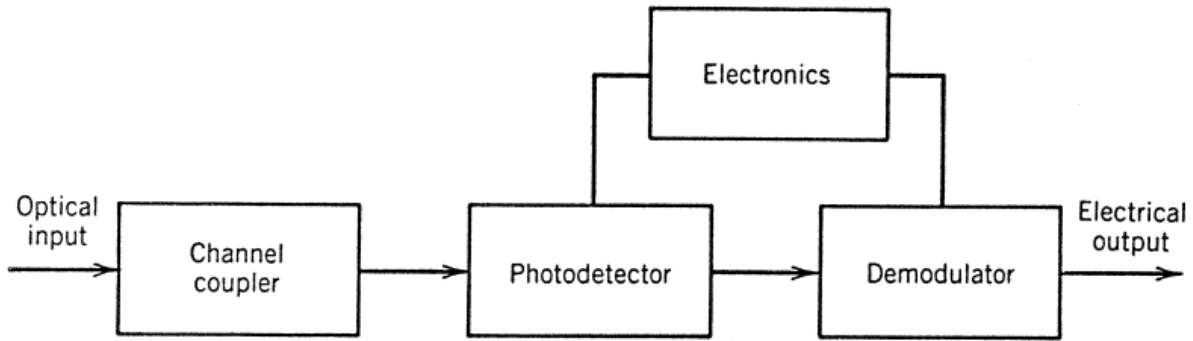
Η λειτουργία του πομπού είναι απλή. Το κύκλωμα οδήγησης, αποτελούμενο από τρανζίστορ δίνει ηλεκτρική ισχύ στον πομπό. Αναλόγως της τιμής του ηλεκτρικού σήματος στην είσοδο του τρανζίστορ εκείνο είτε λειτουργεί είτε όχι έτσι είτε επιτρέπει την παροχή ισχύος στον πομπό είτε όχι. Με αυτόν τον τρόπο, αναλόγως της τιμής του ηλεκτρικού σήματος στην είσοδο του κυκλώματος οδήγησης αναβοσβήνει ο πομπός δημιουργώντας το οπτικό σήμα.

Η οπτική πηγή η οποία ελέγχεται από το κύκλωμα οδήγησης είναι είτε μια φωτοδιόδος LED είτε Laser. Οι πηγές LED είναι χαμηλότερες σε κόστος και χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε συστήματα μικρής απόστασης. Εκπέμπουν στο πρώτο και στο δεύτερο παράθυρο με σχετικά χαμηλή συχνότητα (περίπου 200MHz). Οι πηγές Laser είναι ισχυρότερες πηγές αλλά και πηγές υψηλότερου κόστους. Χρησιμοποιούνται μόνο για μεταφορά σε μεγάλες και πολύ μεγάλες αποστάσεις καθώς δίνουν επαρκή ισχύ στο σήμα ώστε να μεταφερθεί σε αυτές τις αποστάσεις παρά την εξασθένηση που θα έχει. Συνήθως οι πηγές Laser εκπέμπουν στο δεύτερο και στο τρίτο παράθυρο και με υψηλή συχνότητα η οποία φτάνει έως και το 1Ghz.

Η οπτική πηγή που εγκαθίσταται στο δίκτυο πρέπει να έχει μερικά χαρακτηριστικά. Καταρχήν πρέπει να έχει μέγεθος συγκρίσιμο με το μέγεθος της οπτικής ίνας ώστε η ακτινοβολία να μπορεί να εισαχθεί στην οπτική ίνα. Επίσης πρέπει να έχει μεγάλη ευαισθησία και γρήγορη απόκριση στην μεταβολή των ηλεκτρικών σημάτων που δέχεται στην είσοδο. Φυσικά πρέπει να έχει χαμηλό θόρυβο στην παραγόμενη ακτινοβολία και να παρέχει μεγάλη αξιοπιστία όσον αφορά την μετάφραση του ηλεκτρικού σήματος σε οπτικό σήμα.

Μετά την οπτική πηγή ακολουθεί ο ζεύκτης, μια συσκευή η οποία ενώνει την οπτική πηγή με την οπτική ίνα, μια συσκευή η οποία εισάγει την ακτινοβολία εντός της οπτικής ίνας. Ο ζεύκτης επί της ουσίας είναι ένας φακός πολύ μικρού μεγέθους ο οποίος λαμβάνει την οπτική ακτινοβολία από την πηγή και την εστιάζει στην είσοδο της οπτικής ίνας. Με αυτό τον τρόπο οδηγεί την ακτινοβολία στην οπτική ίνα και ξεκινάει η μετάδοσή της διαμέσου αυτής.

Στο άλλο άκρο της οπτικής ίνας βρίσκεται ο δέκτης. Χρησιμοποιείται για να παραλάβει το οπτικό σήμα από την έξοδο της οπτικής ίνας και να το μετατρέψει σε ηλεκτρικό. Ο δέκτης αποτελείται από ένα ζεύκτη (coupler), από ένα φωτοράτη (ανιχνευτής φωτός - photodetector) και από τον αποδιαμορφωτή (demodulator). Στο διάγραμμα της επόμενης εικόνας φαίνεται η τυπική μορφή ενός δέκτη.



Εικόνα 26: Τυπική διάταξη οπτικού δέκτη ^[3]

Ο ζεύκτης είναι το πρώτο εξάρτημα που παρεμβάλλεται μετά την οπτική ίνα. Έχει ρόλο παρόμοιο με τον ζεύκτη του πομπού. Είναι λοιπόν επίσης ένας μικροφακός ο οποίος λαμβάνει την ακτινοβολία από την έξοδο της οπτικής ίνας και την εστιάζει στον φωτοφωρατή ώστε με την σειρά του να την μετατρέψει σε ηλεκτρικό σήμα.

Ο φωτοφωρατής είναι ένα εξάρτημα το οποίο έχει την δυνατότητα να μετατρέπει την ακτινοβολία σε ηλεκτρικό σήμα, σε ηλεκτρικό παλμό. Η λειτουργία του βασίζεται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Συνήθως είναι φωτοδιόδοι ημιαγωγών και πιο σπάνια φωτοτρανζίστορ. Στο εμπόριο υπάρχουν διάφοροι φωτοράτες σχεδιασμένοι για να δέχονται ακτινοβολία διαφορετικού μήκους κύματος. Έτσι στο δίκτυο οπτικών ινών ο φωτοράτης που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπει ο πομπός. Στην πράξη φωτοράτης και πομπός πρέπει να λειτουργούν στο ίδιο μήκος κύματος για να λειτουργεί το οπτικό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο.

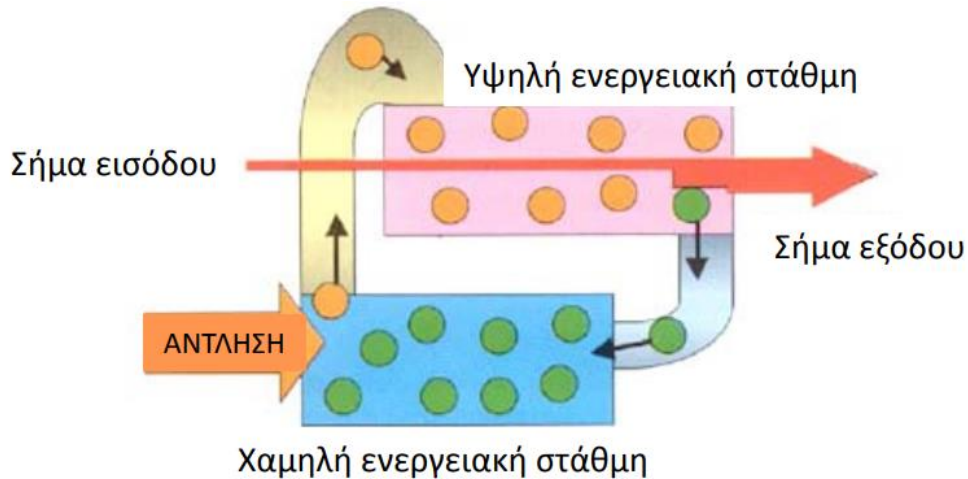
Μετά τον φωτοράτη ακολουθεί ο αποδιαμορφωτής ο οποίος επί της ουσίας αποκωδικοποιεί το οπτικό σήμα (κατά βάση είναι ψηφιακό όπως έχει ήδη αναφερθεί πιο πριν) και μεταφράζει σε ηλεκτρικό σήμα. Επί της ουσίας λοιπόν είναι ένα λογικό κύκλωμα που αντιλαμβάνεται το ψηφιακό οπτικό σήμα και αποδίδει στην έξοδο ψηφιακό ηλεκτρικό σήμα. Αποδιαμορφωτές υπάρχουν σε διάφορες ποιότητες και αυτό γιατί εξαρτάται από το πόσο ικανοί είναι να αναγνωρίσουν και να διαχωρίσουν τον θόρυβο που έχει πλέον το οπτικό σήμα μετά από την διαδρομή του εντός της οπτικής ίνας.

Ο φωτοράτης που εγκαθίσταται στο οπτικό δίκτυο έχει κάποια χαρακτηριστικά παρόμοια με τα χαρακτηριστικά της πηγής που παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Πρέπει λοιπόν καταρχήν να έχει μέγεθος συγκρίσιμο με το μέγεθος της οπτικής ίνας ώστε να μπορεί να δεχθεί την

εξερχόμενη από αυτή ακτινοβολία. Πρέπει να είναι αξιόπιστος δηλαδή η μετάφραση της ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό παλμό να γίνεται με την απαραίτητη ανά περίπτωση ακρίβεια. Ταυτόχρονα πρέπει να έχει γρήγορη απόκριση και μεγάλη ευαισθησία για να μπορεί να αντιληφθεί γρήγορες μεταβολές του οπτικού σήματος με ακρίβεια. Τέλος δεν πρέπει να εισάγει θόρυβο στο παραγόμενο από αυτόν ηλεκτρικό σήμα.

Το επόμενο τμήμα του δικτύου είναι οι ενισχυτές. Θεωρητικά το οπτικό δίκτυο μπορεί να λειτουργήσει χωρίς αυτούς. Και πράγματι σε δίκτυα μικρού μήκους, μικρής διαδρομής, δεν είναι απαραίτητη η χρήση τους γιατί η εξασθένιση του σήματος είναι αμελητέα. Υπάρχουν δυο τύποι, οι οπτικοί ενισχυτές και οι ηλεκτρικοί ενισχυτές – αναγεννητές. Οι οπτικοί ενισχυτές έχουν την δυνατότητα να ενισχύσουν κατευθείαν το οπτικό σήμα, και μάλιστα σε ένα μεγάλο εύρος μήκος κύματος για κάθε ενισχυτή. Αντίθετα οι αναγεννητές απαιτούν την μετατροπή του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό, ενισχύουν το ηλεκτρικό σήμα και το μετατρέπουν ξανά σε οπτικό σήμα ώστε να συνεχίσει την πορεία του. Λόγω της ανάγκης μετατροπής σε ηλεκτρικό σήμα λειτουργούν μόνο σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος. Πλέον οι οπτικοί ενισχυτές έχουν αντικαταστήσει πλήρως τους ηλεκτρικούς.

Οι συνηθέστεροι οπτικοί ενισχυτές που χρησιμοποιούνται στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα είναι οι ινοοπτικοί ενισχυτές ερβίου. Οι ενισχυτές αυτοί αποτελούνται από μια ειδική οπτική ίνα μήκους μερικών δεκάδων μέτρων. Η οπτική ίνα αυτή διαφέρει από τις κλασσικές οπτικές ίνες καθώς ο πυρήνας της είναι ντοπαρισμένος (έχουν προστεθεί σε αυτόν) με ιόντα, μιας σπάνιας γαίας, του ερβίου. Αυτές οι οπτικές ίνες τροφοδοτούνται με ένα laser το οποίο ονομάζεται laser άντλησης και εκπέμπει ακτινοβολία 980nm. Τα φωτόνια που διέρχονται της οπτικής ίνας από την ακτινοβολία που την διαρρέει δέχονται την ακτινοβολία του laser διεγείρονται και οδηγούνται σε μια ανώτερη στάθμη. Ακολούθως πέφτουν σε μια μετασταθή ζώνη στην οποία πλέον παρατηρείται συσσώρευση ηλεκτρονίων και έτσι εμφανίζεται το φαινόμενο της αντιστροφής πληθυσμών σε σχέση με την βασική ζώνη. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί σε μια ακτινοβολία, σε παραγωγή φωτονίων μήκους 1550nm τα οποία ενισχύουν την οπτική ακτινοβολία που διέρχεται της ίνας στο τρίτο παράθυρο. Αντίστοιχα λειτουργούν και οπτικοί ενισχυτές ερβίου για τα άλλα δύο παράθυρα. Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται η λειτουργία του ενισχυτή ερβίου.



Εικόνα 27: Λειτουργία ενισχυτή ερβίου ^[13]

Σε ένα δίκτυο μπορούν να συνδεθούν πέραν του ενός ενισχυτές και να μεταφερθεί η ακτινοβολία σε μήκος χιλιάδων χιλιομέτρων. Έχει όμως παρατηρηθεί ότι αν ο αριθμός των ενισχυτών ξεπεράσει τους 6 τότε αρχίζουν τα φαινόμενα θορύβου που εισάγονται στο οπτικό σήμα να είναι έντονα. Για αυτό σπάνια συνδέονται πέραν των 6 ενισχυτών εν σειρά.

Οι οπτικοί ενισχυτές έχουν μερικά χαρακτηριστικά τα οποία καθορίζουν την απόδοση αλλά και την χρήση τους. Ένα από τα χαρακτηριστικά τους είναι το κέρδος. Στην ουσία το κέρδος είναι η ενίσχυση, η αύξηση της ισχύος της ακτινοβολίας. Είναι τα db που προσθέτει στα db της ακτινοβολίας που εισέρχεται σε αυτόν. Συνήθως κάθε οπτικός ενισχυτής παρέχει κέρδος περί τα 30db (συνηθέστεροι στην αγορά) αν και έχουν παραχθεί και ενισχυτές με κέρδος 50db. Άλλο χαρακτηριστικό είναι το κέρδος εύρους ζώνης όπου μας καθορίζει την απόκλιση του κέρδους του ενισχυτή σε διάφορα μήκη κύματος μέσα σε ένα εύρος. Στην ουσία με το κέρδος εύρους ζώνης, το οποίο είναι διάγραμμα, θα βρούμε τι ενίσχυση θα έχει η ακτινοβολία συγκεκριμένου μήκους κύματος που χρησιμοποιούμε. Το τρίτο χαρακτηριστικό είναι η ισχύς σήματος εξόδου. Ένας ενισχυτής μπορεί να δώσει μια μέγιστη ισχύ εξόδου. Αν η ακτινοβολία που εισέλθει σε αυτόν έχει ήδη αρκετή ισχύ τότε η ενίσχυση είναι μικρή, ο ενισχυτής θα κορεσθεί και δεν θα δώσει όλη την ενίσχυση που είναι ικανός να προσφέρει. Ισχύς κορεσμού είναι η ισχύς κατά την οποία η ενίσχυση πλέον είναι κατά 3db μικρότερη του ονομαστικού κέρδους του ενισχυτή. Το τελευταίο χαρακτηριστικό είναι ο συντελεστής θορύβου που δίνει το ποσοστό κατά το οποίο ο ενισχυτής προσαυξάνει τον θόρυβο της ακτινοβολίας που ήδη υπάρχει όταν φτάνει σε αυτόν. Είναι ένας συντελεστής με μέγεθος μεγαλύτερο της μονάδας.

Το τελευταίο εξάρτημα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα τυπικό δίκτυο οπτικών ινών είναι ένα εξάρτημα τροποποίησης ή μεταφοράς της οπτικής δέσμης. Αυτό το εξάρτημα μπορεί να είναι είτε ένας μεταγωγέας, είτε ένας διακλαδωτής είτε ένας πολυπλέκτης. Ο μεταγωγέας είναι το εξάρτημα το οποίο μεταφέρει, μετάγει το σήμα από μια οπτική ίνα σε μια άλλη. Ο διακλαδωτής είναι το εξάρτημα που μοιράζει το σήμα σε διαφορετικές οπτικές ίνες. Πολυπλέκτης είναι το εξάρτημα που μπορεί να κάνει πολυπλεξία δηλαδή να δεχτεί πολλά οπτικά σήματα τα οποία τα συνδυάζει και τα αποστέλλει εν συνεχεία. Η ύπαρξη πολυπλέκτη στο δίκτυο απαιτεί και την ύπαρξη αποπολυπλέκτη ο οποίος στο άλλο άκρο του δικτύου θα διαχωρίσει τα σήματα που έχουν πολυπλεχθεί. Συνήθως ο πολυπλέκτης και ο αποπολυπλέκτης είναι η ίδια συσκευή η οποία κάθε φορά χρησιμοποιείται με διαφορετικό στόχο. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο καθώς με αυτό τον τρόπο κατάφεραν να δημιουργηθούν τα αμφίδρομα οπτικά συστήματα.

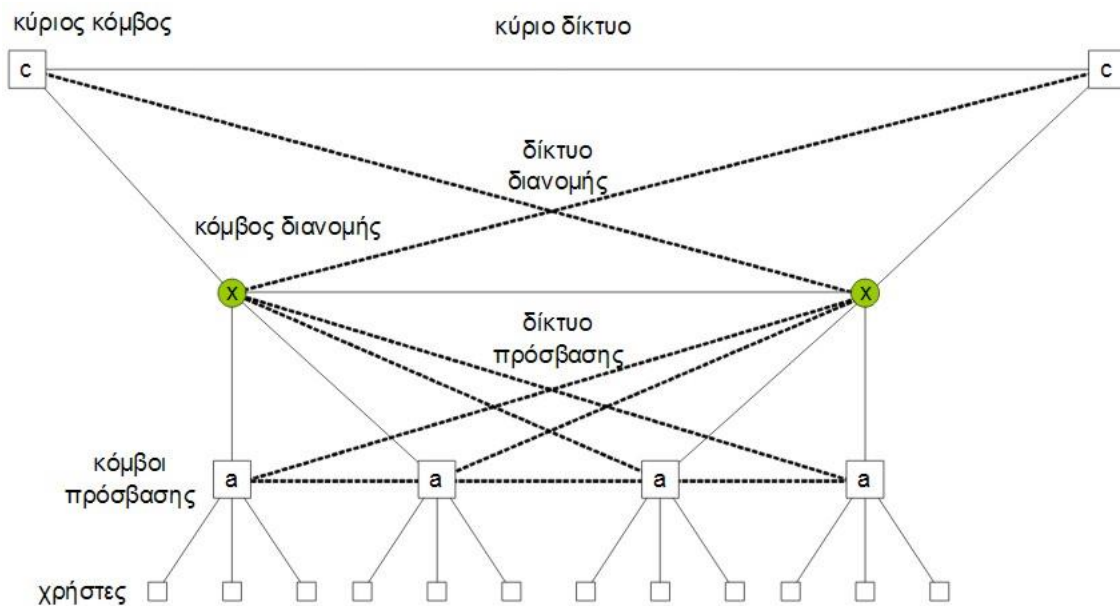
Οι συνηθέστεροι πολυπλέκτες που χρησιμοποιούνται είναι οι πολυπλέκτες προσθαφαίρεσης. Οι πολυπλέκτες αυτοί έχουν την ικανότητα είτε να προσθέτουν είτε να αφαιρούν ορισμένα μόνο σήματα από το σύνθετο οπτικό σήμα (το οποίο έχει ήδη πολυπλεχθεί προηγουμένως). Έχουν την ικανότητα μάλιστα να το κάνουν αυτό κατευθείαν στο οπτικό σήμα χωρίς να χρειάζεται η μετατροπή του σε ηλεκτρικό. Κάθε πολυπλέκτης προσθαφαίρεσης έχει συγκεκριμένο αριθμό καναλιών δηλαδή μπορεί να εισάγει ή να εξάγει συγκεκριμένο αριθμό σημάτων ο οποίος μπορεί να φτάνει έως και τα 32 σήματα. Υπάρχουν στην αγορά πολυπλέκτες οι οποίοι μπορούν να εξάγουν συγκεκριμένα μήκη κύματος άρα συγκεκριμένα σήματα και πολυπλέκτες οι οποίοι κάθε φορά μπορούν να εξάγουν διαφορετικά μήκη κύματος άρα γίνεται επιλογή των σημάτων που θα εξαχθούν.

Εκτός από τους πολυπλέκτες προσθαφαίρεσης σημαντικοί είναι και οι διασταυρωτήρες ή διακλαδωτές, οι οποίοι διακλαδώνουν την οπτική ακτινοβολία στα δίκτυα οπτικών ινών. Δέχονται συγκεκριμένο αριθμό εισόδων και εξόδων και μπορούν να δρομολογήσουν την ακτινοβολία, το σήμα, από οποιαδήποτε είσοδο σε οποιαδήποτε έξοδο. Μάλιστα έχουν την δυνατότητα να τροποποιούν τις εισόδους και τις εξόδους δρομολόγησης επιτρέποντας την δημιουργία ενός ευέλικτου οπτικού δικτύου. [3], [8], [9], [13]

3.2 Αρχιτεκτονική δικτύων οπτικών ινών

Τα δίκτυα οπτικών ινών δομούνται με διάφορες τεχνικές όμως γενικά η αρχιτεκτονική τους μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι πανομοιότυπη και βασίζεται σε τέσσερα επιμέρους δίκτυα, το δίκτυο

κορμού ή αλλιώς κύριο δίκτυο, το δίκτυο διανομής, το δίκτυο πρόσβασης και το δίκτυο χρηστών. Τα τρία πρώτα χρησιμοποιούνται για να συνδέουν τους κύριους κόμβους, τους κόμβους διανομής και τους κόμβους πρόσβασης ενώ το τελευταίο χρησιμοποιείται για την σύνδεση των τελικών χρηστών στο δίκτυο. Στην επόμενη εικόνα διακρίνεται ένα μητροπολιτικό δίκτυο οπτικών ινών και ακολούθως περιγράφεται η δομή και αναλύονται τα χαρακτηριστικά του.



Εικόνα 28: Αρχιτεκτονική ενός μητροπολιτικού οπτικού δικτύου τηλεπικοινωνιών ^[15]

Οι κύριοι κόμβοι του δικτύου συνδέονται με το κύριο δίκτυο, με το δίκτυο κορμού. Το δίκτυο αυτό μεταφέρει μεγάλους όγκους δεδομένων και συνήθως αποτελείται από ένα ενιαίο καλώδιο εκτός αν για οποιοδήποτε λόγο δεν μπορεί τεχνικά να γίνει αυτό. Οι κύριοι κόμβοι ενός μεγάλου οπτικού συστήματος τηλεπικοινωνιών (που μπορεί να καλύπτει ένα ολόκληρο αστικό κέντρο και ονομάζεται μητροπολιτικό δίκτυο – MAN) συνήθως σχηματίζουν ένα δακτύλιο μέσα στον οποίο εμπεριέχουν το υπόλοιπο οπτικό δίκτυο.

Από τους κύριους κόμβους ξεκινάνε μικρότερα υποδίκτυα, τα δίκτυα διανομής τα οποία διανέμουν το οπτικό σήμα σε κόμβους στο εσωτερικό του δικτύου, στους κόμβους διανομής. Τα δίκτυα διανομής πρέπει απαραίτητως να συνδέονται με δύο κύριους κόμβους ή αν συνδέονται με ένα πρέπει να έχουν δύο διαφορετικές διαδρομές (μια άμεση και μια διαμέσου ενός άλλου δικτύου διανομής) για λόγους ασφάλειας και αξιοπιστίας του δικτύου. Στους κόμβους διανομής γίνεται

και η διάκριση σε ενεργό ή παθητικό σήμα καθώς ο εξοπλισμός του κόμβου διανομής μπορεί να είναι είτε ενεργός είτε παθητικός.

Ακολούθως, το δίκτυο πρόσβασης προσφέρει την σύνδεση των κόμβων διανομής με μικρότερους κόμβους εντός των γειτονιών ενός αστικού κέντρου. Οι μικρότεροι κόμβοι ονομάζονται κόμβοι πρόσβασης και διαμέσου αυτών θα διανεμηθεί το σήμα στους τελικούς χρήστες. Οι κόμβοι πρόσβασης συνδέονται και αυτοί με τουλάχιστον δύο κόμβους διανομής για λόγους αξιοπιστίας έτσι ώστε σε τυχούσα βλάβη στον ένα κόμβο διανομής να μπορούν να συνεχίσουν να τροφοδοτούνται από τον δεύτερο κόμβο διανομής.

Τέλος, το δίκτυο χρηστών χρησιμοποιείται για να μεταφέρει το οπτικό σήμα από τους κόμβους πρόσβασης στα κτίρια. Συνήθως σε αυτή την περίπτωση κάθε κτίριο λαμβάνει από μια μόνο διαδρομή, από ένα μόνο τοπικό κόμβο πρόσβασης το οπτικό σήμα. Το δίκτυο χρηστών κατά περίπτωση μπορεί να είναι υπόγειο και υπέργειο εν αντιθέσει με τα προηγούμενα τρία δίκτυα τα οποία είναι αποκλειστικά υπόγεια. Σε περίπτωση που η οπτική ίνα δεν φτάνει μέχρι τον τελικό χρήστη τότε το δίκτυο πρόσβασης καταλήγει σε τοπικές οπτικές μονάδες δικτύου στις οποίες το οπτικό σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό και μεταφέρεται στον χρήστη διαμέσου παραδοσιακών χάλκινων καλωδίων (τεχνολογία DSL). Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η αρχιτεκτονική ενός μητροπολιτικού δικτύου, όπως αυτή έχει περιγραφεί παραπάνω.

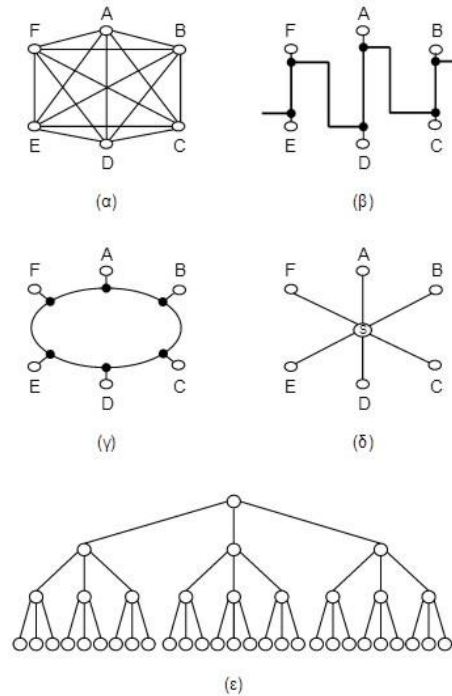
Ένα μητροπολιτικό δίκτυο δεν μπορεί να τροποποιείται συνεχώς οπότε η αρχιτεκτονική του έχει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ώστε να εξασφαλίζουν την ικανοποιητική παροχή υπηρεσιών στους χρήστες για ένα εύλογο μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να εξασφαλίζει η αρχιτεκτονική ενός μητροπολιτικού δικτύου οπτικών ινών είναι τα παρακάτω:

- Να παρέχει την δυνατότητα εναλλακτικών συνδέσεων σε ένα πάροχο ώστε να εξασφαλίζει την αξιοπιστία του.
- Να επιτρέπει συνδέσεις βρόχων, αρτηριών ή αστέρα σε κάθε επιμέρους τμήμα του δικτύου.
- Να μπορεί διαμέσου του δικτύου να διανεμηθούν διαφορετικές υπηρεσίες από διαφορετικούς πάροχους.
- Να επιτρέπει την πολυπλεξία σε κάθε ένα από τα τέσσερα υποδίκτυα που το απαρτίζουν.
- Να είναι επεκτάσιμο σε όλα του τα επιμέρους τμήματα.

- Να έχει μειωμένο κόστος διαχείρισης και μειωμένο κόστος αποκατάστασης βλαβών.

Τα δίκτυα που περιλαμβάνονται στο μητροπολιτικό δίκτυο μπορούν να συνδεθούν με διάφορους τρόπους μεταξύ τους. Οι συνηθέστεροι τρόποι, οι συνηθέστερες αρχιτεκτονικές των δικτύων αυτών είναι ο βρόχος, η αρτηρία, ο αστέρας και το δέντρο. Το δίκτυο βρόχων αποτελείται από σταθμούς οι οποίοι συνδέονται με όλους τους άλλους σταθμούς του δικτύου. Το δίκτυο αρτηρίας (ή δακτυλίου) αποτελείται από σταθμούς που συνδέονται μεταξύ τους σε μια ευθεία γραμμή η οποία μπορεί να έχει αρχή και τέλος ή να σχηματίζει δακτύλιο. Το δίκτυο αστέρα σε ένα κοινό σταθμό συνδέονται πολλοί διαφορετικοί σταθμοί οι οποίοι δεν επικοινωνούν μεταξύ τους. Το δίκτυο δέντρου είναι ένα δίκτυο που αποτελείται από την σύνδεση πολλών δικτύων αστέρα ή αρτηρίας σχηματίζοντας μια δεντριτική μορφή. Στην επόμενη εικόνα φαίνονται αυτές οι διατάξεις δικτύων. Το α είναι ένα δίκτυο βρόχων, το β ένα δίκτυο αρτηρίας, το γ ένα δίκτυο αρτηρίας με μορφή δακτυλίου, το δ ένα δίκτυο αστέρα και το ε ένα δίκτυο δέντρου.

Στο μητροπολιτικό δίκτυο που είδαμε προηγουμένως συναντάμε όλες τις συνδέσεις. Καταρχήν από μόνο του είναι ένα δίκτυο δεντριτικής διάταξης. Το δίκτυο κορμού, το κύριο δίκτυο είναι ένα δίκτυο αρτηρίας (είναι συγκεκριμένα ένας δακτύλιος). Τα δίκτυα διανομής και πρόσβασης είναι δίκτυα κόμβων. Το δίκτυο χρηστών είναι δίκτυο αστέρα. Οπότε ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο μπορεί να συνδυάζει και τις τέσσερις αρχιτεκτονικές. ^{[15], [16]}



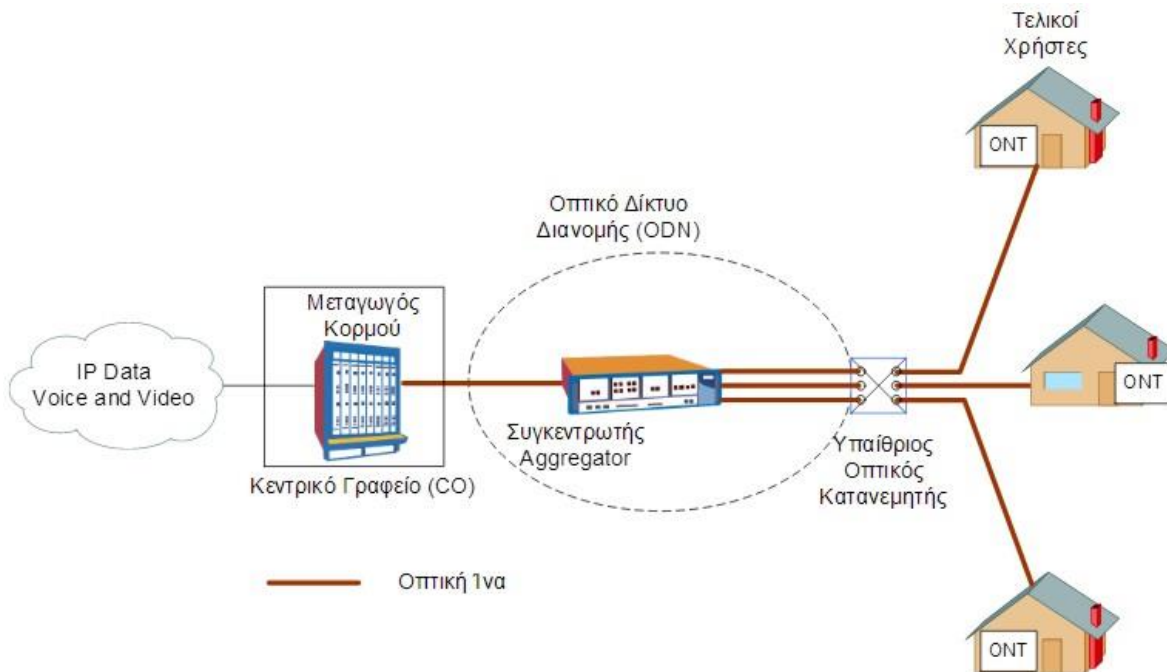
Εικόνα 29: Διατάξεις σύνδεσης κόμβων δικτύου ^[16]

3.2.1 Ενεργό οπτικό δίκτυο AON

Τα ενεργά οπτικά δίκτυα είναι από τις απλούστερες μορφές τηλεπικοινωνιακών δικτύων που υπάρχουν. Χρησιμοποιούν στους κόμβους διανομής ενεργό εξοπλισμό. Ενεργός εξοπλισμός ορίζεται ως ο εξοπλισμός που απαιτεί την ηλεκτρική του τροφοδοσία και εκτελεί δυναμικές εργασίες δρομολόγησης δεδομένων. Ο ενεργός εξοπλισμός του κόμβου διανομής συνδέεται κατευθείαν με τον χρήστη με μια οπτική ίνα, αποκλειστικά για δική του χρήση. Για να γίνει αυτό εφικτό όμως απαιτείται η ύπαρξη της τεχνολογίας τερματισμού της οπτικής ίνας στον χρήστη (οπτικό τερματικό δίκτυο - ONT). Η αναγκαιότητα ύπαρξης οπτικής μονάδας δικτύου σε κάθε χρήστη και η αναγκαιότητα τροφοδοσίας με ηλεκτρική ενέργεια του ενεργού εξοπλισμού είναι οι κυριότεροι λόγοι που τα ενεργά δίκτυα είναι η μειοψηφία στο σύνολο των οπτικών δικτύων.

Τα ενεργά οπτικά δίκτυα επιτρέπουν στον χρήστη να έχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης στην διάθεσή του επιτρέποντάς τους να έχουν πρόσβαση σε περισσότερο υλικό. Ταυτόχρονα αυτό διευκολύνει σε υπερθετικό βαθμό την διαχείριση, την λειτουργία και την συντήρηση του δικτύου και καθιστά πιο εύκολη και άμεση την επίλυση προβλημάτων και βλαβών καθώς είναι αμέσως γνωστό πιο τμήμα του δικτύου έχει πρόβλημα. Ταυτόχρονα, η γνώση του κόμβου διανομής, του

χρήστη και η μεταξύ τους διαδρομή επιτρέπει τον ακριβή υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος του σήματος ώστε να φτάσει στον χρήστη χωρίς προβλήματα. Η σύνδεση ενός σημείου (κόμβος διανομής) με ένα άλλο σημείο (χρήστης) έδωσε την ονομασία στην σύνδεση αυτή P2P (Point to Point). Συγκεκριμένα η σύνδεση ενεργού οπτικού δικτύου ονομάζεται P2P ενεργό καθώς όπως παρουσιάζεται παρακάτω υπάρχει και το παθητικό P2P. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η δομή ενός ενεργού οπτικού δικτύου. [4], [17], [20]

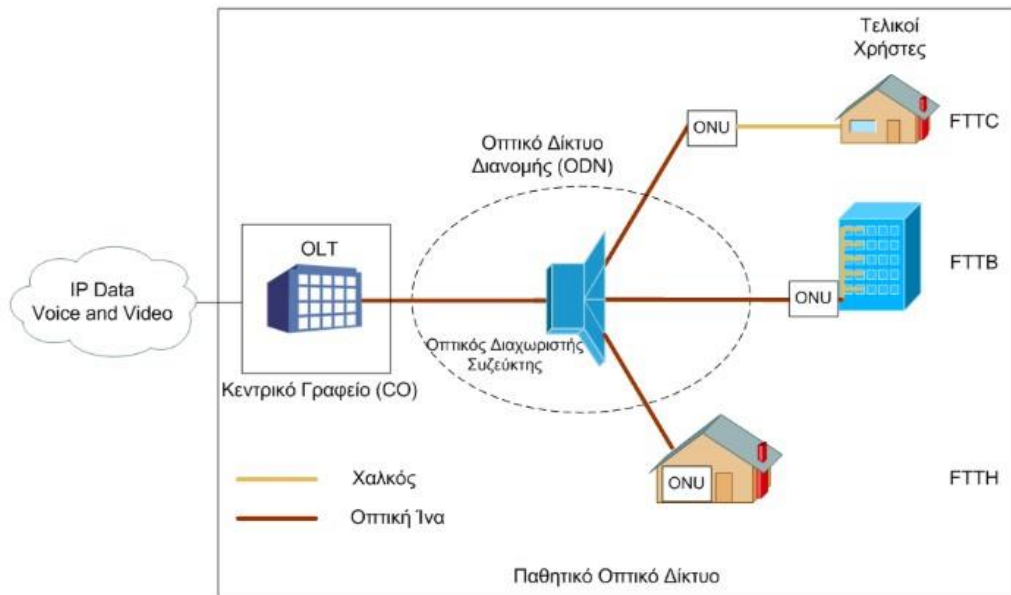


Εικόνα 30: Ενεργό οπτικό δίκτυο [17]

3.2.2 Παθητικό οπτικό δίκτυο PON

Το παθητικό οπτικό δίκτυο φέρει αυτή την ονομασία γιατί στους κόμβους διανομής χρησιμοποιείται παθητικός εξοπλισμός, δηλαδή εξοπλισμός που λειτουργεί χωρίς να απαιτεί τροφοδοσία ηλεκτρικού ρεύματος. Τα παθητικά δίκτυα χρησιμοποιούν τεχνικές διαμοιρασμού έτσι από μια οπτική ίνα τροφοδοτούνται πολλοί χρήστες. Ο διαμοιρασμός του σήματος γίνεται σε ένα οπτικό διαχωριστή που βρίσκεται στον κόμβο διανομής και έχει την δυνατότητα να διαχωρίσει το σήμα σε 32 διαφορετικά σήματα και με αυτό να τροφοδοτήσει 32 διαφορετικές οπτικές μονάδες ελέγχου. Ακολουθώς το σήμα από τις οπτικές μονάδες ελέγχου διαμοιράζεται στους χρήστες είτε με απλή σύνδεση χάλκινου καλωδίου είτε με οπτική ίνα (διατάξεις FTTx που θα μελετηθούν στην

επόμενη ενότητα). Η διασύνδεση του χρήστη με το δίκτυο γίνεται είτε με οπτικές μονάδες δικτύου (ONU) είτε με οπτικά τερματικά δικτύου (ONT). Τα ONU χρησιμοποιούνται όταν η σύνδεση του χρήστη με το δίκτυο γίνεται μέσα στις τηλεπικοινωνιακές καμπίνες που υπάρχουν στα πεζοδρόμια. Τα ONT χρησιμοποιούνται όταν η οπτική ίνα φτάνει μέχρι τον χρήστη. Στην εικόνα παρακάτω φαίνεται ένα τυπικό παθητικό οπτικό δίκτυο.



Εικόνα 31: Παθητικό οπτικό δίκτυο ^[17]

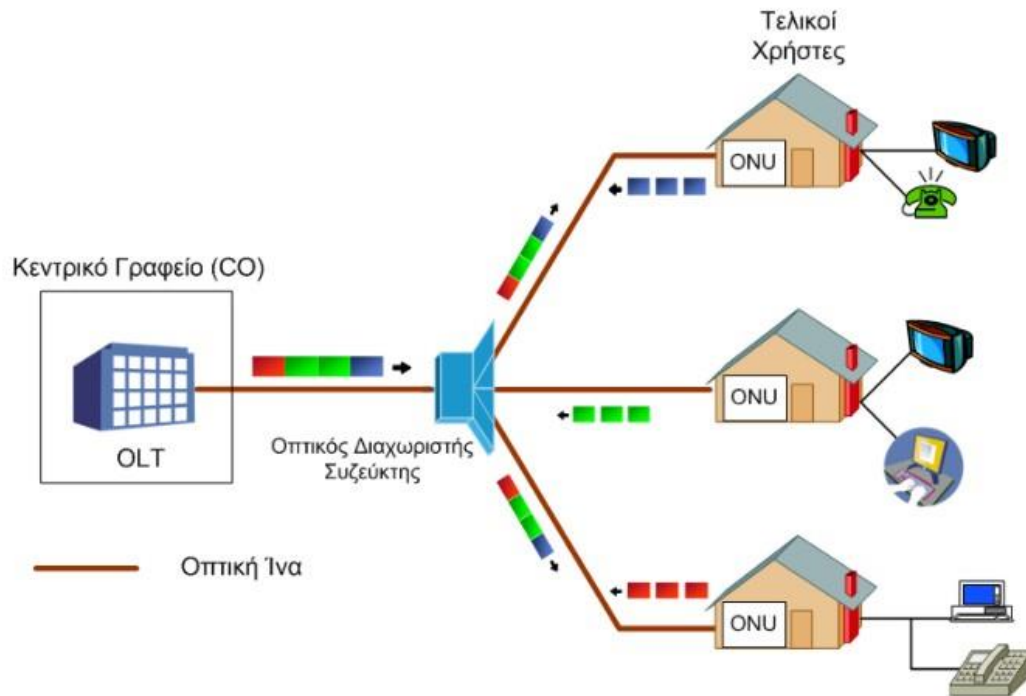
Τα παθητικά οπτικά συστήματα είναι η πλειοψηφία στα συστήματα τηλεπικοινωνιών γιατί έχουν αρκετά πλεονεκτήματα. Καταρχήν η χρήση συστημάτων που δεν απαιτούν ύπαρξη ηλεκτρικής ενέργειας καθιστά τα συστήματα αυτά ανθεκτικότερα σε δύσκολες εξωτερικές συνθήκες (κλιματολογικές, χώρος διέλευσης κλπ.). Ταυτόχρονα η μη ύπαρξη ηλεκτρικής τροφοδοσίας περιορίζει τις απαιτήσεις συντήρησης του συστήματος περιορίζοντας και το κόστος συντήρησης. Ταυτόχρονα περιορίζεται και το κόστος εγκατάστασης γιατί μια μόνο οπτική ίνα χρησιμοποιείται από πολλούς χρήστες μέσω διαμερισμού του σήματος.

Τα παθητικά οπτικά δίκτυα έχουν μερικά πολύ σημαντικά τεχνικά χαρακτηριστικά. Ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η δυνατότητα ευρυ-εκπομπής (broadcast) που επιτρέπει την χρήση τους για συστήματα καλωδιακής τηλεόρασης. Ένα άλλο είναι η δυνατότητα ύπαρξης αμφίδρομων υπηρεσιών (upstream – downstream). Σε αυτή την περίπτωση τα δίκτυα είναι

ρυθμισμένα ώστε τα upstream οπτικά σήματα και τα downstream οπτικά σήματα τα οποία διακινούνται μέσω της ίδιας οπτικής ίνας να έχουν διαφορετικό μήκος κύματος για να μην μπερδεύονται μεταξύ τους. Συνήθως τα upstream οπτικά σήματα έχουν μήκος κύματος 1310nm, και τα downstream οπτικά σήματα έχουν μήκος κύματος 1490nm. Η εκπομπή βίντεο γίνεται σε ένα τρίτο μήκος κύματος, στα 1550nm. Ειδικά τα σήματα upstream τα οποία ξεκινάνε από πολλούς χρήστες και καταλήγουν σε μια οπτική ίνα, στο κεντρικό δίκτυο πρέπει να είναι συγχρονισμένα ώστε να μην αλληλεπικαλύπτονται. Ο συγχρονισμός αυτός συνήθως γίνεται με πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου. Τα παθητικά οπτικά δίκτυα έχουν τρεις αρχιτεκτονικές δικτύου, το δέντρο την αρτηρία και τον δακτύλιο. Συνηθέστερα χρησιμοποιείται η διάταξη του δέντρου καθώς περιορίζει τις μεταβολές του σήματος.

Τα παθητικά οπτικά δίκτυα έχουν αναπτυχθεί ιστορικά σε τέσσερις τεχνολογίες, σε τέσσερα πρότυπα τα οποία έχουν τυποποιηθεί από την ομάδα εργασίας FSAN (Full Services Access Network – Ο σύνδεσμος των μεγαλύτερων παρόχων των ΗΠΑ δημιούργησε αυτή την ομάδα) και από το ινστιτούτο IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers). Κάθε ένα από τα πρότυπα αυτά θα μπορούσε να είναι από μόνο του ένα θέμα μιας εργασίας παρόλα αυτά περιληπτικά κάποια στοιχεία για αυτά τα τέσσερα πρότυπα παρουσιάζονται παρακάτω:

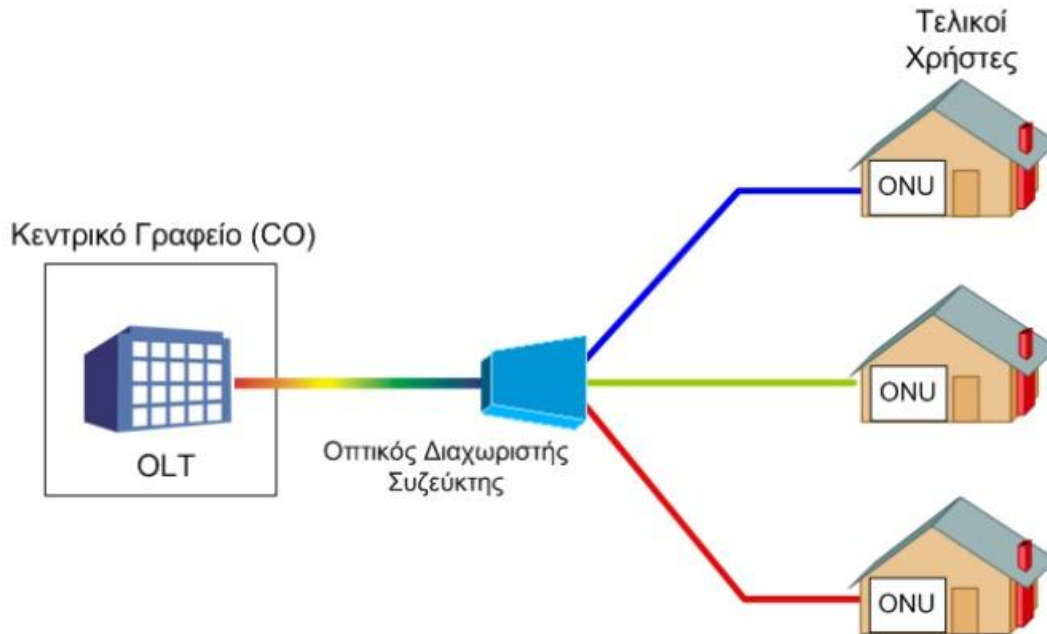
- ATM (APON): Είναι η πρώτη τεχνολογία η οποία χρησιμοποιήθηκε σε παθητικά δίκτυα και το μεγαλύτερο τμήμα της υπάρχουσας υποδομής βασίζεται στο πρότυπο αυτό. Παρείχαν δύο μήκη κύματος, ένα για λήψη και ένα άλλο για αποστολή δεδομένων.
- Broadband PON (BPON): Είναι η μετεξέλιξη των ATM και έλαβαν αυτή την ονομασία γιατί είχαν την δυνατότητα να μεταδώσουν και βίντεο μέσω της ευρυεκπομπής που τα χαρακτηρίζει. Αυτό έγινε εφικτό με την εισαγωγή ενός τρίτου μήκους κύματος που χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την παροχή υπηρεσιών βίντεο. Το μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι ότι χρησιμοποιούσαν την υποδομή της τεχνολογίας ATM έτσι δεν απαιτούνταν μεγάλα κόστη μετεξέλιξης.
- Gigabit PON (GPON): Είναι ένα νέο σύστημα το οποίο έρχεται να καλύψει τις ανάγκες για μεγαλύτερα εύρη ζώνης για τους χρήστες. Χρησιμοποιεί πολλές λειτουργίες και έχει πολλά πανομοιότυπα χαρακτηριστικά με το BPON ώστε να είναι συμβατό μαζί του. Έχει την δυνατότητα να υποστηρίζει έως και 32 χρήστες ανά ίνα σε μια μεταξύ τους απόσταση έως και 20 χιλιόμετρα. Η μορφή του φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 32: Παθητικό οπτικό δίκτυο GPON ^[17]

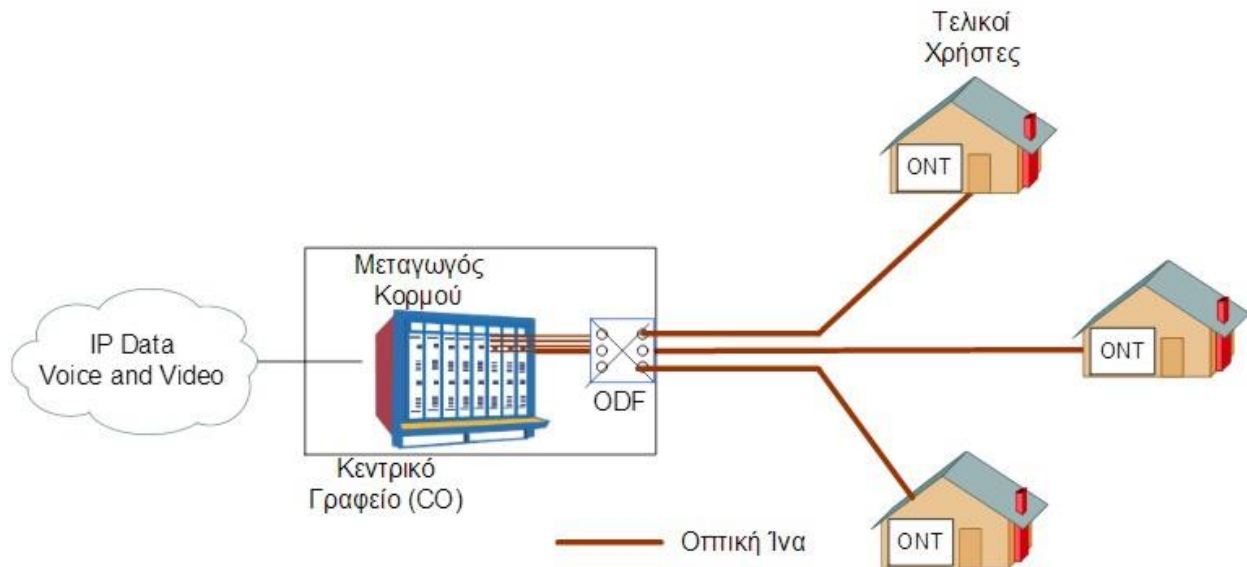
- Ethernet PON (EPON): Τα παθητικά οπτικά συστήματα που βασίζονται στην τεχνολογία Ethernet ονομάζονται EPON και αναπτύχθηκαν από την IEEE εν αντιθέσει με όλα τα προηγούμενα που αναπτύχθηκαν από την FSAN. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν την τεχνολογία Ethernet που προϋπάρχει για άλλες χρήσεις και είναι μια τεχνολογία χαμηλού κόστους.

Μια εντελώς ανεξάρτητη κατηγορία παθητικών συστημάτων είναι τα WDM-PON. Όλα τα προηγούμενα παθητικά συστήματα χρησιμοποιούσαν πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (TDM) για την μετάδοση του σήματος ώστε αυτά τα σήματα να μην μπερδεύονται. Τα WDM παθητικά συστήματα χρησιμοποιούν πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (WDM). Αυτό συνεπάγεται ότι κάθε χρήστης κάνει upstream και downstream σε διαφορετικό μήκος κύματος. Τα συστήματα αυτά παρέχουν μεγαλύτερα εύρη ζώνης από τα προηγούμενα αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μερικές δεκάδες χρηστών λόγω της πολυπλεξίας διαίρεσης μήκους κύματος. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ένα παθητικό οπτικό δίκτυο WDM.



Εικόνα 33: Παθητικό οπτικό σύστημα WDM ^[17]

Τέλος, υπάρχει άλλη μια κατηγορία παθητικών οπτικών συστημάτων τα point to point (P2P). Τα συστήματα αυτά, όπως και τα ενεργά P2P, συνδέουν τον πάροχο με τον χρήστη με μια οπτική ίνα αποκλειστικά για δική του χρήση. Μάλιστα υπάρχει η δυνατότητα η εγκατάσταση να αποτελείται από δύο οπτικές ίνες, μια για το upstream και μια για το downstream. Το παθητικό σύστημα P2P επιτρέπει στον χρήστη να χρησιμοποιεί το μέγιστο δυνατό εύρος ζώνης από όλες τις τεχνολογίες. Επίσης έχει το ισχυρότερο σήμα κάτι που επιτρέπει δίκτυο να φτάνει σε απόσταση έως και 80km. Το πρόβλημα του όμως είναι το κόστος γιατί τώρα η ίνα δεν μοιράζεται από πολλούς χρήστες. Έτσι για να καλυφθούν οι ίδιοι χρήστες απαιτούνται περισσότερες οπτικές ίνες κάτι που αυξάνει τόσο το κόστος εγκατάστασής όσο και το κόστος διαχείρισης και συντήρησης του κτιρίου. Στην επόμενη εικόνα διακρίνεται ένα παθητικό σύστημα P2P. ^{[4], [17], [20]}



Εικόνα 34: Παθητικό οπτικό σύστημα P2P ^[17]

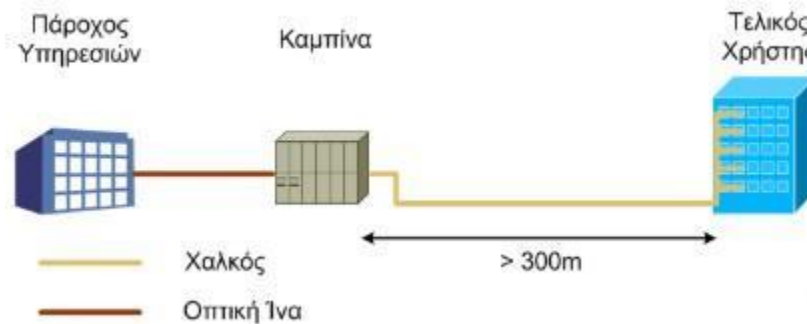
3.2.3 Δίκτυα Fiber To The x

Δίκτυα Fiber To The x (FTTx) ονομάζονται όλα τα δίκτυα τα οποία φέρουν οπτική ίνα προς αντικατάσταση μέρους ή ακόμη και όλου του μεταλλικού τμήματος που χρησιμοποιείται στο τελευταίο σκέλος του δικτύου. Ως τελευταίο σκέλος του δικτύου ορίζεται το σκέλος το οποίο φτάνει στον καταναλωτή και θεωρείται πως διαστασιολογικά είναι μικρότερο από 1 μίλι. Για αυτό διεθνώς ονομάζεται Last mile telecommunication. Στο σκέλος αυτό ακόμη και σήμερα επικρατούν οι τεχνολογίες xDSL των οποίων η ανάλυση ξεφεύγει τον στόχων της παρούσας εργασίας. Δειλά δειλά η οπτική ίνα πλησιάζει όμως όλο και περισσότερο αρχίζοντας να εξαλείφει ή να περιορίζει τα συμβατικά χάλκινα καλώδια.

Οι τεχνολογίες Fiber To The x διαφέρουν λοιπόν στο γράμμα που τελειώνει η ονομασία τους, το «x», και επί της ουσίας προσδιορίζει τον χώρο που σταματά η οπτική ίνα και ξεκινάει το καλώδιο χαλκού. Κριτήριο διαχωρισμού λοιπόν είναι το μήκος του χάλκινου καλωδίου που χρησιμοποιείται από το τέλος της οπτικής ίνας μέχρι τον χρήστη. Οι συνηθέστερες διατάξεις είναι τέσσερεις, οι ακόλουθες:

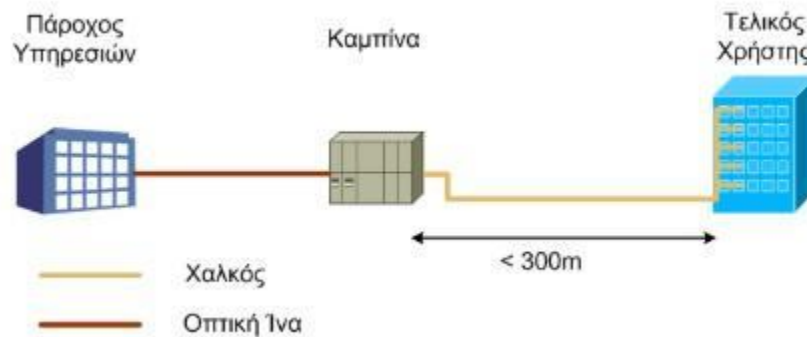
- FTTN (Fiber To The Neighborhood): Στην διάταξη αυτή η οπτική ίνα φτάνει μέχρι την γειτονιά δηλαδή το καλώδιο που χρησιμοποιείται από εδώ και πέρα έχει μήκος μεγαλύτερο

των 300 μέτρων και φτάνει έως και το ένα μίλι. Επιτρέπει συνδέσεις με ταχύτητες της τάξεως των 100Mbps. Στην εικόνα παρακάτω φαίνεται ένα δίκτυο FTTN.



Εικόνα 35: Δίκτυο FTTN ^[17]

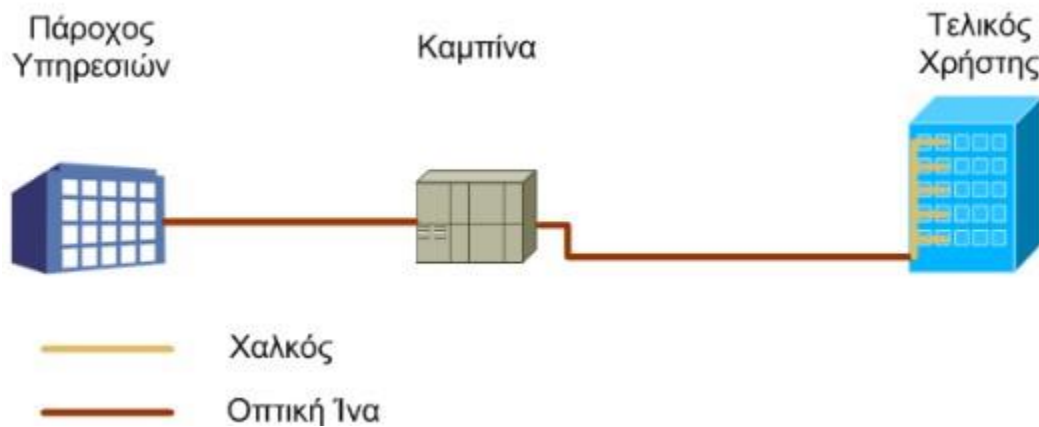
- FTTC (Fiber To The Cure ή Fiber To The Cabinet): Στην διάταξη αυτή η οπτική ίνα φτάνει μέχρι το ρείθρο του δρόμου ή μέχρι την τηλεπικοινωνιακή καμπίνα που βρίσκεται στο πεζοδρόμιο. Ακολούθως χρησιμοποιείται το χάλκινο καλώδιο για την σύνδεση του χρήστη το οποίο όμως έχει μήκος μικρότερο των 300 μέτρων. Στην ουσία η απόσταση καμπίνας και χρήστη είναι αυτή που το διακρίνει σε σχέση με το FTTN. Η διάταξη FTTC επιτρέπει ταχύτητες της τάξεως του 1Gbps. Στην επόμενη εικόνα διακρίνεται ένα δίκτυο FTTC.



Εικόνα 36: Δίκτυο FTTC ^[17]

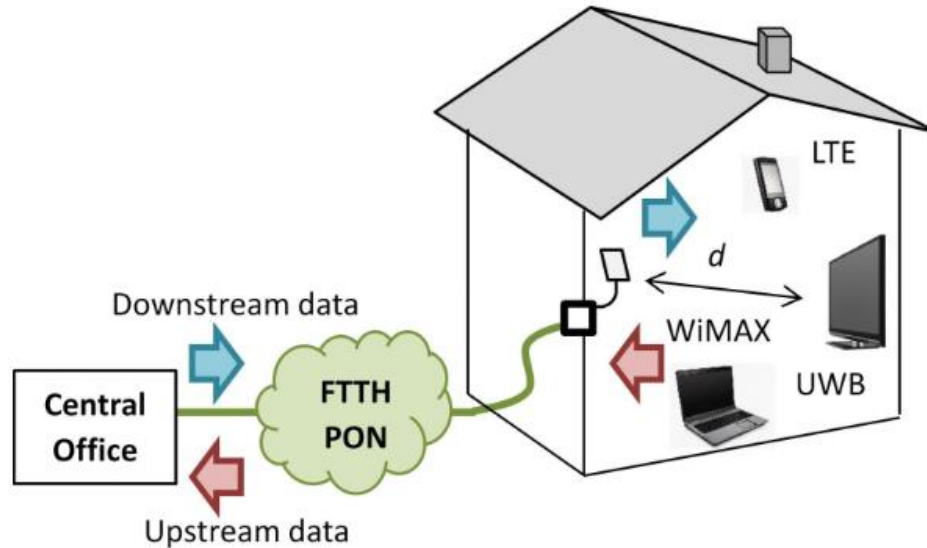
- FTTB (Fiber To The Building): Στην διάταξη αυτή η οπτική ίνα φτάνει και τερματίζει στο κτίριο που βρίσκονται οι χρήστες. Ακολούθως γίνεται διαμοιρασμός του στους χρήστες. Το χάλκινο καλώδιο λοιπόν περιορίζεται σε μήκος τέτοιο όσο απαιτείται από την δόμηση του κτιρίου επιτρέποντας πρακτικά απεριόριστη μεταφορά δεδομένων. Το σύστημα αυτό

συνήθως χρησιμοποιείται σε μεγάλες επιχειρήσεις όπου το καλώδιο της οπτικής ίνας τερματίζει εντός της επιχείρησης και γίνεται διαμοιρασμός σε όλους τους χρήστες της επιχείρησης. Αυτό έγινε γιατί πολλές φορές ήταν δύσκολη η περαιτέρω αλλαγή των χάλκινων καλωδίων εντός της επιχείρησης, συνήθως γιατί ήταν εγκατεστημένα μέσα στο κέλυφος του κτιρίου. Είναι μια πρόδρομη μορφή του δικτύου FTTH που ακολουθεί. Για αυτό και πολλές φορές αναφέρεται στην βιβλιογραφία και ως Fiber To The Business. Παρακάτω διακρίνεται ένα δίκτυο FTTB.



Εικόνα 37: Δίκτυο FTTB ^[17]

- FTTH (Fiber To The Home): Είναι η τελευταία εξέλιξη στην τεχνολογία των επικοινωνιών σε τοπικό επίπεδο. Πλέον το δίκτυο της οπτικής ίνας τερματίζει κατευθείαν στον χρήστη καταργώντας τα καλώδια χαλκού. Σε αυτά τα δίκτυα το τερματικό της οπτικής ίνας είναι ιδιοκτησίας του συνδρομητή πλέον και όχι του παρόχου. Σε αυτή την διάταξη εξασφαλίζεται η μεγαλύτερη δυνατή χωρητικότητα του δικτύου και κατά συνέπεια η μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται το δίκτυο FTTH. ^{[4], [17]}

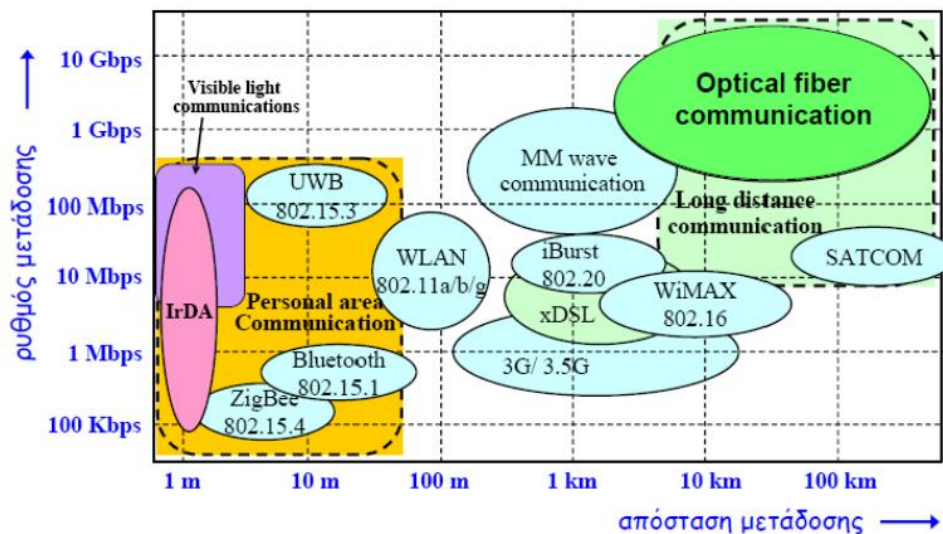


Εικόνα 38: Δίκτυο FTTH ^[29]

3.3 Πλεονεκτήματα οπτικών δικτύων σε σχέση με συμβατικά δίκτυα

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα οπτικών ινών πλέον έχουν αρχίσει να επικρατούν. Μάλιστα η τάση είναι η εξαφάνιση των συμβατικών δικτύων, κάτι που στα μητροπολιτικά κέντρα αναμένεται να γίνει μέσα στην επόμενη δεκαετία. Ο λόγος που τα δίκτυα οπτικών ινών επικρατούν των συμβατικών δικτύων είναι ο αριθμός των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν. Συγκεκριμένα τα πλεονεκτήματα των οπτικών δικτύων μπορούν να συμπυκνωθούν στα παρακάτω σημεία.

- Το εύρος ζώνης είναι πολύ μεγαλύτερο, της τάξεως των 10Gbps το οποίο μπορεί να αυξηθεί ακόμη περισσότερο με τις τεχνικές πολυπλεξίας μήκους κύματος. Μπορεί να φτάσει σε ένα τυπικό οπτικό δίκτυο τα 1,6Tbps. Ανά κανάλι μπορεί να μεταφερθούν έως και 448 Gbit/s κάτι που συνεπάγεται ταυτόχρονη εξυπηρέτηση 2 τρισεκατομμυρίων τηλεφωνικών κλήσεων ανά δευτερόλεπτο.
- Οι απώλειες σήματος στα οπτικά δίκτυα είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με τα συμβατικά δίκτυα. Αυτό επιτρέπει λήψη καλύτερου σήματος από τους χρήστες σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις που όπως έχουμε δει στις προηγούμενες ενότητες μπορούν να φτάσουν και τα 80 χιλιόμετρα (χωρίς ενίσχυση). Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται οι τεχνολογίες δικτύων τηλεπικοινωνιών. Στον ένα άξονα είναι η απόσταση μετάδοσης και στον άλλο άξονα ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων. Τα οπτικά δίκτυα βρίσκονται στην βέλτιστη θέση, μέγιστης απόστασης και μέγιστου ρυθμού.



Εικόνα 39: Ρυθμός μετάδοσης και απόσταση μετάδοσης δεδομένων διάφορων τεχνολογιών ^[19]

- Ταυτόχρονα, εξαιτίας της χαμηλής απώλειας σήματος απαιτούνται πολύ λιγότεροι ενισχυτές κάτι που διευκολύνει την διαχείριση του δικτύου και περιορίζει τα ενδεχόμενα βλαβών.
- Η μη ύπαρξη χάλκινων καλωδίων στα οπτικά δίκτυα (ή εν πάση περιπτώσει η περιορισμένη χρήση τους σε μικρά μήκη) περιορίζει τις μαγνητικές παρεμβολές στο δίκτυο που μπορεί να αυξάνουν το θόρυβο και να οδηγούν ακόμη και σε μεταβολή του σήματος.
- Δεδομένου του ότι η πρώτη ίνα είναι κατασκευασμένη είτε από πολυμερές είτε από γυαλί, υλικά τα οποία είναι κακοί αγωγοί της ηλεκτρικής ενέργειας, τα οπτικά δίκτυα παρέχουν μεγαλύτερη ασφάλεια καθώς δεν υπάρχει το ενδεχόμενο της ηλεκτροπληξίας.
- Η ακτινοβολία που διέρχεται στις οπτικές ίνες είναι σε τέτοια μήκη κύματος που δεν είναι επιβλαβής για τον άνθρωπο ειδικότερα και για το περιβάλλον γενικότερα.
- Τα οπτικά δίκτυα είναι πολύ μικρότερα σε μέγεθος καθώς οι οπτικές ίνες είναι μικρές σε διάμετρο και εμφανίζουν πολύ μεγάλη χωρητικότητα δεδομένων. Αυτό επιτρέπει ευκολότερο σχεδιασμό και διαχείριση των δικτύων αυτών και περιορίζει το κόστος τους.
- Τα οπτικά δίκτυα είναι πολύ ασφαλή σε θέματα υποκλοπών. Η ροή φωτεινής ακτινοβολίας δεν δημιουργεί ηλεκτρομαγνητικά πεδία έτσι δεν μπορεί να υποκλαπεί κατά την διαδρομή της. Έτσι αν εξασφαλίζεται η ασφάλεια στον πάροχο και στον χρήστη τότε το οπτικό δίκτυο δεν υποκλέπεται.

- Τα οπτικά δίκτυα δεν χρησιμοποιούν καθόλου ηλεκτρικά σήματα. Μάλιστα σε ένα μεγάλο εύρος τους, ειδικά στις συνδέσεις προς τους χρήστες, δεν φέρουν καθόλου ενισχυτές. Αυτό συνεπάγεται ότι δεν χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια σε αυτό το σκέλος τους. Συνέπεια αυτού είναι να έχουν πολύ χαμηλότερες απαιτήσεις κατανάλωσης ενέργειας έτσι είναι πιο οικονομικά από πλευράς κόστους λειτουργίας και πιο φιλικά προς το περιβάλλον. ^{[18], [19]}

4 Χρήση και αγορά οπτικών ινών

4.1 Πεδία χρήσης οπτικών ινών

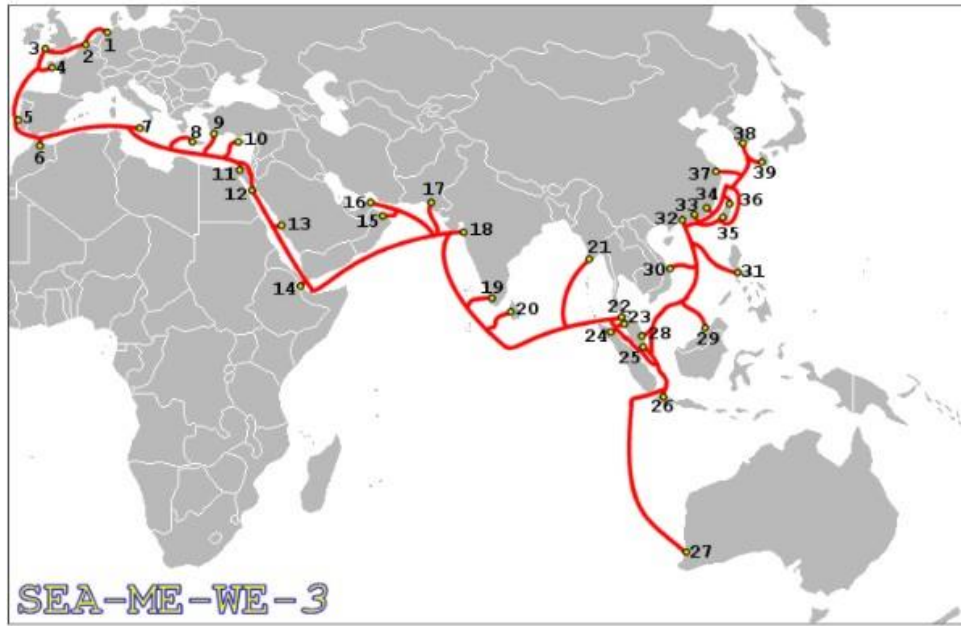
Οι οπτικές ίνες έχουν βρει πάρα πολλές εφαρμογές την τελευταία 20ετία όταν άρχισαν να παράγονται μαζικά με αποτέλεσμα το κόστος τους να είναι προσιτό. Η διάδοση του φωτός στο εσωτερικό τους επέτρεψε στους επιστήμονες να δημιουργήσουν χιλιάδες εφαρμογές οι οποίες φέρουν οπτικές ίνες. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται επιγραμματικά οι σημαντικότερες εφαρμογές ανά τομέα. Εξετάζονται οι τομείς των τηλεπικοινωνιών, των στρατιωτικών επικοινωνιών, της ιατρικής επιστήμης, της μετρητικής τεχνολογίας και της διακόσμησης.

4.1.1 Τηλεπικοινωνίες

Οι τηλεπικοινωνίες είναι ο τομέας που έχει αποκομίσει τα σημαντικότερα κέρδη από την χρήση των οπτικών ινών. Τα πλεονεκτήματα των οπτικών δικτύων σε σχέση με τα συμβατικά παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αποτέλεσμα λοιπόν αυτών των πλεονεκτημάτων είναι η ευρεία χρήση των οπτικών ινών σε τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές. Αυτή την στιγμή οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90% στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα μεγάλων αποστάσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα το καλώδιο SEA-ME-WE το οποίο έχει ποντιστεί, ξεκινάει από τον Ατλαντικό ωκεανό, περνάει από την Μεσόγειο και την Ερυθρά θάλασσα και κινείται σε όλο τον Ινδικό ωκεανό συνδέοντας τις χώρες της Δυτικής Ευρώπης, τις χώρες της Μεσογείου, τις Αραβικές χώρες, τις χώρες της κεντρικής Ασίας, και καταλήγει σε μια διακλάδωση που εκτείνεται ως την Αυστραλία και σε μια δεύτερη που φτάνει στην Κορέα και την Ιαπωνία. Στην εικόνα στο τέλος της ενότητας βλέπουμε την διαδρομή αυτής της οπτικής ίνας η οποία έχει συνολικό μήκος 39000 χιλιόμετρα και έχει την ικανότητα να μεταφέρει 480Gbps ανά ζευγάρι οπτικής ίνας.

Πέραν από τα δίκτυα μεγάλων αποστάσεων τα οπτικά δίκτυα πλέον επικρατούν με ποσοστό μεγαλύτερο του 50% και στα τοπικά οπτικά δίκτυα. Και με τον όρο τοπικά οπτικά δίκτυα εννοούμε τα μητροπολιτικά δίκτυα, δίκτυα εντός των κρατών, των περιφερειών, των αστικών κέντρων. Επιπλέον τα οπτικά δίκτυα, διαμέσου της αρχιτεκτονικής FTTH άρχισαν να καταργούν τα συμβατικά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα φτάνοντας μέχρι τον τελικό χρήστη. Μπορεί το ποσοστό εφαρμογής των οπτικών ινών στο τελευταίο μίλι των τηλεπικοινωνιακών συνδέσεων να είναι

μικρό, ακόμη επικρατούν οι συνδέσεις xDSL παρόλα αυτά η αύξησή του γίνεται με ραγδαίους ρυθμούς. Τέλος, η τελευταία τηλεπικοινωνιακή εφαρμογή είναι η χρήση τους για την παροχή καλωδιακής τηλεόρασης στους χρήστες. Μάλιστα υπάρχει η δυνατότητα συνδυαστικών πακέτων FTTH και καλωδιακής τηλεόρασης. ^[14]



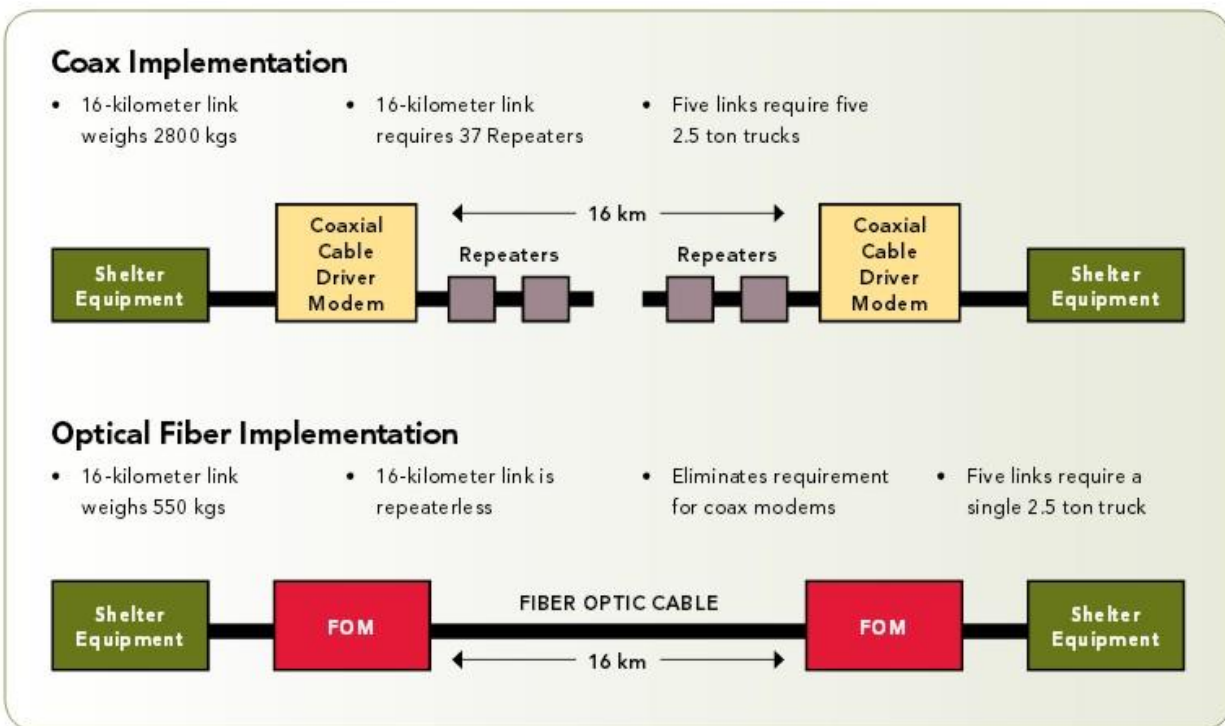
Εικόνα 40: Δίκτυο οπτικής ίνας SEA-ME-WE ^[14]

4.1.2 Στρατιωτικές επικοινωνίες

Οι στρατιωτικές εφαρμογές είναι ένα πεδίο έρευνας το οποίο συνήθως ξεκινάει πολύ νωρίτερα από την εμφάνιση των τεχνολογιών στην ευρύτερη αγορά γιατί εξασφαλίζει στρατηγικά πλεονεκτήματα. Έτσι λοιπόν οι οπτικές ίνες εμφανίζονται σε στρατιωτικές εφαρμογές από τα τέλη της δεκαετίας του 80 με πρωτοπόρο τον στρατό των ΗΠΑ. Οι στρατιωτικές χρήσεις των οπτικών ινών είναι ευρείας κλίμακας. Χρησιμοποιούνται σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα, σε οπτικά συστήματα, σε αισθητήρες, σε radar, σε μη επανδρωμένα οχήματα μεταξύ άλλων.

Η κυριότερη χρήση των οπτικών ινών στον στρατό, και η πιο σημαντική, είναι στα συστήματα τηλεπικοινωνιών. Πέραν όλων των πλεονεκτημάτων των οπτικών τηλεπικοινωνιακών δικτύων που παρουσιάστηκαν παραπάνω ο στρατός ενδιαφέρεται για τα οπτικά δίκτυα εξαιτίας της ασφάλειας που προσφέρουν. Έχει ήδη καταγραφεί η αιτία που το οπτικό σήμα το οποίο διέρχεται της ίνας δεν μπορεί να υποκλαπεί. Αυτό επιτρέπει στον στρατό να δημιουργήσει

συστήματα επικοινωνιών ασφαλή και αξιόπιστα, να μεταφέρει πληροφορίες χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος να υποκλαπούν από κάποιον, παρά μόνο με την παρουσία κατασκόπου. Έτσι τα δίκτυα οπτικών ινών είναι ασφαλέστερα και απλούστερα αφού δεν απαιτούν κρυπτογράφηση. Για αυτό τον λόγο ο στρατός δεν χρησιμοποιεί τις οπτικές ίνες μόνο για μεταφορά δεδομένων σε μακρινές αποστάσεις. Τις χρησιμοποιεί ακόμη και για επικοινωνία σε μικρές αποστάσεις γιατί του εξασφαλίζουν την ασφάλεια που απαιτεί. Μάλιστα σε δίκτυα μικρών αποστάσεων, μικρότερων των 20 χιλιομέτρων, δεν απαιτείται καν η χρήση ενισχυτών όπως έχουμε παρουσιάσει με αποτέλεσμα να είναι πολύ απλούστερα τα δίκτυα επικοινωνιών. Ήδη το 1989 στην Αμερική βρίσκεται σε παραγωγή το σύστημα COMM/SEC, το πρώτο μη κρυπτογραφημένο σύστημα τηλεπικοινωνιών. Η μελέτη τέτοιων συστημάτων επικοινωνίας είχε ξεκινήσει από το 1981. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η πολύ απλή δομή ενός στρατιωτικού τηλεπικοινωνιακού δικτύου και τα αναγράφονται τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει σε σχέση με ένα δίκτυο αποτελούμενο από συμβατικό καλώδιο. [5], [25]



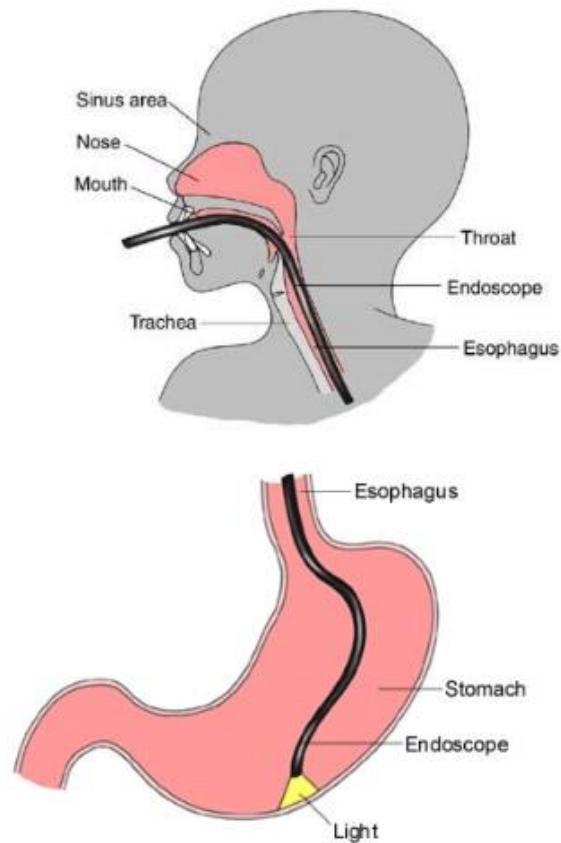
Εικόνα 41: Σύγκριση συμβατικού με οπτικό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο στρατιωτικής χρήσης [25]

4.1.3 Ιατρική επιστήμη

Ένα άλλο πεδίο χρήσης των οπτικών ινών είναι η ιατρική. Στην επιστήμη της ιατρικής υπάρχουν πολλά σημεία τα οποία είναι απρόσιτα στην ανθρώπινη όραση και με κάποιο τρόπο πρέπει να εξεταστούν. Το όργανο που εκτελεί αυτές τις εξετάσεις ονομάζεται ενδοσκόπιο και είναι η κυριότερη εφαρμογή της οπτικής ίνας στο ιατρικό πεδίο.

Το ενδοσκόπιο είναι ένα ιατρικό εργαλείο το οποίο αποτελείται από ένα λεπτό εύκαμπτο σωλήνα ο οποίος διεισδύει στο σώμα του ασθενούς από το στόμα, την μύτη ή τον πρωκτό. Στην άκρη του σωλήνα υπάρχει μια κάμερα η οποία καταγράφει εικόνα από την προς εξέταση περιοχή. Επίσης υπάρχει μια λάμπα η οποία φωτίζει την περιοχή αυτή έτσι ώστε η εικόνα που καταγράφει η κάμερα να είναι ευκρινής. Η ανάγκη διέλευσης φωτός και εικόνας ταυτόχρονα από το καλώδιο κατέστησε τις οπτικές ίνες ιδανικές για την εφαρμογή αυτή. Έτσι με ένα καλώδιο που περιέχει αρκετές οπτικές ίνες γίνεται η μεταφορά του φωτός προς την περιοχή εξέτασης (μια οπτική ίνα) και η μεταφορά της εικόνας από την περιοχή εξέτασης (υπόλοιπες οπτικές ίνες). Ο αριθμός των οπτικών ινών που καταλήγουν από την κάμερα στον χρήστη είναι σημαντικός καθώς καθορίζει τον όγκο δεδομένων που μπορεί να καταγραφεί από την κάμερα άρα και την λεπτομέρεια, την ανάλυση της εικόνας που λαμβάνει ο χειριστής. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η χρήση του ενδοσκοπίου για την εξέταση στο στομάχι.

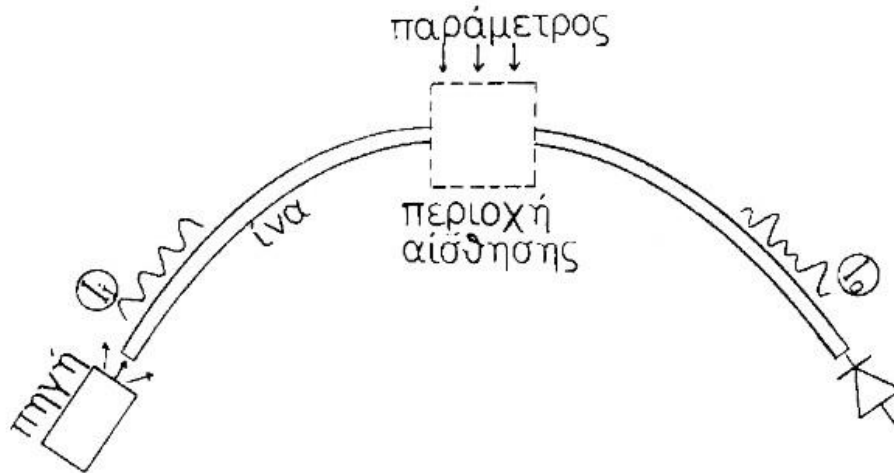
Πέραν του ενδοσκοπίου οι οπτικές ίνες βρίσκουν και άλλες εφαρμογές στην ιατρική. Χρησιμοποιούνται για παράδειγμα στην οφθαλμιατρική για την μεταφορά φωτός με συστήματα προσαρμογής στο κεφάλι του ιατρού. Χρησιμοποιούνται στην οδοντιατρική σε κάμερες στόματος οι οποίες απεικονίζουν τα δόντια του ασθενούς. Χρησιμοποιούνται από χειρουργούς οι οποίοι χειρουργούν με laser ώστε να μεταφέρουν την ακτινοβολία laser από τον πομπό στο σημείο της εγχείρησης. Με την εξέλιξη της ιατρικής επιστήμης αναμένεται να βρουν ακόμη περισσότερες χρήσεις.^[21]



Εικόνα 42: Χρήση ενδοσκοπίου οπτικής ίνας για εξέταση στο στομάχι ^[21]

4.1.4 Μετρητική τεχνολογία – Αυτοματισμοί βιομηχανίας

Οι αισθητήρες οπτικών ινών είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας τον τομέα της μετρητικής – διαγνωστικής τεχνολογίας. Είναι οι αισθητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούν την ακτινοβολία που φτάνει σε αυτούς από μια οπτική ίνα για να μετρήσουν την μεταβολή της τιμής ενός μεγέθους. Η λειτουργία τους σε γενικές γραμμές είναι πανομοιότυπη. Φως από ένα πομπό, διαμέσου μιας οπτικής ίνας διέρχεται από την περιοχή μέτρησης, διαμορφώνεται αναλόγως της επίδρασης της προς μέτρηση παραμέτρου, εισέρχεται σε μια δεύτερη οπτική ίνα και καταλήγει στον ανιχνευτή. Η προς μέτρηση παράμετρος συνήθως διαμορφώνει την ακτινοβολία κατά ένταση ή κατά φάση. Αυτές τις διαμορφώσεις, τις τροποποιήσεις από την αρχικά εκπεμπόμενη ακτινοβολία, ανιλαμβάνεται ο ανιχνευτής και τις μετατρέπει σε μέτρηση. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε την δομή ενός απλού αισθητήρα οπτικών ινών.



Εικόνα 43: Τυπική δομή αισθητήρα οπτικών ινών ^[7]

Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι αισθητήρων οπτικών ινών οι οποίοι χρησιμοποιούνται για μετρήσεις. Οι σημαντικότεροι τύποι είναι ο αισθητήρας μιας οπτικής ίνας, ο αισθητήρας δύο οπτικών ινών, ο αισθητήρας μια οπτικής ίνας διπλού πυρήνα και ο αισθητήρας πολλαπλής συμβολής. Κάθε τύπος έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που τον καθιστούν ιδανικό για συγκεκριμένες εφαρμογές.

Οι αισθητήρες οπτικών ινών χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν πλειάδα μεγεθών. Τέτοια μεγέθη είναι η θερμοκρασία, το μαγνητικό πεδίο, η περιστροφή (γυροσκόπιο), η πίεση ακουστικών κυμάτων (υδρόφωνο), η χημική σύσταση και άλλα. Οι οπτικοί αισθητήρες μέτρησης είναι ένα τεράστιο κεφάλαιο που από μόνο του αποτελεί αντικείμενο συνεχούς έρευνας. Περαιτέρω ανάλυσή του ξεφεύγει των στόχων της παρούσας εργασίας. ^[7]

4.1.5 Διακόσμηση

Μια τελευταία εφαρμογή των οπτικών ινών, τελείως διαφορετική από όλες τις προηγούμενες είναι η διακόσμηση. Οι οπτικές ίνες έχουν την δυνατότητα μεταφοράς ακτινοβολίας διαφορετικού μήκους κύματος κάτι που τους επιτρέπει να μεταφέρουν φως διαφορετικού χρώματος. Έτσι ένα καλώδιο που έχει αρκετές οπτικές ίνες μέσα μπορεί να μεταφέρει αρκετές ακτινοβολίες με διαφορετικό μήκος κύματος και χρώμα.

Αυτή ακριβώς την δυνατότητα των οπτικών ινών εκμεταλλεύονται οι διακοσμητές για να μεταφέρουν φως διαφόρων χρωματικών αποχρώσεων στα σημεία που θέλουν να διαμορφώσουν.

Στο άκρο των οπτικών ινών τοποθετούνται διάφορα αξεσουάρ όπως για παράδειγμα σποτάκια ή κρύσταλλα τα οποία διαφοροποιούν το αισθητικό αποτέλεσμα. Αυτό επιτρέπει την δημιουργία πάρα πολλών διακοσμητικών εφέ όπως για παράδειγμα οι έναστρες οροφές, οι πολυέλαιοι, οι κρυφοί φωτισμοί, ή σήμανση και πάρα πολλά άλλα που μπορεί να φανταστεί ο διακοσμητής.

Πέραν της ικανότητας μεταφοράς ακτινοβολίας διαφορετικού χρώματος οι οπτικές ίνες έχουν ακόμη μερικά χαρακτηριστικά τα οποία τις καθιστούν ιδανικές για διακόσμηση. Καταρχήν εμφανίζουν χαμηλή κατανάλωση, ειδικά όσες έχουν πομπό LED. Κατά δεύτερον δεν μεταφέρουν υπεριώδη ακτινοβολία άρα δεν φθείρουν αντικείμενα μεγάλης αξίας όπως πίνακες τέχνης και αρχαία ευρήματα. Κατά τρίτον μεταφέρουν φως και όχι ηλεκτρικό ρεύμα έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια σε μέρη που επικρατεί το υδάτινο στοιχείο όπως στις πισίνες ή στα ενυδρεία. Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε την δημιουργία ενός εφέ σε πισίνα με χρήση οπτικών ινών στο βάθος της πισίνας. ^[30]

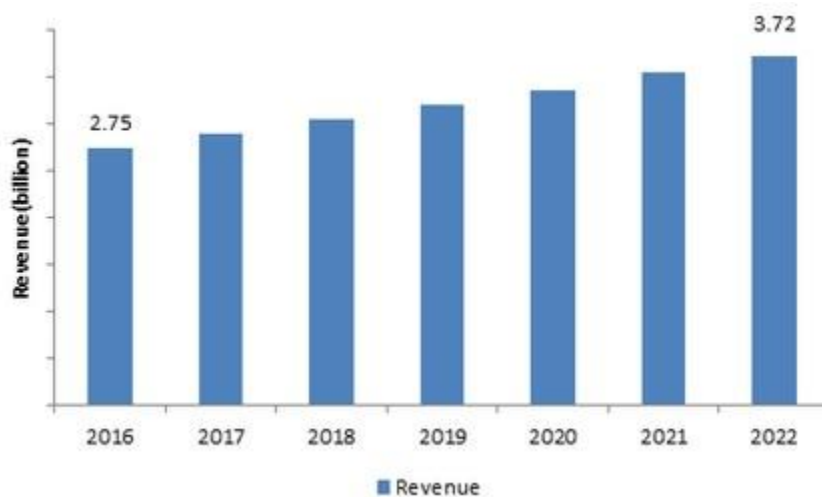


Εικόνα 44: Διακόσμηση πισίνας με χρήση φωτός από οπτικές ίνες ^[30]

4.2 Αγορά οπτικών ινών

Η χρήση των οπτικών ινών αυξάνεται μέρα με την μέρα. Ειδικά στον τομέα των τηλεπικοινωνιών η αύξηση είναι αλματώδης γιατί τα πλεονεκτήματα που προφέρουν τα οπτικά δίκτυα είναι πολύ μεγάλα. Ανά το παγκόσμιο η αγορά οπτικών ινών έφτασε σε τερατώδη μεγέθη.

Το 2016 παράχθηκαν οπτικές ίνες αξίας 2,75 δισεκατομμυρίων δολαρίων ενώ προβλέπεται ότι μέχρι το 2022 το ποσό αυτό θα αυξηθεί κατά περίπου 30% και θα φτάσει τα 3,72 δισεκατομμύρια δολάρια. Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται η ανάπτυξη της αγοράς έως το 2017 και πρόβλεψη πενταετίας, έως το 2022.

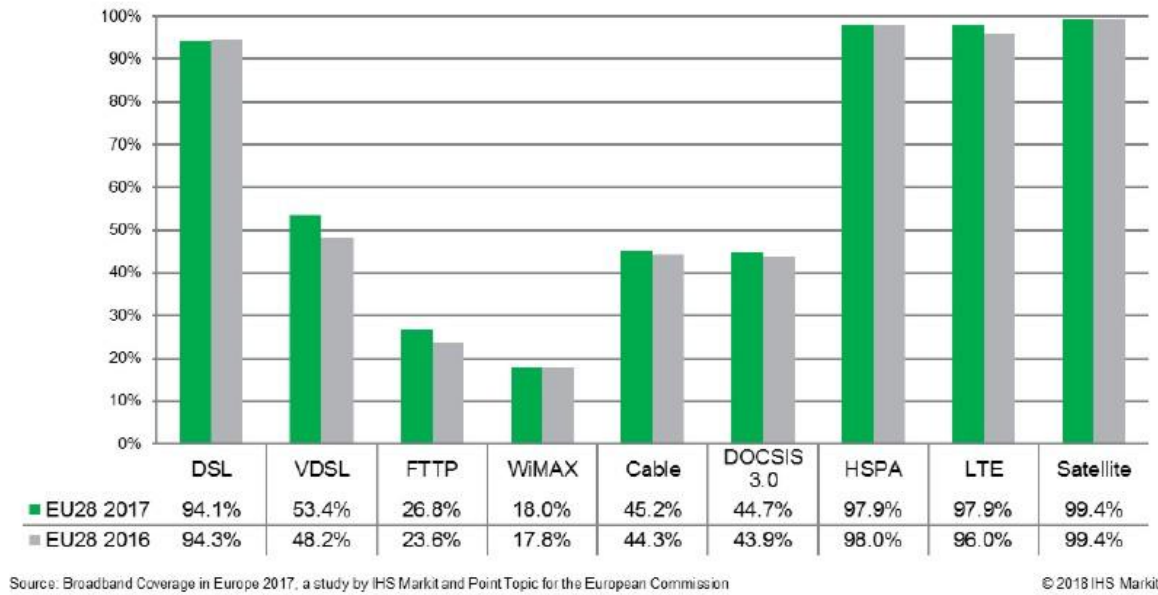


Εικόνα 45: Μέγεθος αγοράς οπτικών ινών ^[31]

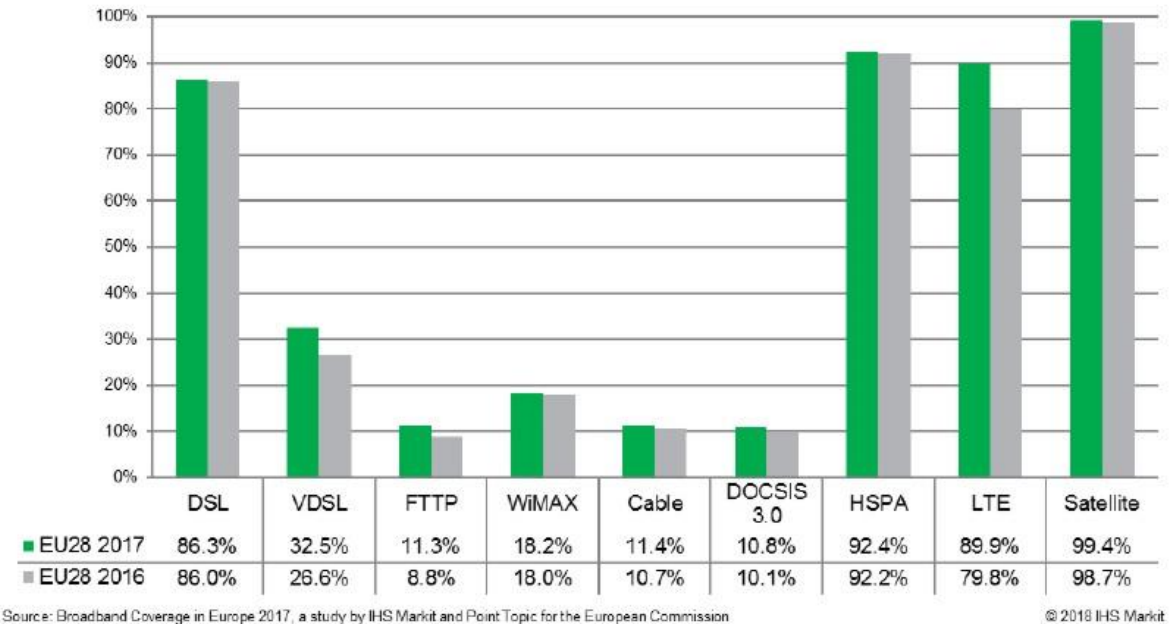
Μια από τις κυριότερες εφαρμογές είναι η χρήση για τηλεπικοινωνίες. Ήδη έχουν ποσοστό σχεδόν 100% σε εγκαταστάσεις μεγάλου μήκους και όγκου. Όμως μεγάλα είναι τα περιθώρια ανάπτυξης περαιτέρω των οπτικών δικτύων που φθάνουν μέχρι τον τελικό χρήστη. Στην Ευρώπη τα δίκτυα FTTH το 2007 έφταναν περίπου τα 2 εκατομμύρια και το 2014 φτάνουν τα 31 εκατομμύρια. Και προβλέπεται πως στο τέλος του παρόντος χρόνου θα υπερδιπλασιαστούν, θα ξεπεράσουν τα 70 εκατομμύρια.

Το μεγάλο πρόβλημα στην Ευρώπη, και ο λόγος για τον οποίο οι συνδέσεις παραμένουν σε χαμηλό αριθμό, είναι η μικρή κάλυψη. Στα παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε την κάλυψη στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 28, στο σύνολο της επικράτειας και στις περιοχές εκτός των αστικών κέντρων, από διάφορες τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών. Παρατηρούμε ότι οι τεχνολογίες οπτικών ινών παροχής μέχρι τον καταναλωτή FTTP (to the Property – αθροίζουν τεχνολογίες FTTH και FTTPBusiness) καλύπτουν το 26,8% του συνόλου της επικράτειας (στοιχεία του 2017). Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται ότι η αύξηση είναι μεγάλη καθώς το 2016 κάλυπταν το 23,6% της Ευρωπαϊκής Επικράτειας. Και πάλι όμως η αύξηση αυτή δεν επαρκεί. Και ειδικότερα το πρόβλημα είναι στις απομακρυσμένες περιοχές, στις περιοχές εκτός των αστικών κέντρων. Σε

αυτές τις περιοχές η κάλυψη φτάνει μόνο το 11,3% και είναι πολύ μικρή αν και αυξημένη σε σχέση με το 2016 που ήταν στο ισχνό 8,8%.

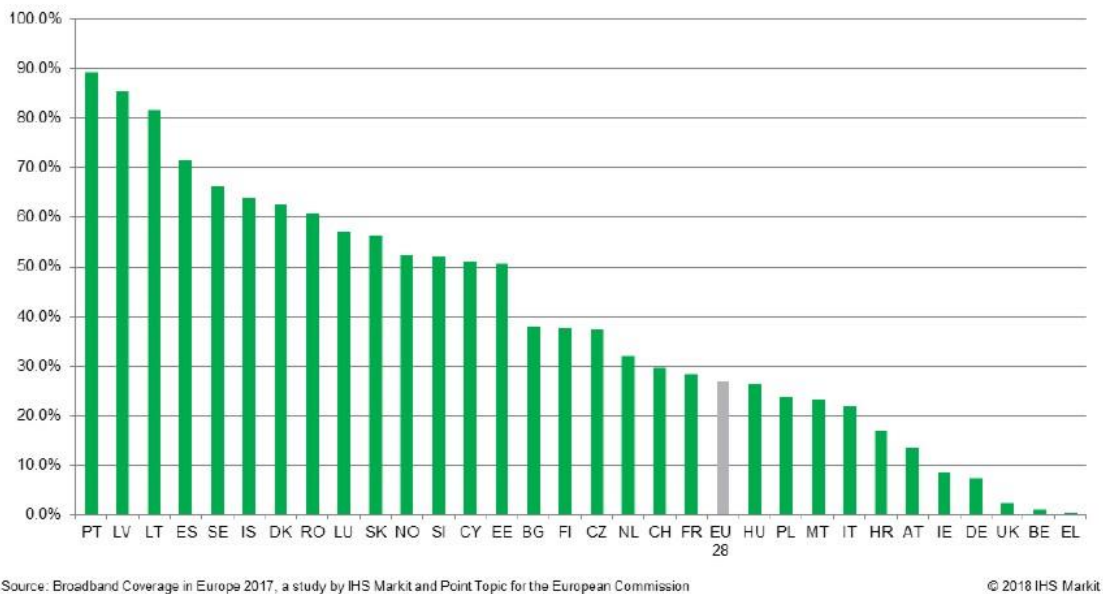


Εικόνα 46: Κάλυψη της Ευρωπαϊκής Επικράτειας από δίκτυα [22]



Εικόνα 47: Κάλυψη της Ευρωπαϊκής Επικράτειας εκτός των αστικών κέντρων από δίκτυα [22]

Για να αυξήσει τις επενδύσεις σε αυτό τον τομέα η Ευρώπη έχει βάλει στόχους σχετικά με την κάλυψη της επικράτειάς της από δίκτυα υψηλής ταχύτητας. Σε αυτό το πλαίσιο έχει ζητήσει από τα κράτη μέλη να καλύπτουν την επικράτειά τους με δίκτυα ταχύτητας μεγαλύτερης των 30Mbps σε ποσοστό 100% και με δίκτυα νέας γενιάς, με ταχύτητες μεγαλύτερες των 100Mbps σε ποσοστό 50% έως το 2020. Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται η διείσδυση ανά χώρα.



Εικόνα 48: Κάλυψη δικτύων FTTP ανά χώρα το 2017 ^[22]

Δυστυχώς η Ελλάδα είναι τελευταία και στις δύο κατηγορίες. Ειδικά στην δεύτερη στην οποία συμπεριλαμβάνονται τα δίκτυα FTTP στατιστικά δεν ανιχνεύεται με ποσοστά περίξ του μηδενός (0,4%). Μάλιστα εκτός αστικών κέντρων το ποσοστό αυτό είναι 0%, δεν υπάρχει πουθενά δίκτυο FTTP. Παρατηρούμε ότι η Πορτογαλία, μια χώρα αντίστοιχου μεγέθους της Ελλάδας έχει φτάσει στο ποσοστό του 90% και χώρες όπως η Λετονία και η Λιθουανία ξεπερνούν το 80%. ^{[22], [31]}

5 Συμπεράσματα

Οι οπτικές ίνες και τα οπτικά δίκτυα είναι όροι που σιγά σιγά διεισδύουν στην καθημερινότητά μας. Και αυτό οφείλεται, όπως παρουσιάστηκε και στην προηγούμενη ενότητα, στην συνεχή αύξηση της διείσδυσης των οπτικών δικτύων στην καθημερινότητά μας. Αποτέλεσμα της αύξησης των οπτικών δικτύων είναι η βελτίωση των παρεχομένων υπηρεσιών μεταφοράς δεδομένων, κάτι ιδιαίτερα σημαντικό στις μέρες μας. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα πτυχιακή εργασία επιβεβαιώνουν το παραπάνω γενικό συμπέρασμα. Συγκεκριμένα τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

- Η μεταφορά οπτικών σημάτων είναι αποτελεσματικότερη και ταχύτερη σε σχέση με την μεταφορά ηλεκτρικών σημάτων.
- Η μεταφορά οπτικών σημάτων μπορεί να διεξαχθεί διαμέσου των οπτικών ινών.
- Οι οπτικές ίνες είναι τριών κατηγοριών ως προς τον τρόπο που μεταφέρουν στο εσωτερικό τους τα οπτικά σήματα. Κάθε κατηγορία παρουσιάζει διαφορετικό τρόπο μεταφοράς και διαφορετική εξασθένιση.
- Η εξασθένιση του οπτικού σήματος στις οπτικές ίνες είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με την εξασθένιση του ηλεκτρικού σήματος στα χάλκινα καλώδια.
- Η διατομή των οπτικών ινών που απαιτείται για την μεταφορά του οπτικού σήματος είναι πολύ μικρότερη από την διατομή των αντίστοιχων χάλκινων καλωδίων που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά του αντίστοιχου ηλεκτρικού σήματος.
- Οι οπτικές ίνες παράγονται από φθηνές πρώτες ύλες (οξειδίο του πυριτίου – άμμος) κάτι που περιορίζει το κόστος τους. Ταυτόχρονα αυτές οι πρώτες ύλες βρίσκονται εν αφθονία στο περιβάλλον κάτι που επιτρέπει την άενη παραγωγή οπτικών ινών.
- Για την παραγωγή οπτικών ινών χρησιμοποιούνται τρεις τεχνολογίες. Μεγάλες βιομηχανικές μονάδες εστιάζουν στην παραγωγή οπτικών ινών παράγοντας χιλιόμετρα οπτικών ινών ημερησίως.
- Οι οπτικές ίνες τοποθετούνται σε καλώδια, σε διάφορες διατάξεις οι οποίες εξυπηρετούν κατά περίπτωση διαφορετικές εφαρμογές.
- Τα οπτικά δίκτυα αντικαθιστούν τα δίκτυα ηλεκτρικού παλμού στις τηλεπικοινωνίες. Ήδη τα δίκτυα μεγάλου όγκου, οι κεντρικοί κλάδοι, έχουν αντικατασταθεί πλήρως.

- Τα επόμενα χρόνια αναμένεται πλήρης αντικατάσταση των δικτύων τηλεπικοινωνιών από οπτικές ίνες οι οποίες θα φτάνουν μέχρι τον τελικό χρήστη.
- Τα οπτικά δίκτυα είναι απλούστερα δίκτυα με λιγότερες απώλειες, μικρότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης και προσφέρουν μεγαλύτερες ταχύτητες και μεγαλύτερο όγκο δεδομένων.

Βιβλιογραφία

1. Bass M., Van Stryland E. W., 2002, «Fiber Optics Handbook», McGraw – Hill, USA.
2. Johnson M., 2009, «Optical fibers, cables and systems», ITU-T Handbook.
3. Agrawal G.P., 2002, «Fiber-Optic Communication Systems», John Wiley & Sons Inc., USA.
4. Girard A., 2005, «FTTx PON Technology and Testing», EXFO Electro-Optical Engineering Inc., Canada.
5. Benzoni J. F., Orletsky D. T., 1989, «Military Applications of Fiber Optics Technology» Rand Note, Rand Publications, USA.
6. Reddy, H., 2014, «Optical Fibers-Principles and Applications», Journal of Basic and Applied Engineering Research, Vol1-6, pp86-89.
7. Παγιατάκης Γ., 1994, «Αισθητήρες οπτικών ινών», Άρθρο στο περιοδικό “*Τεχνικά Χρονικά*”, Εκδόσεις Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, Τεύχος 2°, pp110-122. Λήψη από:
http://library.tee.gr/digital/techr/1994/techr_1994_2_ekt_b_110.pdf (22/03/2019)
8. Ευθυμίου Χ., 2011, «Εισαγωγή Στις Οπτικές Επικοινωνίες», Εκδόσεις ΤΕΙ Σερρών. Λήψη από:
teiserron.gr/index.php?action=dlattach;topic=8699.0;attach=5380 (20/02/2019)
9. Αβραμόπουλος Η., 2018, «Συστήματα Μετάδοσης και Δίκτυα Οπτικών Ινών», Σημειώσεις Μαθήματος, Photonics Communications Research Laboratory, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Λήψη από:
https://www.photonics.ntua.gr/Diafaneies_Susthmata_metadoshs/Systimata_Metadosis_kai%20Diktya_Optikwn_Inwn.pdf (20/03/2019)
10. Παναγογιαννόπουλος Σ. Χ., 2008, «Ανάλυση Τεχνολογίας Οπτικών Ινών και Δικτύων Οπτικών Ινών», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Τμήμα Διδακτικής της Τεχνολογίας και Ψηφιακών Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Πειραιώς.
11. Αβραμόπουλος Η., 2015, «Συστήματα Μετάδοσης & Δίκτυα Οπτικών Ινών: Ενότητα 1», Παρουσιάσεις στα πλαίσια του μαθήματος Συστήματα Μετάδοσης Οπτικών Ινών, Photonics Communications Research Laboratory, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα. Λήψη από:
https://www.photonics.ntua.gr/Diafaneies_Susthmata_metadoshs/Enotita_1a_OptikaSustimataMetadosis.pdf (20/02/2019)
12. Αβραμόπουλος Η., 2015, «Συστήματα Μετάδοσης & Δίκτυα Οπτικών Ινών: Ενότητα 2», Παρουσιάσεις στα πλαίσια του μαθήματος Συστήματα Μετάδοσης Οπτικών Ινών, Photonics Communications Research Laboratory, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα. Λήψη από:

- https://www.photonics.ntua.gr/Diafaneies_Susthmata_metadoshs/Enotita_2_DiadosiSeInes.pdf
(20/02/2019)
13. Αβραμόπουλος Η., 2015, «Συστήματα Μετάδοσης & Δίκτυα Οπτικών Ινών: Ενότητα 3», Παρουσιάσεις στα πλαίσια του μαθήματος Συστήματα Μετάδοσης Οπτικών Ινών, Photonics Communications Research Laboratory, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα. Λήψη από:
https://www.photonics.ntua.gr/Diafaneies_Susthmata_metadoshs/Enotita_3_OptikaSustimataMetadosis.pdf (20/03/2019)
14. Πολίτης Χ., Α., 2017, «Οπτικές Ύνες», Παρουσίαση, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας. Λήψη από:
<http://teachers.teicm.gr/politis/fiber%20optics.pdf> (20/02/2019)
15. Αλεξίου Α., Γκάμας Α., Καπούλας Β., Μπούρας Χ., Πρίμπας Δ., Τσιάτσος Θ., 2006, «Μητροπολιτικά Δίκτυα Οπτικών Ινών: Τεχνολογίες και Επιχειρηματικά Μοντέλα», Άρθρο που παρουσιάστηκε στην ημερίδα “Σύγχρονες Τάσεις στις Τηλεπικοινωνίες και Τεχνολογίες Αιχμής”, ΤΕΕ, Αθήνα.
16. Σφηκόπουλος Θ., 2013, «Τηλεπικοινωνιακά δίκτυα: Εισαγωγή», Παρουσίαση στα πλαίσια μαθήματος, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα. Λήψη από:
http://opencourses.uoa.gr/modules/document/file.php/DI122/Διδακτικό_πακέτο/1._Δομή_και_Οργάνωση_των_Δημόσιων_Τηλεπικοινωνιακών_Δομών.pdf (20/03/2019)
17. Νεοκοσμίδης Ι., Κατσιάνης Δ., 2015, «Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα» Παρουσίαση στα πλαίσια μαθήματος, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, Λήψη από:
http://opencourses.uoa.gr/modules/document/file.php/DI124/Διδακτικό_πακέτο/Παρουσιάσεις_μαθήματος/Τηλεπικοινωνιακά%20Δίκτυα%20FTTx.pdf (20/03/2019)
18. Ορφανουδάκης Θ., 2013, «Laser και Οπτικές Επικοινωνίες: Περίσσοτερη και πιο γρήγορη μετάδοση πληροφορίας», Παρουσίαση στα πλαίσια της ημερίδας “Laser... μια ακτίνα φωτός για τον έρευνα, την τεχνολογία και τον άνθρωπο”, Ε΄Κύκλος Ομιλιών, Εθνικό Ινστιτούτο Ερευνών, Αθήνα. Λήψη από:
<https://helios-eie.ekt.gr/EIE/bitstream/10442/13429/1/EIE04062013-ORFANOUDAKIS.pdf>
(20/03/2019)
19. Αβραμόπουλος Η., Αποστολόπουλος Δ., 2017, «Οπτικά δίκτυα επικοινωνιών», Παρουσίαση στα πλαίσια του μαθήματος “Οπτικά δίκτυα επικοινωνιών”, Εργαστήριο Φωτονικών Επικοινωνιών, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα. Λήψη από:
https://www.photonics.ntua.gr/wp-content/uploads/diafaneies_Diktya_optikon_inwn_2018/01_Εισαγωγή.pdf (20/03/2019)

20. Φιλίππου Δ., 2009, «FTTH: Fiber To The Home ή Fear To The Haul», Άρθρο δημοσιευμένο στο περιοδικό Communication Solutions, Αθήνα. Λήψη από:
<https://www.comsol.gr/dat/34276F71/file.pdf> (20/03/2019)
21. Chhabra J.K., «Medical application of optical fibers», Presentation. Λήψη από:
http://www.nitttrchd.ac.in/sitenew1/app_sc/ppts/fiber/MedicalApplns_JKC.pdf (22/03/2019)
22. HIS Markit, 2019, «Broadband coverage in Europe 2017», European Commission.
23. «Καλώδια οπτικών ινών», Άρθρο δημοσιευμένο στο διαδίκτυο. Λήψη από:
http://dide.zak.sch.gr/plinetza/tech/optikes_ines.pdf (20/02/2019)
24. Corning, 2007, «Fiber-Optic Technology», Article for the International Engineering Consortium.
Λήψη από:
<http://www.dsif.fee.unicamp.br/~moschim/cursos/ie007/fibraoptica.pdf> (5/3/2019)
25. Mulder – Hardenberg Group, 2017, «Industry Solutions: Military», Brochure, Λήψη από:
https://mh-fiberoptics.com/sites/default/files/downloads/2_m-h_military_fo_cable_lr.pdf
(22/03/2019)
26. <http://www.outdoorfibercable.com/sale-10111358-2-24-cores-custom-fiber-optic-cables-composite-hybrid-fiber-optic-cable.html> (05/03/2019)
27. <https://www.newport.com/t/fiber-optic-basics> (05/03/2019)
28. <https://wiki.metropolia.fi/display/Physics/Manufacturing+of+Optical+Fibers> (05/03/2019)
29. <http://www.cwdm-dwdm-oadm.com/blog/a/74/A-Smart-Revolution-of-FTTH> (20/03/2019)
30. <https://www.design-district.gr/el/trend-watch/εφέ-φωτισμού-με-οπτικές-Ινες-id461> (22/03/2019)
31. <http://atozresearch.com/technology-media/fiber-optics-market-global-industry-perspective-by-2022/> (22/03/2019)