

ΤΕΙ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ

Παράρτημα Ναυπάκτου

Τμήμα

Τηλεπικοινωνιακών

Συστημάτων και Δικτύων

Θεωρητική περιγραφή των μηχανισμών  
διασποράς οπτικού σήματος και πειραματική  
μελέτη τους



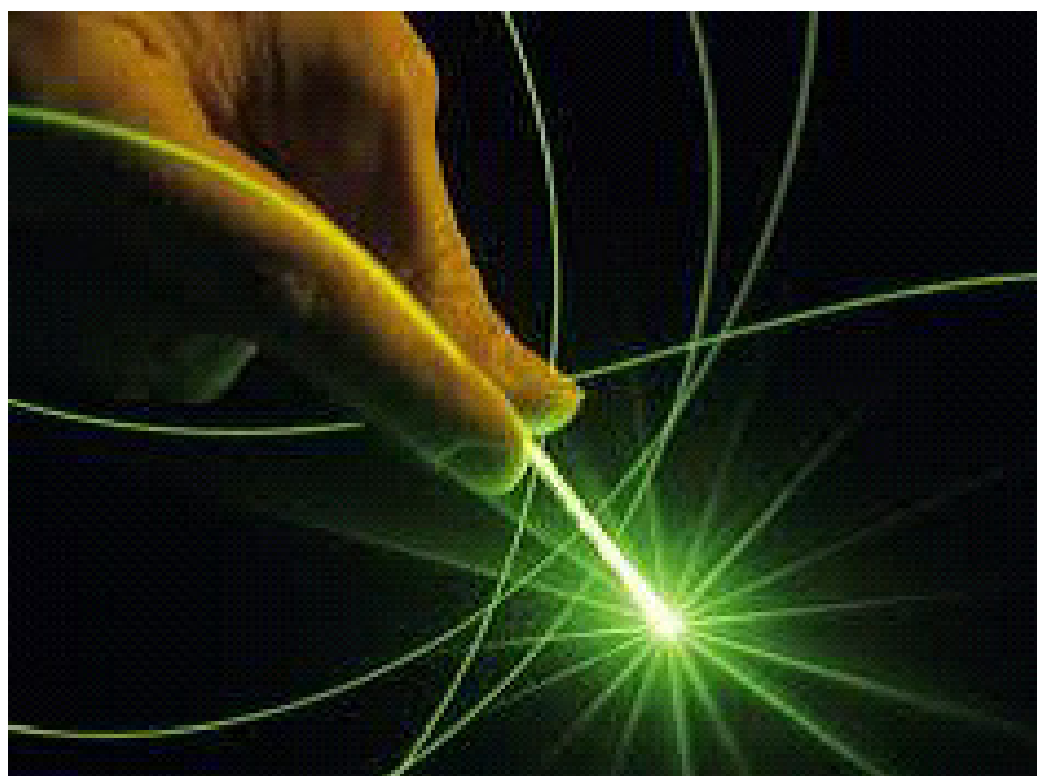
Σπουδάστρια : Μαλιαρίτση  
Αντιγόνη Ελευθερώτρια

Εισηγητές: Ασαρίδης Ηλίας

Λούβρος Σπυρίδων



Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων  
Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση των οπτικών ινών στην κατασκευή μητροπολιτικών δικτύων είναι βασικός παράγοντας για την ποιότητα των υπηρεσιών που προσφέρονται στους τελικούς χρήστες, αφού οι οπτικές ίνες είναι η μόνη μακροπρόθεσμη λύση που μπορεί να παρέχει το απαιτούμενο εύρος ζώνης για πολυμεσικές και αλληλεπιδραστικές εφαρμογές σε παγκόσμιο και διεθνές επίπεδο.

Στη πτυχιακή αυτή θα ασχοληθούμε με το οπτικό σήμα, την περιγραφή των μηχανισμών μέτρησης καθώς επίσης και με τα βασικά επίπεδα της αρχιτεκτονικής του οπτικού δικτύου. Παράλληλα θα εξετάσουμε το τηλεπικοινωνιακό οπτικό σύστημα και θα δούμε τι περιλαμβάνει. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε λεπτομερώς στις οπτικές ίνες καθώς επίσης και στα χαρακτηριστικά τους, ενώ παράλληλα θα εξετάσουμε τους λόγους που εξασθενεί η ίνα.

Τέλος, θα αναλύσουμε το όργανο μέτρησης ανακλάσεων οπτικής ισχύος στο πεδίο του χρόνου (OTDR) και θα μελετήσουμε τα χαρακτηριστικά του.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	5
Κεφάλαιο 1.....	6
1.1. Η εξέλιξη των οπτικών συστημάτων επικοινωνίας.....	6
1.2. Το οπτικό σύστημα επικοινωνίας.....	7
Κεφάλαιο 2.....	9
2.1 Βασικά επίπεδα αρχιτεκτονικής οπτικού δικτύου.....	9
2.2 Έλεγχος οπτικών δικτύων.....	12
2.2.1 Βασικοί (υποχρεωτικοί) έλεγχοι- Tier 1.....	12
2.2.2 Προαιρετικοί έλεγχοι – Tier 2.....	16
Κεφάλαιο 3.....	21
3.1 Γενικά για τις οπτικές ίνες.....	21
3.2 Χαρακτηριστικά οπτικών ινών.....	26
3.2.1 Πλεονεκτήματα οπτικών ινών.....	26
3.2.2 Μειονεκτήματα οπτικών ινών.....	27
3.2.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη οπτικών ινών.....	27
3.2.4 Είδη οπτικών ινών.....	28
3.2.5 Καλώδια οπτικών ινών.....	28
3.2.6 Συνδέσεις οπτικών ινών.....	34
3.2.7 Προστασία ίνας.....	40
Κεφάλαιο 4: Λόγοι εξασθένησης στην ίνα.....	42
4.1 Απώλειες οπτικών ινών.....	42
4.2 Εξασθένηση.....	43
4.3 Σκέδαση.....	47
4.4 Απορρόφηση.....	50
4.5 Διασπορά.....	51
Κεφάλαιο 5: Εισαγωγή στο Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) Όργανο Μέτρησης Ανακλάσεων Οπτικής Ισχύος στο Πεδίο του χρόνου.....	58
5.1 Εισαγωγή στο OTDR.....	58
5.2 Αρχή λειτουργίας του OTDR.....	59
5.3 Μέτρηση Απόστασης Ίνας.....	60
5.4 Απώλεια Οπτικής Ισχύος – Εξασθένηση.....	62
5.5 Ρυθμίσεις ενός OTDR.....	64
5.6 CMA5000.....	67
5.7 Λειτουργία Module – Wizard Εγκατάσταση ίνας και χρήση OTDR.....	72
5.8 Standard OTDR.....	72

Συμπεράσματα.....	75
Βιβλιογραφία.....	76

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρώτο οπτικό σύστημα τηλεπικοινωνιών εμφανίστηκε στο προσκήνιο παράλληλα με τις οπτικές ίνες χαμηλών απωλειών. Παρόλο που η πολυπλοκότητα των συστημάτων αυτών έχει αυξηθεί, τα βασικά στοιχεία παραμένουν ίδια. Αποτελούνται από έναν οπτικό πομπό, ένα μέσον διαμόρφωσης της πηγής, το μέσον μετάδοσης (π.χ. οπτική ίνα) και έναν οπτικό δέκτη στο πέρας της οπτικής ίνας. Οι απώλειες της ίνας είναι βασικός περιοριστικός παράγοντας, αφού μειώνουν τη μέση ισχύ που φτάνει στο δέκτη. Από τη στιγμή που οι οπτικοί δέκτες χρειάζονται μια συγκεκριμένη ελάχιστη ποσότητα ισχύος για να ανακτήσουν ορθά το σήμα, η απόσταση μετάδοσης περιορίζεται εγγενώς από την απώλεια της οπτικής ίνας.

Στις αρχές των οπτικών συστημάτων οι απώλειες της ίνας αντισταθμίζονταν με τη χρήση ηλεκτρικών αναγεννητών. Οι συσκευές αυτές ανίχνευαν το σήμα, το μετέτρεπαν σε ηλεκτρικό σήμα και χρησιμοποιούσαν ένα καινούριο laser που εξέπεμπε τη νέα μορφή του σήματος. Οι ηλεκτρικοί αναγεννητές ήταν ακριβοί και ακόμη περιόριζαν το ρυθμό με τον οποίο θα μπορούσαν να μεταδοθούν τα δεδομένα μιας και έπρεπε να προστεθεί η πολύ πιο αργή ηλεκτρική διεργασία στο χρόνο του συστήματος. Με σκοπό την εξάλειψη των περιορισμών που έθεταν οι ηλεκτρικοί αναγεννητές προτιμήθηκε η οπτική ενίσχυση των σημάτων. Έτσι, εμφανίστηκαν δύο ανταγωνιστικές τεχνολογίες: οι ενισχυτές EDFA και οι ενισχυτές Raman. Στα πρώτα συστήματα οι ενισχυτές ινών με προσμίξεις ερβίου φαίνονταν ως η πιο επωφελής λύση. Και αυτό γιατί η οπτική ισχύς άντλησης που απαιτούνταν για την ενίσχυση Raman ήταν σημαντικά πιο υψηλή από αυτή στους EDFAs και η τεχνολογία lasers άντλησης δεν μπορούσε να προσφέρει με αξιοπιστία αυτά τα ποσά ισχύος. Ωστόσο, με την βελτίωση της τεχνολογίας των lasers άντλησης η ενίσχυση Raman αποτελεί σήμερα έναν σημαντικό παράγοντα αύξησης του μήκους και της χωρητικότητας των ζεύξεων.

Παράλληλα παρατηρήθηκε ότι πολλά lasers άντλησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικά μήκη κύματος ταυτόχρονα και να παρέχουν ενίσχυση Raman σε ένα μεγάλο εύρος ζώνης που θα περιλαμβάνει τόσο την C όσο και την L μπάντα εκπομπής. Με την αυξανόμενη εμπορική χρήση των ημιαγωγικών lasers υψηλής ισχύος στα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα, οι ενισχυτές Raman χρησιμοποιήθηκαν σε πλήθος επαναστατικών πειραμάτων για να αποδειχθεί ότι πράγματι βελτιώνουν την απόδοση των συστημάτων πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος (WDM). Έως το 2003, η χρήση της ενίσχυσης Raman επικράτησε σε συστήματα που έπρεπε να λειτουργούν σε αποστάσεις χιλιάδων χιλιομέτρων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### **1.1 Η εξέλιξη των οπτικών συστημάτων επικοινωνίας**

Η χρήση του φωτός για τη μεταφορά πληροφορίας δεν είναι καινούρια ιδέα. Πολύ νωρίς ο άνθρωπος χρησιμοποίησε οπτικές τεχνικές, για να μεταδώσει πληροφορίες σε κοντινές ή μακρινές αποστάσεις. Από τα σήματα καπνού και αργότερα τον οπτικό τηλέγραφο, φτάνουμε στον ηλεκτρικό τηλέγραφο, το τηλέφωνο και τις ραδιοφωνικές ζεύξεις, στα μικροκύματα, στα radar, την τηλεόραση, τα τηλέτυπα και τις δορυφορικές επικοινωνίες. Όμως, σχετικά γρήγορα φάνηκε ότι τα ραδιοηλεκτρικά κύματα δεν θα επαρκούσαν για πολύ για την κάλυψη των αναγκών της ανθρωπότητας, αφού η ζήτηση για τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες συνεχώς αυξανόταν. Το πρόβλημα του συνωστισμού των τηλεπικοινωνιακών καναλιών ήταν αδύνατο πλέον να ξεπεραστεί αξιοποιώντας το διαθέσιμο εύρος ζώνης από τα ραδιοηλεκτρικά κύματα. Εδώ αρχίζουν οι προσπάθειες για την αξιοποίηση του τεράστιου εύρους ζώνης, που προσφέρει η οπτική περιοχή (υπέρυθρο, ορατό και υπεριώδες) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Το έναυσμα για τη χρήση του οπτικού φάσματος αποτελεί η ανακάλυψη του laser γύρω στα 1960. Το laser είναι μία μονοχρωματική πηγή στην οπτική περιοχή, με σταθερά κυματικά χαρακτηριστικά, εξαιρετική πυκνότητα ακτινοβολίας, κατευθυντικότητα και με δυνατότητα διαμόρφωσης στις υψηλές συχνότητες.

Δεδομένου ότι αρχικά η τεχνολογία δεν διέθετε τις κατάλληλες διατάξεις διαμόρφωσης του φωτός, η κινητοποίηση των ερευνητών και των μηχανικών ήταν πρωτοφανής. Ανακαλύπτονται νέα υλικά και εξελίσσονται για τηλεπικοινωνιακή χρήση φωτοδίοδοι, φωτοτρανζίστορ, και άλλα είδη φωτοπηγών όπως οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι ή LED.

Τα πρώτα οπτικά συστήματα είναι ασύρματα. Οι ακτίνες laser ταξιδεύουν ελεύθερα στην ατμόσφαιρα χρησιμοποιώντας διατάξεις φακών εστίασης και καθρεπτών. Τα προβλήματα είναι πολλά. Δυσκολία στην εστίαση της φωτεινής δέσμης, εξάρτηση από την κατάσταση της ατμόσφαιρας και απαραίτητη η οπτική επαφή πομπού δέκτη. Έτσι οι έρευνες στρέφονται στην ανακάλυψη ενός καταλλήλου μέσου μεταφοράς για το οπτικό φέρον. Στα τέλη της δεκαετίας του 1960 παρουσιάζεται στα εργαστήρια της Αγγλικής Standard Telecommunications Labs ένα απλό οπτικό σύστημα που χρησιμοποιεί σαν μέσο μεταφοράς του οπτικού φέροντος συνεχή ίνα από γυαλί. Οι πρώτες οπτικές ίνες χρησιμοποιούνταν ήδη στην ιατρική, αλλά δεν ήταν κατάλληλες για χρήση στις τηλεπικοινωνίες. Εμφάνιζαν μεγάλη εξασθένηση της τάξης των 1000 dB/Km, (δηλαδή η ισχύς του σήματος εξόδου είναι 10100 φορές μικρότερη από την ισχύ του σήματος εισόδου μετά από διαδρομή ενός km) τη στιγμή που τα ομοαξονικά καλώδια των συμβατικών ενσύρματων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων εμφάνιζαν αντίστοιχα εξασθένηση της τάξης των 5-10 dB/Km. Οι κατασκευαστές με κατάλληλες τεχνικές (απομακρύνοντας τις

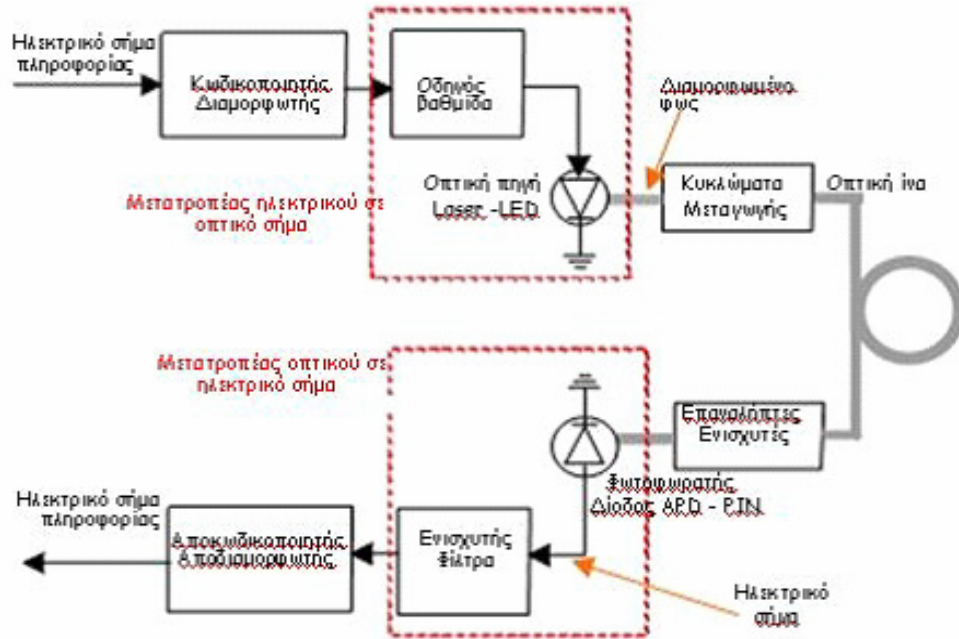
διάφορες προσμειξίσεις και κυρίως τα ιόντα υδροξυλίου) περιορίζουν την εξασθένιση στα 20 dB/Km. Μέχρι το 1975 η εξασθένιση έγινε 2 dB/Km και το 1980 0.25 dB/Km (δηλαδή το οπτικό σήμα χάνει μόλις το 5% της ισχύος του μετά από διαδρομή ενός km!). Παράλληλα η ανάπτυξη των νέων υλικών οδηγεί στην κατασκευή ημιαγωγικών πηγών laser και φωτοφωρατών με διαστάσεις συγκρίσιμες με τα χρησιμοποιούμενα μήκη κύματος 0.8 - 1.6  $\mu\text{m}$ .

## **1.2 Το οπτικό σύστημα επικοινωνίας**

Ένα απλό σύστημα οπτικής επικοινωνίας απεικονίζεται στο *Σχήμα 1.1*. Η πληροφορία που πρόκειται να μεταδοθεί είναι αρχικά σε ηλεκτρική μορφή και στη συνέχεια μετατρέπεται σε οπτικό σήμα. Αυτό απαιτεί μια οπτική πηγή και το κατάλληλο ηλεκτρονικό κύκλωμα οδήγησης (driver). Στη συνέχεια το οπτικό πλέον σήμα οδηγείται μέσω της οπτικής ίνας. Σε μερικά σημεία της διαδρομής είναι δυνατόν να δρομολογηθεί σε άλλα κανάλια αν χρειάζεται, με τη βοήθεια διατάξεων μεταγωγής. Στα πραγματικά συστήματα το οπτικό σήμα κατά τη διάδοσή του υφίσταται εξασθένιση, δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται ίνες μεγάλου μήκους. Έτσι, κατά μήκος μιας οπτικής ζεύξης τοποθετούνται ενισχυτές ή αναγεννητές ανάλογα με το αν το οπτικό φέρον έχει διαμορφωθεί αναλογικά ή ψηφιακά. Όταν το οπτικό σήμα φτάσει στον οπτικό δέκτη μετατρέπεται και πάλι σε ηλεκτρικό με τη βοήθεια ειδικής διάταξης, του φωτοφωρατή. Τα ηλεκτρικά σήματα πληροφορίας (αν έχει προηγηθεί πολυπλεξία) στη συνέχεια ενισχύονται, διαχωρίζονται και ανακτούν την αρχική τους μορφή.

Στα αναλογικά οπτικά συστήματα η μεταβολή της έντασης του φωτός που εκπέμπεται από τη φωτεινή πηγή, γίνεται με συνεχή τρόπο ενώ στα ψηφιακά λαμβάνονται διακεκριμένες μεταβολές της. Η αναλογική διαμόρφωση σε ένα οπτικό σύστημα είναι λιγότερο αποτελεσματική από την ψηφιακή. Αυτό οφείλεται στο ότι στην αναλογική διαμόρφωση απαιτούνται υψηλότερες τιμές σήματος προς θόρυβο (S/N) στο δέκτη και μεγάλη γραμμικότητα, που δεν παρέχουν οι διαθέσιμες στο εμπόριο ημιαγωγικές οπτικές πηγές. Συνεπώς τα αναλογικά οπτικά συστήματα περιορίζονται σε ζεύξεις μικρών αποστάσεων και συγκεκριμένες εφαρμογές όπως η διανομή τηλεοπτικού σήματος (καλωδιακή TV).

L



Σχήμα 1.1 Το βασικό σύστημα τηλεπικοινωνιών

Η επεξεργασία της πληροφορίας (διαμόρφωση, πολυπλεξία) και η μεταγωγή των οπτικών σημάτων κατά μήκος της οπτικής ίνας, σε μεγάλο ποσοστό των συστημάτων, γίνονται σε ηλεκτρική μορφή. Παλαιότερα το ίδιο συνέβαινε και με την ενίσχυση του οπτικού σήματος. Δηλαδή το οπτικό σήμα μετατρεπόταν σε ηλεκτρικό, ενισχυόταν και μετατρεπόταν ξανά σε οπτικό για να συνεχιστεί η μετάδοσή του δια μέσου της οπτικής ίνας.

Σήμερα έχουν εγκατασταθεί συστήματα, όπου όλες οι παραπάνω διαδικασίες γίνονται σε οπτική μορφή με τη χρήση καταλλήλων διατάξεων (οπτικοί ενισχυτές και οπτικά φίλτρα), με αποτέλεσμα την αύξηση του εύρους ζώνης της οπτικής ζεύξης.

Ένα οπτικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα περιλαμβάνει:

1. **Οπτική ίνα.** Είναι η βάση του συστήματος και σε αυτήν οφείλονται τα πλεονεκτήματά του.
2. **Ενεργά στοιχεία.** Περιλαμβάνουν τις φωτεινές πηγές, και τους φωτοφωρατές, που πραγματοποιούν τις βασικές λειτουργίες της δημιουργίας και ανίχνευσης του οπτικού σήματος καθώς και τους οπτικούς ενισχυτές που το ενισχύουν κατά τη διάρκεια της διαδρομής του στην οπτική ίνα.
3. **Παθητικά στοιχεία.** Περιλαμβάνουν τους οπτικούς συνδέσμους και μεταγωγείς, τους οπτικούς διαμορφωτές και συζεύκτες που χρησιμεύουν στην επεξεργασία του οπτικού σήματος.

Παράλληλα, θα πρέπει να προσθέσουμε και τις ηλεκτρονικές διατάξεις οδήγησης των ενεργών στοιχείων καθώς και τις ηλεκτρονικές βαθμίδες επεξεργασίας του σήματος σε ηλεκτρική μορφή.

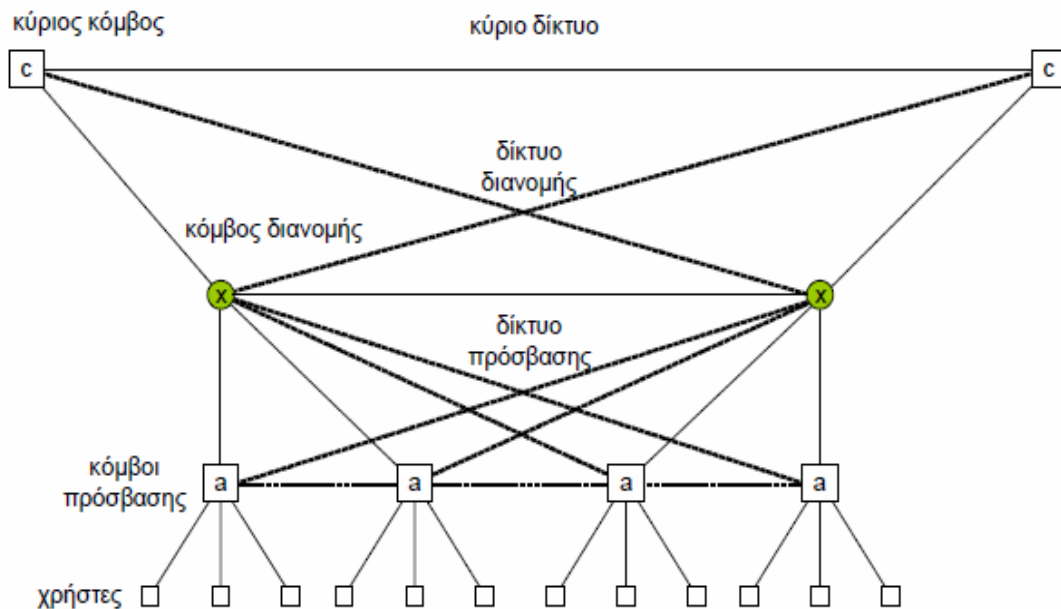


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1 Βασικά επίπεδα αρχιτεκτονικής οπτικού δικτύου

Η αρχιτεκτονική ενός δικτύου οπτικών ινών περιλαμβάνεται από τρία βασικά επίπεδα (Σχήμα 2.1):

1. **Κύριο δίκτυο ή δίκτυο κορμού**
2. **Δίκτυο διανομής**
3. **Δίκτυο πρόσβασης**



Σχήμα 2.1: Βασικά επίπεδα αρχιτεκτονικής οπτικού δικτύου

#### **Κύριο δίκτυο ή δίκτυο κορμού**

Πρόκειται για δίκτυα που συνδέουν βασικούς κόμβους, ενώ παράλληλα παρέχουν και μονοπάτια προκειμένου να υπάρχει επικοινωνία διαφορετικών υποδικτύων. Στα δίκτυα αυτά μπορούν να συνδέονται ευρεία δίκτυα, όπως μητροπολιτικά δίκτυα, δίκτυα ευρείας περιοχής ( Wide Area Networks – WAN), περιφερειακά δίκτυα (Regional Area Networks – RAN), τα οποία μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους. Τα δίκτυα κορμού είναι υπεύθυνα για την μεταφορά κίνησης από τοπικά και περιφερειακά γραφεία μεταγωγής ( switches offices ) προς τα δίκτυα μεγάλης

απόστασης. Ακόμα διανέμουν την κίνηση μητροπολιτικές και περιφερειακές περιοχές μεταξύ σημείων παρουσίας ( Points of Presence – POPs), παρόχων διαδικτύου (ISPs), άλλων δικτύων, μεγάλων εταιρικών πελατών και κόμβων ανταλλαγής διαδικτύου (Internet Exchange Points).

Τα δίκτυα αυτά προκύπτουν από συνενώσεις δικτύων αρχιτεκτονικών δακτυλίων (rings). Τα πιο συνηθισμένα πρωτόκολλα επιπέδου συνδέσμου δεδομένων (data link layer) είναι τα ATM (Asynchronous Transfer Mode), SONET/SDH και το Ethernet. Τα πρωτόκολλα αυτά φέρουν IP πακέτα και δεδομένα από κλασσικά συστήματα τηλεφωνίας και κινητών δικτύων. Από τα 3 παραπάνω πρωτόκολλα το ATM τείνει να διακοπεί και να αντικατασταθεί από τα πρωτόκολλα Gigabit, 10Gigabit Ethernet και Packet over SONET. Αν και παλιά συνηθιζόταν για κάθε δίκτυο πρόσβασης να υπάρχει και ένα διαφορετικό δίκτυο κορμού, σήμερα τα δίκτυα τείνουν να υπόκεινται σε ένα κοινό δίκτυο κορμού, κάνοντας χρήση του Ethernet και IP.

Στα δίκτυα κορμού η αύξηση της κυκλοφορίας είναι έντονη. Η κίνηση από τους τελικούς χρήστες συγκεντρώνεται στα άκρα όπως τα DSLAMs και τα POPs και έπειτα στέλνεται σε κεντρικά σημεία μεταγωγής, από όπου φεύγει για άλλα περιφερειακά, εθνικά και διεθνή δίκτυα. Η ανταλλαγή μπορεί να πραγματοποιηθεί άμεσα μεταξύ των δικτύων, αλλά είναι επίσης κοινό να ανταλλαχτεί η κυκλοφορία πέρα από ένα σημείο ανταλλαγής διαδικτύου. Η κίνηση στα δίκτυα αυτά αυξάνεται από 50% έως 100% κάθε χρόνο. Σε πολλές

χώρες, τα δίκτυα κορμού έχουν εμφανίσει μια υπερβολικά μεγάλη αύξηση της χωρητικότητας τους στα τέλη του 1990 και τις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι οι σχεδιαστές οφείλουν να φροντίζουν για το μέλλον των δικτύων. Χρησιμοποιείται τεχνολογία πολυπλεξίας διαίρεσης μήκους κύματος (WDM) για να εκμεταλλεύεται καλύτερα η χωρητικότητα των γραμμών.

### **Κύριος κόμβος**

Πρόκειται για ένα κύριο σημείο διασύνδεσης οπτικών αγωγών και καλωδίων του περιφερειακού ιστού, με σκοπό να παρέχει κάλυψη των συναθροισμένων επικοινωνιακών αναγκών ενός μεγάλου δήμου ή μιας ευρύτερης περιοχής ή ακόμα και μέρους ενός μεγάλου αστικού κέντρου. Για λόγους διαθεσιμότητας της υποδομής, επιδιώκεται κάθε κύριος κόμβος να είναι άμεσα συνδεδεμένος με παραπάνω του ενός ομότιμους κύριους κόμβους. Στους κύριους κόμβους εγκαθίσταται ενεργός εξοπλισμός και προβλέπεται συν-εγκατάσταση ή πρόσβαση διαχειριστών και παρόχων υπηρεσιών και εφαρμογών.

### **Δίκτυο διανομής**

Πυκνότερο δίκτυο για τη διασύνδεση μεταξύ των κόμβων διανομής ή και μεταξύ κόμβων διανομής και κύριων κόμβων. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι διαδρομές μεταξύ κόμβων διανομής ταυτίζονται με διαδρομές του δικτύου κορμού, του δικτύου πρόσβασης και «τρέχουν» παράλληλα με δίκτυα άλλων υποδομών (οδικό δίκτυο, δίκτυο αποχέτευσης, κλπ). Για λόγους διαθεσιμότητας της υποδομής, επιδιώκεται η έμμεση σύνδεση κάθε κόμβου διανομής με περισσότερους του ενός κύριους κόμβους είτε απ' ευθείας είτε εμμέσως ή μέσω ενδιάμεσων συνδέσεων με άλλους κόμβους διανομής.

### **Κόμβος διανομής**

Το σημείο διασύνδεσης οπτικών αγωγών και καλωδίων του κατ' εξοχήν μητροπολιτικού δικτύου για συγκέντρωση των συναθροισμένων επικοινωνιακών αναγκών μιας γεωγραφικής περιοχής ιδίως στις περιπτώσεις όπου:

1. Δεν συντρέχουν λόγοι για τοποθέτηση κόμβου κορμού όπως στην περίπτωση ενός μικρού Δήμου.
2. Για την εξυπηρέτηση ενός τμήματος μεγάλου αστικού κέντρου και την διευκόλυνση της σύνδεσης των κόμβων χαμηλότερου επιπέδου προς το κύριο δίκτυο.

Ανάλογα με το μοντέλο ανάπτυξης των λειτουργικών δικτύων, στους κόμβους διανομής μπορεί να μην εγκατασταθεί ενεργός εξοπλισμός. Για διάφορους λόγους όμως, όπως:

1. Μεγάλη απόσταση από τον πλησιέστερο κύριο κόμβο
2. Έλλειψη κύριου κόμβου
3. Στενότητα στον αριθμό οπτικών ινών
4. Επιθυμία πολλαπλασιασμού του εύρους ζώνης
5. Άλλες εξωγενείς αιτίες

Στον κόμβο διανομής μπορεί να τοποθετηθεί παθητικός ή και ενεργός εξοπλισμός για πολυπλεξία.

### **Δίκτυο πρόσβασης:**

Είναι τα δίκτυα στα οποία συνδέονται οι τελικοί χρήστες ή οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις με τα κεντρικά γραφεία μεταγωγής. Στα δίκτυα πρόσβασης έχουν σαν όριο τα κεντρικά γραφεία, μετά από τα οποία ξεκινάνε τα δίκτυα κορμού/μητροπολιτικά δίκτυα, κλπ. Αν και οι διάφοροι πάροχοι τηλεπικοινωνιών ρίχνουν το βάρος στο δίκτυο κορμού, τελευταία ακόμα και τα δίκτυα πρόσβασης παρουσιάζουν συμφόρηση (bottleneck). Το μήκος τους εκτείνεται συνήθως μέχρι τα 20 χιλιόμετρα. Συνήθως χρησιμοποιούν δένδρικές δομές. Στα οπτικά δίκτυα πρόσβασης που θα συζητηθούν εκτενέστερα και προχωρούν μέχρι την κατοικία ή το κτίριο του χρήστη λέγονται FTTH (Fiber To The Home) δίκτυα και FTTB (Fiber To The Building) δίκτυα, ενώ γενικότερα όταν το οπτικό δίκτυο πλησιάζει μέχρι ένα σημείο x κοντά στο χρήστη λέγεται FTTx.

### **Κόμβος πρόσβασης**

Το σημείο διασύνδεσης μεμονωμένων κτιριακών εγκαταστάσεων ή συγκροτημάτων προς το δίκτυο πρόσβασης. Αποτελεί και σημείο τοποθέτησης ενεργού εξοπλισμού για παροχή δικτυακών υπηρεσιών προς τους τελικούς χρήστες.

## **2.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**

Οι διεθνείς οργανισμοί έχουν θεσπίσει πρότυπα που καθορίζουν τις διαδικασίες που απαιτούνται για τον έλεγχο και την πιστοποίηση των οπτικών δικτύων. Ένα τέτοιο πρότυπο είναι και το TIA/EIA 568 C.1 TSB-140. Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο υπάρχουν δύο στάδια ελέγχου, Tier 1 και Tier 2. Το πρώτο είναι υποχρεωτικό σε κάθε νέα εγκατάσταση ενώ το δεύτερο προαιρετικό.

### **2.2.1 Βασικοί (υποχρεωτικοί) έλεγχοι – Tier 1**

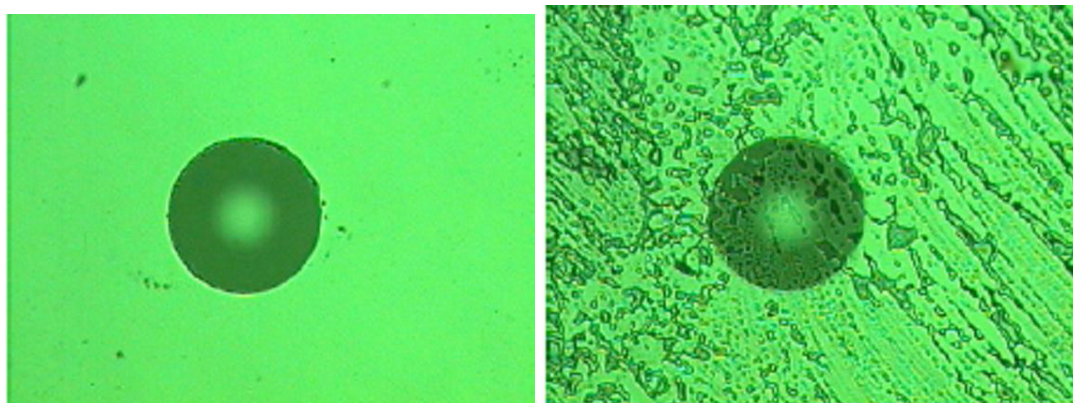
Στους ελέγχους Tier 1 εξετάζεται η εξασθένηση του σήματος στην ίνα, το μήκος της ζεύξης και η «πολικότητα» της (polarity). Το μήκος της ζεύξης (στο Tier 1) δεν είναι απαραίτητο να μετρηθεί με ακρίβεια αλλά συνήθως εκτιμάται με τη βοήθεια σημείων (marks) στο περίβλημα των ινών ή ακόμα και με παραδοσιακούς τρόπους, π.χ. με χρήση μετροταινίας. Το πρότυπο TIA 568 καθορίζει τις μέγιστες αποστάσεις

για την οριζόντια καλωδίωση και την καλωδίωση κορμού, και αυτές οι αποστάσεις δεν πρέπει να υπερβαίνονται.

Η polarity, δηλαδή η σωστή σύνδεση των ινών (πομπός-δέκτης), ελέγχεται με τη βοήθεια πηγών Laser που εκπέμπουν στο ορατό μέρος του φάσματος. Οι πηγές αυτές είναι γνωστές και ως Visual Fault Locators-VFL γιατί χρησιμοποιούνται και για τον εντοπισμό σημείων όπου πιθανώς η ίνα έχει τραυματιστεί κατά την τοποθέτηση της οπότε το φως διαφεύγει και γίνεται ορατό δια μέσου του περιβλήματος της. Τα VFLs βέβαια μπορούν να εντοπίσουν μόνο τα σημεία όπου οι απώλειες είναι πολύ μεγάλες.

Επειδή τα VFLs είναι σχετικά ισχυρές πηγές Laser απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά τη χρήση τους.

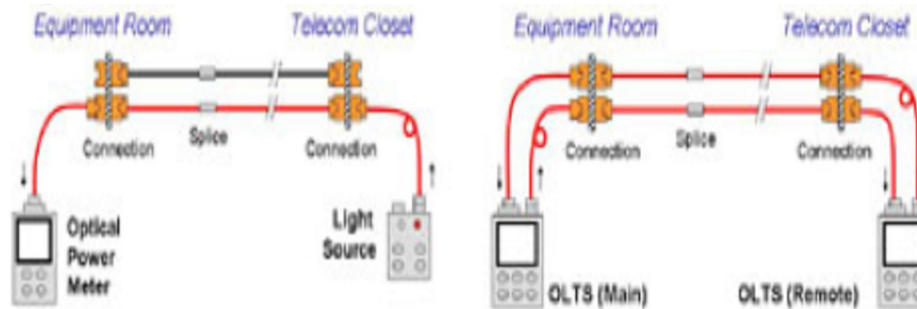
Σύμφωνα με το πρότυπο TIA 568 οι συχνότερες απώλειες ισχύος που μπορεί να οφείλονται σε κακή εγκατάσταση των ινών, και άρα πρέπει να ελεγχθούν μετά την εγκατάσταση, είναι οι απώλειες εισόδου στην ίνα (insertion loss) ή οι απώλειες λόγω κάμψης (bend loss). Αυτές δηλώνονται με τους γενικούς όρους «εξασθένηση» ή «απώλειες» και μετρώνται σε dB . Για παράδειγμα ο πλημμελής καθαρισμός ενός συνδετήρα πριν αυτός συνδεθεί με την ίνα μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μεγάλες απώλειες εισόδου. Γι' αυτό το λόγο υπάρχουν ειδικά μικροσκόπια με μεγέθυνση μέχρι και X400 τα οποία χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των συνδετήρων. Επίσης η όδευση ενός καλωδίου γύρω από μια γωνία με ακτίνα καμπυλότητας μικρότερη από την επιτρεπτή (ειδικά σε μονότροπη ίνα στα 1550nm) οδηγεί σε απώλειες λόγω κάμψης και αυξάνει το σύνολο των απωλειών στη ζεύξη.



Σχήμα 2.2: Το ferrule ενός συνδετήρα σε μεγέθυνση. Αριστερά ένας καθαρός συνδετήρας και δεξιά ο συνδετήρας μετά το άγγιγμα ενός «καθαρού» δάκτυλου.

Για τη μέτρηση των απωλειών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα οπτικό ισχυόμετρο

(optical power meter) σε συνδυασμό με την κατάλληλη οπτική πηγή που μπορεί να είναι είτε LED είτε πηγή Laser, ανάλογα αν μετρώνται πολύτροπες ή μονότροπες ίνες αντίστοιχα. Οι πηγές και το power meter είναι διαθέσιμα είτε ως ανεξάρτητες μονάδες το καθένα ως λύση χαμηλού κόστους, είτε σε συνδυασμό τους σε ολοκληρωμένα «έξυπνα» συστήματα μετρήσεων που είναι γνωστά και ως Optical Loss Test Sets – OLTS. Τα OLTS προσφέρουν επιπλέον δυνατότητες όπως ο ταυτόχρονος έλεγχος διπλής ίνας (dual fiber testing) ή σύγκριση των μετρούμενων τιμών με προκαθορισμένες τιμές και ο χαρακτηρισμός της ζεύξης ως αποδεκτής ή μη (pass-fail analysis).



Σχήμα 2.3: Μέτρηση απωλειών με απλό power meter όπου μετράται κάθε ίνα ξεχωριστά και με OLTS όπου μετρώνται οι δύο ίνες της ζεύξης ταυτόχρονα.

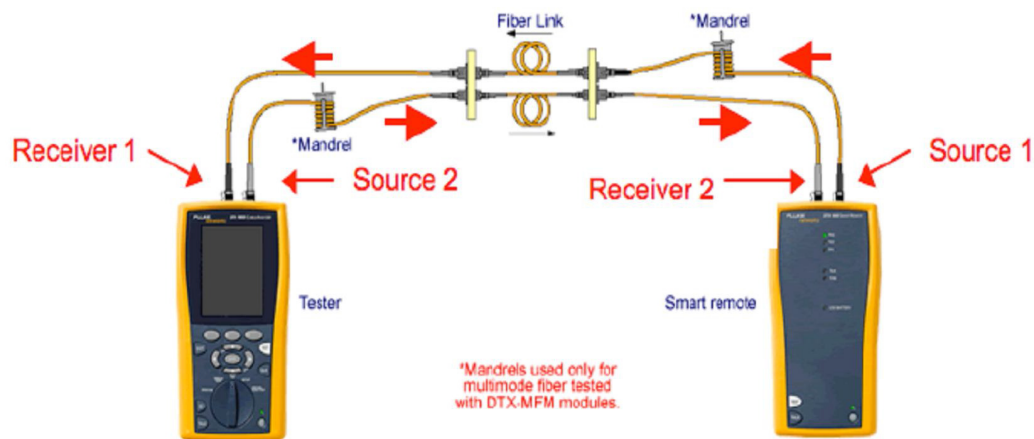
Σύμφωνα με το πρότυπο TIA 568 C.3 οι αποδεκτές τιμές των απωλειών είναι οι παρακάτω:

- 0,75 dB για κάθε ζεύγος συνδετήρων
- 0,30 dB για κάθε μόνιμη σύνδεση (splice) θερμική ή μηχανική
- 3,50 dB/Km για πολύτροπες ίνες στα 850 nm
- 1,50 dB/Km για πολύτροπες ίνες στα 1310 nm
- 1,00 dB/Km για μονότροπες ίνες εγκατεστημένες σε εσωτερικούς χώρους
- 0,50 dB/Km για μονότροπες ίνες εγκατεστημένες σε εξωτερικούς χώρους

Πολλοί όμως βρίσκουν τα όρια αυτά αρκετά ελαστικά. Για παράδειγμα το κομμάτι της οριζόντιας καλωδίωσης, το οποίο σύμφωνα με τα υπάρχοντα πρότυπα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 90 m, μπορεί να επιδεικνύει απώλειες ως και 1,82 dB ( $0,75 \times 2 = 1,5 \text{ dB}$  από τους δύο συνδετήρες στα άκρα της ζεύξης και  $3,5 \times 0,09 = 0,32 \text{ dB}$  από το μήκος της ίνας). Όμως οι τυπικές απώλειες ενός συνδετήρα SC είναι της τάξης των 0,3dB ενώ για τους LC 0,1dB. Ένας έμπειρος τεχνικός λοιπόν μπορεί να επιτύχει απώλειες ως 0,9dB (ή και μικρότερες με συνδετήρες LC) τιμή μικρότερη από το μισό της οριακής που προτείνει το πρότυπο TIA 568.

## Πρακτικές ελέγχου

Η βασική ιδέα για τη μέτρηση των απωλειών είναι πολύ απλή. Εισάγουμε συγκεκριμένη ποσότητα ισχύος στην αρχή της ζεύξης και μετράμε την ποσότητα ισχύος στο τέλος της ζεύξης. Παρά την απλότητα της τεχνικής υπάρχουν κάποιες βασικές προϋποθέσεις οι οποίες πρέπει να τηρηθούν προκειμένου να έχουμε μια σωστή και αξιόπιστη μέτρηση απωλειών.



Σχήμα 2.4: Η βασική διάταξη για τη μέτρηση των απωλειών περιλαμβάνει εκτός φυσικά από την ίνα της υπό εξέταση ζεύξης, τη συσκευή ελέγχου (OLTS), τα καλώδια αναφοράς (launch cables), και τα φίλτρα αποκοπής των υψηλών ρυθμών (mandrels) στη περίπτωση που μετράμε απώλειες σε πολύτροπες ίνες.

Πριν την έναρξη της μέτρησης το σύστημα με το οποίο θα μετρήσουμε τη ζεύξη θα πρέπει να βαθμονομηθεί (calibration), να θέσουμε δηλαδή ένα σημείο αναφοράς για τις μετρήσεις που θα ακολουθήσουν. Στην ουσία μετράμε την ποσότητα ισχύος που το σύστημα εισάγει στο καλώδιο αναφοράς (launch cable). Για τη βαθμονόμηση χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.5. Η μέθοδος Α χρησιμοποιεί και τα δύο καλώδια αναφοράς που χρησιμοποιούνται κατά τη μέτρηση της ζεύξης (σχήμα 2.4) ενώ η μέθοδος Β μόνο το ένα από τα δύο launch cables.



Σχήμα 2.5: Οι δύο βασικές μέθοδοι για τη βαθμονόμηση των συσκευών ελέγχου. Η μέθοδος A αν και υστερεί της μεθόδου B σε ακρίβεια προτιμάται από τους περισσότερους τεχνικούς.

Αν και φαίνεται λογικό η μέθοδος A να είναι η σωστή, (αφού μετράμε πρώτα τα δυο καλώδια αναφοράς, μετράμε μετά τα δυο καλώδια αναφοράς συν την υπό έλεγχο ίνα και αφαιρούμε τις δύο μετρήσεις οπότε παίρνουμε τις απώλειες της ίνας) στην πραγματικότητα η μέθοδος B είναι η σωστή μέθοδος βαθμονόμησης της συσκευής ελέγχου γι' αυτό και προτείνεται ξεκάθαρα από το πρότυπο TIA 568 C.O. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν μετράμε την ζεύξη (σχήμα 2.4) μετράμε την ισχύ στο δέκτη μετά από 4 συνδέσεις συν κάποια μέτρα ίνας (το μήκος των launch cables είναι πολύ μικρό και οι απώλειες που εισάγουν είναι αμελητέες). Αν επιλέξουμε να βαθμονομήσουμε τη συσκευή μας με τη μέθοδο A θα μετρήσουμε την ισχύ στο δέκτη μετά από τρεις συνδέσεις, οπότε η αφαίρεση θα δώσει τις απώλειες μιας σύνδεσης και τις απώλειες λόγω του μήκους της ίνας. Αυτό φυσικά είναι λάθος (δίνει μικρότερες απώλειες από τις πραγματικές) αφού δεν περιλαμβάνονται οι απώλειες και της δεύτερης σύνδεσης της ζεύξης. Αντίθετα αν επιλέξουμε τη μέθοδο B μετράμε την ισχύ στο δέκτη μετά από δύο συνδέσεις οπότε η αφαίρεση της μέτρησης ελέγχου και της μέτρησης αναφοράς θα δώσει τις απώλειες σε δύο συνδέσεις συν τις απώλειες από το μήκος της ίνας που είναι φυσικά και το ζητούμενο.

### 2.2.2 Προαιρετικοί έλεγχοι (OTDR Testing) – Tier 2

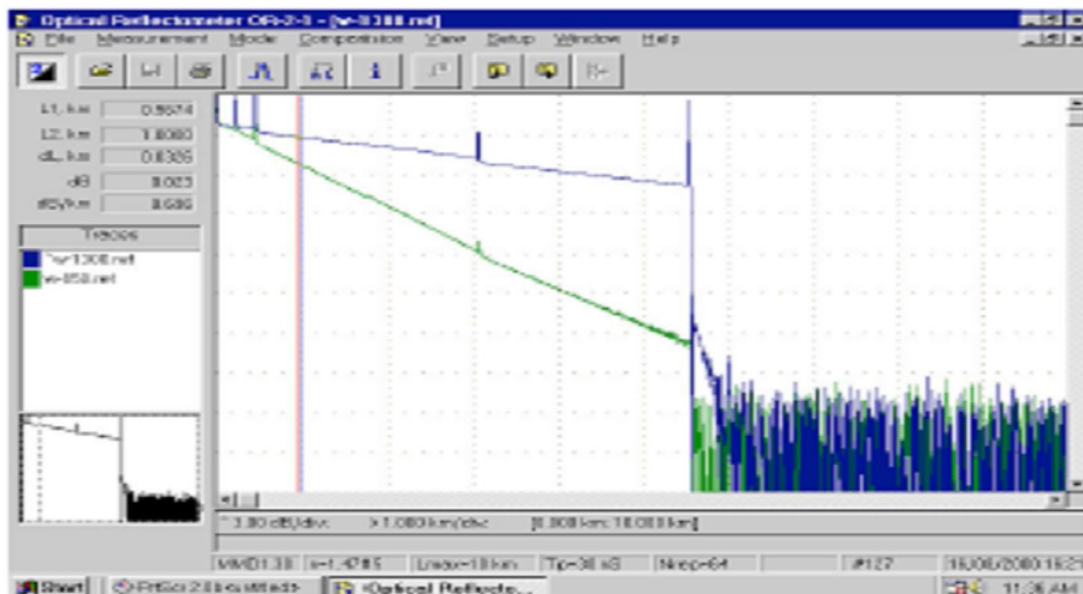
Οι προαιρετικοί έλεγχοι σε ένα εγκατεστημένο οπτικό δίκτυο είναι στην ουσία οι έλεγχοι που γίνονται με OTDR. Οι έλεγχοι αυτοί είναι προαιρετικοί γιατί αφενός δίνουν χρήσιμα στοιχεία σε μερικές περιπτώσεις μόνο (π.χ. όταν υπάρχει σε κάποιο σημείο της ζεύξης κάποια σημαντική απώλεια και θέλουμε να εντοπίσουμε το σημείο αυτό), και αφετέρου γιατί μερικές φορές (π.χ σε μικρά LANs) δίνει αναξιόπιστες μετρήσεις. Για να γίνουν κατανοητά τα παραπάνω πρέπει να κάνουμε μια σύντομη περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του.

Το OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) είναι μια οπτοηλεκτρονική συσκευή η οποία εκπέμπει φωτεινούς παλμούς μικρής διάρκειας μέσα στην ίνα (από 1nsec ως και 100μsec περίπου). Οι παλμοί αυτοί ανακλώνται από τις ασυνέχειες που υπάρχουν στην ίνα (splices, connectors, τραυματισμοί κλπ.) και επιστρέφουν στη



συσκευή μετά από κάποιο μικρό χρονικό διάστημα. Αυτό το χρονικό διάστημα φυσικά εξαρτάται από τη θέση του σημείου όπου έγινε η ανάκλαση του παλμού. Το OTDR αναλύει το χρόνο άφιξης αλλά και την ισχύ των ανακλώμενων παλμών και υπολογίζει τις θέσεις και το μέγεθος των απωλειών στην ίνα.

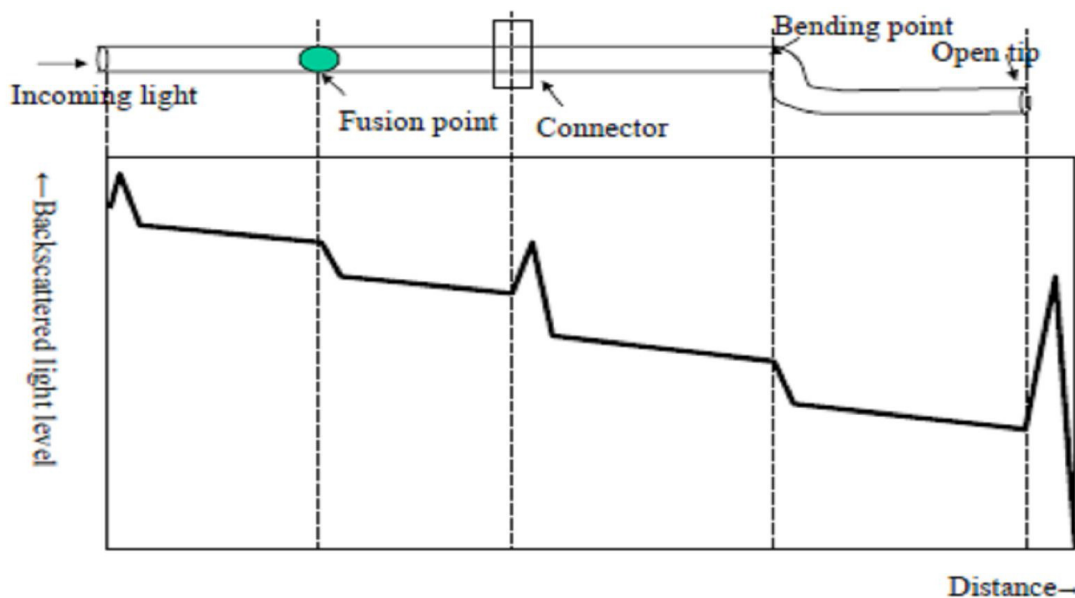
Για την ακρίβεια όταν εκπέμπεται ένας παλμός από το OTDR και διαδίδεται στην ίνα η ισχύς του μειώνεται κυρίως λόγω της σκέδασης ένα μέρος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας επιστρέφει προς τα πίσω (οπισθοσκέδαση – backscattering) και ανιχνεύεται από τη συσκευή μαζί βέβαια με την ακτινοβολία που προέρχεται από πιθανές ανακλάσεις του παλμού σε ασυνέχειες όπως αναφέρθηκε πιο πάνω. Καθώς ο παλμός ταξιδεύει κατά μήκος της ίνας και η ισχύς του μειώνεται, μειώνεται ανάλογα και το ποσό της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας. Μπορούμε να φανταστούμε τον παλμό του OTDR σαν μια πηγή φωτός που απομακρύνεται από τον ανιχνευτή (OTDR) οπότε το φως του φαίνεται όλο και πιο αχνό. Όσο μικρότερη η οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία που ανιχνεύεται τόσο μικρότερη η ένταση του παλμού άρα μεγαλύτερες οι απώλειες που έχει υποστεί. Επειδή το OTDR μετρά έμμεσα τις απώλειες (μετρώντας την οπισθοσκέδαση και όχι την ακτινοβολία στο άλλο άκρο της ίνας) αλλά και επειδή δεν λαμβάνει υπ' όψη τις απώλειες λόγω απορρόφησης από το υλικό οι μετρήσεις του είναι μικρότερης ακρίβειας σε σχέση με τις μετρήσεις του Power meter. Παρακάτω θα αναλύσουμε κάποια τυπικά δείγματα μετρήσεων με OTDR, και θα ερμηνεύσουμε τα πιο συχνά ευρήματα σε ένα ίχνος.



Σχήμα 2.6: Η οθόνη ενός OTDR. Συγκρίνονται δύο ίχνη (traces)τα οποία όμως αφορούν την ίδια ζεύξη μήκους 1Km. Το ίχνος με την μικρή κλίση είναι η μέτρηση της ζεύξης με  $\lambda=1300\text{nm}$  ενώ αυτό με την μεγαλύτερη κλίση με  $\lambda=850\text{nm}$  όπου οι απώλειες είναι φυσικά μεγαλύτερες

Η οθόνη ενός OTDR είναι ένα σύστημα συντεταγμένων όπου στον κατακόρυφο άξονα μετράται η ισχύς του παλμού και στον οριζόντιο η απόσταση – μήκος της

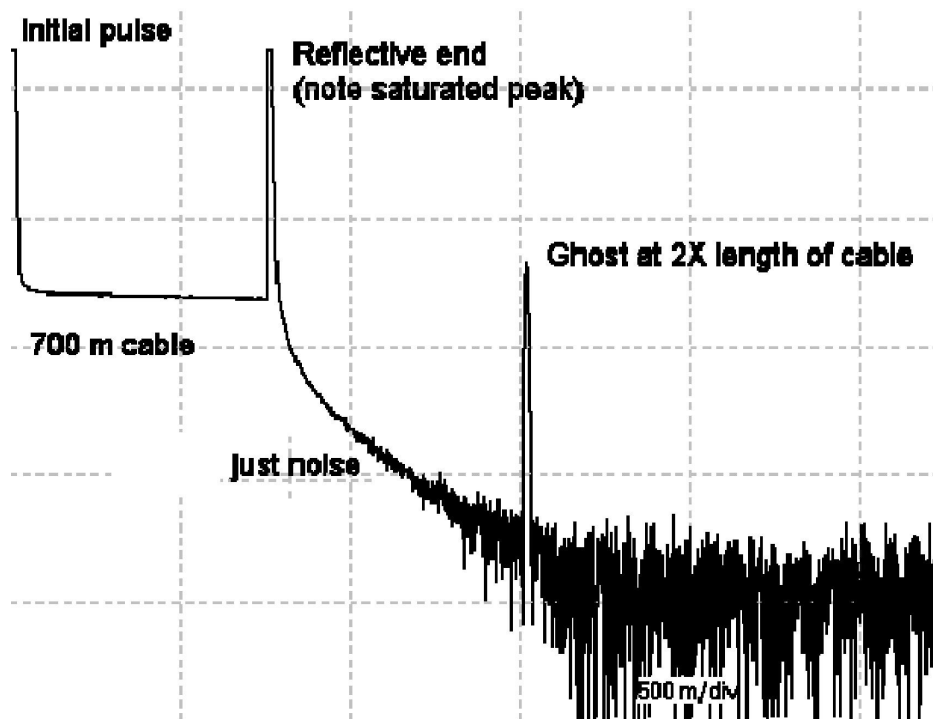
ζεύξης. Χονδρικά μπορούμε να πούμε ότι η μορφή του ίχνους που βλέπουμε είναι μια ευθεία γραμμή με αρνητική κλίση (κατηφορική). Αυτό συμβαίνει φυσικά γιατί, όπως έχουμε πει και παραπάνω, η ισχύς του παλμού καθώς αυτός διαδίδεται κατά μήκος της ίνας, ολοένα και μειώνεται. Προφανώς από τη διαφορά στην ισχύ του παλμού στα σημεία εισόδου και εξόδου μπορούμε να υπολογίσουμε τις απώλειες της ζεύξης, ενώ από την κλίση της  $\Delta y/\Delta x$  υπολογίζονται οι απώλειες αν χιλιόμετρο (dB/Km) οι οποίες φυσικά εξαρτώνται από το μήκος κύματος που χρησιμοποιούμε. Με μια πιο προσεκτική παρατήρηση του ίχνους θα δούμε ότι υπάρχουν σε κάποια σημεία απότομες πτώσεις της ισχύος ή και μικρές κορυφές. Οι ανωμαλίες αυτές οφείλονται σε ασυνέχειες της ζεύξης δηλαδή σε splices, συνδετήρες ή σε σημεία με απώλειες (τραυματισμοί, καμπυλώσεις). Αναλυτικότερα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.7, κάθε φορά που ο παλμός διέρχεται από σημείο θερμικής συγκόλλησης παρουσιάζει μια μικρή απότομη πτώση της ισχύος του η οποία στο ίχνος φαίνεται σαν μικρό σκαλοπάτι. Βέβαια με τις σύγχρονες συσκευές θερμικής συγκόλλησης είναι δυνατό να επιτύχουμε συγκολλήσεις με πολύ μικρές απώλειες, τόσο μικρές που πολλές φορές δεν ανιχνεύονται από το OTDR. Αντίθετα από τις θερμικές συγκολλήσεις, οι συνδετήρες παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες οπότε είναι πάντα «ορατοί». Κατά τη διέλευση του παλμού από τον συνδετήρα ένα σημαντικό μέρος της ισχύος του ανακλάται από τη διεπαφή της ένωσης και αυτό δημιουργεί χαρακτηριστική εικόνα στο ίχνος. Η ανακλώμενη ακτινοβολία ανιχνεύεται από το OTDR το οποίο φυσικά δεν μπορεί να ξεχωρίσει την προέλευση της, αν είναι δηλαδή από οπισθοσκέδαση ή ανάκλαση σε κάποια διεπαφή, και ερμηνεύεται σαν μια στιγμιαία αύξηση της ισχύος του παλμού οπότε φαίνεται στο ίχνος σαν μια μικρή κορυφή πριν την απότομη πτώση.



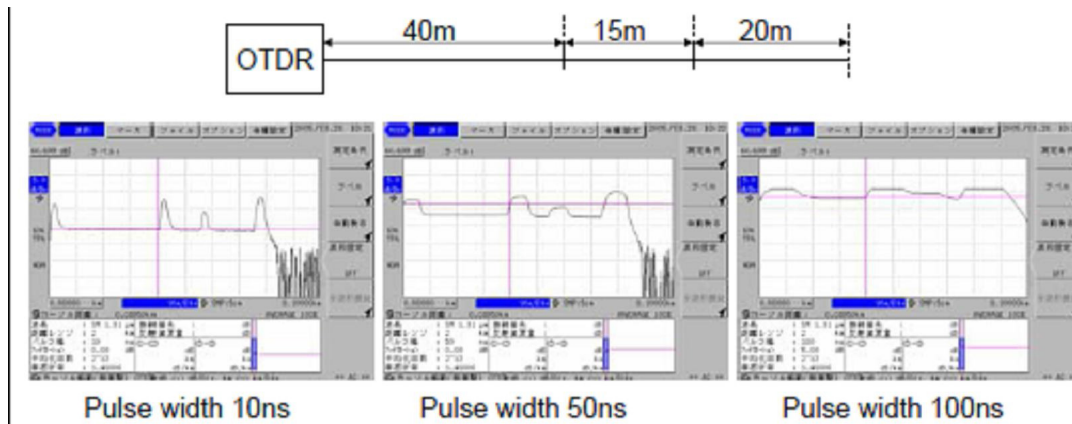
Σχήμα 2.7: Διάγραμμα ίχνους με σημεία συγκόλλησης, συνδετήρες και σημεία Καμπύλωσης

Πριν πραγματοποιήσουμε μια μέτρηση με ODTR πρέπει να ρυθμίσουμε τρεις βασικές παραμέτρους οι οποίες επηρεάζουν την ακρίβεια της μέτρησης. Οι παράμετροι είναι το μήκος κύματος, η ισχύς του παλμού και η διάρκειά του. Όσο αφορά στο μήκος κύματος συνήθως ξεκινάμε τις μετρήσεις με τα μικρότερα μήκη, δηλαδή 850 nm αν πρόκειται για πολύτροπες ίνες και 1310 nm για μονότροπες γιατί τα μικρότερα λ σκεδάζονται περισσότερο με αποτέλεσμα να δίνουν ίχνη με λιγότερο θόρυβο αλλά και με μικρότερη λεπτομέρεια (βλ. σχήμα 2.6). Στη συνέχεια γίνονται οι μετρήσεις με τα μεγαλύτερα λ (1300 nm και 1550 nm για MMF και SMF αντίστοιχα) και συγκρίνονται τα δύο ίχνη.

Η ισχύς του παλμού είναι επίσης σημαντική παράμετρος. Ένας παλμός με μικρή ισχύ δε θα καταφέρει να διανύσει όλη την απόσταση μέχρι το τέλος της ζεύξης με αποτέλεσμα φυσικά να μην έχουμε πλήρη εικόνα της. Αντίθετα ένας παλμός με πολύ μεγάλη ισχύ θα φτάσει στο άκρο της ζεύξης θα ανακλαστεί και θα διανύσει δύο ή και τρεις φορές το μήκος της ζεύξης με αποτέλεσμα το ίχνος που θα προκύψει να έχει διπλά ή τριπλά τα γεγονότα (συγκολλήσεις, συνδετήρες κτλ.). Τέτοιες εικόνες είναι γνωστές ως ghost images και μερικές φορές μπορούν να παραπλανήσουν τον τεχνικό που πραγματοποιεί τη μέτρηση όχι μόνο για το μήκος της ζεύξης αλλά και για τις απώλειες που παρουσιάζει.



Σχήμα 2.8:Χαρακτηριστική εικόνα ghost σε OTDR. Φαίνονται δύο συμβάντα (κορυφές-ανακλάσεις). Το ένα στα 700 μέτρα που είναι και το πραγματικό μήκος της ζεύξης και το άλλο στη διπλάσια απόσταση.



Σχήμα 2.9: παράδειγμα μέτρησης με τρία διαφορετικά χρονικά πλάτη παλμού. Παρατηρήστε ότι όταν ο παλμός έχει διάρκεια 100 nsec στην ουσία αδυνατεί να ξεχωρίσει τους δύο συνδετήρες που βρίσκονται σε απόσταση 15 μέτρων.

Τέλος η διάρκεια του παλμού καθορίζει τη διακριτική ικανότητα του οργάνου. Οι παλμοί μικρής διάρκειας (της τάξης των 10 nsec) έχουν μικρότερη «νεκρή ζώνη» (Dead Zone), δηλαδή μπορούν να εντοπίσουν ασυνέχειες που είναι κοντά η μία στην άλλη, π.χ. δύο συνδετήρες που απέχουν λιγότερο από 5 μέτρα κάτι που δεν είναι δυνατόν να γίνει με παλμούς μεγάλης διάρκειας. Ένας παλμός 1μsec έχει περίπου 100 m νεκρή ζώνη. Σε αντιστάθμισμα βέβαια, οι παλμοί με μεγάλη χρονική διάρκεια μπορούν να μετρήσουν μεγαλύτερες αποστάσεις λόγω της μεγαλύτερης ισχύος τους.

Στο σχήμα 2.9 φαίνεται η διακριτική ικανότητα τριών παλμών με διαφορετική χρονική διάρκεια.

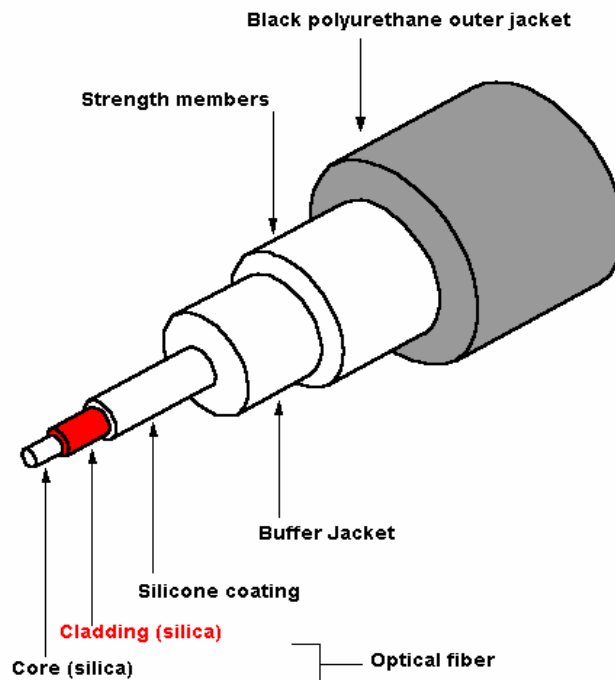
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3.1 Γενικά για τις οπτικές ίνες

Οι οπτικές ίνες είναι το πλέον αξιόπιστο μέσο μετάδοσης των οπτικών συστημάτων. Είναι εύκαμπτες ίνες γυαλιού ή πλαστικού, λεπτές όσο μια ανθρώπινη τρίχα. Ουσιαστικά δεν είναι παρά κυλινδρικοί διηλεκτρικοί κυματοδηγοί που λειτουργούν στις συχνότητες της οπτικής περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Όπως γίνεται φανερό από τα παραπάνω, κάθε οπτική ίνα αποτελείται από πέντε μέρη :

- Την κεντρική γυάλινη κυλινδρική ίνα, που ονομάζεται **πυρήνας (core)** και είναι το τμήμα στο οποίο διαδίδεται το φως.
- Ο πυρήνας περιβάλλεται από τον **μανδύα (cladding)**, ο οποίος έχει σαν στόχο να παγιδεύει το φως μέσα στον πυρήνα. Το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο είναι το ίδιο με αυτό του πυρήνα αλλά με μικρότερο δείκτη διάθλασης.
- Για τις ίνες μόνο εξωτερικού χώρου, για να παρέχεται προστασία από το νερό εγχύνουν ένα **ζελέ (silicone coating)**.
- Ο μανδύας περιβάλλεται από ένα **buffer** υλικό το οποίο συχνά είναι πλαστικό. Το υλικό αυτό βοηθάει στην προστασία του πυρήνα και του μανδύα από πιθανές ζημιές.
- Το τελευταίο μέρος είναι το **περίβλημα (outer jacket)** που προστατεύει την ίνα από γδαρσίματα, διαλυτικές ουσίες και άλλες επικίνδυνες για την ίνα καταστάσεις.



Σχήμα 3.1: Τα πέντε μέρη της ίνας.

Στο κέντρο της ίνας βρίσκεται ο πυρήνας, που είναι γυαλί υψηλού δείκτη διάθλασης. Ο πυρήνας περιβάλλεται από υλικό χαμηλότερου δείκτη διάθλασης, το μανδύα ή περίβλημα. Το φως εγκλωβίζεται στον πυρήνα και διαδίδεται κατά μήκος της ίνας. Ο πυρήνας στην πραγματικότητα μεταφέρει το φως, ενώ το περίβλημα της ίνας ανακλά το φως πίσω στον πυρήνα. Η εξωτερική περιοχή της ίνας καλείται απομονωτής. Ο απομονωτής, είναι ένα πλαστικό υλικό που παρέχει προστασία και διατηρεί την αντοχή του γυαλιού της ίνας.

Η κυματοδότηση του οπτικού σήματος επιτυγχάνεται και χωρίς την παρουσία του απομονωτή, που χρησιμοποιείται για να ελαττώσει τις απώλειες λόγω κατασκευαστικών ατελειών της κεντρικής ίνας και για να της προσδώσει μηχανική αντοχή.

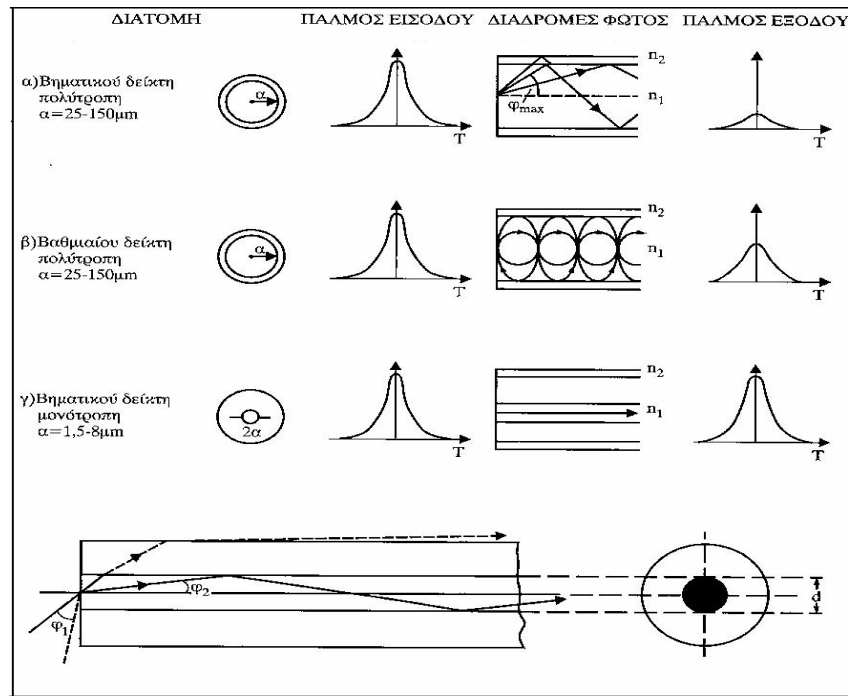
Το υλικό κατασκευής τόσο του πυρήνα όσο και του μανδύα είναι συνήθως υψηλής καθαρότητας γυαλί (οξειδίο του πυριτίου SiO<sub>2</sub>). Εκτός από το γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πολυμερές. Οι πολυμερείς οπτικές ίνες όμως παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες (>10 dB/km) και είναι κατάλληλες για ζεύξεις μικρών αποστάσεων. Άλλα είδη οπτικών ινών ενσωματώνουν χαλαζία ή καθαρή τιγμένη σιλκόνη και πλαστικό, όμως αυτές δεν χρησιμοποιούνται στις κοινά αποδεκτές υψηλής ποιότητας εφαρμογές.

Η διάδοση του φωτός μέσα σ' ένα μέσο καθορίζεται από τον δείκτη διάθλασης του μέσου  $n$ . Αν το φως διαδίδεται στο κενό με ταχύτητα  $c_0=3 \times 10^8$  m/s, τότε σ' ένα

υλικό μέσο θα διαδίδεται με ταχύτητα  $c = \frac{c_0}{n}$ . Ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα που πρέπει να είναι υψηλότερος από τον δείκτη διάθλασης του μανδύα μπορεί να έχει σταθερή τιμή ή να μεταβάλλεται και συγκεκριμένα να μειώνεται ακτινικά καθώς πλησιάζουμε προς τα όριά του με το μανδύα. Τυπικές τιμές για τους δείκτες διάθλασης είναι από 1.50 έως 1.40.

Τα είδη των οπτικών ινών μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τη δομή και τη λειτουργία τους. Οι οπτικές ίνες διακρίνονται σε τρεις τύπους: (Σχήμα 3.2)

- Πολύτροπες με βηματικό δείκτη
- Πολύτροπες με βαθμιαίο δείκτη
- Μονότροπες με βηματικό δείκτη



Σχήμα 3.2: Τύποι οπτικών ινών.

Στο παραπάνω σχήμα φαίνονται οι τύποι των οπτικών ινών και ο τρόπος μετάδοσης των φωτεινών ακτινών .

Δηλαδή υπάρχουν δυο βασικοί τύποι οπτικών ινών: Η πολύτροπη και η μονότροπη ίνα. Η πολύτροπη ίνα ήταν ο πρώτος τύπος που εμπορευματοποιήθηκε. Ο πυρήνας της είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν της μονότροπης ίνας, επιτρέποντας εκατοντάδες ακτίνες φωτός να μετακινούνται μέσα από αυτήν ταυτόχρονα. Αντιθέτως η μονότροπη ίνα έχει πολύ μικρότερο πυρήνα. Το γεγονός ότι ένας μεγάλος πυρήνας θα επέτρεπε ένα μεγάλο εύρος ζώνης ή μεγαλύτερη μεταβίβαση πληροφοριών είναι κάτι το οποίο δεν συμβαίνει. Οι μονότροπες ίνες είναι καλύτερες στο να συγκρατούν την πιστότητα κάθε παλμού φωτός για μεγαλύτερες αποστάσεις και παρουσιάζουν μικρότερη διασπορά που προκαλείται από πολλαπλές ακτίνες. Ακόμα η μονότροπη ίνα παρουσιάζει χαμηλότερη εξασθένηση από την πολύτροπη, με μειονέκτημα τον μικρή διαμέτρου πυρήνα ο οποίος κάνει την σύζευξη του φωτός στον πυρήνα δύσκολη.

Οι πολύτροπες ίνες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε βηματικού και διαβαθμιαίου δείκτη ίνες. Ο όρος πολύτροπες αναφέρεται στο γεγονός ότι πολλές ακτίνες φωτός μεταφέρονται σύγχρονος μέσα από την ίνα. Ο μεγαλύτερης διαμέτρου πυρήνας αυξάνει την ευκολία σύζευξης και γενικά, οι πολύτροπες ίνες μπορούν να συζευκτούν με



χαμηλότερου κόστους πηγές φωτός. Παρόλο αυτά, η πολύτροπη διασπορά, είναι μειονέκτημα και η εξασθένιση είναι μεγάλη.

Η ίνα βαθμιαίου δείκτη έχει παραβολικό δείκτη διάθλασης και είναι μεγαλύτερος στο κέντρο. Οι ακτίνες του φωτός δεν ακολουθούν ευθείες γραμμές, αλλά ακολουθούν έναν ελικοειδή δρόμο και ο δείκτης διάθλασης ελαττώνεται συνεχώς.

Οι πιο σημαντικές διαφορές μονότροπων και πολύτροπων οπτικών ινών είναι οι παρακάτω:

1. Οι μονότροπες ίνες μπορούν να μεταδώσουν φως με μικρή παραμόρφωση παλμού σε μεγάλη απόσταση. Παρουσιάζουν όπως λέμε μικρότερη διασπορά του φωτεινού παλμού η οποία προκαλείται στις πολύτροπες ίνες από τις πολλαπλές οδεύσεις του φωτός κατά τη διάδοση του σ' αυτές.

2. Η μονότροπη ίνα παρουσιάζει χαμηλότερη εξασθένιση από την πολύτροπη και μεγαλύτερο γινόμενο εύρος ζώνης-απόστασης.

3. Οι μονότροπες ίνες μπορούν να κατασκευαστούν μόνο από γυαλί, (πυρίτιο – SiO<sub>2</sub>) ενώ οι ίνες που μπορούν να κατασκευαστούν και από πολυμερή είναι αποκλειστικά πολλαπλού ρυθμού.

4. Οι μονότροπες ίνες, λόγω του πολύ μικρού πυρήνα τους, είναι δύσκολες στο χειρισμό τους σε αντίθεση με τις πολύτροπες.

5. Οι πολύτροπες ίνες είναι απλούστερες στην κατασκευή τους, άρα και φθηνότερες. Επίσης σε αντίθεση με τις μονότροπες συνδυάζονται με πηγές LED ή VCSEL οι οποίες είναι φθηνότερες από τις πηγές Laser για τις μονότροπες.

6. Ο πυρήνας της πολύτροπης ίνας είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν της μονότροπης, επιτρέποντας εκατοντάδες ακτίνες φωτός να μετακινούνται μέσα από την ίνα ταυτόχρονα. Μεταφέρουν δηλαδή περισσότερο φως κάτι όμως που στις τηλεπικοινωνίες δεν αποτελεί πλεονέκτημα. Είναι όμως πλεονέκτημα για άλλου είδους εφαρμογές π.χ. ενδοσκόπια.

## **3.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ**

### **3.2.1 Πλεονεκτήματα οπτικών ινών**

Μια σειρά πλεονεκτημάτων έχουν καταστήσει τις οπτικές ίνες την πλέον εύλογη επιλογή ως μέσο μετάδοσης πληροφορίας στην εποχή μας. Τέτοια πλεονεκτήματα είναι:

1. Μεγάλη χωρητικότητα πληροφορίας. Οφείλεται στη χρήση της οπτικής περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.
2. Μικρό κόστος. Πράγματι το γυαλί είναι πολύ πιο φθηνό από το χαλκό και τα αποθέματα του ανεξάντλητα. Ακόμη η μικρή εξασθένιση των οπτικών ινών μειώνει τον αριθμό των αναμεταδοτών/ενισχυτών σε μια ζεύξη μειώνοντας ακόμη περισσότερο το κόστος.
3. Χαμηλό βάρος και μικρό μέγεθος της οπτικής ίνας. Ένα καλώδιο οπτικών ινών ζυγίζει 4 φορές λιγότερο από ένα συμβατικό και έχει περίπου τη μισή διάμετρο.
4. Αναισθησία στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Το γυαλί είναι διηλεκτρικό και δεν παρουσιάζει φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής.
5. Ασφάλεια. Είναι αδύνατον να γίνει υποκλοπή του οπτικού σήματος. Επίσης λόγω του ότι δεν έχουμε μεταφορά ηλεκτρικού σήματος, τα οπτικά συστήματα προτιμώνται σε περιοχές υψηλού κινδύνου εκρήξεων λόγω σπινθήρων (χώροι καυσίμων, εύφλεκτων αερίων κλπ.)
6. Υψηλό bandwidth: Οι υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων εξασφαλίζουν ταχύτητες της τάξεως των Gbps που με την σειρά τους προσφέρουν αστραπιαία διαμεταγωγή δεδομένων και αξιόπιστες υπηρεσίες τηλεφωνίας μέσω του πρωτοκόλλου IP.
7. Μικρή εξασθένιση του σήματος χάρη στην υψηλή ποιότητα του γυαλιού που χρησιμοποιείται ως μέσο μετάδοσης. Ακόμη και αν υπάρξει εξασθένιση του σήματος αυτό ενισχύεται πολύ εύκολα μέσω των κατάλληλων ενισχυτών.
8. Μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια: αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν παρατηρούνται σημαντικές απώλειες σήματος καθώς και στον τρόπο μετάδοσης δεδομένων, δηλαδή με την χρήση φωτεινής δέσμης που απαιτεί πολύ μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, σε σχέση με το ηλεκτρικό σήμα.
9. Υψηλή διαθεσιμότητα: Οφείλεται κυρίως στην ανθεκτική κατασκευή των σύγχρονων οπτικών καλωδίων που μειώνει στο ελάχιστο το ενδεχόμενο εξωτερικής ζημιάς.
10. Μικρές διαστάσεις και βάρος, καθώς ένα μικρό και ελαφρύ καλώδιο οπτικών ινών μεταφέρει πολύ περισσότερα δεδομένα από ένα μεγάλο και βαρύ χάλκινο καλώδιο. Έτσι απαιτείται πολύ λιγότερος χώρος για την υλοποίηση ενός δικτύου οπτικών ινών.
11. Χαμηλός ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων.

12. Είναι ανεπηρέαστες από ηλεκτρικά μαγνητικά πεδία και ως εκ τούτου συνίσταται η χρήση σε βιομηχανικούς χώρους σε υψηλό περιβάλλον θορύβου. Είναι πλέον φανερό ότι όσον αφορά τα μέσα μετάδοσης οι οπτικές ίνες, σε αντίθεση με τα χάλκινα καλώδια οποιασδήποτε μορφής, είναι η μόνη τεχνολογία με δυνατότητες να προσφέρει λύση ικανοποιώντας την συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για εύρος ζώνης.

### **3.2.2 Μειονεκτήματα οπτικών ινών**

Στα μειονεκτήματα των οπτικών ινών καταλογίζονται οι δύσκολοι τρόποι σύνδεσης προσαρμογής και ευθυγράμμισης της κάθε οπτικής ίνας έτσι ώστε το φως σαν φορέας μετάδοσης της πληροφορίας να μην αποκλίνει γιατί ακόμη και πολύ μικρές αποκλίσεις των βυσμάτων σύνδεσης προξενούν διασπορά και απώλεια σήματος. Παράλληλα, παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ευαισθησία σε μηχανικές καταπονήσεις (τραντάγματα, κρούσεις, τραβήγματα).

### **3.2.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη οπτικών ινών**

Στα χαρακτηριστικά μεγέθη μια οπτικής ίνας εμπεριέχονται η διάμετρος του πυρήνα, το πάχος του πυρήνα και του περιβλήματος, η γωνία και ο κώνος αποδοχής, το αριθμητικό άνοιγμα (NA) καθώς επίσης και ο αριθμός των ρυθμών μετάδοσης του φωτός. Η διάμετρος πυρήνα για ίνα κατασκευασμένη από γυαλί είναι 0,4 μm έως 6,25 μm. Οι πιο συνηθισμένες τιμές διαμέτρων είναι 6,25 μm και 125 μm. Η διάμετρος των πλαστικών ινών είναι συνήθως 1 μm. Το πάχος του περιβλήματος μπορεί να είναι από μερικά έως μερικές εκατοντάδες μm, μπορεί να αποτελείται από γυαλί ή κάποιο είδος σιλικόνης βασική προϋπόθεση όμως είναι να έχει μικρότερο δείκτη διάθλασης από το δείκτη του πυρήνα. Η γωνία και ο κώνος αποδοχής καθορίζουν μαζί με το αριθμητικό άνοιγμα την ικανότητα συλλογής οπτικής ισχύος από την ίνα. Σαν γωνία αποδοχής ορίζουμε οποιαδήποτε γωνία μετρούμενη από τη διαμήκη κεντρική γραμμή έως την πιο ακραία ακτίνα πρόσπτωσης που είναι ικανή και αποδεκτή για μετάδοση πληροφοριών μέσα στην ίνα. Κώνος αποδοχής είναι ο κώνος του οποίου η γωνία είναι ίση με το διπλάσιο της γωνίας αποδοχής. Το αριθμητικό άνοιγμα (NA) εκφράζει την ικανότητα της συλλογής οπτικής ισχύος από την οπτική ίνα. Αυτή η παράμετρος ορίζεται από την σχέση:

$$NA = \sin\theta , \text{ όπου } \theta \text{ είναι η γωνία αποδοχής}$$

### **3.2.4 Είδη οπτικών ινών**

Οι οπτικές ίνες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το υλικό κατασκευής του πυρήνα και του μανδύα, τη μεταβολή του δείκτη διάθλασης και το πλήθος των τρόπων μετάδοσης που υποστηρίζουν.

Όσον αφορά το υλικό κατασκευής οι οπτικές ίνες έχουν τις εξής κατηγορίες:

**Εξ ολοκλήρου γυάλινες οπτικές ίνες:** αποτελούν το πιο διαδεδομένο είδος οπτικών ινών. Τόσο ο πυρήνας όσο και ο μανδύας είναι φτιαγμένα από γυαλί όπου η ονομασία είναι quartz, το οποίο γυαλί είναι υψηλής καθαρότητας σε διοξείδιο του πυριτίου στο οποίο έχουν γίνει οι κατάλληλες προσμίξεις ώστε να επιτευχθεί η επιδιωκόμενη διαφορά στο συντελεστή διάθλασης πυρήνα και μανδύα. Οι τύποι προσμίξεων είναι το γερμάνιο και ο φώσφορος που βρίσκονται στον πυρήνα με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο συντελεστής διάθλασης του γυαλιού αλλά και το φθόριο που χρησιμοποιούνται κυρίως στον μανδύα μειώνοντας το συντελεστή διάθλασης του γυαλιού.

**Ίνες γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα:** Χρησιμοποιούνται κυρίως για μεταφορά φωτός και εικόνας σε μικρές αποστάσεις σε εξειδικευμένες εφαρμογές.

**Εξ ολοκλήρου πλαστικές ίνες:** σε σύγκριση με τα άλλα είδη ινών εμφανίζουν κατώτερες επιδόσεις ως προς την ελάχιστη εξασθένιση (0,15 db/m στα 650 nm) και το διαθέσιμο εύρος ζώνης καθώς και μεγάλη ευαισθησία σε θερμοκρασιακές μεταβολές. Η εφαρμογή τους εκτείνεται σε τοπικά δίκτυα και εσωτερικές καλωδιώσεις κτιρίων.

### **3.2.5 Καλώδια οπτικών ινών**

Καλώδιο εννοούμε την δομή που περιλαμβάνει μια ή περισσότερες οπτικές ίνες ώστε να διασφαλιστούν οι λειτουργικές επιδόσεις τους στο περιβάλλον λειτουργίας τους όσο το δυνατόν περισσότερο. Τα καλώδια θα πρέπει να αντέχουν σε όλες τις πιθανές συνθήκες που θα προκύψουν κατά την αποθήκευση τους, την εγκατάστασή τους, τη λειτουργία τους καθώς και είναι πολύ πιθανό να εκτεθούν σε υψηλές θερμοκρασίες από ηλιακή ακτινοβολία έως ψύχος, βροχή και υγρασία. Επίσης κατά την εγκατάσταση στους υφίσταται κάμψη, στρέψη και εφελκυσμό. Όταν γίνει η εγκατάσταση και προκύψει η χαλάρωση τάσεων του καλωδίου, η δομή του δέχεται ακόμη τις επιδράσεις της υγρασίας της θερμοκρασιακής κύκλωσης και των περιβαλλοντικών μεταβολών. Έτσι οι ίνες που βρίσκονται μέσα στο καλώδιο θα

πρέπει να παραμείνουν άθικτες και προστατευμένες για να συνεχίσουν την ομαλή λειτουργία τους χωρίς να υπάρξει κάμψη της επίδοσης τους. Γενικότερα, τα καλώδια των οπτικών ινών χωρίζονται σε καλώδια χαλαρής δομής και καλώδια σφικτής δομής. Οι όροι χαλαροί και σφικτοί αναφέρονται στη δομή του σωλήνα όπου μέσα τοποθετείται η οπτική ίνα για να προστατεύεται.

**Καλώδια χαλαρής δομής:** σε αυτά τα καλώδια οι ίνες τοποθετούνται χαλαρά μέσα στο σωλήνα. Κάθε σωλήνας έχει εξωτερική διάμετρο 2- 3 mm και μπορεί να έχει από 2 έως και 12 οπτικές ίνες, σε χαλαρή διάταξη. Ο σωλήνας εσωτερικά έχει μια μορφή gel για να εμποδίζεται η εισροή νερού που μπορεί είτε παγώνοντας να προκαλέσει μικροκάμψεις είτε να ελευθερωθεί υδρογόνο και έτσι να προκύψει βαθμιαία αύξηση των απωλειών στην ίνα. Ο σωλήνας χαλαρής δομής απομονώνει τις οπτικές ίνες από την επίδραση των εξωτερικών μηχανικών τάσεων που ασκούνται στο καλώδιο. Το μήκος των οπτικών ινών μέσα στο σωλήνα είναι μεγαλύτερο του μήκους του καλωδίου για το λόγω του ότι το καλώδιο και οι σωλήνες του να υφίστανται εφελκυσμό κατά την εγκατάσταση τους κυρίως σε υπόγειες σωληνώσεις χωρίς να ασκείται κάποιο φορτίο πάνω στις ίνες. Η διαφορά αυτή σε μήκος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στη διάρκεια μετρήσεων με OTDR ώστε να καθοριστεί το ακριβές μήκος του καλωδίου.

**Καλώδια σφικτής δομής:** Τα καλώδια σφικτής δομής περιλαμβάνουν έναν αριθμό από ίνες σε ανεξάρτητους σωλήνες γύρω από ένα κεντρικό στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης και ένα συνολικό προστατευτικό μανδύα. Κάθε σωλήνας έχει εξωτερική διάμετρο 900 μm και περιβάλλει σφικτά την οπτική ίνα που καλύπτεται με μια διάμετρο της τάξεως των 250 μm. Ο σωλήνας προστατεύει την οπτική ίνα από τους εξωτερικούς παράγοντες που υπάρχουν στο περιβάλλον. Λόγω της σφικτής δομής επιτρέπει τον άμεσο τερματισμό της οπτικής ίνας σε κατάλληλο σύνδεσμο, χωρίς να υπάρχει προϋπόθεση για σύνδεση με προ – τερματισμένη ουρά του καλωδίου για συνένωση. Για εσωτερική χρήση η πρακτική αυτή μπορεί να ελαττώσει το κόστος εγκατάστασης όσο και τις απώλειες που προκύπτουν από τις συγκολλήσεις οπτικών ινών. Λόγω όπως της σφικτής δομής στο σωλήνα το καλώδιο είναι πιο ευαίσθητο σε φορτίο εφελκυσμού και σε απώλειες από μικροκάμψεις. Τα καλώδια σφικτής δομής είναι πιο εύκαμπτα και επιτρέπουν μικρότερη ακτίνα καμπυλότητας από τα αντίστοιχα της χαλαρής δομής. Η διατομή τους είναι πιο μεγάλη από αυτά της χαλαρής δομής και η χωρητικότητά τους σε σπάνιες περιπτώσεις ξεπερνά τις 24 ίνες.

**Υλικά καλωδίων:** Ο εξωτερικός μανδύας έχει πάχος μεγαλύτερο των 2 mm και σκοπός του είναι να προστατεύσει τον καλωδιακό πυρήνα από εξωτερικές επιδράσεις. Μπορεί να είναι πολυαιθυλένιο, πολυουρεθάνη, χλωριούχο πολιβινίλιο έχοντας ατσάλινη θωράκιση ή οπλισμό χαλύβδινου πτυχωτού σωλήνα

ίνες αραμίδης και άλλα υλικά ανάλογα με το είδος της εφαρμογής για χρήση σε εξωτερικό χώρο. Σε περίπτωση εσωτερικής χρήσης ο εξωτερικός μανδύας πρέπει να είναι από βραδύκαυστο υλικό χαμηλού καπνού και να μην περιλαμβάνει αλογόνα. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στην κατάταξη των καλωδίων ανάλογα με το είδος της εφαρμογής. Ανάλογα με την εφαρμογή τα ινοοπτικά καλώδια κατατάσσονται σε εναέρια, υπόγεια άμεσης ταφής, υπόγεια σωληνώσεως, υποβρύχια και εσωτερικής χρήσης.

**Εναέρια:** Είναι τα καλώδια που κρέμονται από τηλεφωνικούς στύλους και αποτελούν λύση χαμηλού κόστους.

**Υπόγεια άμεσης ταφής :** είναι τα καλώδια που θάβονται κατευθείαν στο έδαφος.

**Υπόγεια σωληνώσεως:** Είναι τα καλώδια που τοποθετούνται σε πλαστικές σωληνώσεις με εφελκυσμό ή τεχνική εμφύσησης αέρα.

**Υποβρύχια:** Χρησιμοποιούνται για υποθαλάσσιες ζεύξεις.

Εσωτερικές χρήσεις :Είναι τα καλώδια που χρησιμοποιούνται σε τηλεπικοινωνιακά ή εμπορικά κτίρια. Έχουν εξωτερικό μανδύα από υλικό βραδύκαυστο χαμηλής εκπομπής καπνού και χωρίς αλογόνα. Για εσωτερική καλωδίωση χρησιμοποιούνται καλώδια με καλωδιακό πυρήνα σφικτής δομής.

Ανάλογα με το είδος οπλισμού τους τα ινοοπτικά καλώδια κατατάσσονται σε:

**Εξ ολοκλήρου διηλεκτρικά:** Είναι τα καλώδια που φέρουν μεταλλικά στοιχεία και χρησιμοποιούνται σε κεραυνόπληκτες περιοχές ή σε διαδρομές που είναι παράλληλες με γραμμές υψηλής τάσης σε μεγάλο μήκος.

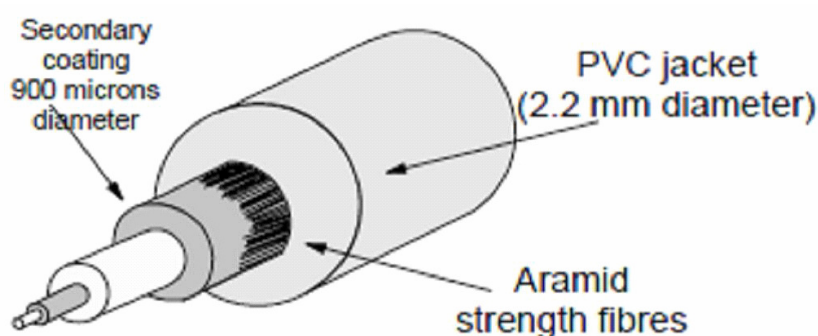
**Θωρακισμένα :**Είναι τα καλώδια που φέρουν μεταλλικό οπλισμό που ανάλογα με το είδος της εφαρμογής μπορεί να είναι ταινία αλουμινίου πτυχωτός χαλύβδινος μανδύας, ένα ή περισσότερα πλέγματα από ατσαλόσυρμα. Η μεταλλική θωράκιση πρέπει πάντα να γειώνεται ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να διασφαλίζεται η συνέχεια της σε όλη τη διαδρομή.

### **Κατασκευή καλωδίου**

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι καλωδίων, τα καλώδια «σφικτής δομής» (tight buffered cables) τα καλώδια «χαλαρού σωλήνα» (loose tube cables) και τα καλώδια «χαλαρού σωλήνα με gel» (loose tube with gel filler). Στα πρώτα περιέχονται ίνες (ή ίνα) με προστασία δευτέρου σταδίου (SCOF). Το εξωτερικό περίβλημα του καλωδίου συγκρατεί τις ίνες σε μια σφικτή δομή. Τέτοιου τύπου κατασκευές χρησιμοποιούνται κυρίως σε καλώδια εσωτερικού χώρου. Στα loose tube ένας μικρός αριθμός PCOF, συνήθως 1- 8, τοποθετούνται σε έναν πλαστικό σωλήνα (PVC) διαμέτρου περίπου 6 χιλιοστών. Το περίβλημα δε συγκρατεί τις ίνες οπότε αυτές είναι ελεύθερες να κινούνται μέσα σ' αυτό. Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου είναι ότι οι ίνες δεν δέχονται τα φορτία εφελκυσμού και κάμψης του περιβλήματος. Τέλος τα καλώδια χαλαρού σωλήνα με gel είναι όπως και αυτά του προηγούμενου τύπου αλλά περιέχουν και gel στο εσωτερικό του πλαστικού σωλήνα. Το gel

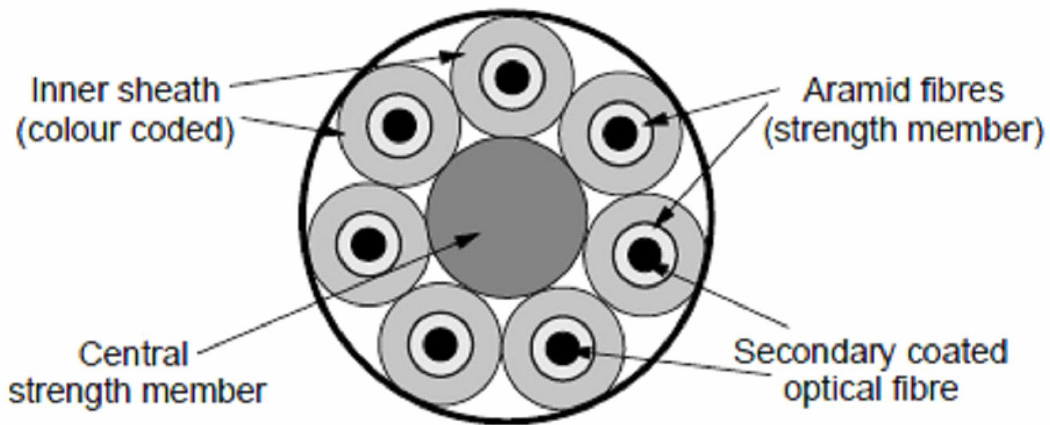
προστατεύει από την υγρασία αλλά και από τον τραυματισμό των ινών μεταξύ τους. Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν παράγωγα πετρελαίου για gel. Τα gel αυτά όμως παρουσίαζαν μεγάλη μεταβολή στο ιξώδες τους με την αλλαγή της θερμοκρασίας κάτι που προκαλούσε πολλά προβλήματα. Έτσι αντικαταστάθηκαν από gel σιλικόνης αρχικά και έπειτα από συνθετικά τα οποία έχουν ιξώδες ανεξάρτητο της θερμοκρασίας. Τα περισσότερα υπόγεια καλώδια εξωτερικού χώρου είναι τύπου loose tube with gel filler.

**Καλώδια εσωτερικού χώρου.** Τα καλώδια αυτά αναφέρονται στα καλώδια συνήθως «σφιχτής δομής». Όπως φαίνεται και στο σχήμα μετά την SCOF περιέχουν ένα περίβλημα από ίνες Αραμιδίου (σύντμηση των λέξεων αρωματικό πολυαμίδιο) οι οποίες δίνουν στο καλώδιο επιπλέον μηχανική αντοχή αλλά και θερμική μόνωση. Το εξωτερικό περίβλημα είναι από PVC.



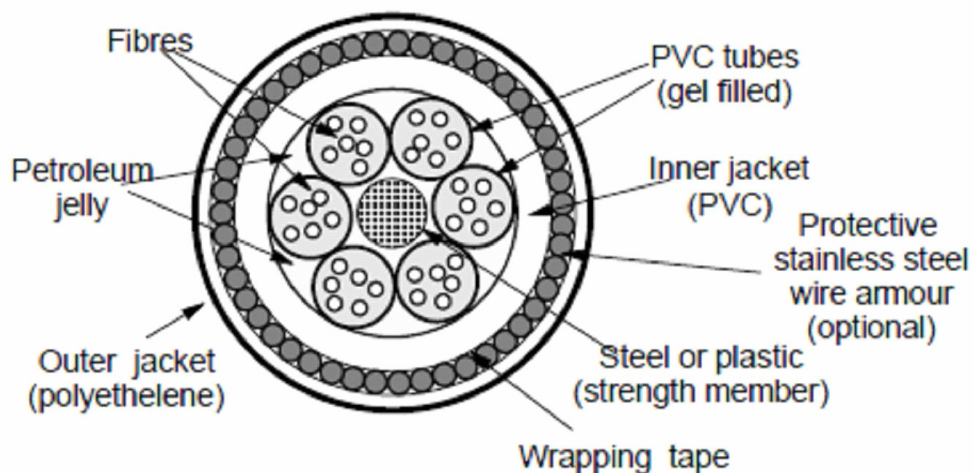
Σχήμα 3.3: Tight Buffered cable μονού πυρήνα (μια ίνα)

Τέτοιου τύπου καλώδια δε χρησιμοποιούνται συνήθως σε μόνιμες καλωδιώσεις αλλά για προσωρινές συνδέσεις (fly cables) και υπάρχουν και διπλού πυρήνα όπου στην ουσία έχουμε δύο καλώδια μονού πυρήνα κολλημένα. Στην κατακόρυφη καλωδίωση χρησιμοποιούνται συνήθως καλώδια που περιέχουν 12 καλώδια μονού πυρήνα τα οποία υποστηρίζονται από ένα κεντρικό πλαστικό στέλεχος το οποίο απορροφά το μηχανικό φορτίο που δέχονται οι ίνες από το ίδιο τους το βάρος.



Σχήμα 3.4: Καλώδιο riser tight buffered που περιέχει 7 καλώδια μονού πυρήνα

**Καλώδια εξωτερικού χώρου.** Στην τυπική του μορφή ένα υπόγειο καλώδιο εξωτερικού χώρου αποτελείται από 6 καλώδια χαλαρού σωλήνα με gel, υποστηριζόμενα από ένα κεντρικό στέλεχος για αύξηση της μηχανικής αντοχής. Περιφερειακά μπορεί να υπάρχει μεταλλική θωράκιση για προστασία από εξωγενείς παράγοντες. Ένα τέτοιο καλώδιο φαίνεται στο σχήμα ..... Το κεντρικό στέλεχος είναι από πλαστικό ενώ η προαιρετική περιφερειακή θωράκιση είναι από ατσάλι. Πολλές φορές μάλιστα, αν και έχει μεγαλύτερο κόστος, τοποθετείται ανοξείδωτο ατσάλι το οποίο εξασφαλίζει ότι η εξωτερική θωράκιση δε θα σκουριάσει σε περίπτωση που το εξωτερικό περίβλημα καταστραφεί σε κάποιο σημείο.

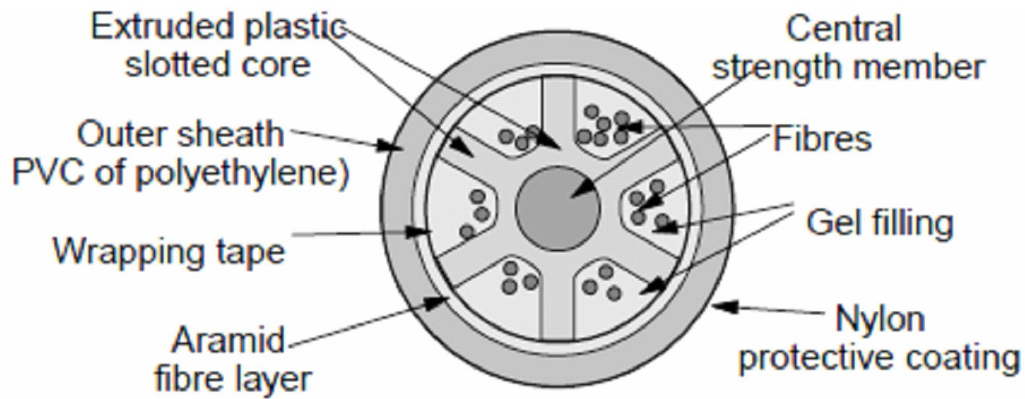


Σχήμα 3.5 Εγκάρσια τομή ενός υπόγειου καλωδίου εξωτερικού χώρου.

Τα καλώδια loose tube περικλείονται σε έναν σωλήνα από PVC ο οποίος πληρώνεται και αυτός με gel. Έπειτα τοποθετείται η μεταλλική θωράκιση και τέλος το εξωτερικό περίβλημα από πολυαιθυλένιο. Συνήθως τα καλώδια αυτά περιέχουν 6 loose tube καλώδια που το καθένα περιέχει 6 ίνες άρα συνολικά 36 ίνες. Μπορεί

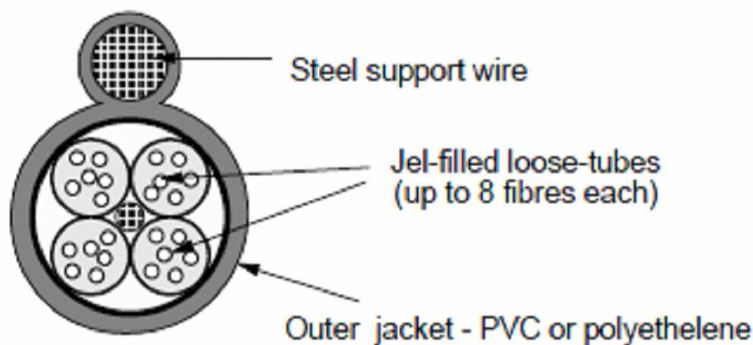


όμως να περιέχονται και 12 loose tube καλώδια με 8 ίνες το καθένα οπότε το καλώδιο μεταφέρει 96 ίνες. Επίσης εάν υπάρχει ανάγκη για τροφοδοσία κάποιων συσκευών κάποιες ίνες σε ένα από τα loose tube καλώδια μπορούν να αντικατασταθούν από χαλκό.



Σχήμα 3.6: Ένας άλλος τύπος καλωδίου εξωτερικού χώρου.

Ένας άλλος τύπος εξωτερικού υπόγειου καλωδίου φαίνεται στο σχήμα 3.5. Σ' αυτόν τον τύπο καλωδίου το κεντρικό πλαστικό στέλεχος έχει σχήμα γριναζιού και στους αύλακες του τοποθετούνται οι ίνες και gel. Έπειτα τοποθετούνται ίνες Αραμιδίου και τέλος το εξωτερικό περίβλημα από PVC η πολυαιθυλένιο. Τέλος τα υπέργεια καλώδια εξωτερικού χώρου έχουν δομή παρόμοια με αυτήν των υπόγειων αλλά περιλαμβάνουν ένα επιπλέον μεταλλικό στέλεχος παραπλεύρως της βασικής κατασκευής το οποίο επιφορτίζεται τις τάσεις που ασκούνται στα σημεία ανάρτησης τους. Ένα τέτοιο καλώδιο απεικονίζεται στο σχήμα 3.7.

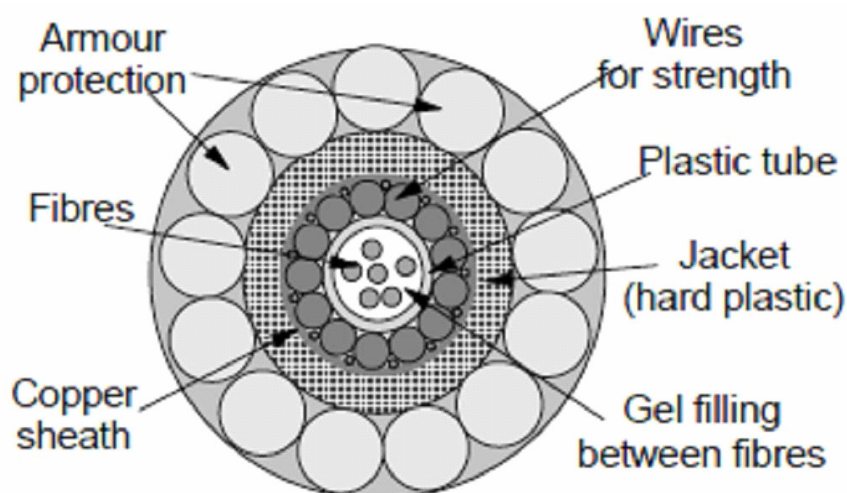


Σχήμα 3.7: Υπέργειο (aerial) καλώδιο.

**Υποβρύχια καλώδια.** Υπάρχει ένας διαχωρισμός μεταξύ των υποβρύχιων καλωδίων σε υποβρύχια καλώδια μικρού και μεγάλου βάθους. Ο διαχωρισμός αυτός υπάρχει

γιατί η πόντιση καλωδίων σε μικρά βάθη συνεπάγεται τη λήψη μέτρων προφύλαξης που δεν υπάρχουν κατά την πόντιση σε μεγάλα βάθη. Ένα καλώδιο το οποίο είναι ποντισμένο σε βάθος μικρότερο των 1000 μέτρων δεν είναι σε ασφαλές περιβάλλον αφού κινδυνεύει από άγκυρες πλοίων μηχανότρατες, συρτές ψαράδικων κ.α. Έτσι τα υποβρύχια καλώδια μικρού βάθους έχουν καλύτερη θωράκιση και συνήθως θάβονται σε ένα μικρού βάθους χαντάκι στο βυθό. Αντίθετα τα καλώδια μεγάλου βάθους δεν αντιμετωπίζουν τέτοιου είδους κινδύνους γι' αυτό και οι εταιρείες που ποντίζουν καλώδια επιλέγουν η όδευση των καλωδίων να γίνεται στο μεγαλύτερο μέρος της σε μεγάλα βάθη.

Τα υποβρύχια καλώδια μεταφέρουν μικρότερο αριθμό ινών (4 – 20) σε σχέση με τα υπόγεια καλώδια λόγω της ισχυρότερης θωράκισης που χρειάζονται για να αντιμετωπίσουν την πίεση του νερού. Στο κέντρο τους υπάρχει ένα καλώδιο loose tube with gel το οποίο περιβάλλεται από έναν πλαστικό σωλήνα εξωτερικά του οποίου υπάρχουν καλώδια (χωρίς ίνα) για να ενισχύσουν τη μηχανική αντοχή του. Η δομή αυτή τοποθετείται σε μια χάλκινη θήκη η οποία με τη σειρά της περιβάλλεται από σωλήνα κατασκευασμένο από σκληρό πλαστικό. Τέλος το καλώδιο θωρακίζεται εξωτερικά όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.8.



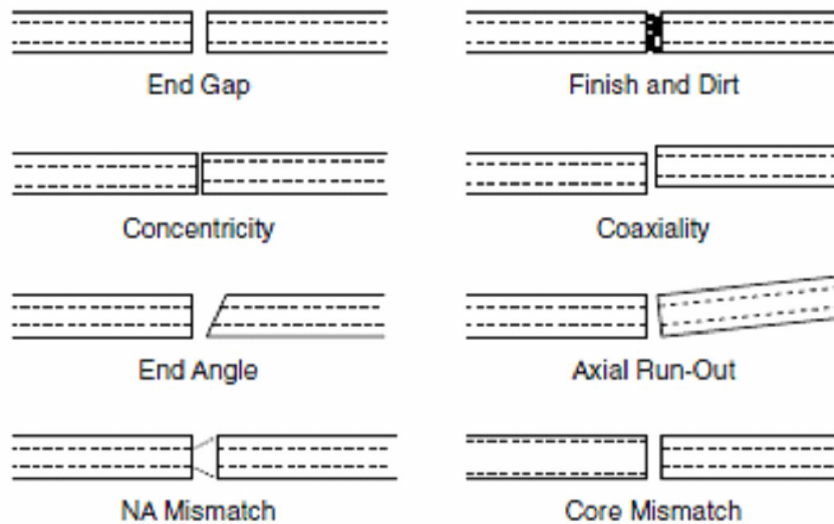
Σχήμα 3.8: Εγκάρσια τομή ενός υποβρύχιου καλωδίου

### 3.2.6 ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Η σύνδεση οπτικών ινών είναι, σε αντίθεση με τη σύνδεση χάλκινων αγωγών, μια χρονοβόρα σύνθετη και λεπτή διαδικασία. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι σύνδεσης οπτικών ινών. Οι μόνιμες συνδέσεις (splices) και οι σύνδεση με συνδετήρα (connector). Στις πρώτες οι ίνες συγκολλούνται μεταξύ τους είτε με μηχανικό τρόπο (Mechanical splicing) είτε με θερμικό (Fusion splicing) και οι απώλειες του σήματος είναι πολύ μικρές. Στις συνδέσεις με συνδετήρες οι απώλειες είναι μεγαλύτερες αλλά πλεονεκτούν φυσικά στον τομέα της ευελιξίας.

Δύο είναι οι βασικές παράμετροι οι οποίες θα χαρακτηρίσουν μια σύνδεση. Η μηχανική αντοχή της σε κάμψη ή εφελκυσμό και οι απώλειες του σήματος που

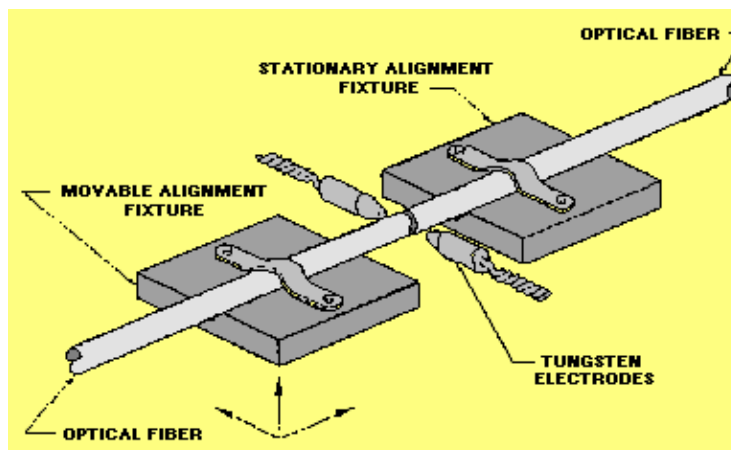
επιφέρει. Οι απώλειες μπορεί να συμβαίνουν για πολλούς και διάφορους λόγους, συνηθέστερες όμως αιτίες απωλειών είναι η κακή ευθυγράμμιση των ινών, η παρουσία αέρα ή ξένων σωμάτων ανάμεσα στις ίνες, αλλά και η ατελής λείανση των επιφανειών που συγκολλούνται. Στο σχήμα 3.9 φαίνονται κάποιες περιπτώσεις κακής σύνδεσης.



Σχήμα 3.9 Διάφορες περιπτώσεις κακής σύνδεσης ινών

### Θερμική συγκόλληση (Fusion Splicing)

Η θερμική συγκόλληση πραγματοποιείται με ειδικά μηχανήματα που λέγονται splicers. Τα splicers φέρουν δύο ακίδες – ηλεκτρόδια τα οποία δημιουργούν, στο διάκενό τους, ηλεκτρικό τόξο. Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται τοπικά είναι περίπου 1100ο C και λιώνει τα άκρα των ινών, οι οποίες στην συνέχεια έρχονται σε επαφή και συγκολλούνται.



Σχήμα 3.10: Αρχή λειτουργίας fusion splicer. Τα σύγχρονα splicer έχουν τη δυνατότητα να ευθυγραμμίζουν αυτόματα τις ίνες, μειώνοντας σημαντικά το χρόνο συγκόλλησης.

Η διαδικασία ξεκινά με την απογύμνωση (stripping) των ινών από τα προστατευτικά περιβλήματα τους. Κατόπιν οι ίνες κόβονται με ειδικούς κοπτήρες (cleavers) για να έχουν όσο γίνεται πιο επίπεδη επιφάνεια και κάθετη στο διαμήκη άξονα τους. Στη συνέχεια καθαρίζονται με διάλυμα αιθυλικής αλκοόλης και τοποθετούνται στο splicer. Τα περισσότερα σύγχρονα μηχανήματα έχουν ενσωματωμένα μικροσκόπια και χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές για να ευθυγραμμίζουν τις ίνες. Η ευθυγράμμιση των ινών είναι ο βασικότερος παράγοντας για μια επιτυχημένη συγκόλληση με μικρές απώλειες. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι και η ποιότητα των επιφανειών που συγκολλούνται. Οι επιφάνειες πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο καθαρές και επίπεδες.

Γι' αυτό το λόγο πριν τη δημιουργία της συγκόλλησης ένα ηλεκτρικό τόξο μικρότερης ισχύος (prefusion) «καθαρίζει» τις επιφάνειες από ατέλειες που δημιουργήθηκαν κατά την κοπή τους. Επίσης το περιβάλλον στο οποίο γίνεται η συγκόλληση πρέπει να είναι ελεγχόμενο και σχετικά προστατευμένο, κυρίως από τη σκόνη.

Τέλος σημαντική επίδραση στη συγκόλληση έχει και η ισχύς του ηλεκτρικού τόξου της ένωσης και ανιχνεύεται φυσικά από το OTDR και φαίνεται στο ίχνος σαν μια μικρή κορυφή πριν την Ηλεκτρική εκκένωση μεγάλης έντασης έχει σαν αποτέλεσμα την τήξη μεγάλου μέρους των ινών άρα και μια πιο ανθεκτική συγκόλληση, υστερεί όμως σε οπτικές ιδιότητες γιατί χαλάει η «ομοιομορφία» του δείκτη διάθλασης. Αντίθετα ηλεκτρικές εκκενώσεις μικρότερης έντασης δημιουργούν ενώσεις με καλύτερες οπτικές ιδιότητες (μικρότερες απώλειες, μικρότερες οπισθοσκεδάσεις) αλλά και με μικρότερη μηχανική αντοχή.

Γενικά μια αποδεκτή θερμική συγκόλληση έχει απώλειες περίπου 0.1 dB, μικρότερες από της μηχανικές συγκολλήσεις ή τους συνδετήρες, όχι όμως αμελητέα για τα δεδομένα των οπτικών ινών αφού ισοδυναμεί με τις απώλειες που επιφέρει ίνα 500 m.

Παρ' όλα αυτά με τα σύγχρονα splicer μπορούν να γίνουν και συγκολλήσεις με μικρότερες απώλειες. Επίσης κάποια splicer έχουν τη δυνατότητα να κάνουν ταυτόχρονα πολλές συγκολλήσεις, μέχρι και 12 ίνες.



Σχήμα 3.11: Σύγχρονο splicer από την Ericsson

### **Μηχανικές Συγκολλήσεις (Mechanical splicing).**

Οι μηχανικές συγκολλήσεις, σε αντίθεση με τις θερμικές, δεν είναι χρονοβόρες ούτε απαιτούν ειδικό εξοπλισμό υψηλού κόστους. Είναι όμως και ποιοτικά κατώτερες μια και παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες από τις θερμικές. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε συγκολλήσεις πολύτροπων ινών όπου οι ευθυγράμμιση είναι πιο εύκολη και οι απαιτήσεις μικρότερες. Κατά τη διαδικασία της μηχανικής συγκόλλησης οι ίνες κόβονται, όπως και στην θερμική συγκόλληση, με cleavers. Στη συνέχεια αφού γίνει ο υποτυπώδης καθαρισμός τους ευθυγραμμίζονται και συγκολλούνται.

Η ευθυγράμμιση κατά την μηχανική συγκόλληση δεν απαιτεί την ευθυγράμμιση των πυρήνων αλλά μόνο του μανδύα των ινών. Αυτό έχει ως συνέπεια φυσικά να υπάρχουν ατέλειες γι' αυτό άλλωστε έχουμε και μεγαλύτερες απώλειες σ' αυτού του είδους συγκολλήσεις. Αυτές οι ατέλειες οφείλονται σε πιθανή εκκεντρότητα του πυρήνα σε σχέση με τον μανδύα αλλά και στο ελαφρώς ελλειπτικό σχήμα που εκ κατασκευής πολλές φορές έχουν οι ίνες. Επίσης πολλές φορές οφείλονται και στην ανοχή των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται για την ευθυγράμμιση. Τα εξαρτήματα αυτά είναι μικροί γυάλινοι σωλήνες (tubes) στους οποίους τοποθετούνται τα άκρα των ινών που θα συγκολληθούν. Η συγκόλληση γίνεται με εποξική ρητίνη. Η εποξική ρητίνη είναι ρευστή κόλλα με κατάλληλο δείκτη διάθλασης, παρόμοιο με αυτόν της ίνας, και τοποθετείται στην επιφάνεια της μιας ίνας. Είναι όμως και αυτή ένας παράγοντας που συμβάλλει στις αυξημένες απώλειες των μηχανικών συγκολλήσεων λόγω του ελαφρώς διαφορετικού δείκτη διάθλασης της αλλά και του διαφορετικού συντελεστή θερμικής διαστολής σε σχέση με τις ίνες.



Σχήμα 3.12: Mechanical splicing tubes. Το πρώτο από τα αριστερά χρησιμοποιείται σε fusion splicing. Οι σωλήνες μηχανικής συγκόλλησης έχουν συνήθως και μια μικρή οπή για να μπορεί να διαφεύγει η περίσσεια κόλλας

### **Συνδετήρες (Connectors)**

Οι συνδετήρες χρησιμοποιούνται όταν η σύνδεση των ινών δεν θέλουμε να είναι μόνιμη, όταν δηλαδή θέλουμε να υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης και αποσύνδεσης. Παράδειγμα η σύνδεση των ινών με συσκευές, η σύνδεση οπτικού καλωδίου σε επιτοίχια πρίζα ή οπτικά patch panels. Οι συνδετήρες υστερούν σε σχέση με τις μόνιμες συνδέσεις στις απώλειες. Απώλειες έως και 1dB είναι αποδεκτές για συνδετήρες αν και υπάρχουν συνδετήρες με μικρότερες απώλειες. Επίσης λόγω της αρκετά σύνθετης διαδικασίας που ακολουθείται για την τοποθέτηση συνδετήρα σε ίνα είναι προτιμότερο αυτή να διεξάγεται σε ελεγχόμενο περιβάλλον, π.χ. στο χώρο του κατασκευαστή, και όχι στο πεδίο. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι η τοποθέτηση του συνδετήρα δε μπορεί να γίνει στο πεδίο εργασίας. Η σύνδεση ινών με



συνδετήρες υπερτερεί όμως στην ευελιξία αφού οι συνδέσεις αυτές δεν είναι μόνιμες οπότε μπορούν να συνδεθούν και να αποσυνδεθούν πολλές φορές, συνήθως 500 ως 1000. Γι' αυτό το λόγο η αντοχή ενός συνδετήρα στην επαναληψιμότητα είναι βασική παράμετρος κατά τη σχεδίαση και κατασκευή του.

Μια άλλη πρόκληση στην κατασκευή συνδετήρων είναι και η μικρή ανοχή που πρέπει να έχουν όσο αφορά στις διαστάσεις τους. Ειδικά το ferrule, δηλαδή ο κεραμικός σωλήνας που χρησιμεύει για να συγκρατεί το απογυμνωμένο κομμάτι της ίνας. Έτσι ενώ οι συνδετήρες χάλκινων καλωδίων επιδεικνύουν ανοχή περίπου 1 mm, η ανοχή των συνδετήρων οπτικών καλωδίων πρέπει να είναι της τάξης του μικρόμετρου, λόγω προφανώς των μικρών διαστάσεων της ίνας. Φυσικά η κατασκευή μηχανικών εξαρτημάτων με τόσο μικρά όρια ανοχής δεν είναι απλή διαδικασία.

Υπάρχουν πάρα πολλοί τύποι συνδετήρων κατάλληλοι για διάφορες χρήσεις και για διάφορους τύπους ινών. Άλλοι στερεώνονται βιδωτά (screw type) άλλοι με «κλιπς» (snap type) και άλλοι bayonet, όλοι όμως βασίζουν τη λειτουργία τους στη φυσική επαφή των επιφανειών των ινών και αυτό το επιτυγχάνουν συνήθως με ένα ελατήριο το οποίο πιέζει τις ίνες μεταξύ τους. Όσο πιο ισχυρή είναι αυτή η πίεση τόσο πιο καλή είναι η φυσική επαφή των επιφανειών, χωρίς παρουσία στρώματος αέρα ανάμεσα τους, και συνεπώς τόσο μικρότερες και οι απώλειες της σύνδεσης.

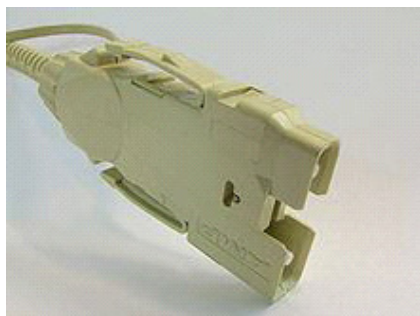
Επίσης πολλές φορές οι ίνες στους συνδετήρες έχουν επιφάνειες επαφής (endfaces) που δεν είναι κάθετες στο διαμήκη άξονα της ίνας αλλά σχηματίζουν κάποια μικρή γωνία (συνήθως 8° ή 9°) με την κάθετο. Η τεχνική αυτή είναι γνωστή ως Angle Polished Connection (APC) και εξασφαλίζει μικρότερες ανακλάσεις στις συνδέσεις άρα καλύτερα χαρακτηριστικά. Μπορεί να εφαρμοσθεί σε διάφορους τύπους συνδετήρων. Όσοι συνδετήρες είναι angle polished έχουν πράσινο χρώμα ή κάποιο πράσινο διακριτικό στο κυρίως σώμα τους και φέρουν την ονομασία "τύπος συνδετήρα/APC" (π.χ. FC απλός και FC/APC με Angle Polished). Παρακάτω παρατίθενται οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι τύποι συνδετήρων και τα βασικότερα χαρακτηριστικά τους.

**1. Συνδετήρας τύπου FC:** Ονομάσθηκε έτσι από τα αρχικά των λέξεων Ferrule Connector ή Fiber Channel. Είναι βιδωτός με διάμετρο ferrule 2,5mm. Χρησιμοποιείται στις τηλεπικοινωνίες, σε συσκευές μετρήσεων (OTDR, Powermeters) στα laser κ.α. Η χρήση του γίνεται ολοένα και λιγότερο συχνή.



Συνδετήρας τύπου FC

2. **Συνδετήρας τύπου MIC** : Οι Media Interface Connectors είναι τύπου snap με διάμετρο ferrule 2,5mm. Χρησιμοποιούνται σε δίκτυα οπτικών δακτυλίων FDDI (Fiber distributed data interface).



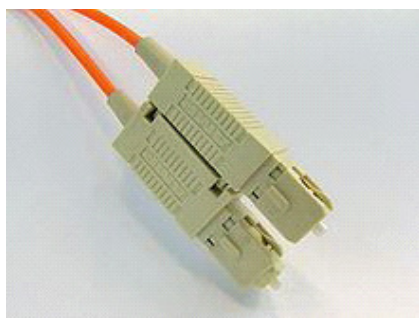
Συνδετήρας τύπου MIC

3. **Συνδετήρες τύπου LC**: Η ονομασία προέκυψε από τα αρχικά των λέξεων Local Connector (ή Lucent Connector από το όνομα της εταιρείας που τους κατασκεύασε). Είναι και αυτοί snap type με διάμετρο ferrule 1,25mm. Λόγω του μικρού μεγέθους τους χρησιμοποιούνται όπου υπάρχει πυκνή διάταξη συνδέσεων π.χ συστήματα WDM.



Συνδετήρες τύπου LC

4. **Συνδετήρες τύπου SC**. Οι Standard Connectors ή Square Connectors είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι σε τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές. Είναι snap type με διάμετρο ferrule 2,5mm



Συνδετήρες τύπου SC

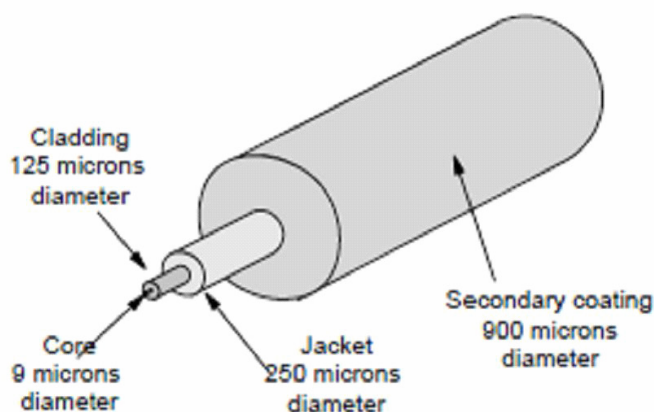
5. **Συνδετήρες τύπου ST.** Οι ST/BFOC (Straight Tip/ Bayonet Fiber Optic Connector) είναι τύπου Bayonet με διάμετρο ferrule 2,5mm. Χρησιμοποιούνται κυρίως με πολύτροπες ίνες. Ένα μειονέκτημα τους είναι ότι δεν διατίθενται σε ST/APC



Συνδετήρες τύπου ST

### **3.2.7 Προστασία ίνας**

Το πρώτο στάδιο προστασίας των οπτικών ινών (Primary Coated Optical Fiber – PCOF) τοποθετείται κατά την κατασκευή της ίνας. Είναι συνήθως χρωματισμένο πλαστικό περίβλημα διαμέτρου 250μm και είναι γνωστό ως jacket. Μερικές φορές πριν από το jacket υπάρχει και άλλο πλαστικό (buffer) για καλύτερη μηχανική αντοχή. Οι PCOF δεν προορίζονται για τελικούς χρήστες αλλά χρησιμοποιούνται συνήθως σε εργαστήρια. Το δεύτερο στάδιο προστασίας (Secondary Coated Optical Fibers – SCOF) περιλαμβάνει ένα ακόμα πλαστικό περίβλημα χωρίς ιδιαίτερα μηχανικά χαρακτηριστικά. Τοποθετείται για να είναι πιο εύκολος ο χειρισμός της ίνας σε περίπτωση που θα χρειαστεί να τερματιστεί σε κάποιον συνδετήρα. Το πάχος μιας SCOF είναι 900μm δηλαδή λίγο μικρότερο από 1 χιλιοστό.



Σχήμα 3.13: Μονότροπη SCOF

Στην περίπτωση των οπτικών ινών υπάρχει αφθονία πρώτης ύλης. Το γυαλί είναι ανεξάντλητο και βρίσκεται παντού αντίθετα με το χαλκό και τα άλλα υλικά που



χρησιμοποιούνται στα μεταλλικά καλώδια. Λόγω της πολύ μικρής εξασθένησης που παρουσιάζουν οι οπτικές ίνες, τα σήματα καλύπτουν πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις ενώ επιτρέπουν και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, κατά πολύ υψηλότερους από των ομοαξονικών καλωδίων, αφού παρέχουν πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Πράγματι, το διαθέσιμο εύρος ζώνης μιας οπτικής ίνας ανέρχεται περίπου στα 25 THz.

Με τις οπτικές ίνες, σε αντίθεση με τη μετάδοση μέσω χαλκού ή μέσω ραδιοκυμάτων, έχουμε την δυνατότητα να πετύχουμε μικρούς ρυθμούς σφαλμάτων. Τυπικές τιμές του μέσου ρυθμού σφαλμάτων (Bit Error Rate - BER) για μετάδοση μέσω οπτικής ίνας είναι της τάξης του  $10^{-9}$ , την στιγμή που οι αντίστοιχοι ρυθμοί για χάλκινο μέσο είναι της τάξης του  $10^{-5}$ . Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι μικροί ρυθμοί σφαλμάτων στις οπτικές ίνες επιτυγχάνονται δίχως να απαιτείται η χρήση πολύπλοκων μεθόδων κωδικοποίησης ή διαμόρφωσης.

Αυτή η απλότητα στην μετάδοση απορρέει από δύο λόγους. Πρώτον, από το πολύ μεγάλο διαθέσιμο εύρος ζώνης ανά κανάλι και δεύτερον, από το γεγονός ότι τα φωτόνια, σε αντίθεση με τα ηλεκτρόνια, δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και κατά συνέπεια αποφεύγονται φαινόμενα όπως ο κρουστικός θόρυβος. Η κωδικοποίηση διόρθωσης σφαλμάτων μπορεί να παραληφθεί, αφού ο επιθυμητός ρυθμός σφαλμάτων μπορεί να επιτευχθεί ευκολότερα μέσω κατάλληλης οπτικής ενίσχυσης. Επίσης, εξαιτίας του μεγάλου διαθέσιμου εύρους ζώνης δεν είναι απαραίτητη ούτε η χρήση αλγορίθμων συμπίεσης για τη μείωση του μεγέθους των μεταφερόμενων δεδομένων. Επιπλέον στη μετάδοση με οπτικές ίνες δεν απαιτούνται αλγόριθμοι κωδικοποίησης, αφού είναι πολύ δύσκολο να γίνει υποκλοπή ενός σήματος σε μία οπτική ίνα και συνεπώς παρέχουν πολύ υψηλό βαθμό ασφάλειας.

Επομένως, είναι βέβαιο ότι τα οπτικά συστήματα σύντομα θα έχουν τον πρώτο λόγο στις τηλεπικοινωνίες, όχι μόνο στις ζεύξεις σημείου προς σημείο, αλλά και στα δίκτυα μεγάλης χωρητικότητας όπου απαιτείται διακίνηση όλο και μεγαλύτερου όγκου πληροφορίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΛΟΓΟΙ ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΙΝΑ

#### 4.1 Απώλειες οπτικών ινών

Η ποσότητα του φωτός που λαμβάνεται στην έξοδο της ίνας είναι πάντα μικρότερη από την ποσότητα που εισέρχεται σε αυτήν λόγω των απωλειών που συμβαίνουν κατά μήκος της. Η απώλεια αυτή εξαρτάται από το μήκος της ίνας και παράγει μια εκθετική απόσβεση που περιγράφεται από την σχέση

Απώλειες =  $100 \log_{10} (P_{out} / P_{in})$ , όπου  $P_{out}$  και  $P_{in}$  οι οπτικές ισχύεις εξόδου και εισόδου αντίστοιχα.

Η οπτική απώλεια στην ίνα αποτελεί ένα βασικό παράγοντα περιορισμού, λόγω του ότι μειώνει τη μέση ισχύ που φτάνει στο δέκτη. Όταν οι οπτικοί δέκτες χρειάζονται μία ελάχιστη ποσότητα ισχύος για να ανακτήσουν το σήμα σωστά η απόσταση μετάδοσης περιορίζεται από την απώλεια της οπτικής ίνας.

Πιο συγκεκριμένα, οι απώλειες προκαλούνται από διασκόρπιση ή από απορρόφηση στον πυρήνα και από ατελείς ανακλάσεις στην οπτική επιφάνεια διαχωρισμού.

Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των παρακάτω απωλειών:

**Απώλειες σκέδασης Rayleigh** : Οι απώλειες αυτές εξαρτώνται από τη σύνθεση του υλικού και τη μεταβατική θερμοκρασία του γυαλιού. Οφείλονται σε μεταβολές του δείκτη διάθλασης μέσα στο υλικό.

Η σκέδαση Rayleigh αποτελεί έναν βασικό μηχανισμό απώλειας ο οποίος προκαλείται από κατά τόπους μικροσκοπικές διακυμάνσεις της πυκνότητας. Τα μόρια που περιέχονται στο πυρίτιο κινούνται τυχαία σε κατάσταση τήξης και σταθεροποιούνται κατά τη διάρκεια κατασκευής της οπτικής ίνας. Οι διακυμάνσεις της πυκνότητας οδηγούν σε τυχαία διακύμανση του δείκτη διάθλασης σε κλίμακα μικρότερη από αυτή του οπτικού κύματος  $\lambda$ . Η σκέδαση του φωτός σε ένα τέτοιο μέση είναι γνωστή σαν σκέδαση Rayleigh. Η ενεργός διατομή της σκέδασης μεταβάλλει συναρτήσεις  $\lambda^{-4}$ . Αποτέλεσμα είναι η εγγενής απώλεια της οπτικής ίνας πυριτίου λόγω της σκέδασης Rayleigh και μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\alpha_R = C / \lambda^4$$

όπου  $C$  είναι η σταθερά και κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,7-0,9 (Db/km) –  $\mu\text{m}^4$  και αυτό αναλόγως τα συστατικά του πυρήνα της οπτικής ίνας. Οι τιμές αυτές της σταθεράς  $C$  αντιστοιχούν σε  $\alpha_R = 0,12 - 0,16$  Db/km για μήκος κύματος μεγαλύτερο των 3 $\mu\text{m}$ . Οι οπτικές ίνες πυριτίου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτή την περιοχή μήκους κύματος αφού από την τιμή των 1,6  $\mu\text{m}$  και πάνω η οπτική απώλεια αρχίζει να χαρακτηρίζεται από υπέρυθη απορρόφηση. Έχουν γίνει πολλές έρευνες και προσπάθειες για οπτικές ίνες με άλλα κατάλληλα υλικά με χαμηλό επίπεδο απορρόφησης πέρα από τα 2  $\mu\text{m}$ . Οι οπτικές ίνες ζirkονίου – φθορίου ( $\text{ZrF}_4$ ) έχουν απορρόφηση υλικού της τάξης των 0,01 dB/ km στα 2,55  $\mu\text{m}$  και έχουν τη δυνατότητα να παρουσιάζουν απώλεια τέτοια που είναι μικρότερη από εκείνη των οπτικών ινών πυριτίου. Όμως οι τεχνικά εξελιγμένες οπτικές ίνες φθορίου παρουσιάζουν απώλεια της τάξης του 1 dB / km και αυτό λόγω της εξωγενής απώλειας.

**Απώλειες που αποδίδονται σε ζώνες απορρόφησης υδροξυλίου:** Μια πηγή της μόλυνσης με OH αποδίδεται στη θερμική διάχυση από τον αρχικό σωλήνα στα εναποτιθέμενα στρώματα γυαλιού.

**Απώλειες λόγω ανάκλασης Fresnel :** Οι απώλειες αυτές οφείλονται στο φαινόμενο κατά το οποίο ένα μικρό μέρος του προσπίπτοντος φωτός ανακλάται πίσω ακόμα και όταν οι επιφάνειες εισόδου και εξόδου είναι λείες και κάθετες στον άξονα της ίνας. Το φαινόμενο αυτό καλείται ανάκλαση Fresnel και σχετίζεται με τη βηματική αλλαγή του δείκτη διάθλασης.

**Απώλειες απορρόφησης υπεριώδους ακτινοβολίας :** Οι απώλειες αυτές αφορούν το διοξείδιο του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>) το οποίο είναι εμποτισμένο με διοξείδιο του γερμανίου (GeO<sub>2</sub>).

**Απώλειες που οφείλονται στις προσμίξεις και στο άκρο της IR απορρόφησης:** Η απορρόφηση του υπέρυθρου προκύπτει από τους ρυθμούς δόνησης του πυριτίου – οξυγόνου και των κατιόντων οξυγόνου.

**Απώλειες που οφείλονται σε ατέλειες του κυματοδηγού ή στη διαδικασία κατασκευής του οπτικού καλωδίου.**

**Απώλειες λόγω ρυθμού που σχετίζεται με δομές πολλαπλών διηλεκτρικών και αποκοπή λόγω ρυθμού.**

## **4.2 Εξασθένιση**

Ως εξασθένιση ορίζεται η απώλεια της οπτικής ισχύος κατά τη κυματοδηγήση και ανέρχεται στα 150 db / km για τις πλαστικές ίνες ενώ μόνο 0,21 db / km στις μονότροπες ίνες. Εκτός από το υλικό κατασκευής της ίνας η εξασθένιση εξαρτάται και από το μήκος κύματος της κυματοδηγούμενης ακτινοβολίας. Στις γυάλινες ίνες η εξασθένιση είναι μικρότερη στο υπέρυθρο μέρος του οπτικού φάσματος ( $\lambda > 800\text{nm}$ ) στην περιοχή από 1200 έως 1600 nm ενώ σε πλαστικές ίνες η εξασθένιση είναι μικρότερη στην ορατή περιοχή του φάσματος γύρω στα 650 nm.

Η εξασθένιση περιγράφεται από την σχέση:  $P(z) = P(0)e^{-\alpha z}$

Όπου  $\alpha$  είναι ο συντελεστής εξασθένισης  $\alpha z = -10\log(P(z)/P(0))$

P(z)/P(0)	100%	80%	50%	10%	1%
-----------	------	-----	-----	-----	----

Εξασθένιση σε db	0db	1db	3db	10db	20db
---------------------	-----	-----	-----	------	------

Η εξασθένιση σε μια οπτική ίνα δίνεται από το συντελεστή εξασθένισης. Η πιο συνηθισμένη μονάδα είναι το db/km.

Ο συντελεστής εξασθένισης εξαρτάται από το μήκος κύματος, τον τύπο της ίνας και την επίδραση περιβάλλοντος και μηχανικής καταπόνησης.

Ο συντελεστής εξασθένισης είναι ο εξής:  $\alpha = A/\lambda^4 + B(\lambda)$

Όπου A,B σταθερές,  $\lambda$  το μήκος κύματος,  $A/\lambda^4$  η σκέδαση κατά Rayleigh και οφείλεται στις συνθήκες κατασκευής του γυαλιού  $B(\lambda)$  οι απώλειες κάμψεων.

Σε μονότροπες ίνες η μεταβολή εξασθένισης σαν συνάρτηση του μήκους κύματος όπως διαμορφώνεται από την επίδραση μηχανισμών σκέδασης και απορρόφησης ορίζει δύο περιοχές στα 1300 και 1550 nm με την απόσβεση να έχει τιμές στα 0,35 και 0,21 db αντίστοιχα. Η αύξηση της εξασθένισης που παρατηρείται στα 1400 nm διαχωρίζοντας αυτές τις δύο περιοχές οφείλεται σε απορρόφηση από ιόντα OH- που δεν είναι δυνατόν να ελεγχθούν πλήρως ακόμη και σε γυαλί με πολύ υψηλή καθαρότητα. Οι φασματικές περιοχές που αντιστοιχούν στα ελάχιστα της εξασθένισης είναι γνωστές και σαν « παράθυρα» λειτουργίας. Στο δεύτερο παράθυρο υπονοείται μήκος κύματος στα 1300 nm και στο τρίτο παράθυρο 1550 Nm. Σαν πρώτο παράθυρο εννοείται η περιοχή της τάξης των 850 nm με εξασθένιση περίπου 2,5 db / km αλλά πλέον δεν χρησιμοποιείται στις τηλεπικοινωνίες.

Οι οπτικές ίνες σχεδιάζονται έτσι ώστε να διατηρούν τις επιδόσεις τους και μετά την εγκατάστασή τους όσον αφορά την εξασθένιση. Οι επιδόσεις όμως αυτές μπορούν να επιδεινωθούν από εξωτερικούς παράγοντες όπως είναι η κάμψη της ίνας με την εγκατάσταση του οπτικού καλωδίου καθώς και η έκθεση της ίνας σε περιβάλλοντα υδρογόνου και πυρηνικής ραδιενέργειας.

Οι φυσικές κάμψεις μιας ίνας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στις μικροκάμψεις και μακροκάμψεις. Η μικροκάμψη είναι το αποτέλεσμα των πολύ μικρών ατελειών που υπάρχουν στην γεωμετρία της ίνας. Αυτές οι ατέλειες μπορεί να είναι περιστροφικές ασυμμετρίες αλλαγές στη διάμετρο του πυρήνα, ισχυρά εμπόδια μεταξύ του πυρήνα και του περιβλήματος που είναι αποτέλεσμα από την κατασκευή ή μηχανική τάση, πίεση ή στροφή. Οι μακροκάμψεις αφορούν τις κυρτότητες τις ίνας με διαμέτρους της τάξεως των cm. Αν και οι ίνες αποθηκεύονται τυλιγμένες σε στροφέια υπάρχει μια ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας όπου η ίνα σπάει.

Οι κάμψεις έχουν δύο βασικές επιπτώσεις στις μονότροπες οπτικές ίνες.

- 1) Μικρή αύξηση των απωλειών: Οφείλεται στο γεγονός ότι το μέρος της ενέργειας που κυματοδειγνείται στο περίβλημα της ίνας πρέπει να κινηθεί στο εξωτερικό μέρος της καμπυλότητας, με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτήν της ταχύτητας του φωτός στο συγκεκριμένο υλικό προκειμένου να καλύψει

την μεγαλύτερη διαδρομή που προκύπτει. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι το μέρος αυτής της ενέργειας ακτινοβολείται με σύζευξη σε τρόπο ακτινοβολήσης προκαλώντας μικρή αύξηση των απωλειών. Για μη καλωδιωμένη ίνα η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας είναι το 30 mm ενώ για ίνες καλωδιωμένες η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας του καλωδίου είναι πενταπλάσια της διαμέτρου του καλωδίου. Για μια δεδομένη ακτίνα καμπυλότητας η απώλεια από κάμψη εξαρτάται από το μήκος κύματος και αυξάνει για μακρύτερα μήκη κύματος, λόγω αύξησης του ποσοστού οπτικής ισχύος που κυματοδειγείται στον μανδύα.

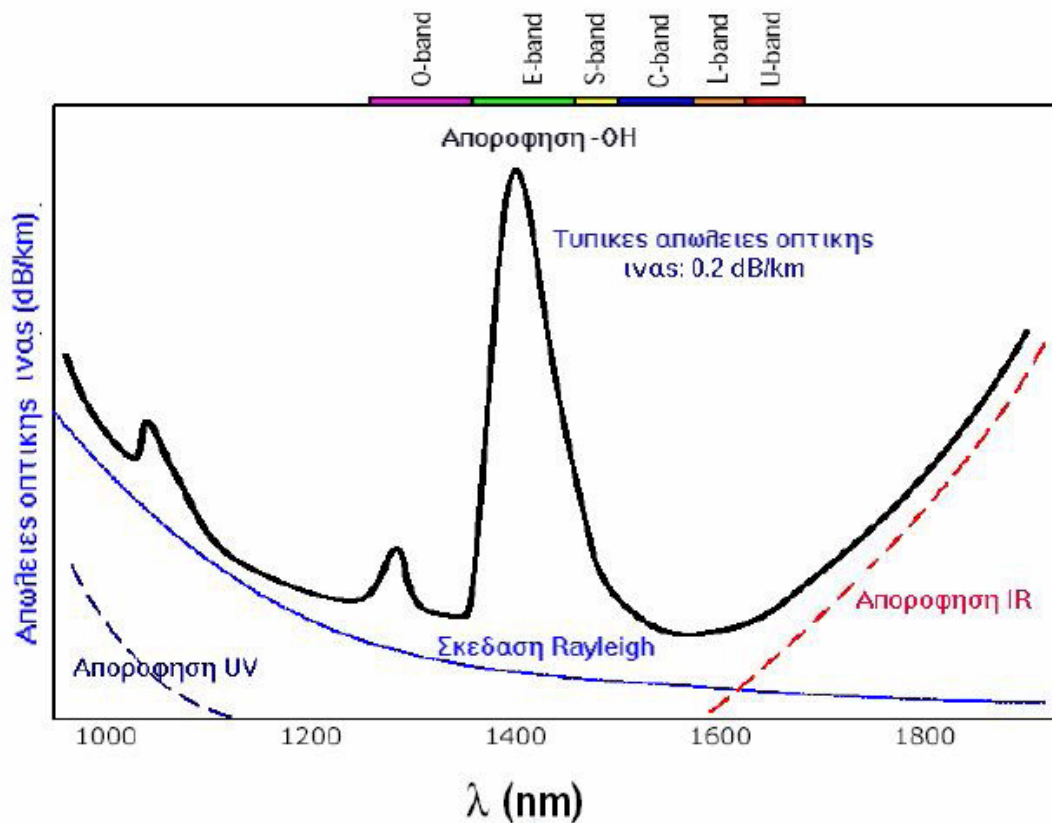
- 2) Μείωση της αντοχής της ίνας σε εφελκυσμό: Σε καλώδια που υφίστανται εφελκυσμό η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας πρέπει να είναι δεκαπλάσια της διαμέτρου του καλωδίου.

Η επίδραση του υδρογόνου: Το υδρογόνο εμφανίζεται λόγω της υγρασίας στο εσωτερικό του καλωδίου. Το υδρογόνο ελκύεται είτε από χημική αποσύνθεση των υλικών του μανδύα είτε από την ηλεκτρολυτική επίδραση της υγρασίας στην μεταλλική θωράκιση του καλωδίου. Η έκθεση της οπτικής ίνας σε υδρογόνο προκαλεί τη διάχυση του υδρογόνου στο υλικό του γυαλιού μεταβάλλοντας έτσι τη χαρακτηριστική καμπύλη εξασθένησης της ίνας και αυξάνοντας τις απώλειες. Η πρόσθετη εξασθένηση εμφανίζεται σωρευτικά και είναι της τάξης των 0,15 db/km για μήκος κύματος που αντιστοιχεί στα 1550 nm και θερμοκρασία 25<sup>0</sup> C. Οι επιπτώσεις του φαινομένου αυτού είναι πιο σημαντικές σε υποβρύχιες ζεύξεις όπου το νερό μπορεί πιο εύκολα να εισχωρεί σε μεγάλο μήκος του καλωδίου και να προκαλέσει έτσι καταστροφική για την ζεύξη αύξηση της συνολικής εξασθένησης.

Όσον αφορά την επίδραση της ραδιενέργειας οι τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις μπορούν να εκτεθούν σε ραδιενέργεια κατά τη διέγερση ενός πυρηνικού ατυχήματος ή πολεμικής σύγκρουσης. Σε πιο περιορισμένη κλίμακα η έκθεση αυτή μπορεί να γίνει στον εσωτερικό ή περιβάλλοντα χώρο ενός πυρηνικού αντιδραστήρα ή σε χώρο νοσοκομείου όπου ραδιενεργές πηγές χρησιμοποιούνται για θεραπευτικούς σκοπούς η ραδιενέργεια επιδρά στην μοριακή δομή του υλικού της οπτικής ίνας δημιουργώντας χρωματικά κέντρα απορρόφησης. Έτσι η έκθεση των οπτικών ινών σε ραδιενεργό περιβάλλον μεταβάλλει τη χαρακτηριστική απόσβεση αυξάνοντας την εξασθένηση κατά ποσό που εξαρτάται από παραμέτρους όπως είναι το είδος της ραδιενέργειας, συνολική δόση, ο ρυθμός της δόσης, η θερμοκρασία περιβάλλοντος και η ισχύς του οπτικού σήματος. Η αύξηση των απωλειών μπορεί να είναι μόνιμη ή και προσωρινή ανάλογα με το είδος των προσμίξεων που περιέχει η οπτική ίνα. Οι ίνες που περιέχουν GeO<sub>2</sub> στον πυρήνα τους έχουν μικρότερη επίδραση από την ραδιενέργεια όμως η αύξηση της εξασθένησης είναι μόνιμη. Αντίθετα οι ίνες που περιλαμβάνουν SiO<sub>2</sub>N στον πυρήνα τους και στον μανδύα τους νοθεύσεις φθορίου και φωσφόρου εμφανίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στην ραδιενέργεια με επίδραση όμως προσωρινή αφού η επαναφορά έρχεται σε λίγα λεπτά έως λίγες ώρες. Ο χρόνος επαναφοράς μπορεί να ελαττωθεί σημαντικά παρέχοντας έτσι στο σύστημα πρόσθετη εξωτερική ενέργεια που απορροφάται από τα χρωματικά κέντρα αποκαθιστώντας με αυτόν τον τρόπο

τα ελαττώματα στην μοριακή δομή του γυαλιού που επήλθε σαν αποτέλεσμα της ραδιενέργειας. Η ενέργεια αυτή που προστίθεται μπορεί να επέλθει ή από την αύξηση της θερμοκρασίας στο περιβάλλον ή με τη διέλευση κάποιου σοβαρού σήματος (100  $\mu$ W- 1mW). Η μέθοδος φωτο- αποκατάσταση είναι η μέθοδος η οποία διορθώνει τα μοριακά ελαττώματα και χρησιμοποιείται για την προστασία των οπτικών ζεύξεων που υπάρχουν στο ραδιενεργό περιβάλλον. Σε χαμηλά μήκη κύματος το φαινόμενο της φωτο- αποκατάστασης είναι περισσότερο έντονο και ο λόγος είναι το μεγάλο ποσό ενέργειας που μεταφέρει.

Δύο είναι τα βασικά φαινόμενα που καθορίζουν το κατώτερο όριο εξασθένησης στις γυάλινες ίνες, η σκέδαση και η απορρόφηση.



#### 4.1 Η ολική εξασθένηση σε μία οπτική ίνα

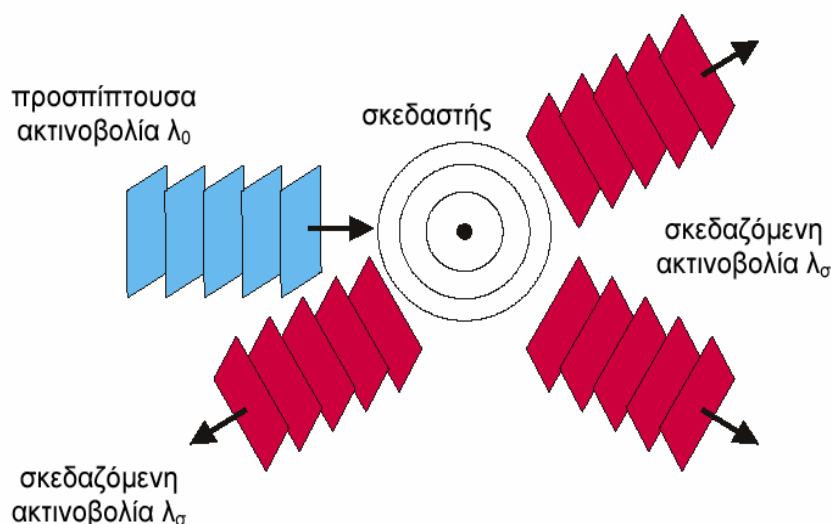
Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε την εξάρτηση των απωλειών μιας τυπικής οπτικής ίνας σε σχέση με το χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος και με τους μηχανισμούς που τις προκαλούν. Φαίνονται οι περιοχές (O-band, S,C,L,U-band, η ονομασία τους προήλθε από τα μικροκύματα) γύρω από τα μήκη κύματος 1.3  $\mu$ m και 1.5  $\mu$ m, όπου η οπτική ίνα παρουσιάζει μικρή εξασθένηση. Οι περιοχές αυτές, γνωστές και σαν «φασματικά παράθυρα» των οπτικών επικοινωνιών χρησιμοποιούνται για την οπτική μετάδοση. Δεν διακρίνεται βέβαια το παράθυρο των 0.8  $\mu$ m που χρησιμοποιήθηκε αρχικά είναι φανερό όμως η ισχυρή εξάρτηση της σκέδασης από το  $\lambda$ . Τα παράθυρα των 1.3  $\mu$ m με εύρος περίπου 12 THz και των 1.55  $\mu$ m με εύρος περίπου 15 THz, χρησιμοποιούνται πλέον στα σημερινά συστήματα, αφού η

τεχνολογία επέτρεψε την κατασκευή κατάλληλων φωτοπηγών και φωτοφωρατών. Οι μακροσκοπικές (macro bending) και οι μικροσκοπικές (micro bending) κάμψεις της οπτικής ίνας αποτελούν εξωγενή αίτια απωλειών.

### **4.3 Σκέδαση**

Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζουμε τη διάχυση (σκόρπισμα) που υφίσταται η φωτεινή ακτινοβολία στο μανδύα καθώς διαδίδεται στον πυρήνα της ίνας. Οφείλεται σε ανωμαλίες στη σύνθεση του υλικού της ίνας που μπορεί να είναι είτε ξένες προσμείξεις (impurities) είτε κάποια σημειακή ανομοιογένεια του δείκτη διάθλασης.

Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει απώλεια οπτικής ενέργειας λόγω ατελειών στην βασική δομή της ίνας. Σε χαμηλά μήκη κύματος όπου εμφανίζεται η σκέδαση Rayleigh που οφείλεται στην απουσία κανονικότητας της κρυσταλλικής και ατομικής δομής του γυαλιού, δηλαδή ανομοιομορφίες στην ίνα. Οι ανομοιομορφίες αυτές προκαλούν τις ακτίνες φωτός να διασκορπιστούν κατά ένα μέρος καθώς μεταδίδονται μέσα στην ίνα με αποτέλεσμα κάποια ενέργεια φωτός να χάνεται. Το φαινόμενο αυτό γίνεται πιο πολύ έντονο όταν το μήκος κύματος του φωτός πλησιάζει το μέγεθος της ατομικής δομής του γυαλιού. Η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην εξασθένιση που οφείλεται στη σκέδαση Rayleigh είναι ότι η πρώτη μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα ως προς την τέταρτη δύναμη του μήκους κύματος ( $1/\lambda^4$ ). Η σκέδαση κατά Rayleigh αυξάνεται σε πολλά μικρά μήκη κύματος.



Εικόνα 4.2: Η σκεδαζόμενη ακτινοβολία μπορεί να έχει διαφορετικό μήκος κύματος  $\lambda_0$ , ένταση, φάση, διεύθυνση διάδοσης και πόλωση από την προσπίπτουσα ακτινοβολία.

Η σκέδαση φωτός Rayleigh παρατηρείται για σκεδαστές με μέγεθος μικρότερο του μήκους κύματος  $\lambda_0$  της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Το εκπεμπόμενο φωτόνιο μπορεί να έχει την ίδια ή μικρότερη ενέργεια σε σχέση με το προσπίπτον φωτόνιο.

Η ένταση  $I_R$  της Rayleigh-σκεδαζόμενης ακτινοβολίας είναι αντιστρόφως ανάλογη

με την τέταρτη δύναμη του μήκους κύματος της ακτινοβολίας:  $I_R \propto \frac{1}{\lambda_0^4}$

Παραδείγματα φαινομένων σχετιζόμενων με τη σκέδαση Rayleigh:

- Κυανό χρώμα ουρανού, αλλαγή χρωματισμού ουρανού κατά τη δύση και ανατολή του ηλίου.
- Απώλειες ενέργειας κατά τη διάδοση ακτινοβολίας σε διάφανα στερεά (οπτικά στοιχεία, κρυστάλλους, οπτικές ίνες).

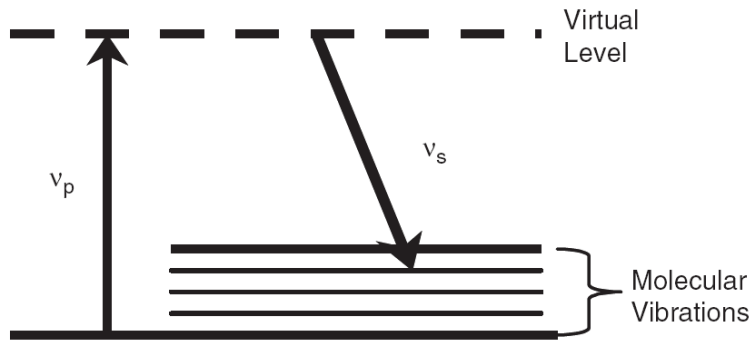
### Σκέδαση Raman

Ένας θεμελιώδης εσωτερικός μηχανισμός απωλειών είναι οι απώλειες σκέδασης Raman, οι οποίες προκύπτουν από μικροσκοπικές διακυμάνσεις του δείκτη διάθλασης στον πυρήνα της οπτικής ίνας κατά τη διάρκεια της κατασκευής της. Οι διακυμάνσεις της πυκνότητας οδηγούν σε διακυμάνσεις στην τιμή του δείκτη διάθλασης του πυρήνα σε κλίμακα μικρότερη του οπτικού μήκους κύματος. Με την προσθήκη διαφόρων προσμίξεων στον πυρήνα αυξάνεται το ποσοστό των απωλειών σκέδασης Rayleigh μιας και το υλικό γίνεται όλο και πιο ανομοιογενές. Μια καλή προσέγγιση του συντελεστή σκέδασης Rayleigh  $a_s$  δίνεται από τον τύπο:

$$a_s \text{ (dB/Km)} = \frac{(0.75 + 66\Delta n_{Ge})}{\lambda^4}$$

όπου το  $\lambda$  μετριέται σε  $\mu\text{m}$  και το  $\Delta n_{Ge}$  είναι η διαφορά στην τιμή του δείκτη διάθλασης λόγω του γερμανίου στην ίνα. Τυπικές τιμές του  $a_s$  είναι 0.12-0.16 dB/km για  $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ . Αυτές οι απώλειες περιορίζουν τελικά την απόσταση στην οποία μπορούν να μεταδοθούν σήματα και απαιτούν την ύπαρξη οπτικής ενίσχυσης.





Σχήμα 4.3: Σχηματική αναπαράσταση της κβαντικής, μηχανικής διαδικασίας που λαμβάνει μέρος κατά τη διάρκεια της σκέδασης Raman.

Η σκέδαση Raman παρατηρείται σε στερεά, υγρά και αέρια μέσα διάδοσης και λαμβάνει χώρα κατά την χρήση υψηλών εντάσεων ακτινοβολίας. Τα προσπίπτοντα και σκεδαζόμενα φωτόνια βρίσκονται σε συμφωνία φάσης.

### Σκέδαση Mie

Το άλλο είδος σκέδασης είναι η σκέδαση Mie που συμβαίνει λόγω των ατελειών στην κυλινδρική δομή του κυματοηοηού. Αυτές οι ατέλειες εμφανίζονται πιο συχνά στην κοινή επιφάνεια του πυρήνα και του μανδύα λόγω μικρών μεταβολών στους συντελεστές διάθλασης των διαφόρων υλικών που υπάρχουν στην διάμετρο του πυρήνα κατά μήκος της ίνας και λόγω της ύπαρξης μικρό – φυσαλίδων. Στην σκέδαση Mie οι επιπτώσεις μπορούν να βελτιωθούν κατά τη διαδικασία κατασκευής της ίνας.

### Σκέδαση Brillouin

Εκτός από τα παραπάνω είδη γραμμικής σκέδασης υπάρχουν και φαινόμενα μη γραμμικής σκέδασης που εμφανίζονται όταν στις οπτικές ίνες εμφανίζονται μεγάλα επίπεδα οπτικής ισχύος. Η σκέδαση Brillouin αποτελεί ένα είδος μη – γραμμικής σκέδασης που εμφανίζεται στις μονότροπες ινό – οπτικές ζεύξεις μεγάλου μήκους που τροφοδοτείται από οπτικά σήματα με μεγάλη ισχύ.

Από τα παραπάνω φαινόμενα σκέδασης, το σημαντικότερο είναι η σκέδαση

Rayleigh η οποία εκφράζεται μέσω του συντελεστή  $\alpha_R = \frac{K_R}{\lambda^4}$  (dB/Km)

Οπού  $K_R$  σταθερά που κυμαίνεται από 0,8 έως 1,0 (dB/Km).  $(\mu\text{m})^4$  και είναι συνάρτηση της διαφοράς  $n_{\text{core}} - n_{\text{clad}}$ , της διαμέτρου του πυρήνα και των υλικών νόθευσης της ίνας. Η σκέδαση Rayleigh είναι αυτή που θέτει και το κάτω όριο στην τιμή του συντελεστή εξασθένησης που μπορεί να επιτευχθεί σε μια οπτική ίνα.

Τόσο η σκέδαση Rayleigh όσο και η σκέδαση Mie είναι γραμμικές διεργασίες και ουσιαστικά εκδηλώνονται μέσω της ακτινοβόλησης (και συνεπώς απώλειας) κυματοδηγούμενης ισχύος. Αντίθετα η σκέδαση Raman και η σκέδαση Brillouin είναι μη γραμμικά φαινόμενα τα οποία εκδηλώνονται μέσω μερικής μεταφοράς ισχύος σε τρόπους διαφορετικής συχνότητας. Οι δυο αυτοί τύποι σκέδασης προϋποθέτουν την εισαγωγή στην ίνα οπτικών σημάτων μεγάλης ισχύος (της τάξης των 100 mW για την σκέδαση Brillouin και 1W για την σκέδαση Raman) και συνήθως δεν συνιστούν πρόβλημα αφού οι μεταδιδόμενες στην ίνα οπτικές ισχύς δεν υπερβαίνουν τα λίγα mW<sup>12</sup>.

#### **4.4 Απορρόφηση**

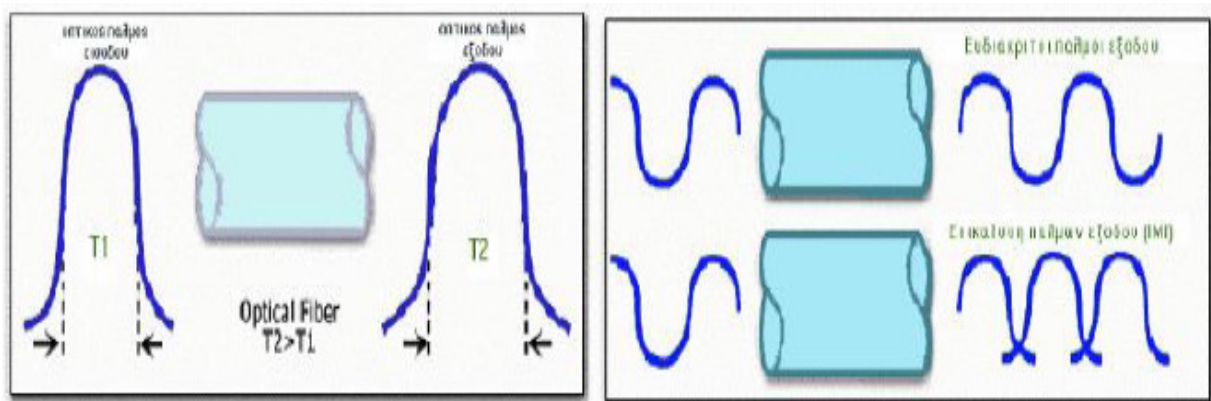
Το φως απορροφάται από το υλικό μετάδοσης και η ενέργεια του μετατρέπεται σε Θερμότητα.

Απορρόφηση υλικού: Η κατασκευή των οπτικών ινών γίνεται από τηγμένο πυρίτιο. Η απορρόφηση υλικού μπορεί να διαιρεθεί σε δύο κατηγορίες. Η φυσική απορρόφηση υλικού αντιστοιχεί στην απώλεια που προκαλείται από καθαρό πυρίτιο ενώ η εξωγενής απορρόφηση σχετίζεται με την απώλεια που προκαλείται από τις διάφορες προσμίξεις. Σε συγκεκριμένα μήκη κύματος όλα τα υλικά παρουσιάζουν απορρόφηση που αντιστοιχούν στους ηλεκτρονικούς και δονητικούς συντονισμούς που έχουν σχέση με τα μόρια. Στα μόρια του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>) ο ηλεκτρονικός συντονισμός εμφανίζεται στην υπεριώδη περιοχή ( $\lambda > 7 \mu\text{m}$ ). Λόγω της άμορφης φύσης του τηγμένου πυριτίου οι συντονισμοί αυτοί έχουν τη μορφή ζωνών απορρόφησης που οι ουρές εκτείνονται μέχρι και την περιοχή του ορατού φωτός. Στα οπτικά συστήματα τα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται είναι μεταξύ των τιμών από 1,3 έως 1,6  $\mu\text{m}$  και η απορρόφηση υλικού είναι στην τιμή των 0,3 dB/km. Η εξωγενής απορρόφηση προκαλείται από την παρουσία προσμίξεων. Οι προσμίξεις των μετάλλων μετάβασης όπως είναι τα Fe, Cu, Co, Ni, Mn και Cr παρουσιάζουν μία έντονη απορρόφηση σε μήκος κύματος μεταξύ 0,6 – 1,6  $\mu\text{m}$ . Η ποσότητά τους θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί σε ποσοστό τέτοιο μικρότερο του ενός μέρους στο ένα δισεκατομμύριο για να υπάρχει επίπεδο απώλειας στις τιμές κάτω από 1 db/km. Με σύγχρονες τεχνικές μπορεί να παραχθεί αυτό το πυρίτιο πολύ μικρής περιεκτικότητας σε προσμίξεις. Στην εξωγενή απορρόφηση η κύρια πηγή που την προκαλεί είναι η παρουσία υδρατμών στις τεχνικά εξελιγμένες οπτικές ίνες πυριτίου. Ένας δονητικός συντονισμός του ιόντος OH εμφανίζεται στην τιμή των 2.73  $\mu\text{m}$ . Οι αρμονικές και οι συνδυασμοί του με τους δονητικούς συντονισμούς που εμφανίζει το πυρίτιο προκαλούν έντονη απορρόφηση σε μήκος κύματος 1.39  $\mu\text{m}$ , 1.24  $\mu\text{m}$  και 0.95  $\mu\text{m}$ , που οφείλονται στην παρουσία υπολειμματικών υδρατμών στο πυρίτιο. Αρκεί να σκεφτούμε πως ακόμη και μία συγκέντρωση της τάξεως του ενός μέρους στο ένα εκατομμύριο μπορεί να προκαλέσει απώλεια των 50 db/km περίπου στα 1.39  $\mu\text{m}$ . Τυπικά η συγκέντρωση

ιόντων OH θα πρέπει να μειωθεί σε επίπεδο χαμηλότερο του  $10^{-8}$  για να έχουμε ένα χαμηλής απώλειας. Τα υλικά πρόσμιξης που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή οπτικών ινών για να πάρουμε τον κατάλληλο βηματικό δείκτη διάθλασης μπορούν να οδηγήσουν σε επιπλέον απώλειες.

#### 4.5 Διασπορά

Η διασπορά είναι η χρονική παραμόρφωση του σήματος της πληροφορίας είτε είναι αναλογικό είτε είναι ψηφιακό στο δέκτη λόγω της διαφορετικής ταχύτητας που μεταφέρονται κατά τη μετάδοση στα διάφορα τμήματα του σήματος. Η παραμόρφωση αυτή που όταν γίνεται ψηφιακή μετάδοση εμφανίζεται σαν διερεύνηση παλμών του πομπού στον δέκτη έχει σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης της οπτικής ζεύξης.



Σχήμα 4.5.1 Το φαινόμενο της διασποράς στις οπτικές ίνες

Υπάρχουν τρία είδη διασποράς και είναι τα εξής: διασπορά τρόπου μετάδοσης, διασπορά υλικού και διασπορά κυματοδηγού.

**Διασπορά τρόπου μετάδοσης:** η διασπορά τρόπου μετάδοσης πραγματοποιείται και εμφανίζεται μόνο σε πολύτροπες ίνες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι γίνεται επιμερισμός της οπτικής ισχύος του σήματος σε πιο πολλούς τρόπους μετάδοσης που κινούνται μέσα στο οπτικό κυματοδηγό με διαφορετικές ταχύτητες. Αύξηση της τιμής διασποράς του τρόπου μετάδοσης γίνεται ανάλογα με τον αριθμό των τρόπων μετάδοσης που υποστηρίζει ο κυματοδηγός. Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω είναι ότι η μεταβολή εξαρτάται από το μέγεθος του πυρήνα. Σε πολύτροπες ίνες με βηματική μεταβολή η τιμή που μπορεί να έχει η διασπορά τρόπου μετάδοσης είναι τα 30 ns/km ενώ στις πολύτροπες ίνες με βαθμιαία μεταβολή η τιμή που μπορεί να έχει διασπορά τρόπου μετάδοσης είναι μικρότερη από 1 ns/km.

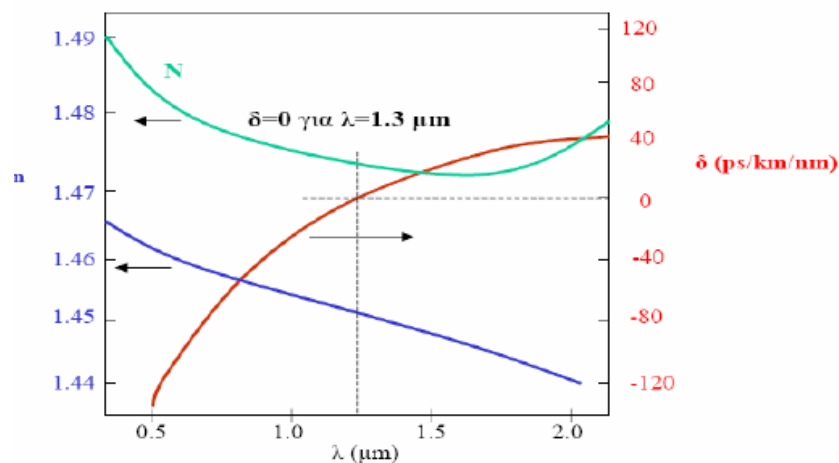
**Διασπορά υλικού:** Η διασπορά υλικού είναι γνωστή και ως χρωματική διασπορά και πραγματοποιείται και εμφανίζεται τόσο στις μονότροπες όσο και στις πολύτροπες ίνες. Η διασπορά υλικού εμφανίζεται επειδή ο δείκτης διάθλασης του πυριτίου, δηλαδή το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή της ίνας, μεταβάλλεται με την οπτική συχνότητα  $\omega$ . Σε βασικό επίπεδο, η προέλευση της διασποράς υλικού σχετίζεται με τις χαρακτηριστικές συχνότητες συντονισμού στις οποίες το υλικό απορροφά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η διασπορά υλικού οφείλεται στο γεγονός ότι οι διάφορες φασματικές συνιστώσες του σήματος ταξιδεύουν στην ίνα με διαφορετικές ταχύτητες ομάδας  $v_g$ , όποτε, όταν διανύσουν  $L$  Km που είναι το μήκος της ίνας, φθάνουν στον δέκτη χρονικά καθυστερημένα. Μια φασματική συνιστώσα συχνότητας  $f$  φθάνει στο άκρο της ίνας μετά από χρόνο  $t=L/v_g$ . Αν  $\Delta\lambda$  είναι το εύρος ζώνης του παλμού, τότε η διεύρυνση του παλμού θα είναι

$$\Delta t = \frac{dt}{d\lambda} \cdot \Delta\lambda = L \cdot \frac{d \frac{1}{v_g}}{d\lambda} \cdot \Delta\lambda \Rightarrow \Delta t = L \cdot D \cdot \Delta\lambda$$

Η παράμετρος  $D$  δίνει τη διασπορά της ίνας ανά μονάδα μήκους ίνας και ανά μονάδα μήκους κύματος και εκφράζεται σε μονάδες  $\frac{ps}{Km \cdot nm}$ . Χρησιμοποιώντας τη σχέση  $v_g = \frac{c}{N}$ ,

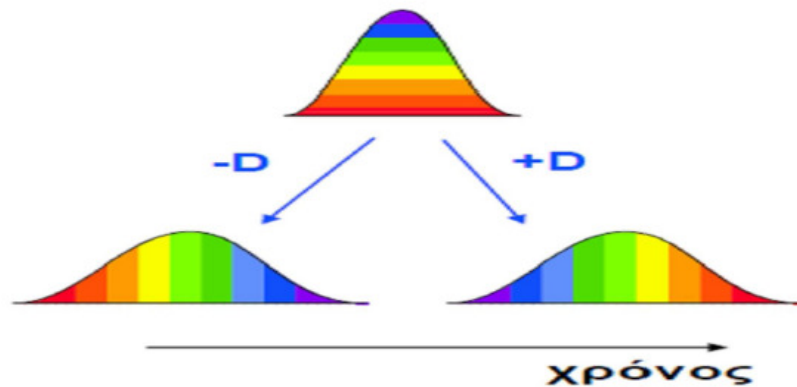
οπού  $N = n - \lambda \cdot \frac{dn}{d\lambda}$ , ο δείκτης διάθλασης ομάδας, έχουμε για τον συντελεστή διασποράς

$$\text{υλικού } D, D = \frac{d \frac{1}{v_g}}{d\lambda} = \frac{1}{c} \cdot \frac{dN}{d\lambda} \Rightarrow D = -\frac{\lambda}{c} \cdot \frac{d^2 n}{d\lambda^2}$$



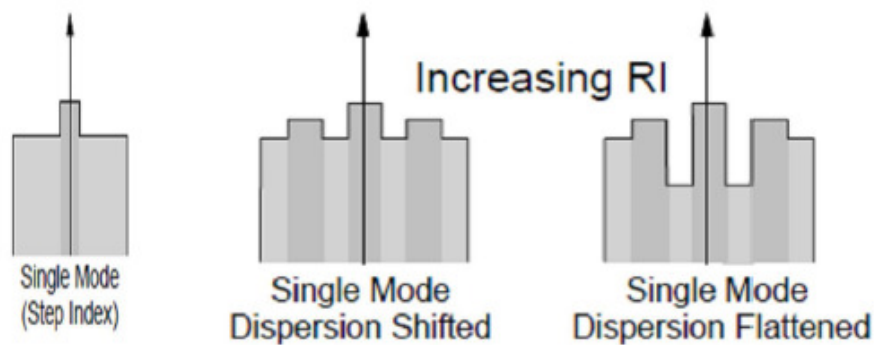
Σχήμα 4.5: Σχηματική μεταβολή του δείκτη διάθλασης  $n$ , του δείκτη διάθλασης ομάδας  $N$  και του συντελεστή διασποράς  $D$  ( $\delta$  στο σχήμα) συναρτήσει του μήκους κύματος  $\lambda$  για μονότροπη οπτική ίνα.

Επομένως, η διασπορά υλικού  $\Delta t$ , οφείλεται στην εξάρτηση του δείκτη διάθλασης  $n=n(\lambda)$  από το μήκος κύματος. Το γεγονός αυτό μας δίνει και ταχύτητα ομάδας  $v_g = v_g(\lambda)$ , για κάθε χρωματική συνιστώσα που εξαρτάται από το μήκος κύματος  $\lambda$ .



Σχήμα 4.6 : Διασπορά υλικού. Για θετικές τιμές του  $D$  τα μεγαλύτερα μήκη κύματος (κόκκινο στο σχήμα) είναι ταχύτερα από τα μικρότερα (ιώδες) ενώ για αρνητικές τιμές τα μικρότερα μήκη κύματος είναι ταχύτερα.

Για την αντιμετώπιση του συνολικού φαινομένου της χρωματικής (υλικού και κυματοδηγού) διασποράς έχουν δημιουργηθεί διάφοροι τύποι μονότροπων οπτικών ινών. Οι ίνες αυτές έχουν ιδιαίτερο προφίλ δείκτη διάθλασης με το οποίο επιτυγχάνουν τη ρύθμιση της διασποράς κυματοδηγού και κατ' επέκταση της συνολικής διασποράς.



Σχήμα 4.7: Χαρακτηριστικά προφίλ δεικτών διάθλασης για Standard SMF, DSF και DFF μονότροπες ίνες.

Οι κυριότεροι τύποι οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της διασποράς είναι:

1. Η ίνα επίπεδης διασποράς (Dispersion Flattened Fiber - DFF)
2. Η ίνα μετατοπισμένης διασποράς (Dispersion Shifted Fiber - DSF)
3. Η ίνα επανόρθωσης της διασποράς (Dispersion Compensation Fiber-DCF)

Οι ίνες επίπεδης διασποράς DFF, είναι μονότροπες ίνες με πολύ μικρό συντελεστή διασποράς, περίπου 3 psec/nm/km, σε ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος από τα 1300-1700nm περίπου. Συνήθως, για τις standard μονότροπες ίνες η διασπορά είναι μηδενική στα 1310nm. Σε αυτό το μήκος κύματος η διασπορά κυματοδηγού αντισταθμίζει την διασπορά υλικού και έτσι η συνολική χρωματική διασπορά είναι μηδενική. Σε μικρότερα η μεγαλύτερα μήκη κύματος όμως (850nm ή 1550nm) ο συντελεστής διασποράς παίρνει τιμές από -50 psec/km/nm έως και +20 psec/km/nm όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.16.

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

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

**Διασπορά κυματοδότησης** : Στην περίπτωση μονότροπης ίνας ο μοναδικός τρόπος διάδοσης συμπεριφέρεται ως εξής:

Στα μικρά μήκη κύματος περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό μέσα στον πυρήνα, στα μεσαία μήκη κύματος διαχέεται ελαφρά μέσα στο περίβλημα ενώ στα μεγάλα μήκη κύματος διαχέεται σε μεγάλο βαθμό στο περίβλημα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου διάδοσης καθώς το μήκος κύματος αυξάνεται και αυτό γιατί ο δείκτης διάθλασης  $n$  του μανδύα είναι μικρότερος από του πυρήνα άρα η ταχύτητα των κυμάτων που διαδίδονται εκεί είναι μεγαλύτερη. Δεν πρέπει να συγχέεται όμως αυτός ο μηχανισμός διασποράς με τον μηχανισμό διασποράς τρόπων διάδοσης που θα δούμε παρακάτω.

Ο μηχανισμός αυτός είναι γνωστός ως διασπορά κυματοδηγού. Η διασπορά κυματοδηγού εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οπτικής ίνας, και το μήκος κύματος και έχει ως αποτέλεσμα την διαπλάτυνση του διαδιδόμενου σήματος λόγω της διαφορικής χρονικής καθυστέρησης  $\Delta\tau_{wg}$  των μηκών κύματος. Ένα μέτρο λοιπόν αυτής της διαπλάτυνσης που οφείλεται στη διασπορά κυματοδηγού, δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta\tau_{wg} = -n_2 \cdot \Delta \cdot \frac{L}{c} \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda} V_D$$

όπου  $V_D$  είναι η χαρακτηριστική παράμετρος διασποράς κυματοδηγού.

Η διασπορά κυματοδηγού συμβάλλει στη χρωματική διασπορά. Καθώς όμως εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οπτικής ίνας μπορεί να πάρει ελεγχόμενες τιμές με την κατάλληλη σχεδίαση και μπορεί να αντισταθμίσει την χρωματική διασπορά.

Το πρόβλημα της διασποράς εξαλείφεται πλήρως αν χρησιμοποιηθεί οπτική πηγή που να εκπέμπει σε ένα μόνο μήκος κύματος. Αυστηρά μονοχρωματικές πηγές βέβαια δεν υπάρχουν. Οι ευρέως χρησιμοποιούμενες φωτεινές πηγές Laser εκπέμπουν σε ένα φασματικό εύρος  $\Delta\lambda$  από 1 έως 10 nm ενώ οι πηγές LEDs έχουν μεγαλύτερο φασματικό εύρος 50 – 100nm.

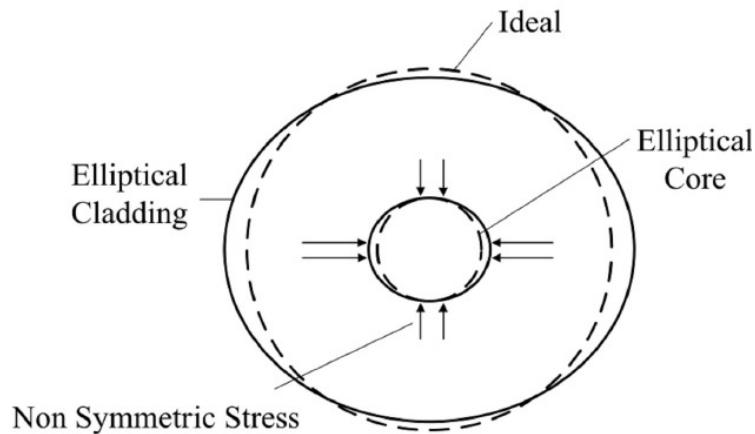
Σήμερα κατασκευάζονται πηγές με ακόμη μικρότερο εύρος και με αμελητέα χρωματική διασπορά, ωστόσο είναι πολύ ακριβές και χρησιμοποιούνται μόνο σε ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων. Επιπλέον, ακόμη και μονοχρωματική πηγή να υπήρχε, μία διεύρυνση του φασματικού εύρους της είναι αναπόφευκτη λόγω της διαμόρφωσης που πρέπει να εφαρμοστεί για την μεταφορά του σήματος πληροφορίας.

Το ποσοστό διεύρυνσης των οπτικών παλμών εξαρτάται από την αρχική τους χρονική διάρκεια. Παλμοί με μικρή διάρκεια, έχουν μεγάλο εύρος ζώνης και επομένως η διασπορά θα κάνει πιο έντονη την παρουσία της. Επομένως, η σημασία του φαινομένου γίνεται εντονότερη όσο αυξάνει ο ρυθμός του οπτικού σήματος. Η διασπορά κυματοδηγού είναι παρούσα τόσο σε μονότροπη, όσο και σε πολύτροπη ίνα.

**Διασπορά των τρόπων πόλωσης:** Η διασπορά τρόπου πόλωσης (Polarization Mode Dispersion - PMD) οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε τρόπος διάδοσης αποτελείται από δύο καταστάσεις πόλωσης (State Of Polarizations - SOPs) κάθετες μεταξύ τους. Υπό ιδανικές συνθήκες ο πυρήνας της ίνας είναι κυκλικός και οι δύο αυτές καταστάσεις πόλωσης διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα. Στην πραγματικότητα όμως λόγω κατασκευής ή λόγω μηχανικών ή ακόμα και θερμικών φορτίων που δέχεται η ίνα, το σχήμα του πυρήνα δεν είναι τέλεια κυκλικό αλλά ελαφρά ελλειπτικό όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.19. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ίνα να έχει ελάχιστα διαφορετικό δείκτη διάθλασης για κάθε κατάσταση πόλωσης. Η ιδιότητα αυτή λέγεται διπλοθλαστικότητα (birefringence) και εμφανίζεται και σε κάποιους κρυστάλλους εκ φύσεως.

Φυσικά αυτό σημαίνει ότι οι δύο καταστάσεις πόλωσης που διαδίδονται στους δύο κάθετους μεταξύ τους άξονες θα έχουν και διαφορετικές ταχύτητες πράγμα που οδηγεί στην καθυστέρηση του αργού τρόπου πόλωσης σε σχέση με τον ταχύ. Η καθυστέρηση αυτή είναι γνωστή και ως διαφορική καθυστέρηση ομάδας (Differential Group Delay-DGD) και έχει αποτέλεσμα τη διασπορά του παλμού όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.20. Τυπικές διαφορές στον δείκτη διάθλασης των δύο αξόνων είναι της τάξης του  $10^{-5}$  πράγμα που σημαίνει ότι για μικρές αποστάσεις η καθυστέρηση είναι αμελητέα. Για δίκτυα πολλών

χιλιομέτρων όμως ακόμα και αυτή η πολύ μικρή διαφορά μπορεί να δημιουργήσει μεγάλες σχετικά τιμές DGD.



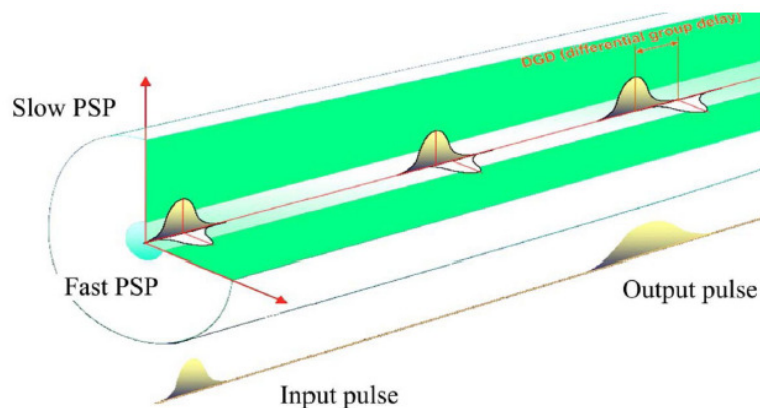
Σχήμα 4.8: Η ίνα λόγω μη συμμετρικών μηχανικών φορτίων αποκτά ένα ελαφρώς ελλειπτικό σχήμα.

Η σχέση που δίνει τη χρονική καθυστέρηση λόγω PMD είναι:

$$\Delta\tau = DPMD \cdot L$$

όπου L το μήκος της ίνας σε km και DPMD ο συντελεστής διασποράς πόλωσης τυπικές τιμές του οποίου είναι της τάξης των  $0,02\text{psec}/\text{km}^{1/2}$ . Όπως προκύπτει για ίνα μήκους 25km επάγει DGD περίπου 0,1psec. Η τιμή αυτή είναι πολύ μικρή συγκρινόμενη με τη διασπορά που προκαλείται από τους υπόλοιπους μηχανισμούς. Όμως σε ζεύξεις μακρινών αποστάσεων και υψηλών ρυθμών μετάδοσης, μεγαλύτερους από 2.5 Gbps, δεν μπορεί να αγνοηθεί.

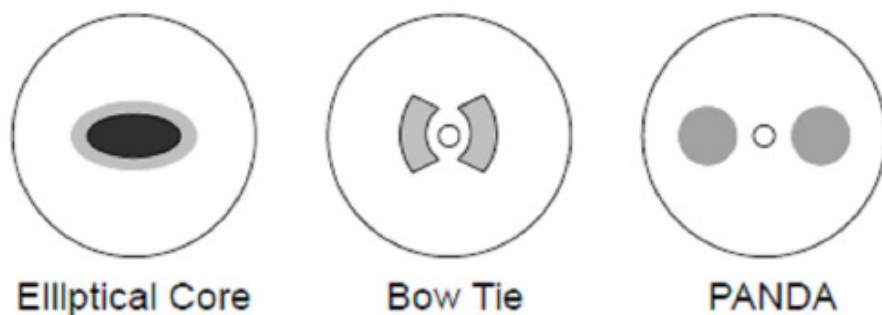
Πολύ σημαντικός είναι επίσης και ο θόρυβος που προκαλεί η διπλοθλαστικότητα στις ίνες. Στις συνηθισμένες ίνες, καθώς το Η/Μ κύμα διαδίδεται, δε διατηρεί την πόλωση του. Αυτό συμβαίνει εξ αιτίας ατελειών στη σύνθεση και τη γεωμετρία της ίνας. Χωρίς να υπάρχει συνολικά απώλεια ενέργειας, ενέργεια μεταφέρεται από τον ένα άξονα πόλωσης στον άλλο.



Σχήμα 4.9: διασπορά παλμού σε ίνα λόγω της PMD



Για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο αυτό έχουν κατασκευαστεί ίνες με ειδική γεωμετρία (π.χ. ελλειπτικούς πυρήνες) και σύνθεση οι οποίες διατηρούν την πόλωση σταθερή χωρίς να υπάρχει μεταφορά ενέργειας από τη μια κατάσταση πόλωσης στην άλλη. Οι ίνες αυτές είναι γνωστές ως Polarization Maintaining Fibers – PMF. Η διατήρηση της SOP επιτυγχάνεται συνήθως κάνοντας τις ίνες έντονα διπλοθλαστικές ώστε οι δύο καταστάσεις πόλωσης να έχουν πολύ διαφορετικές ταχύτητες και άρα να απέχουν ικανή απόσταση ώστε να μην μπορεί να γίνει σύζευξη (μεταφορά ενέργειας) μεταξύ τους.



Σχήμα 4.10: Τρεις βασικοί τύποι ινών που διατηρούν την κατάσταση πόλωσης του φωτός ίδια με αυτή που είχε κατά την είσοδο του στην ίνα. Οι σκιασμένες περιοχές έχουν διαφορετικό συντελεστή διαστολής και κατά την ψύξη της ίνας προκαλούν πιέσεις στον πυρήνα κάνοντας τον έντονα διπλοθλαστικό.

**Περιορισμοί λόγω διασποράς:** Η διερεύνηση παλμού βασίζεται σε μια διαισθητική φαινομενολογική προσέγγιση. Μας παρέχει έναν υπολογισμό πρώτου βαθμού παλμών των οποίων το φασματικό εύρος καθορίζεται από το φάσμα της οπτικής πηγής αντί από το φάσμα Fourier του παλμού. Γενικά η έκταση της διερεύνησης του παλμού εξαρτάται από το εύρος και τη μορφή του παλμού που εισέρχεται.

**Περιορισμοί του ρυθμού μετάδοσης bit:** Οι περιορισμοί που επιβάλλονται στο ρυθμό μετάδοσης bit λόγω της διασποράς στην ίνα μπορεί να είναι αρκετά διαφορετικοί μεταξύ τους ανάλογα με το φασματικό εύρος της πηγής.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Εισαγωγή στο Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) (Όργανο Μέτρησης Ανακλάσεων Οπτικής Ισχύος στο πεδίο του χρόνου)**

### **5.1 Εισαγωγή**

Το OTDR είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται ευρέως για τον έλεγχο ποιότητας εγκατεστημένων ή προς εγκατάσταση καλωδίων και τον ευρύτερο χαρακτηρισμό τους όσον αφορά τις απώλειες που εμφανίζουν κατά το μήκος τους. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην διαδικασία εύρεσης σημείων που προκαλούν τη διακοπή μίας ζεύξης ή την υπερβολική υποβάθμισή της από πλευράς ισχύος. Ένα τυπικό OTDR απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



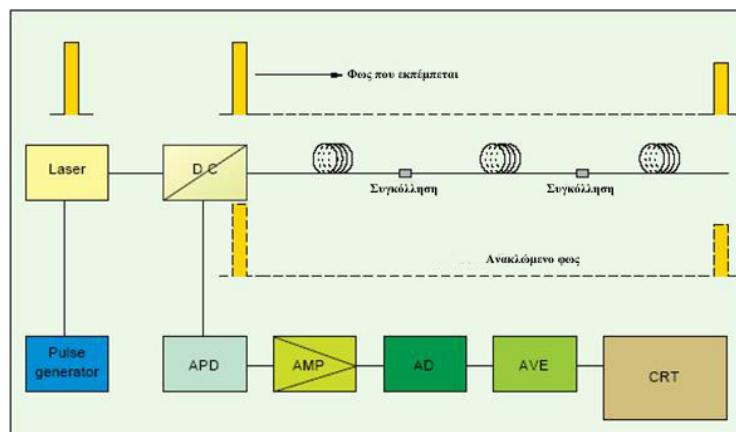
Σχήμα 5.1 Φορητή Συσκευή OTDR

Συγκεκριμένα η χρησιμότητά τους αναδεικνύεται σε μια σειρά από μετρήσεις όπως:

1. Μέτρηση αποστάσεων
2. Μέτρηση εξασθένησης οπτικών ινών, οπτικών ζεύξεων, συγκολλήσεων και συνδέσεων
3. Ανίχνευση τοπικών διαταραχών εξασθένησης
4. Μέτρηση ανακλάσεων σε συνδέσεις ή στο τέλος μίας οπτικής ζεύξης.

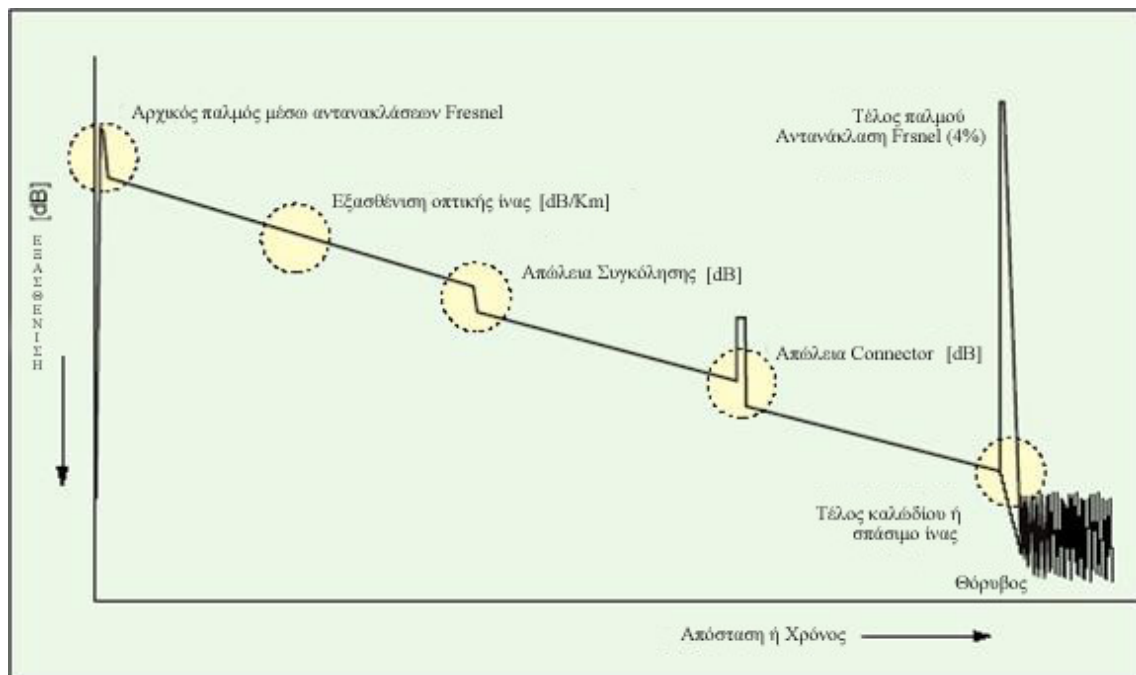
## 5.2 Αρχή Λειτουργίας του OTDR

Το OTDR λειτουργεί με βάση τη διάδοση φωτός σε οπτική ίνα κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Μία γεννήτρια σχετικά στενών ηλεκτρικών παλμών (π.χ. 0.01μs έως 0.1μs) παράγει τους παλμούς αυτούς ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Οι παλμοί αυτοί οδηγούν μία διοδική πηγή laser, η οποία παράγει μία διαμορφωμένη δέσμη φωτός που στέλνεται μέσω ενός κατευθυντικού συζεύκτη στην οπτική ίνα. Λόγω των εγγενών ανωμαλιών που χαρακτηρίζουν την οπτική ίνα αλλά και λόγω ασυνεχειών (συνδετήρες, συγκολλήσεις, τέλος μίας ζεύξης) κατά τη διάδοση συγκεκριμένη ποσότητα φωτός θα επιστρέψει στο όργανο μέσω σκέδασης Rayleigh ή ανακλάσεων. Η επιστρεφόμενη δέσμη θα ανιχνευθεί από μία φωτοδίοδο χιονοστιβάδας (Avalanche Photodiode, APD) και το ηλεκτρικό σήμα που θα παραχθεί από αυτή ενισχύεται από ενισχυτική βαθμίδα και γίνεται αντικείμενο επεξεργασίας από εσωτερικό μικροϋπολογιστή. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές και έτσι τα αποτελέσματα που προβάλλονται στην οθόνη του οργάνου προκύπτουν από στατιστική επεξεργασία. Η ισχύς του σήματος απεικονίζεται στον κάθετο άξονα του οργάνου και η απόσταση, που έχει υπολογισθεί από το χρόνο διάδοσης στον οριζόντιο.



Σχήμα 5.2 Σχηματική αναπαράσταση των βασικών δομικών στοιχείων της διάταξης OTDR

Το σύστημα συντεταγμένων απεικονίζεται μαζί με άλλα χρήσιμα στοιχεία στην οθόνη του οργάνου. Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται ένα πρότυπο της μέτρησης που διενεργεί το OTDR.



Σχήμα 5.3 Απλοποιημένο διάγραμμα από OTDR.

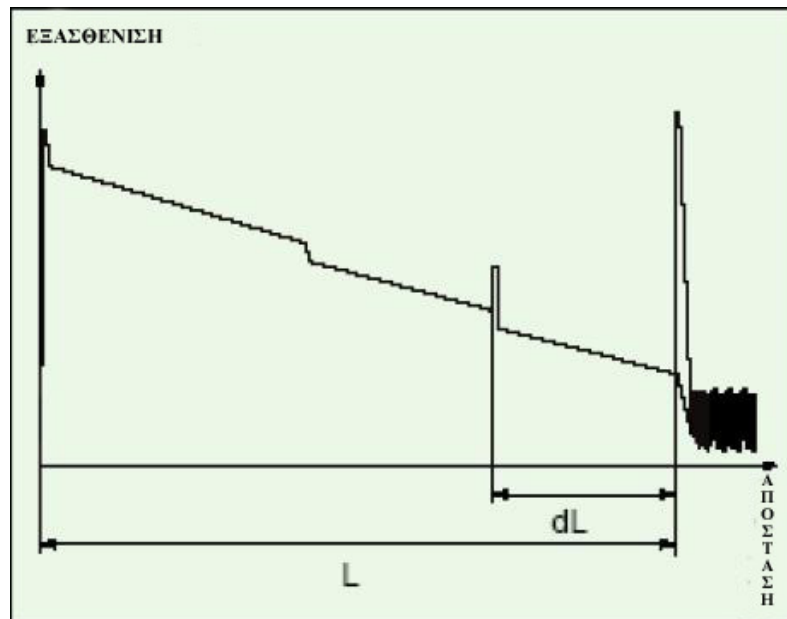
### 5.3 Μέτρηση Απόστασης Ίνας

Με τη χρήση ενός OTDR είναι δυνατό να προσδιοριστεί το μήκος μίας οπτικής ζεύξης με ιδιαίτερα υψηλή ακρίβεια. Η μέτρηση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική επίσης για να προσδιορισθεί σημείο διακοπής μίας ζεύξης, ή εισαγωγής υψηλής εξασθένησης. Η μέτρηση επιτυγχάνεται έμμεσα μέσω της παρακάτω σχέσης:

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

όπου  $v$  η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στην οπτική ίνα,  $t$  ο χρόνος που απαιτείται να

διαδοθεί και να ανακλαστεί το φως πίσω στο όργανο,  $L$  το μήκος της οπτικής ίνας,  $c$  η ταχύτητα του φωτός στο κενό και  $n$  ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα της οπτικής ίνας. Στην ουσία το όργανο μετράει το χρόνο διάδοσης και επιστροφής της φωτεινής δέσμης και έχοντας μία τιμή του δείκτη διάθλασης  $n$  υπολογίζει το μήκος με βάση τη παραπάνω σχέση. Είναι λοιπόν προφανές ότι η σωστή επιλογή δείκτη διάθλασης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια της μέτρησης.



Σχήμα 5.4 OTDR καμπύλη και η χρήση της για τον υπολογισμό μήκους ζεύξης

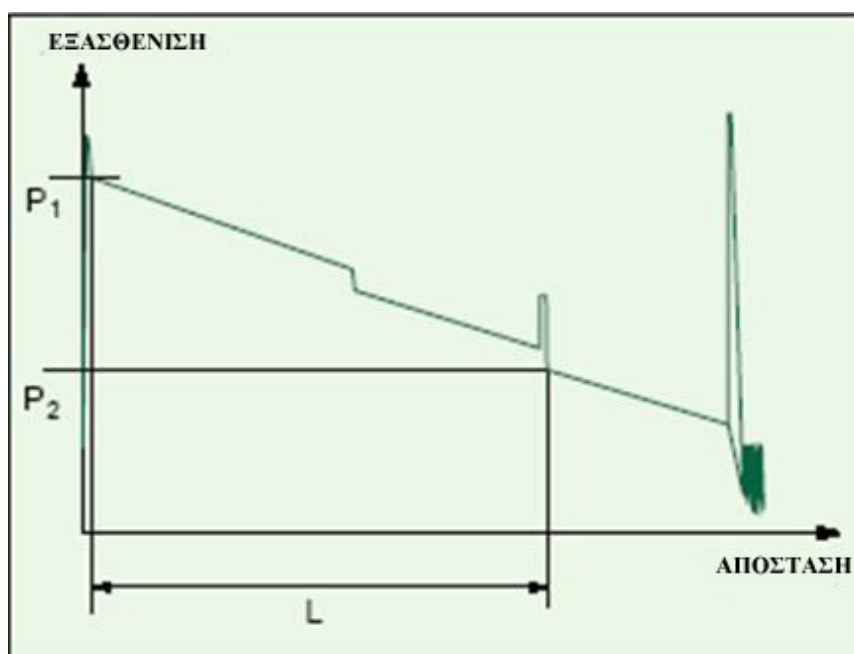
## 5.4 Απώλεια οπτικής ισχύος - Εξασθένηση

Η απώλεια οπτικής ισχύος σε ένα διάστημα μπορεί να υπολογιστεί αφαιρώντας τα επίπεδα ισχύος των δύο σημείων που ορίζουν το διάστημα με βάση την απλή σχέση.

$$A = P_1 - P_2 \text{ (dB)} \quad (2)$$

Η εξασθένηση αντίστοιχα υπολογίζεται διαιρώντας με το αντίστοιχο διάστημα

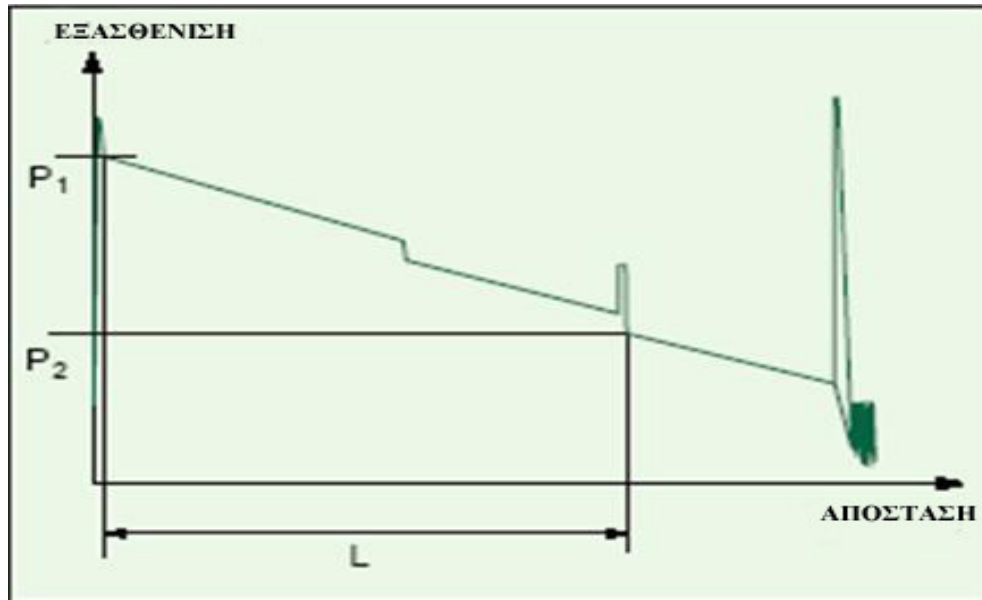
$$\alpha = \frac{P_1 - P_2}{L} \quad (3)$$



Σχήμα 5.5: OTDR καμπύλη και η χρήση της για τον υπολογισμό της εξασθένησης στην ζεύξη

Όπως φαίνεται στα προηγούμενα σχήματα, στην οθόνη του OTDR φαίνεται πώς εξασθενεί η ισχύς σε ένα τμήμα οπτικής ζεύξης. Αν η ζεύξη περιέχει συγκολλήσεις ή συνδέσεις, αυτές θα εμφανιστούν σαν «γόνατα» στην καμπύλη, όπως και στο σχήμα. Η απώλεια της συγκόλλησης ή της σύνδεσης μπορεί να προσδιοριστεί μετρώντας την υποβάθμιση της ισχύος στα δύο σημεία του «γονάτου».

$$A(\text{συγκόλληση}) = \gamma_1 - \gamma_2$$



Σχήμα 5.6: Μέθοδος δύο σημείων για τον υπολογισμό απωλειών σε συγκόλληση

## 5.5 Ρυθμίσεις ενός OTDR

Οι σωστές ρυθμίσεις ενός OTDR παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξαγωγή αξιόπιστων μετρήσεων. Χαρακτηριστικά κρίσιμης σημασίας είναι τα παρακάτω:

### 1. Νεκρή Ζώνη

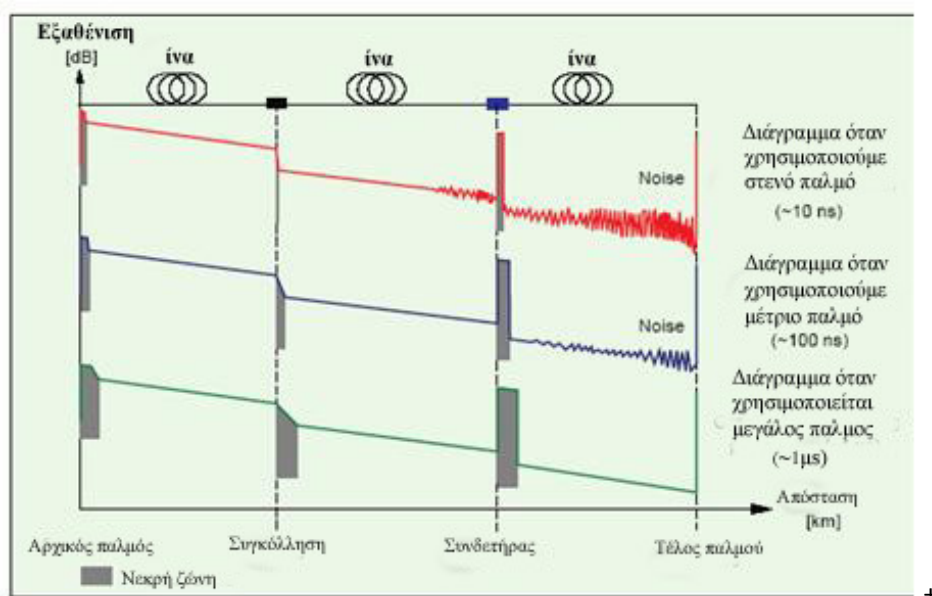
Κάθε συγκόλληση ή συνδετήρας προκαλούν μία παρενόχληση στο διαδιδόμενο και ανακλώμενο οπτικό σήμα. Αυτού του είδους η επίδραση επιβάλλει μία ζώνη συγκεκριμένου μήκους μετά την ένωση για την οποία δεν είναι δυνατό να μελετήσουμε το οτιδήποτε. Για παράδειγμα η συγκόλληση που βρίσκεται στο εσωτερικό ενός κατανεμητή (Optical Distribution Frame) δεν είναι δυνατό να ανιχνευθεί από ένα OTDR, αφού πριν από αυτή υπάρχει ο συνδετήρας που ενώνει την οπτική ίνα με τον κατανεμητή. Σε αυτή τη περίπτωση αν η συγκόλληση δεν είχε γίνει σωστά θα βλέπαμε στο διάγραμμα του OTDR ότι η εξασθένιση είναι μεγαλύτερη από τη προβλεπόμενη τιμή που αναμένεται. Θα πρέπει τότε πρώτα να ελέγξουμε το συνδετήρα αν είναι καθαρισμένος και μετά αν η μέτρηση μας εμφανίζει τις ίδιες τιμές θα πρέπει να ξαναγίνει η συγκόλληση. Επίσης για μία οπτική ίνα που έχει συγκολληθεί δύο φορές σε απόσταση μερικών μέτρων (έως 3m) δεν είναι δυνατή η διάκριση των δύο συγκολλήσεων από το όργανο. Αντί αυτών θα φανεί μία συγκόλληση της οποίας οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των επιμέρους απωλειών. Πρέπει να τονίσουμε όμως ότι στην πράξη τότε δεν θα κάναμε δύο συγκολλήσεις σε απόσταση έως 3m διότι δεν είναι αποδεκτό κάτι τέτοιο από οποιαδήποτε εταιρεία που κάνει συγκολλήσεις. Αντί για δύο συγκολλήσεις θα αποκόπταμε το ελαττωματικό σημείο της οπτικής ίνας και θα κάναμε μία συγκόλληση. Για τις συγκολλήσεις θα μιλήσουμε παρακάτω.

### 2. Εύρος παλμών

Η «νεκρή ζώνη» μπορεί να περιοριστεί σε μέγεθος αν οι παλμοί που εκπέμπονται από το OTDR είναι όσο το δυνατό στενότερου εύρους. Δυστυχώς μία τέτοια ρύθμιση δεν είναι άμοιρη μειονεκτημάτων, μιας και οι στενοί παλμοί δεν είναι δυνατό να διαδίδονται για μεγάλες αποστάσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ένας στενός παλμός λόγω των απωλειών και των εξασθενίσεων που συμβαίνουν



κατά τη μετάδοση στην οπτική ίνα αν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλες αποστάσεις θα “χαθεί” ο παλμός μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και το OTDR θα εμφανίζει ότι η σύνδεση “κόβεται” (σπάσιμο ή τέλος ίνας) και τα αποτελέσματα θα είναι ανακριβής για το δίκτυο που ελέγχουμε. Σ’ αυτή την περίπτωση λοιπόν περιορίζεται η ικανότητα του οργάνου για τον καθορισμό χαρακτηριστικών στις μεγάλες αποστάσεις. Συμπερασματικά, οι μεγάλοι εύρους παλμοί είναι κατάλληλοι για το χαρακτηρισμό μίας οπτικής ζεύξης μεγάλης σχετικά απόστασης, με τίμημα την μεγέθυνση της νεκρής ζώνης. Για παράδειγμα αν θέλουμε να μετρήσουμε δίκτυο 2 έως 4 χιλιόμετρα θα χρησιμοποιούσαμε παλμό των 100ns. Για μεγαλύτερη απόσταση όπως 40 χιλιόμετρα θα χρησιμοποιούνταν παλμός 1μs. Αντίθετα οι στενοί παλμοί αυξάνουν τη διακριτική ικανότητα του οργάνου, μειώνοντας το μήκος της νεκρής ζώνης, αλλά ταυτόχρονα λόγω της ευαισθησίας τους, μειώνουν την απόκριση του οργάνου στις μεγάλες αποστάσεις και αποφεύγονται να χρησιμοποιούνται διότι όταν κάνουμε μετρήσεις με OTDR μας ενδιαφέρει οι συνολικές απώλειες του δικτύου που κάνουμε μετρήσεις να τηρούν τις τα όρια με βάση τις προδιαγραφές που έχει δώσει ο κατασκευαστής. Συνήθως η σωστή ρύθμιση επιτυγχάνεται από την αυτόματη λειτουργία που διαθέτουν σαν επιλογή σχεδόν όλα τα εμπορικά διαθέσιμα όργανα. Η αυτόματη λειτουργία επιλέγει το σωστό εύρος παλμών με κριτήριο την όσο το δυνατόν καλύτερη απόδοσή του για τον ικανοποιητικό καθορισμό όλων των χαρακτηριστικών της ζεύξης.



Σχήμα 5.7 Διαγράμματα μεταβάλλοντας το εύρος του παλμού.

### 3. Δυναμική περιοχή

Η δυναμική περιοχή του OTDR καθορίζεται από το πόσο ισχυρή είναι η οπτική πηγή του οργάνου και ταυτόχρονα από το πόσο ευαίσθητη είναι η φωτοδίοδος χιονοστιβάδας (APD) που λαμβάνει το ανακλώμενο οπτικό σήμα. Όσο αυξάνεται η ισχύς και η ευαισθησία του πομπού και του δέκτη αντίστοιχα, τόσο το όργανο θεωρείται πληρέστερο, αφού αποδίδει τα χαρακτηριστικά της ζεύξης με μεγάλη ακρίβεια για μεγαλύτερες αποστάσεις. Η δυναμική περιοχή ενός τυπικού OTDR επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για αποστάσεις μέχρι 100Km, σε μία τυπική ίνα η οποία θεωρείται επαρκής για το χαρακτηρισμό των σημερινών οπτικών ζεύξεων. Η δυναμική περιοχή σε αυτή την περίπτωση μπορεί να προσδιορισθεί ποσοτικά σκεπτόμενοι ότι 100Km εισάγουν 35dB απωλειών στο μήκος κύματος των 1310nm. Αν συμπεριληφθούν άλλα 5dB απωλειών λόγω συγκολλήσεων και συνδέσεων στον κατανεμητή, συμπεραίνουμε ότι η δυναμική περιοχή πρέπει να είναι ίση με 40dB. Επίσης αν αναλογιστούμε ότι το σήμα που στέλνουμε θα υποστεί τη διαδικασία δύο φορές από το ένα άκρο της ζεύξης στο άλλο (αρχικά διαδιδόμενο και κατόπιν ανακλώμενο), τότε συμπεραίνουμε ότι η δυναμική περιοχή πρέπει να είναι 80dB, αριθμός ιδιαίτερα υψηλός και είναι δυνατό να επιτευχθεί για μικρό εύρος παλμών.

Συμβουλές για την αποδοτική χρήση ενός OTDR

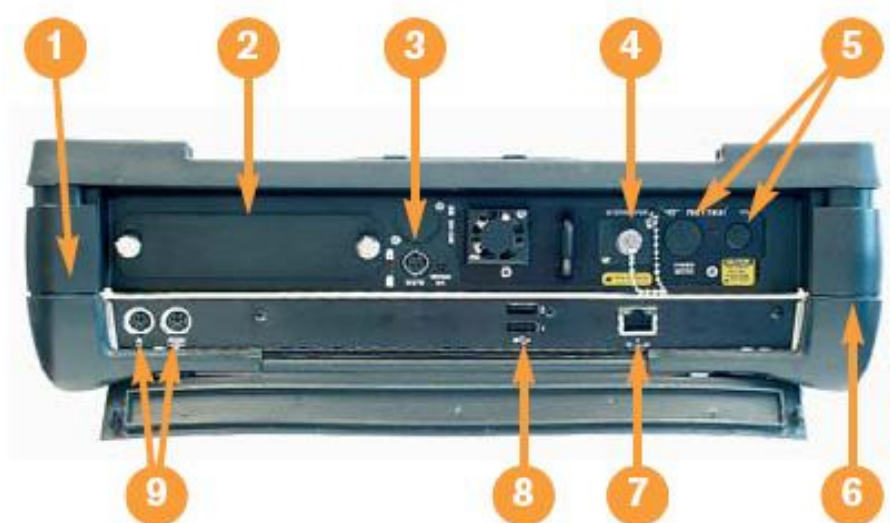
- Η σμίκρυνση της «νεκρής ζώνης» επιτυγχάνεται με τη χρήση στενών παλμών
- Η ελαχιστοποίηση του θορύβου στη μέτρηση (σχήμα) επιτυγχάνεται με ευρύτερους παλμούς.
- Πιο ευκρινή διαγράμματα επιφέρει η χρήση της επιλογής στατιστικής επεξεργασίας (averaging)
- Για απόλυτο χαρακτηρισμό μίας ζεύξης, μπορεί να πραγματοποιηθεί μέτρηση σε στάδια ανάλογα με το τι επιθυμούμε να ανιχνεύσουμε. Π.χ. αν μας ενδιαφέρει ο ακριβής χαρακτηρισμός του πρώτου άκρου της, χρησιμοποιούμε στενούς παλμούς για την όσο το δυνατό εξάλειψη των

«νεκρών ζωνών». Σε δεύτερη προσέγγιση για το χαρακτηρισμό του μήκους της χρησιμοποιούμε ευρείς παλμούς, ανθεκτικούς στις απώλειες. Έτσι η πραγματοποίηση της μέτρησης σε περισσότερα από ένα στάδια, συμβάλλει στον ακριβή καθορισμό των ιδιαιτεροτήτων της ζεύξης σε όλο το μήκος της.

### **5.6 CMA5000**

Το CMA5000 είναι μία ισχυρή συσκευή βασισμένη στο λειτουργικό σύστημα των windows (XP), με οθόνη με υψηλής ανάλυσης χρωμάτων που είναι εύκολο να διαβαστεί και σε εσωτερικούς χώρους και σε εξωτερικούς. Επίσης η οθόνη είναι αφής, έχει ειδικά interfaces για τον χρήστη και διάφορες οπτικές επιλογές για να καλύψουν ανάγκες ελέγχου είτε σε μονότροπες είτε σε πολύτροπες ίνες σε αποστάσεις που ξεκινούν από 10 μέτρα και φτάνουν τα 250 χιλιόμετρα. Περιλαμβάνει επιπλέον χαρακτηριστικά όπως USB θύρες, interface 10/100 Ethernet και αφιερωμένοι μέθοδοι ελέγχου για μεγαλύτερη ευκολία στη χρήση και ευελιξία.

## Χαρακτηριστικά CMA5000



1. Μηχανισμός CD-R/W ή εσωτερική δισκέτα
2. Μπαταρία Λιθίου
3. Φορτιστής/Adapter Εναλλασσόμενου ρεύματος με ένδειξη σε τι επίπεδο βρίσκεται η φόρτιση
4. Σύνδεσμος γενικής χρήσεως ο οποίος δέχεται όλων των ειδών adapters.
5. Επιλογές για το συνολικό έλεγχο απωλειών για ολοκληρωμένο έλεγχο(all-in-one)
6. 20 GB σκληρός δίσκος
7. Θύρα Ethernet 10(Ethernet)/100(γρήγορο Ethernet) για σύνδεση δικτύου.
8. Θύρα USB
9. Θύρες PS/2 για να συνδέσουμε εξωτερικό πληκτρολόγιο και ποντίκι.

### 5.7 Λειτουργία Module

#### Wizard Εγκατάστασης Ίνας και Χρήση OTDR

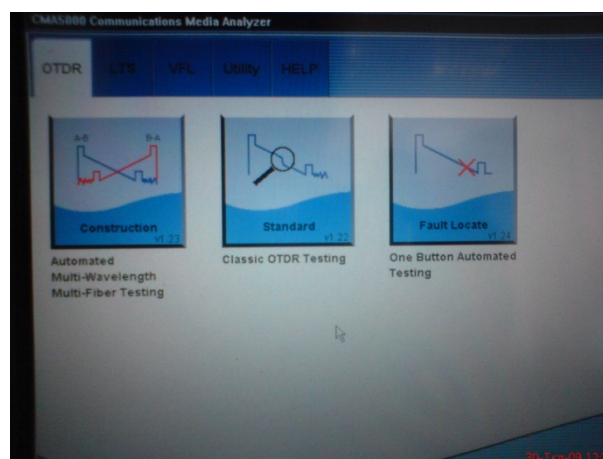
Μέσω του συγκεκριμένου λογισμικού εξοικονομούμε χρόνο που θα χρειαζόταν για επαναλαμβανόμενες διεργασίες όσον αφορά την επιλογή παραμέτρων, ανάλυση και αποθήκευση αρχείου. Ένας wizard καθοδηγεί τον χρήστη μέσω μερικών γρήγορων βημάτων εγκατάστασης, μετά διαχειρίζεται ολόκληρη τη λειτουργία του ελέγχου, δίνοντας ακόμα και οδηγίες για το ποια ίνα θα συνδέσει. Έτσι ο χρήστης συγκεντρώνεται στον έλεγχο και όχι στο να βρει ποιο πλήκτρο θα χρησιμοποιήσει,

μειώνοντας τη πιθανότητα ο χρήστης να κάνει λάθη στην ονομασία αρχείου και στην ιχνηλάτηση δεδομένου ότι στην κατασκευή OTDR γίνεται αυτόματα. Έτσι αυτοματοποιούνται κάποιες διεργασίες και απλοποιεί τον έλεγχο σε περίπτωση που έχουμε μεγάλο αριθμό ινών. Έχοντας ανοικτό το μενού του OTDR θα εμφανιστεί το εξής:



Εικόνα 5.8: Διαθέσιμα module συσκευής

Το αριστερό IDLE είναι το module και αφορά τις μονότροπες ίνες και μήκος κύματος 1330 και 1550 μέτρα. Το δεξιό IDLE είναι το module που αφορά τις πολύτροπες ίνες και μήκος κύματος 800 και 1550 μέτρα. Πιέζουμε στην οθόνη αφής ένα από τα δύο IDLE και θα εμφανιστεί το εξής μενού:

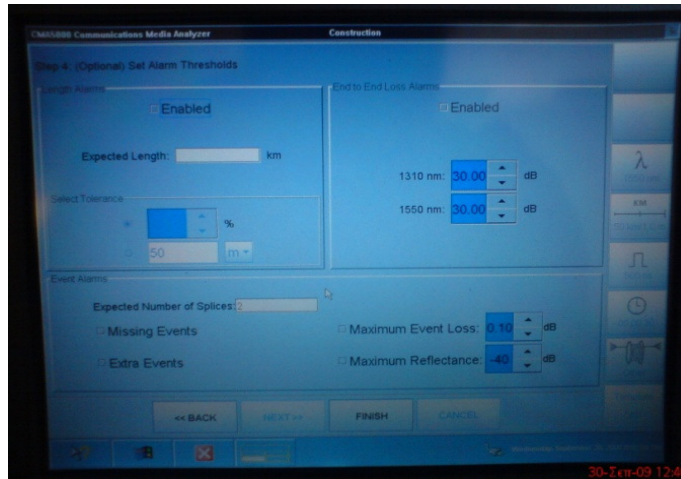


Εικόνα 5.9: Διαθέσιμες επιλογές για την χρήση της λειτουργίας OTDR του CMA 500

Επιλέγουμε αριστερά το Construction(Κατασκευή OTDR) πιέζοντας την οθόνη αφής. Μόλις το επιλέξουμε ακολουθούν 4 βήματα όπου ρυθμίζουμε κάποιες

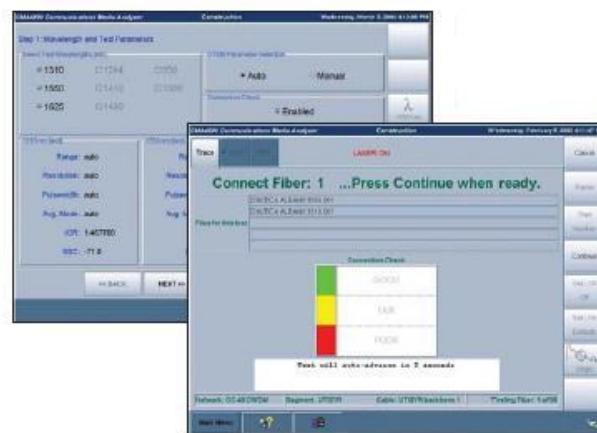






Εικόνες 10 ,11, 12, 13: Ρυθμίσεις βασικών παραμέτρων

Μόλις γίνει η ρύθμιση των παραμέτρων στο επόμενο μενού εμφανίζεται αν η σύνδεση των συνδέσμων (connectors) έχει γίνει σωστά. Αν έχει γίνει σωστά μετά από λίγα δευτερόλεπτα ξεκινάει ο έλεγχος.



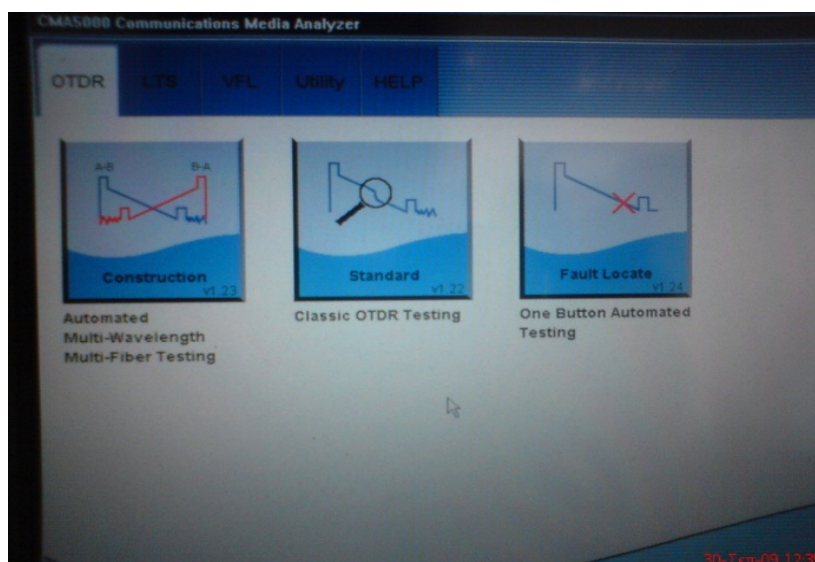
Εικόνα 5.14: Εμφάνιση διαθέσιμου υλικού και αναμονή εκκίνησης ελέγχου

## 5.8 Standard OTDR



Εικόνα 5.15: Διαθέσιμα module

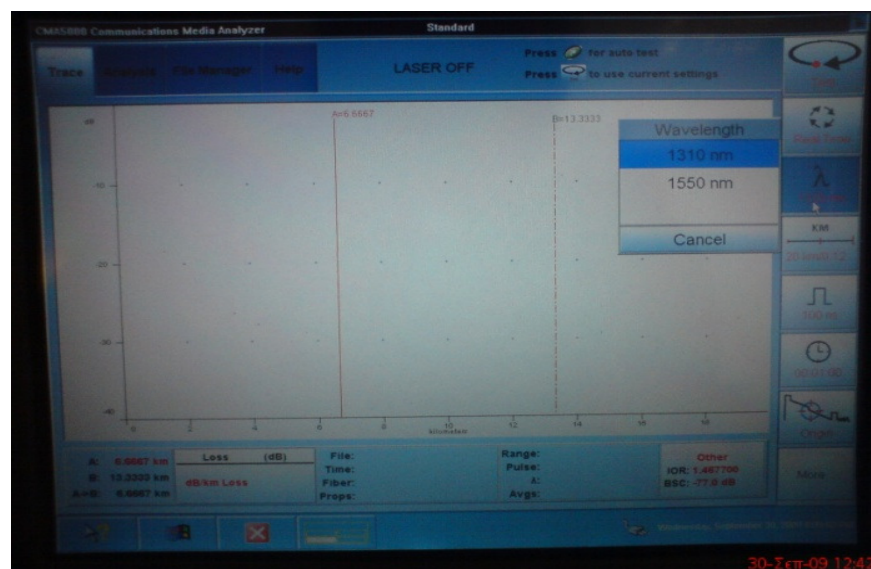
Επιλέγουμε το επιθυμητό module και μεταβαίνουμε στο παρακάτω μενού όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



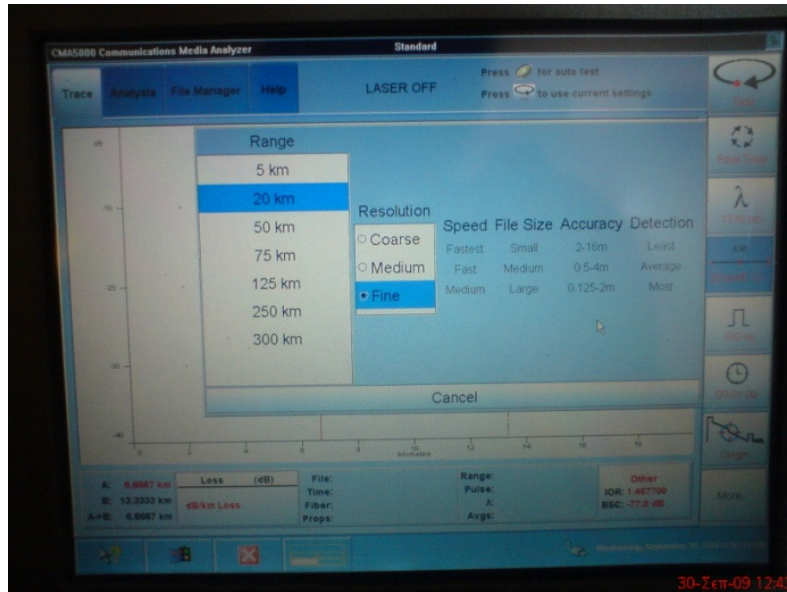
Εικόνα 5.16: Διαθέσιμες λειτουργίες συσκευής OTDR



Στο μενού που εμφανίζεται επιλέγουμε Classic OTDR Testing και πιέζουμε την οθόνη αφής. Μέσω του standard OTDR μπορούμε να κάνουμε, ανάλογα με τις ανάγκες μερικές ή όλες τις ρυθμίσεις χειροκίνητα παρέχοντας τη δυνατότητα βελτιστοποίησης των παραμέτρων. Προϋποθέτει να υπάρχει εμπειρία από το χρήστη ώστε να μπορεί να έχει μεγαλύτερο έλεγχο στις λειτουργίες του OTDR. Έτσι κάποιες παράμετροι όπως μήκος κύματος, μέγεθος παλμού, εμβέλεια/ανάλυση και κατάσταση averaging μπορούν εύκολα να ρυθμιστούν μέσω της οθόνης αφής και το ειδικό interface με πλήκτρα του CMA5000. Επίσης η αποθήκευση δεδομένων μπορεί να ρυθμιστεί με μεγάλη ευκολία με τον σκληρό δίσκο 20 Gb που περιλαμβάνει χωρίς να υπάρχουν περιορισμοί στα ονόματα των αρχείων ή τη χωρητικότητα. Ακόμα ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το format του αρχείου που επιθυμεί. Επιπλέον χαρακτηριστικά που παρέχονται όπως η ταυτόχρονη \*επικάλυψη(overlay) 8 ιχνών(traces), 4 επιλογές εμφάνισης στην οθόνη και η δυνατότητα από το χρήστη να επιλέξει την κατάσταση απωλειών που χρειάζεται διασφαλίζει στο χρήστη όλα τα εργαλεία που χρειάζεται για να ελέγξει ένα δίκτυο.



Εικόνα 5.17: Οθόνη εισαγωγής τιμής μήκους κύματος



Εικόνα 5.18: Οθόνη εισαγωγής τιμής μήκους οπτικής ίνας

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το μενού επιλογής για την εμβέλεια που θα μετρήσει το OTDR



Εικόνα 5.19: οθόνη εισαγωγής τιμής παλμού

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το μενού επιλογής για το παλμό που θα στέλνει το μηχανήμα.

## Συμπεράσματα

Από την περιγραφή των οπτικών ινών και τους λόγους εξασθένησης της ίνας καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι για την σωστή λειτουργία ενός δικτύου οπτικών ινών πρέπει να ληφθούν υπόψη παράγοντες τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο.

Συγκεκριμένα, σημαντικό ρόλο στην επίτευξη ενός ορθού οπτικού δικτύου παίζουν η ποιότητα των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν και κατά πόσο αυτά πληρούν τις σωστές προδιαγραφές .

Για την ακρίβεια, η χρήση μηχανημάτων όπως το OTDR λύνουν τα χέρια σε μηχανικούς δικτύων μέσα σε ελάχιστο χρόνο και μπορούν να βρουν μέχρι και το σημείο που έχει βλάβη το οπτικό καλώδιο, χωρίς να χρειάζεται να ανοιχθεί ολόκληρη η εγκατάσταση.

Είναι πλέον φανερό ότι όσον αφορά τα μέσα μετάδοσης οι οπτικές ίνες, σε αντίθεση με τα χάλκινα καλώδια οποιασδήποτε μορφής, είναι η μόνη τεχνολογία με δυνατότητες να προσφέρει λύση ικανοποιώντας την συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για εύρος ζώνης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βασική θεωρία στις οπτικές ίνες (Msc Χρήστος Ευθυμίου)
2. Οπτικά Δίκτυα Επικοινωνιών (Ασαρίδης Ηλίας, Λούβρος Σπυρίδων, Καπουρνιώτης Θεόδωρος)
3. Θεωρητική Ανάλυση και Πραγματικές Μετρήσεις Σε Δίκτυο Οπτικής Μετάδοσης : Βραδέλη Ευδοκία
4. Χρήση OTDR και ενίσχυση Raman σε μητροπολιτικές ζεύξεις μονότροπων οπτικών ινών: Γαλανάκη Μανούσου
5. [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)
6. [http://dide.zak.sch.gr/keplinet/tech/optikes\\_ines.pdf](http://dide.zak.sch.gr/keplinet/tech/optikes_ines.pdf)
7. [http://www.photonics.ntua.gr/Diafaneies Susthmata metadoshs /Enotita 2 DiadosiSelnes.pdf](http://www.photonics.ntua.gr/Diafaneies_Susthmata_metadoshs/Enotita_2_DiadosiSelnes.pdf)