

ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε.

2014

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ**  
**ΕΝΟΣ ΟΠΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ**

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΣΑΡΙΔΗΣ ΗΛΙΑΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΕΣΟΓΛΙΔΟΥ ΕΥΓΕΝΙΑ ΜΑΡΙΑ

ΑΜ: 1000

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία – Πειραματικός προσδιορισμός παραμέτρων αξιοπιστίας ενός οπτικού δικτύου πραγματεύεται και αναλύει όλες τις βασικές έννοιες και επιμέρους τεχνολογίες που αφορούν την τεχνολογία οπτικών ινών και δικτύων οπτικών ινών.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται εκτενής περιγραφή του τρόπου λειτουργίας των οπτικών ινών. Συγκεκριμένα αναλύονται τα βασικά στοιχεία μιας οπτικής ίνας. Αναφέρεται η βασική δομή τους, περιγράφεται η κατασκευή των καλωδίων, οι δύο τύποι οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται στην πράξη και περιγράφονται οι τρόποι μετάδοσης του φωτός εντός την οπτικής ίνας. Τέλος, αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των οπτικών ινών και πως αυτές έχουν εφαρμογή στην σύγχρονη εποχή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στους λόγους απωλειών εξασθένησης σήματος. Περιγράφεται ένα δίκτυο οπτικών ινών και τα δομικά στοιχεία του δικτύου από πλευράς υλικού. Γίνεται εκτενής ανάλυση των φαινομένων της εξασθένησης και της διασποράς σε ένα οπτικό δίκτυο. Τέλος, αναφέρονται οι τρόποι έλεγχου αξιοπιστίας ενός δικτύου οπτικών ινών.(BER, διάγραμμα ματιού)

Το τρίτο και τελευταίο κεφάλαιο αναφέρεται στα όργανα έλεγχου οπτικών ινών, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στον μετρητή ανάκλασης πεδίου οπτικού χρόνου (ODTR). Αρχικά περιγράφουμε τον τρόπο λειτουργίας του ODTR, τις βασικές ρυθμίσεις του και με την βοήθεια του αναλύουμε μετρήσεις δικτύου οπτικών ινών.

## SUMMARY

The present final work - Experimental determination of parameters of reliability of optical network analyzes the all basic significances and individual technologies that concerns the technology of optical fibres and networks of optical fibres.

In the first chapter becomes extensive description of the way of operation of optical fibres. Concretely are analyzed the basic elements of optical fibre. Is reported their basic structure., is described the manufacture of cables, the two types of optical fibres that are used into practice and described the ways of transmission of light inside optical fibre. Finally, are reported the advantages and disadvantages of optical fibres and that these have application in the modern season.

In the second chapter is given particular accent in the reasons of losses of decrepitude of signal. Are described a network of optical fibres and the structural elements of network from side of material. Becomes extensive analysis of phenomena of decrepitude and dissemination in a optical network. Finally, are reported the ways of control of reliability of network of optical fibres. (BER, eye diagram)

The third and last chapter is reported in the bodies of control of optical fibres, giving particular accent in the meter of reflection of field of optical time (ODTR). Initially we describe the way of operation of ODTR, his basic regulations and with his help we analyze measurements of network of optical fibres.

## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Η ταχύτατη μετάδοση δεδομένων αποτελεί σήμερα μια επιτακτική ανάγκη, τόσο σε μια σύνδεση Internet υψηλής ταχύτητας, όσο και για την υλοποίηση των τηλεφωνικών συνδέσεων Voice over IP. Η καλύτερη πρόταση για την κάλυψη των υψηλών σημερινών αναγκών σε bandwidth, δεν είναι άλλη από τη χρήση ενός δικτύου οπτικών ινών. Οι οπτικές ίνες μεταδίδουν φωτεινά σήματα σε μεγάλες αποστάσεις με μηδενικές σχεδόν απώλειες, ενώ η ταχύτητα μετάδοσης πλησιάζει αυτή με την οποία διαδίδεται το φως.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη προς τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Ασαρίδη Ηλία για την αγόγγυστη καθοδήγηση, την πολύτιμη συμβουλή και καταλυτική συμβολή του στην ολοκλήρωση της πτυχιακής αυτής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη της (υλική-ηθική) όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

1.1 Ορισμός οπτικής ίνας.....	8
1.1.1 Ιστορική αναδρομή.....	9
1.2 Δομή και λειτουργίες οπτικών ινών.....	11
1.2.1 Δομή καλωδίου οπτικών ινών.....	11
1.2.2 Λειτουργία οπτικών ινών.....	12
1.3 Είδη οπτικών ινών και παράμετροι εξασθένησης.....	13
1.3.1 Τύποι οπτικών ινών.....	13
1.3.2 Είδη οπτικών ινών.....	14
1.3.3 Εξασθένηση οπτικών ινών.....	17
1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα οπτικών ινών .....	18
1.5 Χρήση οπτικών ινών στον σύγχρονο κόσμο .....	20

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΔΙΚΤΥΟ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

2.1 Περιγραφή δικτύου οπτικών ινών.....	23
2.1.1 Τύποι χάνδακα.....	26
2.1.2 Φρεάτια.....	27
2.1.3 Σωληνώσεις.....	28
2.1.4 Χρήση συγκολλήσεων και σωληνώσεων.....	29
2.1.5 Χρήση συτοιχιών μικροσωληνώσεων.....	30
2.1.6 Κύριος κόμβος.....	30
2.1.7 Κόμβος διανομής.....	31
2.1.8 Κόμβος διανομής.....	32
2.2 Τα βασικά στοιχεία που αποτελούν ένα δίκτυο οπτικών ινών.....	34
2.3 Εξασθένηση.....	38
2.3.1 Εξασθένηση.....	39

2.3.2 Απορρόφηση.....	39
2.3.3 Σκέδαση.....	40
2.3.4 Διασπορά.....	40
2.3.5 Χρωματική διασπορά.....	41
2.3.6 Διασπορά κυματοδηγού.....	41
2.3.7 Διασπορά υλικού.....	42
2.3.8 Μη γραμμικά φαινόμενα.....	42
2.4 Έλεγχος αξιοπιστίας δικτύου.....	45
2.4.1 Διάγραμμα ματιού.....	45
2.4.2 Πρότυπο ελέγχου Tier 1.....	47
2.4.3 Πρότυπο ελέγχου Tier 2.....	50

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

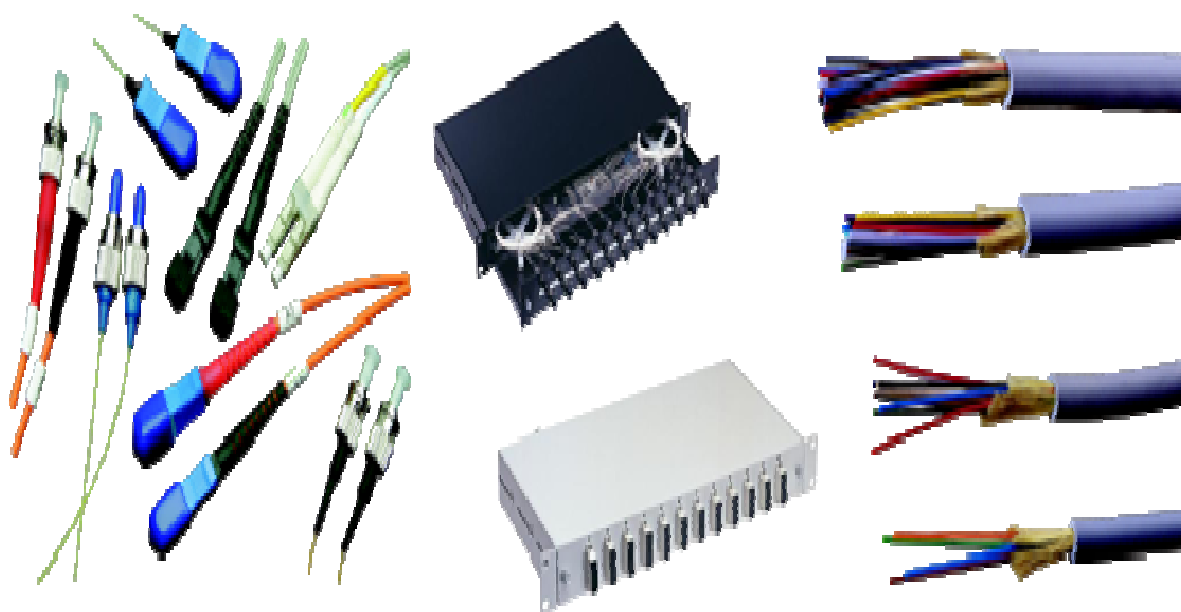
3.1 Όργανα μέτρησης και OTDR.....	51
3.1.1 Αρχή λειτουργίας του OTDR.....	52
3.1.2 Μέτρηση απόσταση ίνας.....	53
3.1.3 Απώλεια οπτικής ισχύος εξασθένησης.....	54
3.2 Ρύθμιση OTDR.....	55
3.2.1 Συμβουλές για την χρήση OTDR.....	57
3.3 Το μοντέλο CMA5000.....	59
3.4 WIZARD εγκατάσταση ίνας και χρήση OTDR.....	61
3.5 Οπτικός ανιχνευτής λάθους.....	65
3.5.1 Συνολικός έλεγχος απωλειών.....	66
3.6 Standard OTDR.....	68
3.7 Τηλεοπτικός καθετήρας επιθεώρησης connector.....	71
3.8 Μετρήσεις με την χρήση OTDR.....	72
Βιβλιογραφία.....	85

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

### 1.1

#### Ορισμός οπτικής ίνας

Οι **οπτικές ίνες**, είναι πολύ λεπτά νήματα από πλαστικό ή γυαλί, όπου από μέσα τους, μεταδίδονται ψηφιακά δεδομένα, υπό μορφή φωτός. Ένα καλώδιο οπτικών ινών, περιέχει μέσα του δεκάδες ή και εκατοντάδες πολύ λεπτές τέτοιες οπτικές ίνες, σε διάμετρο, μικρότερη και από μία τρίχα. Οι ταχύτητες μετάδοσης των δεδομένων μέσω των οπτικών ινών, αφού τα δεδομένα ταξιδεύουν υπό μορφή φωτός, είναι όσο η ταχύτητα του φωτός.



Σχήμα 1.1 Διάφορες οπτικές ίνες.



### **1.1.1 Ιστορική αναδρομή οπτικών ινών**

Η καθοδήγηση του φωτός μέσα από τη διάθλαση, η αρχή που καθιστά την οπτική ίνα πιθανή, καταδείχθηκε αρχικά κοντά στο Παρίσι το 1840s από τον Ντάνιελ Colladon και τον Ζακ Babinet, με τον ιρλανδικό εφευρέτη John Tyndall μέσα από τις δημόσιες επιδείξεις που χρησιμοποιούσαν τις ύδωρ-πηγές δέκα έτη αργότερα. Οι πρακτικές εφαρμογές, όπως ο στενός εσωτερικός φωτισμός κατά τη διάρκεια της οδοντιατρικής, εμφανίστηκαν νωρίς στον εικοστό αιώνα.. Στη δεκαετία του '20 η μετάδοση εικόνας μέσω των σωλήνων αναδείχθηκε από το ραδιοφωνικό πειραματιστή Clarence Hansell και τον τηλεοπτικό πρωτοπόρο John Logie Baird. Στην επόμενη δεκαετία χρησιμοποιήθηκε για τις εσωτερικές ιατρικές εξετάσεις από το Heinrich Lamm. Το 1952, φυσικός Narinder Singh Kapany με πραγματοποιημένα πειράματα που οδήγησαν στην εφεύρεση της οπτικής ίνας, βασισμένη στις πρώτες μελέτες του Tyndall, όπου η ίνα υάλου είναι ντυμένη με μια διαφανή επένδυση για να προσφέρει έναν καταλληλότερο δείκτης διάθλασης. Έπειτα η ανάπτυξη που στρέφεται στις δέσμες ινών για τη μετάδοση εικόνας. Το πρώτο οπτικό ημι-εύκαμπτο gastroscope ινών ήταν κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Hirschowitz, Γ. Wilbur Peters, και Lawrence E. Curtiss, ερευνητές στο Πανεπιστήμιο του Μίτσιγκαν, το 1956. Στο στάδιο της ανάπτυξης του gastroscope ο Curtiss παρήγαγε τις πρώτες γυαλί-ντυμένες ίνες οι προηγούμενες οπτικές ίνες είχαν στηριχθεί στον αέρα ή τα μη πρακτικά έλαια και τα κεριά ως υλικό επένδυσης χαμηλός-δεικτών. Ποικίλες άλλες εφαρμογές μετάδοσης εικόνας ακολουθούμενες σύντομα. Η εμφάνιση του πυριτίου ultrapure για τις συσκευές ημιαγωγών κατέστησε τη low-loss ίνα πυριτίου.

Το 1965, Charles K. Kao και George A. Hockham της βρετανικής επιχείρησης Τυποποιημένα τηλέφωνα και καλώδια ήταν ο πρώτος για να προτείνει ότι η μείωση της απόδοσης των σύγχρονων ινών προκλήθηκε από τις ακαθαρσίες, οι οποίες θα μπορούσαν να αφαιρεθούν, παρά τα θεμελιώδη φυσικά αποτελέσματα όπως η διασπορά. Σκέφτηκαν ότι η οπτική ίνα θα μπορούσε να είναι ένα πρακτικό μέσο για την επικοινωνία, εάν η εξασθένηση θα μπορούσε να μειωθεί κάτω από 20 DB ανά χιλιόμετρο. Αυτό το επίπεδο μείωσης επιτεύχθηκε αρχικά το 1970, από τους ερευνητές Robert D. Maurer, Donald Keck, Peter C. Schultz, και Frank Zimar που

εργάζονταν για τα αμερικανικά εργοστάσια γυαλιού Corning (κατασκευαστών γυαλιού). Κατέδειξαν μια ίνα με την οπτική μείωση 17 dB ανά χιλιόμετρο. Μερικά έτη αργότερα παρήγαγαν μια ίνα με 4 dB/km, οξείδιο γερμανίου χρησιμοποιήθηκε σαν υλικό πρόσμιξης πυρήνων. Τέτοιες χαμηλές μειώσεις ανήγγειλαν μέσα τις τηλεπικοινωνίες οπτικών ινών και τις επέτρεψαν για το Διαδίκτυο. Σήμερα, οι μειώσεις στα οπτικά καλώδια είναι πολύ λιγότερο από εκείνα στα ηλεκτρικά χάλκινα καλώδια, που οδηγούν στις μεγάλης απόστασης συνδέσεις ινών με τις αποστάσεις επαναληπτών 500-800 χλμ.

Ο Έρβιοενισχυτής ινών, που μείωσε το κόστος των μεγάλης απόστασης συστημάτων ινών με τη μείωση ή ακόμα και σε πολλές περιπτώσεις την εξάλειψη της ανάγκης για τους οπτικοηλεκτρικούς επαναλήπτες, συναναπτύχτηκε από τις ομάδες του πανεπιστημίου Southampton, και Emmanuel Desurvire σε εργαστήρια κουδουνιών το 1986. Η πιο γερή οπτική ίνα, χρησιμοποιούμενη συνήθως σήμερα χρησιμοποιεί το γυαλί και για τον πυρήνα και για τη θήκη και είναι επομένως λιγότερο επιρρεπείς σε διαδικασίες γήρανσης. Εφευρέθηκε από το Gerhard Bernsee το 1973 στη Γερμανία.

Το 1991, ο αναδυόμενος τομέας φωτονιακά κρύσταλλα οδηγημένος στην ανάπτυξη φωτονιακής ίνας κρυστάλλου, που καθοδηγεί το φως με τη βοήθεια της διάθλασης από μια περιοδική δομή, συμπληρώνουν συνολικά παρά την εσωτερική αντανάκλαση. Οι πρώτες φωτονιακές ίνες κρυστάλλου έγιναν διαθέσιμες στο εμπόριο το 1996. Οι φωτονιακές ίνες κρυστάλλου μπορούν να σχεδιαστούν για να φέρουν την υψηλότερη δύναμη από τη συμβατική ίνα, και οι εξαρτώμενες ιδιότητες μήκους κύματός τους μπορούν να χειριστούν για να βελτιώσουν την απόδοσή τους σε ορισμένες εφαρμογές.

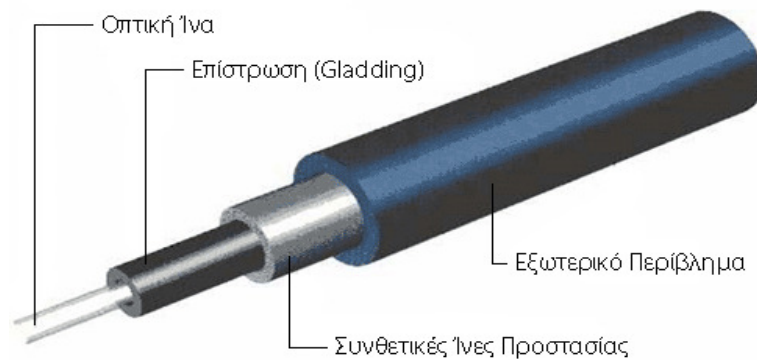
## 1.2 Δομή και λειτουργία των οπτικών ινών

### 1.2.1 Δομή καλωδίου οπτικής ίνας

Κάθε οπτική ίνα αποτελείται από εξής μέρη:

- Την κεντρική γυάλινη κυλινδρική ίνα, που ονομάζεται **πυρήνας** και είναι το τμήμα στο οποίο διαδίδεται το φωτεινό σήμα.
- Την επικάλυψη (απλή ή πολλαπλή), που είναι ένας ομόκεντρος, με τον πυρήνα, κύλινδρος. Έχει μικρότερο δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα λόγω της διαφορετικότητας του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο. Όστε να κρατάει τα κύματα φωτός, με ολικές ανακλάσεις, μέσα στον πυρήνα και να συνεχίζουν το ταξίδι τους μέσω αυτού. **Η επικάλυψη αυτή ονομάζεται μανδύας.**
- Για τις ίνες μόνο εξωτερικού χώρου, για να παρέχεται προστασία από το νερό εγχύνουν ένα ζελέ (**silicone coating**).
- Το **περίβλημα**, που είναι ένα αδιαφανές πλαστικό.
- **Εξωτερική επένδυση:** Ανθεκτικό υλικό, που αποτελείται από καουτσούκ για μικρά καλώδια οικιακής χρήσης, ή από ατσάλι για μεγαλύτερα, που χρησιμοποιούνται σε εξωτερικό περιβάλλον. Προστατεύει το καλώδιο από ζημιές που θα προέκυπταν από τους διάφορους εξωτερικούς παράγοντες.
- Στις οπτικές ίνες που απαρτίζουν ένα οπτικό καλώδιο, ουσιαστικά υπάρχει και άλλο ένα, εξωτερικό, στρώμα που είναι το έγχρωμο μελάνι που εφαρμόζεται για την αναγνώριση των ινών.

Η δομή ενός καλωδίου οπτικών ινών είναι τέτοια, ώστε να αποτρέπει τις εξωτερικές φθορές, αλλά και την απώλεια σήματος, που θα προέκυπτε κατά τη διαρροή της φωτεινής ακτινοβολίας στο εξωτερικό του. Στην περίπτωση αυτή, έχουμε σε κάθε οπτική ίνα και εξωτερικά από την επίστρωση συνθετικές ίνες και εξωτερικό μονωτικό περίβλημα. Μέσα στο καλώδιο υπάρχουν πολλές τέτοιες ίνες, όπου η κάθε ίνα αποτελεί και ένα ξεχωριστό καλώδιο. Μέσα στο καλώδιο περιέχονται εκτός από καλώδια οπτικών ινών και καλώδια, τα οποία χρησιμεύουν για ενίσχυση και στρογγυλοποίηση του όλου σχήματος.



Σχήμα 1.2. Δομή οπτικής ίνας

### 1.2.2 Λειτουργία οπτικών ινών

Στο ένα άκρο της οπτικής ίνας, υπάρχει ο **πομπός** και στο άλλο, ο **δέκτης**. Ο πομπός, μετατρέπει τα ψηφιακά δεδομένα ενός υπολογιστή, σε ψηφιακά κύματα φωτός. Ο δέκτης, αποκωδικοποιεί τα ψηφιακά κύματα φωτός, σε ψηφιακά δεδομένα. Τα ψηφιακά κύματα φωτός, ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός μέσα από την οπτική ίνα, με διαδοχικές ανακλάσεις στα τοιχώματα της οπτικής ίνας. Οι ανακλάσεις αυτές, γίνονται στα τοιχώματα, σε γωνία μικρότερη των 42 μοιρών, με αποτέλεσμα να λειτουργούν τα τοιχώματα σαν καθρέφτες. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ολική ανάκλαση** και είναι η αιτία που τα κύματα φωτός βγαίνουν-χάνονται έξω από την ίνα. Σε αυτό συνεισφέρει και η δομή της. Το περίβλημα από τις **οπτικές ίνες**, είναι έτσι κατασκευασμένο, ώστε να κρατάει τα κύματα φωτός, με ολικές ανακλάσεις, μέσα στον πυρήνα και να συνεχίζουν το ταξίδι τους μέσω αυτού (του πυρήνα). Το περίβλημα το πετυχαίνει αυτό, λόγω της διαφορετικότητας του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο, σε σχέση με το υλικό του πυρήνα.

Πάντως οι απώλειες ισχύος της φωτεινής ενέργειας είναι σε κάθε περίπτωση αναπόφευκτες, ακόμη και κατά την ολική εσωτερική αντανάκλαση του φωτός και παρατηρούνται κυρίως κατά τη μετάδοση των δεδομένων σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων. Αυτό οφείλεται σε μικρές ατέλειες του μέσου μεταφοράς, που δεν είναι άλλο από το γυαλί. Η καθαρότητα του τελευταίου δεν φθάνει ποτέ το 100%, με αποτέλεσμα η ισχύς του φωτός να εξασθενεί. Ανάλογα με το πάχος του καλωδίου, οι

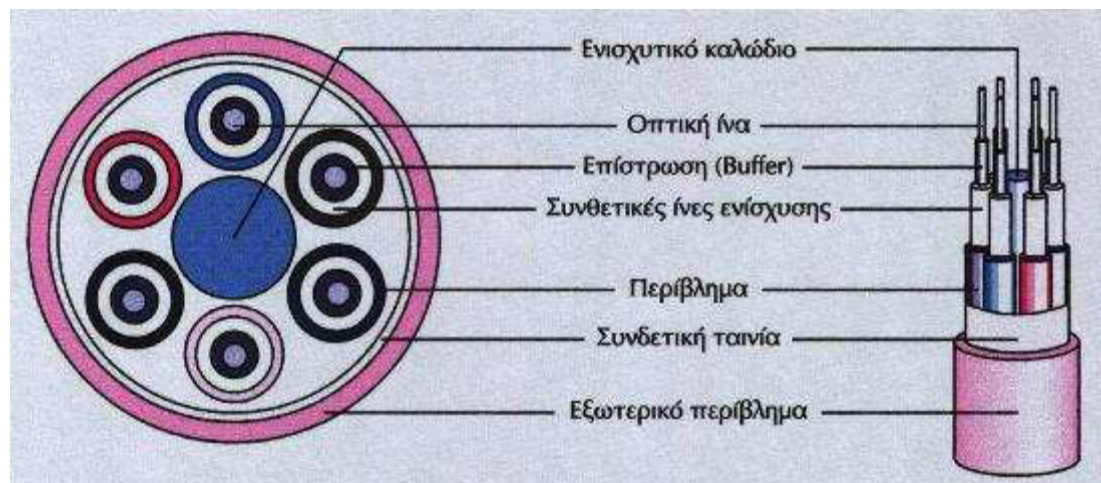
απώλειες μπορούν να φθάσουν ακόμη και το 20% ανά χιλιόμετρο, ωστόσο με κάποια σύγχρονα καλώδια, έχουν μειωθεί στο 5-10%.

### **1.3 Είδη οπτικών ινών και παράμετροι εξασθένησης**

#### **1.3.1 Τύποι οπτικών ινών**

Τα καλώδια οπτικών ινών περιέχουν από 1 έως 36 οπτικές ίνες. Τα πιο συνηθισμένα είναι τα καλώδια με ζυγό αριθμό οπτικών ινών για την επικοινωνία των full-duplex κυκλωμάτων. Θα ξεχωρίσουμε δυο τύπους οπτικών ινών ως προς την κατασκευή τους.

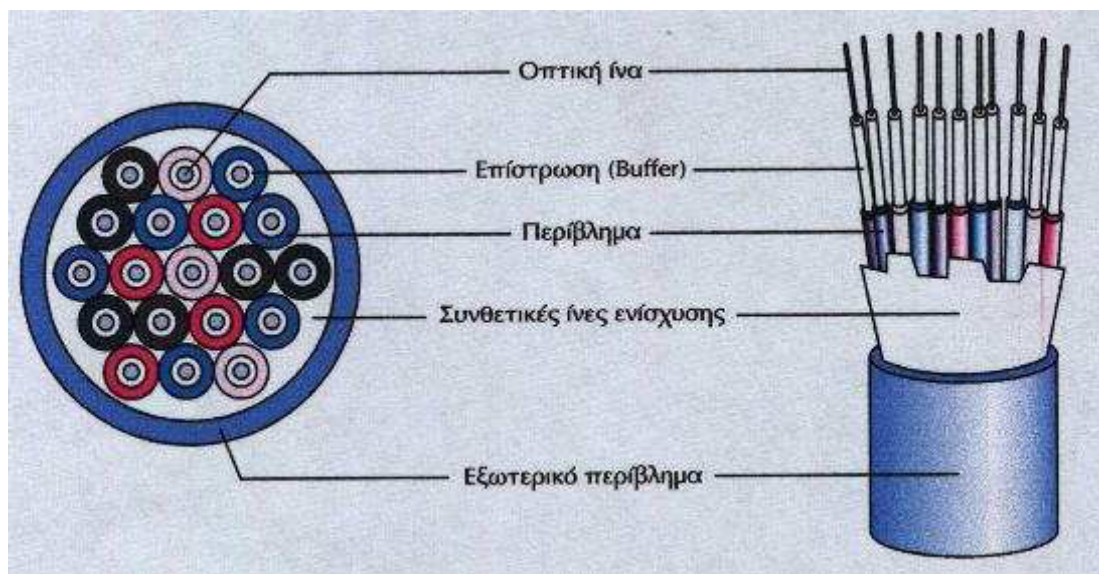
Στην πρώτη περίπτωση, έχουμε σε κάθε οπτική ίνα και εξωτερικά από την επίστρωση συνθετικές ίνες και εξωτερικό μονωτικό περίβλημα. Μέσα στο καλώδιο υπάρχουν πολλές τέτοιες ίνες, όπου η κάθε ίνα αποτελεί και ένα ξεχωριστό καλώδιο. Μέσα στο καλώδιο περιέχονται εκτός από καλώδια οπτικών ινών και καλώδια, τα οποία χρησιμεύουν για ενίσχυση και στρογγυλοποίηση του όλου σχήματος. Όλα αυτά τα καλώδια, τέλος, περικλείονται από εξωτερικό περίβλημα. Αυτή η κατασκευή είναι γνωστή σαν Tight Buffer.



Σχήμα 1.3.1 Δομή καλωδίου Tight Buffer

Παρόμοιας κατασκευής είναι τα εύκαμπτα καλώδια, που χρησιμοποιούμε για τη σύνδεση με τον ενεργό εξοπλισμό (Optical patch cords). Αυτά αποτελούνται από δυο καλώδια ενωμένα στο εξωτερικό τους, το κάθε ένα από τα οποία περιέχει οπτική ίνα από πλαστικό. Στην δεύτερη περίπτωση, έχουμε τις οπτικές ίνες με την επίστρωσή τους να είναι τοποθετημένες ελεύθερα μέσα στο καλώδιο και περικλείονται από

εξωτερικό περίβλημα, αφού πρώτα τοποθετηθεί μέσα στο καλώδιο επίστρωση από συνθετικές ίνες για την ανθεκτικότητά του. Αυτή η κατασκευή είναι γνωστή σαν Loose Buffer.

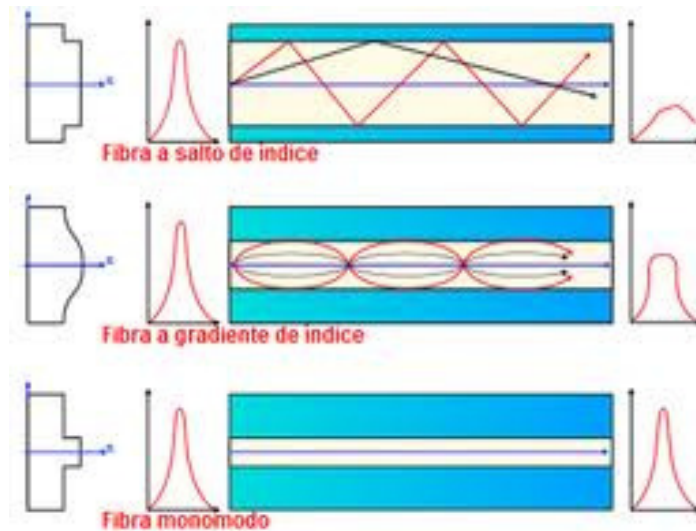


Σχήμα 1.3.2 Δομή καλωδίου Loose Buffer

### 1.3.2 Είδη οπτικών ινών

Οι επιδόσεις μιας οπτικής ίνας συνδέονται με τον τρόπο μετάδοσης του σήματος στην ίνα, με το αν η ίνα είναι πολύτροπη ή μονότροπη και με το μήκος κύματος του φωτός, που εκπέμπεται από την πηγή.

Στις οπτικές ίνες **απλού τύπου ή μονότροπες** (single-mode), τα κύματα φωτός ταξιδεύουν σε ευθεία γραμμή και μπορούμε να στείλουμε δεδομένα σε μεγάλες αποστάσεις. Η διάμετρος της κεντρικής ίνας είναι πολύ μικρή και πλησιάζει περίπου το επίπεδο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου σήματος. Στην περίπτωση αυτή, έχουμε έναν μόνο δυνατό τρόπο μετάδοσης του οπτικού σήματος, τον αξονικό. Η κεντρική ίνα στις μονότροπες οπτικές ίνες έχει διάμετρο από 5μm έως 10μm με συνηθέστερη τιμή τα 8,3 μm. Στις μονότροπες οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται μήκη κύματος μεταξύ των 1310 nm και των 1550 nm. Οι μονότροπες οπτικές ίνες μπορούν να υπερβούν τα 10 Km. Οι μονότροπες οδηγούνται συνήθως από πηγή LASER.



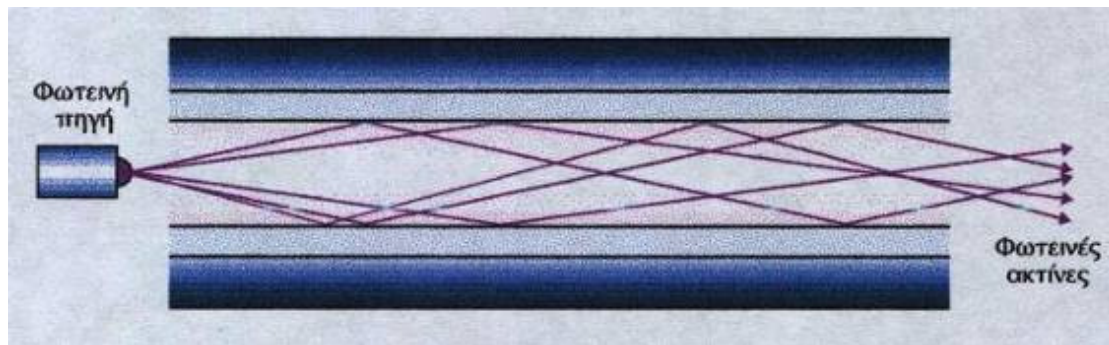
Σχήμα 1.3.3 Διάδοση φωτός σε πολύτροπη και μονότροπη οπτική ίνα

Οι οπτικές ίνες **πολλαπλού τύπου** (multi-mode), είναι πιο "χοντρές" από τις απλού τύπου, αλλά μπορούν να στείλουν παράλληλα, σε ξεχωριστό μονοπάτι, πολλά κύματα φωτός. Αυτό συμβαίνει παράλληλα με πολλά κύματα φωτός κι έτσι μπορούμε να στείλουμε παράλληλα, τεράστιο όγκο δεδομένων. Το κάθε κύμα φωτός, εισέρχεται στην οπτική ίνα υπό ελαφρώς διαφορετική γωνία σε σχέση με τα άλλα, και ακολουθεί το δικό του μονοπάτι μέσα της, μέσω των διαδοχικών ανακλάσεων στο περίβλημα. Στις πολύτροπες οπτικές ίνες έχουμε μήκη κύματος από 850 nm έως 1300 nm. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αποστάσεις, που υπερβαίνουν τα 3Km. Στις πολύτροπες οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν χαμηλού κόστους πηγές LED.

Οι πολύτροπες οπτικές ίνες διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

- τις διακριτού βήματος (step index)
- τις βαθμιαίου βήματος (graded index).

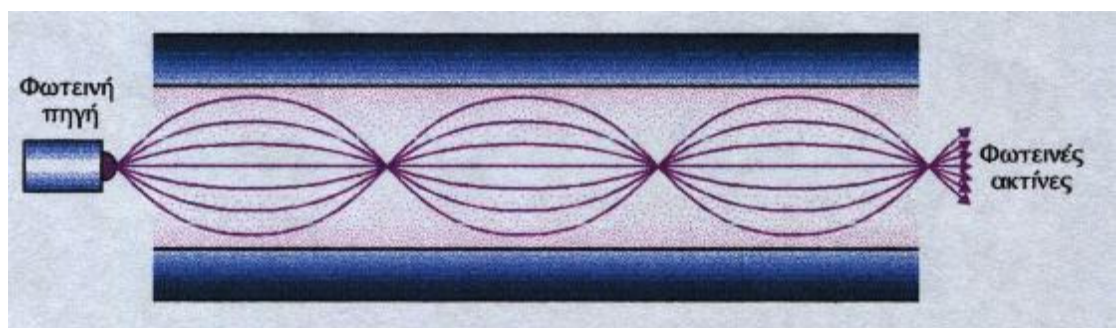
Στις ίνες διακριτού βήματος (step index) συμβαίνει απότομη μεταβολή του δείκτη διάθλασης μεταξύ της κεντρικής ίνας και του υλικού επίστρωσης. Στην περίπτωση αυτή, η πορεία των ακτίνων εμφανίζεται στο σχήμα.



Σχήμα 1.3.4 Ίνα διακριτού βήματος (step index)

Για να κατανοήσουμε καλύτερα τον τρόπο λειτουργίας ας παρακολουθήσουμε τις ακτίνες φωτός στο σχήμα. Η εικόνα δείχνει μια πολύτροπη οπτική ίνα διακριτού δείκτη διάθλασης. Ένας τρόπος είναι ο σχηματισμός μιας απότομης γωνίας και η αναπήδηση μπρός και πίσω με εσωτερική ανάκλαση. Στον άλλο τρόπο υπερβαίνει η κρίσιμη γωνία και διαθλάται στο περίβλημα και χάνεται καθώς φεύγει στον αέρα. Αυτό δημιουργεί μια ανομοιότητα μεταξύ των χρόνων άφιξης των διαφόρων ακτινών του φωτός το οποίο είναι γνωστό ως διασπορά. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η υψηλή διασπορά είναι αναπόφευκτο χαρακτηριστικό των πολύτροπων ινών διακριτού δείκτη διάθλασης.

Οι ίνες βαθμιαίου βήματος (graded index) χαρακτηρίζονται από βαθμιαία μεταβολή του δείκτη διάθλασης του υλικού της κεντρικής ίνας. Συμβαίνει βαθμιαία μείωση όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο προς την εξωτερική επιφάνεια του γυαλιού. Η πορεία των ακτινών σε μια τέτοια ίνα είναι αυτή, που φαίνεται στο σχήμα.



Σχήμα 1.3.5 Ίνα βαθμιαίου βήματος (graded index)



### **1.3.3 Παράμετροι εξασθένησης**

Θα πρέπει να τονίσουμε, ότι για δεδομένη εγκατάσταση, θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο ένας τρόπος μετάδοσης και μόνο ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος από τις πηγές σε όλη την έκταση της εγκατάστασης. Οι οπτικές ίνες μπορούν να μεταφέρουν σήματα με πολύ μεγάλο εύρος ζώνης σε μεγάλες αποστάσεις με πολύ μικρή εξασθένηση του σήματος.

Υπάρχουν, όμως, και άλλοι παράγοντες, οι οποίοι περιορίζουν τις παραπάνω αποστάσεις μετάδοσης. Τέτοιοι παράγοντες είναι το εύρος ζώνης της πηγής και του δέκτη των σημάτων σε μια οπτική ίνα, και η χρωματική διασπορά του μεταδιδόμενου σήματος μέσα στην οπτική ίνα, η οποία διασπορά αυξάνεται, με την απόσταση εξασθενεί το σήμα.

Επίσης, Τυπική τιμή εξασθένησης σήματος για μια 62,5/125 πολύτροπη οπτική ίνα είναι 3,5 dB/Km για σήμα με μήκος κύματος 850 nm και 1.0 dB/Km για μήκος κύματος 1300nm. Τυπικό μέγεθος εξασθένησης σήματος για μονότροπη οπτική ίνα είναι 0,5 dB/Km στα 1310 nm και 0,4 dB/Km στα 1550nm..

Επιβαρυντικός παράγων είναι η χρήση συνδέσμων και διακλαδωτών στην πορεία των οπτικών ινών . Θα πρέπει να σημειώσουμε, ότι στις πολύτροπες οπτικές ίνες είναι πιο ανεκτό να χρησιμοποιήσουμε συνδετήρες και διακλαδωτές από ότι στις μονότροπες. Ακόμη μπορούμε να έχουμε εξασθένηση του σήματος λόγω κακής κατασκευής της οπτικής ίνας λόγω μικροδιακυμάνσεων ή μεγάλης καμπής της.

Τέλος χρησιμοποιούμε δέσμη οπτικών ινών. Αν οι ίνες αποτελούνταν μόνο από ένα υλικό, τότε το φως που “ταξιδεύει” στο εσωτερικό τους θα «ταξίδευε» μέσα στην ίνα το πολύ ένα μέτρο. Για το λόγο αυτό το γυαλί που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του πυρήνα είναι μεγάλης καθαρότητας. Σε αντίθετη περίπτωση, που έχουμε ξένες προσμείξεις στο γυαλί τότε έχουμε και μεγαλύτερες απώλειες λόγω απορρόφησης.

#### **1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα οπτικών ινών**

Οι οπτικές ίνες έχουν περισσότερα πλεονεκτήματα από ότι μειονεκτήματα.

##### **Πλεονεκτήματα οπτικών ινών:**

1. Χαμηλό κόστος. Η δημιουργία ενός καλωδίου οπτικών ινών είναι πιο συμφέρουσα οικονομικά σε σχέση με ένα χάλκινο καλώδιο ίδιας απόστασης και δυνατοτήτων. Αυτό ωφελεί τόσο τους παρόχους υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών, οι οποίοι με μικρότερο κόστος παρέχουν ποιοτικές υπηρεσίες. Τελικά αυτό μειώνει και τις ανάγκες απόσβεσης εξόδων των παρόχων, με συνέπεια να ωφελεί και τον καταναλωτή, που επιβαρύνεται με μικρότερες χρεώσεις για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιεί .
2. Μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν παρατηρούνται σημαντικές απώλειες σήματος, καθώς και στον τρόπο μετάδοση δεδομένων, δηλαδή με τη χρήση φωτεινής δέσμης, που απαιτεί πολύ μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, σε σχέση με το ηλεκτρικό σήμα.
3. Μπορούν να μεταφέρουν παράλληλα τεράστιο όγκο δεδομένων σε σύγκριση με τα χάλκινα καλώδια.
4. Είναι πολύ πιο λεπτές και ελαφριές από τα χάλκινα καλώδια. Ένα μικρό και ελαφρύ καλώδιο οπτικών ινών, μεταφέρει πολύ περισσότερα δεδομένα από ένα μεγαλύτερο και πιο βαρύ χάλκινο καλώδιο. Έτσι, απαιτείται πολύ λιγότερος χώρος για την υλοποίηση ενός δικτύου οπτικών ινών
5. Η μεταφορά των δεδομένων είναι πολύ γρήγορη.
6. Τα δεδομένα που ταξιδεύουν μέσα σε αυτές είναι λιγότερο ευάλωτα σε παρεμβολές.
7. Τα δεδομένα μεταδίδονται ψηφιακά άρα έχουμε γρηγορότερη κωδικοποίηση-αποκωδικοποίηση των δεδομένων. Αμιγώς ψηφιακό σήμα, που εξασφαλίζει υψηλότερη ποιότητα επικοινωνίας και αποφυγή προβλημάτων που θα προέκυπταν σε μια αναλογική μετάδοση.
8. Σχεδόν καθόλου απώλειες δεδομένων.
9. Προστασία από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Οι ίνες είναι κατασκευασμένες από διηλεκτρικά υλικά και δεν επηρεάζονται εύκολα.

Ωστόσο τα ηλεκτρονικά στο τέλος κάθε ίνας επηρεάζονται από την ΗΜ και χρειάζονται προστασία.

#### **Μειονεκτήματα οπτικών ινών:**

1. Είναι πιο ακριβές από τα χάλκινα καλώδια. Επίσης το κόστος των ηλεκτρονικών και οπτικοηλεκτρονικών διατάξεων μπορεί να είναι μεγάλο.
2. Είναι πιο δύσκολη η εγκατάστασή τους.
3. Είναι πολύ εύθραυστες.
4. Δεν είναι αρκετά ευλύγιστες.
5. Θα πρέπει η εγκατάστασή τους να γίνεται με ελαφριά κλίση γιατί διαφορετικά θα υπάρχει απώλεια δεδομένων.



Σχήμα 1.4. Μονότροπη και πολύτροπη οπτική ίνα

## **1.5 Χρήση οπτικών ινών στον σύγχρονο κόσμο**

Τα πλεονεκτήματα των οπτικών ινών τα κάνουν εφαρμόσιμα σε μια μεγάλη περιοχή πεδίων και χρήσεων.

- **ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ**

Οι κρίσιμες παράμετροι για την εκπομπή είναι :το μικρό βάρος, η ανοσία απο αστραπές , υψηλό εύρος ζώνης , η κάλυψη μεγάλων αποστάσεων και η καλύτερη ποιότητα σήματος. Οι πραγματικές εφαρμογές περιλαμβάνουν: εκπομπή εκτός στούντιο, εκπομπή εντός στούντιο, ηλεκτρονική συγκέντρωση ειδήσεων, σήματα σε βάθρα, κάμερα τηλεόρασης, συστήματα διανομής και κατανομής εικόνας σε περιορισμένο χώρο.

- **ΚΑΛΩΔΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ**

Τα ευρείας ζώνης δίκτυα βασίζονται τώρα σε οπτικές ίνες για μετάδοση σημάτων ραδιοφωνικής συχνότητας έναντι της κλασικής μετάδοσης όπως το ομοαξονικό καλώδιο, ο δορυφόρος και η μικροκομματική μετάδοση. Αυτή η μετάβαση είναι το αποτέλεσμα μίας αυξανόμενης απαίτησης των καταναλωτών για καινούργιες εξυπηρετήσεις και περιεκτικότητα κέρδους. Ενώ όλα τα ψηφιακά συστήματα μπορεί τελικά να επικρατούν είναι ακόμη ακριβά στην εγκατάσταση και λειτουργία.

- **ΕΙΚΟΝΑ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

Οι οπτικές ίνες μεταφέρουν εικόνες υψηλής ανάλυσης τυπικά κωδικοποιημένες σαν σήματα RGB. Το εύρος ζώνης μπορεί να υπερβεί τα 100 Mz. Το υψηλότερο εύρος ζώνης και η ικανότητα απόστασης κάνουν την εφαρμογή αυτή χρήσιμη στην ιατρική εικονοποίηση και στους σταθμούς εργασίας ηλεκτρονικών υπολογιστών.

- **ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ**

Η βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών είναι ο μεγαλύτερος χρήστης της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Τα συστήματα οπτικών ινών σε μια ευρεία έκταση επικοινωνιακών συσκευών. Οι οπτικές ίνες προσφέρουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης και μικρότερη εξασθένηση. Οι ίνες πρώτα χρησιμοποιήθηκαν σε υπεραστικές

γραμμές που συνδέουν κεντρικά γραφεία με μακρινής απόστασης κέντρα χρέωσης. Μια άλλη εφαρμογή που κερδίζει ευρεία χρήση είναι ο βρόγχος συνδρομητών, ένα κύκλωμα που συνδέει ένα κεντρικό γραφείο με τηλέφωνα συνδρομητών.

- **ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ**

Οι υψηλής ταχύτητας ζεύξεις οπτικών ινών επιτρέπουν γρήγορη εκπομπή δεδομένων από το κέντρο στις απομακρυσμένες περιοχές. Οι ικανότητες εύρους ζώνης των ινών επιτρέπουν τη λειτουργία ενός τοπικού δικτύου σύνδεσης υπολογιστών που λειτουργεί σε υψηλούς ρυθμούς δεδομένων εφαρμογές στους υπολογιστές υπάγονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες : περιφερειακή αλληλοσύνδεση και οργάνωση τοπικού δικτύου σύνδεσης υπολογιστών. Και στου δύο τομείς οι κρίσιμες παράμετροι των ινών περιλαμβάνουν αναισθησία σε ΗΜ παρεμβολές, υψηλό εύρος ζώνης και κάλυψη μεγάλης απόστασης. Το χαμηλό κόστος εγκατάστασης και η ευχέρεια την αναβάθμισης είναι επίσης σπουδαίοι παράγοντες.

- **ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΝΧΟΥ**

Οι εφαρμογές συστημάτων έλεγχου βρίσκουν χρήση σε διάφορες βιομηχανίες. Για παράδειγμα, σε μονάδες χημικής βιομηχανίας, η μεταβίβαση σε οπτικές ίνες ανιχνεύει τις φυσικές και χημικές παραμέτρους που αλλάζουν, κατά τη διάρκεια μιας χημικής επεξεργασίας και ενεργοποιεί τους μηχανισμούς έλεγχου. Η μεταβίβαση με οπτικές ίνες έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε φωτεινούς πίνακες αυτοκινήτων, αλλά η χρήση ανιχνευτών σε συστήματα έλεγχου είναι σε εξέλιξη. Αυτοί οι ανιχνευτές θα μπορούσαν να ελέγχουν τα φώτα , την εκπομπή καυσαερίων, τη λειτουργία του σπινθηριστή πυροδότησης ή την ανάφλεξη μίγματος αυτοκινήτου. Τα συστήματα έλεγχου radar και τα συστήματα έλεγχου κυκλοφορίας που αλληλοσυνδέουν τα σήματα κυκλοφορίας και τον έλεγχο κυκλοφοριακής ροής, ήδη χρησιμοποιούνται και οι περισσότερες περιοχές εγκαθιστούν τέτοια συστήματα παρακολούθησης στις εθνικές οδούς.

- **ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ**

Οι οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επιστημονικά όργανα με πολλούς τρόπους. Οι ικανότητες ανίχνευσης σε σημαντικές, ενώ το μέγεθος είναι

επίσης ένας συντελεστής και τα συστήματα οπτικών ινών μπορούν να προσαρμοστούν σχεδόν σε οποιοδήποτε σύστημα σχεδιασμού. Εξελίξεις όπως το ενδοσκόπιο, μια ποικιλία από ινοσκόπια και τα όργανα μετρήσεις παρεμβολής.

- **ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

Οι οπτικές ίνες παίζουν σημαντικό ρόλο στις στρατιωτικές εφαρμογές με διάφορους τρόπους. Μια απλή μεταβίβαση με οπτικές ίνες μπορεί να αντικαταστήσει χιλιόμετρα και κιάλα σύρματος χαλκού που χρησιμοποιείται σε πολλούς τύπους συστημάτων ελέγχου. Στα πλοία οι ζεύξεις οπτικών ινών μεταφέρουν οπτικά σήματα από τις κάμερες εποπτείας σε ένα κεντρικό σημείο ελέγχου, απαλείφοντας τις παρεμβολές που προκαλούνται από ισχυρά radar τοποθετημένα κοντά σε αυτές τις κάμερες. Υπάρχουν συστήματα radar οπτικών ινών και εκτοξευτές τορπιλών, οι οποίες επιτρέπουν στο βλήμα να παρακολουθείται και να διορθώνεται η διαδρομή του για ένα άμεσο χτύπημα. Τα συστήματα τακτικού έλεγχου από τη γη, στα στρατιωτικά τοπικά δίκτυα αφήνουν τις θέσεις των πεδίων παρακολούθησης, συλλέγουν πληροφορίες του περιβάλλοντος και μένουν σε επαφή σε άλλες θέσεις πεδίων.

- **ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΤΗΡΗΣΗ**

Το γεγονός ότι αυτά τα συστήματα δεν εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια κάνει τις τεχνικές μη εισβαλουσών υποκλοπών άχρηστες. Η μεταβίβαση με οπτικές ίνες μεταφέρει την επιτήρηση εικόνας και φωνής και συγχωνεύει τις ζεύξεις δεδομένων όπως το RS-232, RS 485 και τον έλεγχο προσπέλασης. Η περιμετρική ασφάλεια και ο έλεγχος εισόδου χρησιμοποιούν οπτικές ίνες με άριστα αποτελέσματα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΔΙΚΤΥΟ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ**

### **2.1 Περιγραφή δικτύου οπικών**

Ο τρόπος με τον οποίο είναι δομημένο ένα δίκτυο οπτικών ινών είναι η τεχνολογία της πολυπλεξίας, της οποίας το κύριο χαρακτηριστικό είναι το απαιτητικό εύρος ζώνης. Ο λόγος για τον οποίο εφαρμόζεται η τεχνολογία αυτή είναι ότι απευθύνεται σε πολύ ενδιαφέροντες και απαιτητικές για το εύρος ζώνης εφαρμογές. Το μήκος κύματός της είναι WDM (Wavelength Division Multiplexing ). Η βασική ιδέα της τεχνολογίας είναι ότι σε κάθε οπτική ίνα, το σήμα διαδίδεται μέσω μιας συγκεκριμένης συχνότητας. Παρέχεται όμως η δυνατότητα σε μια οπτική ίνα να περάσουν περισσότερα από ένα σήματα με διαφορετική όμως συχνότητα. Χάρη στην τεχνολογία αυτή επιτυγχάνεται η παράλληλη μετάδοση σήματος.

Τα WDM μπορούν να μεταδώσουν μέχρι 24 κανάλια πράγμα το οποίο στο μέλλον θα αντικατασταθεί με περισσότερα από 128 κανάλια εντός της οπτικής ίνας. Σήμερα έχει εξελιχθεί η συγκεκριμένη τεχνολογία της οποίας το όνομα είναι DWDM ( Dense Wave Division Multiplexing ) με την ελληνική ονομασία πυκνή πολυπλεξία στο πεδίο του μήκους κύματος . η διαφορά της από την κοινή WDM είναι εμπεριέχει περισσότερα κανάλια και μεγαλύτερη χωρητικότητα σε εύρος ζώνης, διατηρώντας όμως την ίδια μεθοδολογία. Τέλος οι δύο αυτές τεχνολογίες έχουν ταυτιστεί ως WDM, με την DWDM να είναι η βασική τεχνολογία για την υλοποίηση σχεδίων όπως το Gigabit Internet.

Μια άλλη κατηγορία είναι η CWDM (Coarse wavelength Division Multiplexing) η οποία είναι μια μορφή πολυπλεξίας διαίρεσης μήκους κύματος η οποία εμφανίζει μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των φερόντων μηκών κύματος ( γύρω στα 20 nm ) σε σχέση με την DWDM. Επίσης χρησιμοποιεί την ευρύτερη περιοχή του οπτικού φάσματος και μπορεί να μεταδώσει μέχρι 18 κανάλια. Η CWDM μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε μονότροπες όσο και σε πολύτροπες οπτικές ίνες, με χαμηλότερο κόστος συγκρίνοντάς την με τις προηγούμενες. Τέλος η συγκεκριμένη τεχνολογία λόγω της δυνατότητας να παρέχει πολλαπλά μήκη κύματος, με λογικό κόστος, είναι ιδανική για χρήση της σε εταιρίες παροχής υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών και σε δίκτυα όπως τα μητροπολιτικά.

Οι οπτικές ίνες στις μέρες μας βρίσκουν εφαρμογή μόνο στις εγκαταστάσεις ευρυζωνικών δικτύων κορμού και διανομής, και αυτό διότι είναι η μόνη τεχνολογία που υποστηρίζει συγκέντρωση των συνδέσμων πρόσβασης, ενώ παράλληλα μεταφέρει μεγάλες ποσότητες δεδομένων με υψηλό ρυθμό.

Ένα γενικευμένο δίκτυο ευρείας περιοχής περιλαμβάνεται από WAN ( Wide Area Network - Δίκτυα Ευρείας Περιοχής ), RAN ( Regional Area Networks – Περιφερειακά Δίκτυα ) και τέλος τα MAN ( Metropolitan Area Networks – Μητροπολιτικά Δίκτυα). Και τα τρία αυτά είδη δικτύων παρουσιάζουν κάποια χαρακτηριστικά ως προς το εύρος των έργων και των σχέσεων μεταξύ υποδομών διαφορετικού εύρους.

Για τα WAN , ως δίκτυο ευρείας περιοχής εννοούμε τα ήδη υπάρχοντα ή μελλοντικά δίκτυα εθνικού επιπέδου τα οποία συνήθως έχουν τη μορφή αραιού πλέγματος με κόμβους σε μεγάλα αστικά κέντρα.

Για τα RAN δίκτυα ο όρος περιφερειακά δίκτυα δεν είναι σαφής, είναι όμως χρήσιμα τα τελευταία χρόνια εξαιτίας του ενδιαφέροντος από τις δικτυακές υποδομές στο περιφερειακό επίπεδο και της οικονομικής ανάπτυξης από τα συγκεκριμένα δίκτυα. Αναφερόμενοι λοιπόν σε αυτά τα δίκτυα εννοούμε υπάρχοντα ή μελλοντικά δίκτυα σε επίπεδο μιας διοικητικής περιφέρειας. Έχουν την μορφή πυκνότερου πλέγματος ή διασυνδεδεμένων δακτυλίων με κόμβους τοποθετημένους σε μεγάλους δήμους της περιφέρειας. Γενικώς τα συγκεκριμένα δίκτυα λόγω των μεγάλων αποστάσεων που καλύπτουν οι οπτικές ίνες, μπορούμε να πούμε ότι είναι μια υποκατηγορία των WAN.

Για τα MAN, μπορούμε να πούμε ότι παρουσιάζουν μια ελαστικότητα ως προς το εύρος της περιοχής που καταλαμβάνουν. Για την χώρα μας ένα Μητροπολιτικό δίκτυο μπορεί να καλύψει ένα νομό ή ακόμα και μια περιφέρεια. Αναφερόμενοι στα MAN λοιπόν εννοούμε υπάρχοντα η μελλοντικά δίκτυα που έχουν τη μορφή ενός ή παραπάνω δακτυλίων και συμπληρωματικών υποδομών πρόσβασης. Τα συγκεκριμένα δίκτυα δίνουν έμφαση στους κύριους κόμβους.

Κάθε Μητροπολιτικό δίκτυο απαρτίζεται από κάποια βασικά χαρακτηριστικά, τα οποία θα αναφέρουμε γενικά και θα αναλυθούν εκτενέστερα παρακάτω. Έτσι λοιπόν κάθε δίκτυο απαρτίζεται από δύο τύπους μικροσωληνώσεων, τον κύριο



κόμβο, τον κόμβο διανομής, το δίκτυο διανομής, τον κόμβο πρόσβασης και τέλος τους χάνδακες, φρεάτια, σωληνώσεις, συγκολλήσεις σωληνώσεων, χρήστες.



Σχήμα 2.1.1 Splicer, όργανο συγκόλλησης οπτικών ινών



Σχήμα 2.1.2 Εσωτερικό Splicer

### 2.1.1 Τύποι χάνδακα

#### **Μέθοδος mini – trencher**

Η μέθοδος mini – trencher (μικροτάφρου) αποτελείται από τομές ανοικτού τύπου στην άκρη του δρόμου ή σε πεζοδρόμια, διατομής βάρους μέχρι 400 mm και πλάτους  $\leq 150$  mm. Η τομή κατασκευάζεται με την χρήση μηχανημάτων τύπου trencher. Το μηχάνημα αυτό έχει ειδικό τροχό διάνοιξης (με τα κατάλληλα κοπτικά εξαρτήματα) και κατασκευάζει χάνδακες τυποποιημένων διαστάσεων, σε μια ευθεία γραμμή στον ελάχιστο δυνατό χρόνο.

Μετά τη διάνοιξη και τον καθαρισμό του χάνδακα, θα πρέπει να τοποθετηθούν οι κατάλληλες σωληνώσεις με τη σειρά που εμφανίζονται στο σχεδιασμό, εξασφαλίζοντας συγκεκριμένη δομή καθ' όλο το μήκος. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στην αποφυγή μετακινήσεων και παραμορφώσεων των σωληνώσεων ώστε να διατηρείται πάντοτε η καθ' ύψος και πλάτος. Έτσι, είναι δυνατή γι' αυτό το σκοπό η χρήση, ανά μικρές αποστάσεις, πλαστικών πλαισίων σταθεροποίησης των σωλήνων στην προβλεπόμενη θέση. Η τοποθέτηση των σωληνώσεων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

1. Ταυτόχρονος ενταφιασμός των σωληνώσεων κατά τη φάση της διάνοιξης του χάνδακα (απαιτείται ειδικός μηχανισμός).
2. Μη – ταυτόχρονος ενταφιασμός των σωληνώσεων. Στην περίπτωση αυτή γίνεται η διάνοιξη του χάνδακα για κάποια μέτρα και κατόπιν τοποθετούνται οι σωληνώσεις.

Η κατασκευή των υποδομών θα γίνεται σε μικρά επί μέρους τμήματα, μήκους το πολύ 500 m. Μετά την τοποθέτηση των σωλήνων γίνεται η πλήρωση του χαντακιού. Η τελευταία στρώση θα περιλαμβάνει την αποκατάσταση του ασφαλτικού της επιφανείας στην αρχική της μορφή

#### **Μέθοδος micro – trencher**

Η μέθοδος micro – trencher (μέθοδος κάθετης ένθετης οπτικής καλωδίωσης) αλλάζει τον τρόπο που τοποθετούνται τα καλώδια οπτικών ινών. Συνδυάζοντας την

ευκολία στη χρήση και την ταχύτητα της τοποθέτησης, η μεθοδολογία του συγκεκριμένου συστήματος είναι μια ελκυστική λύση για την οπτική καλωδίωση μέχρι το τελευταίο χιλιόμετρο. Έχει πολύ χαμηλό αντίκτυπο στους πεζούς, την κυκλοφορία οχημάτων και τη δραστηριότητα των εμπορικών ζωνών

Η μέθοδος δε χρησιμοποιεί αυλάκωμα μέσω των οδοστρωμάτων και των πεζοδρομίων και έτσι δεν επηρεάζει το οδόστρωμα. Απαιτεί μόνο μια λεπτή κοπή με «τροχό». Οι τομές στις σκληρές επιφάνειες, όπως η ασφαλτος ή το σκυρόδεμα, εφαρμόζονται με ένα απλό κόφτη πλακών και έχουν 1.5 cm πλάτος και 10 – 12 cm βάθος. Στις μαλακές επιφάνειες, οι τομές εφαρμόζονται με μια μικρή μηχανή. Μόλις τοποθετηθεί ο αγωγός, η τομή αποκαθίσταται αμέσως καλυπτόμενη με τα κατάλληλα υλικά αποκατάστασης. Οι εγκαταστάσεις του συγκεκριμένου συστήματος στα οδοστρώματα είναι διακριτικές, ενώ οι ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις στα πεζοδρόμια και σε λεωφόρους είναι ουσιαστικά αόρατες.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται ώστε τα καλώδια οπτικών ινών να προστατεύονται μέσα σε τραχύ κάθετο αγωγό, ο οποίος είναι ανθεκτικός σε συντριβές και στις καιρικές συνθήκες και τη θερμοκρασία.



Σχήμα 2.1.3 Μέθοδος micro – trencher

### **2.1.2 Φρεάτια**

Τα φρεάτια είναι εγκαταστάσεις οι οποίες γίνονται στον οδικό άξονα κατά διαστήματα τα οποία δεν υπερβαίνουν τα 250 m. η χρήση τους γίνεται στην περίπτωση που παρουσιάζεται διακλάδωση ή απότομη αλλαγή κατεύθυνσης ή ακόμα και για την σύνδεση του τελικού χρήστη. Επίσης είμαστε υποχρεωμένοι πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε ενέργεια, να προσδιορίσουμε τους λόγους λειτουργικότητας και ασφαλείας, την θέση αλλά και την ποσότητα των φρεατίων. Τέλος οι

προδιαγραφές ενός φρεατίου για λόγους λειτουργικότητας, όπως την φιλοξενία συγκόλλησης ινών, διακλάδωσης μικροσωληνώσεων, σύνδεση και σφράγιση σωλήνων κλπ., πρέπει να έχουν τις εξής διαστάσεις: Μήκος 120cm, πλάτος 60cm και βάθος 60cm, με περιμετρική κάλυψη με σκυρόδεμα τουλάχιστον 15cm. Τέλος τα καλύμματα για λόγους ασφαλείας θα πρέπει να αντέχουν βάρος άνω των 10 τόνων.



Σχήμα 2.1.4 Φρεάτιο οπτικών ινών

### **2.1.3 Σωληνώσεις**

Οι σωληνώσεις περιλαμβάνουν το σύνολο των σωλήνων, υποσωλήνων HDPE( High-Density Polyethylene ) και συστοιχιών μικροσωληνώσεων, τα οποία έπειτα από εγκατάσταση θα είναι έτοιμα να υποδεχτούν τα οπτικά καλώδια. Ένα μεγάλο μέρος του κόστους της υποδομής καλύπτεται από τις εκσκαφές και την τοποθέτηση των σωληνώσεων. Πολύ σημαντικός παράγοντας πριν την εγκατάστασή τους, είναι η μελλοντική πρόβλεψη για τις απαιτήσεις και την αναβάθμιση του δικτύου. Οι σωληνώσεις λοιπόν για το κύριο δίκτυο, το δίκτυο διανομής και πρόσβασης αξιολογούνται χωριστά αλλά σε κάποιες περιπτώσεις είναι καλό να εμπρικλείονται στην ίδια διόδευση (χάνδακα και φρεάτια). Ο αριθμός των σωλήνων εξαρτάται από τον αριθμό των οπτικών καλωδίων και κατά κανόνα κάθε υποσωλήνωση ή μικροσωλήνας περιλαμβάνει μόνο ένα οπτικό καλώδιο. Ο σχεδιασμός κύριου δικτύου, δικτύου διανομής, και δικτύου πρόσβασης, πρέπει να προβλέπει την άμεση τοποθέτηση κενών σωλήνων ή συστοιχιών μικροσωληνώσεων

και τη μελλοντική εισαγωγή υποσωλήνων και οπτικών καλωδίων για την ικανοποίηση της μελλοντικής ζήτησης.

Γενικά διακρίνουμε 2 προσεγγίσεις όσον αφορά τις σωληνώσεις:

- Χρήση συμβατικών σωληνώσεων για τις κύριες αρτηρίες ή και τις αρτηρίες διανομής εάν μεσολαβούν μεγάλες αποστάσεις και υπάρχει η ανάγκη για μεγάλο αριθμό ινών ανά καλώδιο και συγκολλήσεις σε φρεάτια συγκόλλησης.
- Χρήση συστοιχιών μικροσωληνώσεων οι οποίες και προτείνονται να χρησιμοποιηθούν τουλάχιστον για τις συνδέσεις των χρηστών, το δίκτυο πρόσβασης ή και τις αρτηρίες διανομής.

#### **2.1.4 Χρήση συγκολλήσεων και σωληνώσεων**

Οι συγκολλήσεις και οι σωληνώσεις είναι μια μέθοδος η οποία εφαρμόζεται στο κύριο δίκτυο στην περίπτωση μεγάλων αποστάσεων, ενώ η χρήση τους στο δίκτυο διανομής, στο δίκτυο πρόσβασης και τέλος για τις συνδέσεις προς τους τελικούς χρήστες θα πρέπει να εξετασθεί, καθώς δεν ενδείκνυται σε όλες τις περιπτώσεις ,και ισχύουν τα παρακάτω:

Κάθε καλώδιο του κύριου δικτύου μέσω μιας ειδικής υποσωλήνωσης φθάνει από κύριο κόμβο σε κύριο κόμβο χωρίς διακοπές, το οποίο έχει ως στόχο την μεγιστοποίηση των τμημάτων τα οποία μεσολαβούν μεταξύ των συγκολλήσεων. Στα τμήματα όπου γίνονται συγκολλήσεις τοποθετούμε μια “μούφα” η οποία προστατεύει την ίνα μας από την υγρασία. Με την ίδια λογική αναπτύσσεται και το δίκτυο διανομής εάν αυτό καθίσταται δυνατόν. Στο δίκτυο αυτό όμως πολύ σημαντική είναι η πρόβλεψη πλεονασματικής σύνδεσης από τον κόμβο διανομής προς ένα άλλο δεύτερο κύριο κόμβο, πράγμα το οποίο απαιτεί κενή υποσωλήνωση σε όλο το μήκος της διαδρομής. Έτσι για ένα τμήμα με N κόμβους διανομής μεταξύ δύο κυρίων κόμβων απαιτούνται N υποσωλήνες.

Για να μειώσουμε όμως τον απαιτούμενο αριθμό καλωδίων και υποσωληνώσεων, χρησιμοποιούμε καλώδια μεγαλύτερου αριθμού ινών και κατά την εξαγωγή τους από τους κόμβους διανομής τοποθετούνται μέσω μιας διάταξης συγκόλλησης μόνο οι απαιτούμενες για τον συγκεκριμένο κόμβο ίνες. Τέλος σε

γενικές γραμμές οι χρήστες υποστηρίζονται με διακριτά καλώδια από έναν κόμβο πρόσβασης, με την χρήση της τεχνικής που αναφέραμε προηγουμένως, παρέχοντας όμως συγκεκριμένο αριθμό ινών ανά χρήστη κατά την κίνησή τους από τον κόμβο πρόσβασης.

### **2.1.5 Χρήση συστοιγιών μικροσωληνώσεων**

Οι μικροσωληνώσεις μπορούν να εγκατασταθούν με δύο τρόπους. Ο πρώτος έχει τη μορφή μιας ολοκληρωμένης συστοιχίας σωληνίσκων με εξωτερικό προστατευτικό μανδύα, ή μπορούν να τοποθετηθούν τμηματικά κατά δέσμες, εάν υπάρξει ανάγκη, εντός ήδη εγκατεστημένου προστατευτικού σωλήνα με ειδικές διατάξεις προώθησης. Το σύστημά μας αρχικά φαίνεται να είναι πανομοιότυπο με αυτό των συμβατικών υποσωληνώσεων, η διαφορά όμως είναι, ότι αντί της δρομολόγησης οπτικών ινών μέσω συγκόλλησης μεταξύ διαφορετικών καλωδίων και χρήση διατάξεων συγκόλλησης, αυτά που δρομολογούνται είναι οι μικροσωληνώσεις με την χρήση διακλαδωτήρων και συνδέσμων. Έτσι επιτυγχάνεται ένα υγιές κανάλι δίνοντας τη δυνατότητα το κανάλι να ενώνει κόμβους διαφορετικών επιπέδων, ίδιου επιπέδου ή ακόμα και χρήστες με κόμβους πρόσβασης. Το μικροκαλώδιο λοιπόν μέσω μιας συσκευής εμφυσάτε με μέγιστο αριθμό ινών τις 96 και ελάχιστο τις 2 ίνες. Το μικροκαλώδιο λοιπόν θα πρέπει να έχει μια βασική αντοχή, έτσι ώστε να προστατεύεται κατά την εγκατάστασή του εντός των μικροσωληνώσεων

### **2.1.6 Κύριος κόμβος**

Μιλώντας για κύριο κόμβο εννοούμε το κύριο σημείο διασύνδεσης οπτικών αγωγών και καλωδίων του περιφερειακού ιστού το οποίο έχει ως σκοπό να καλύψει τις συναθροισμένες επικοινωνιακές ανάγκες ενός μεγάλου δήμου ή μιας ευρύτερης αλλά πλέον αραιοκατοικημένης περιοχής η μέρους ενός μεγάλου αστικού κέντρου. Για λόγους διαθεσιμότητας της υποδομής, επιδιώκεται κάθε κύριος κόμβος να είναι άμεσα συνδεδεμένος με παραπάνω από ένα ομότιμους κύριους κόμβους. Στους κύριους κόμβους εγκαθίσταται ενεργός εξοπλισμός, εκτός των παθητικών διατάξεων μικτονόμησης οπτικών ινών και προβλέπεται συνεγκατάσταση ή πρόσβαση διαχειριστών και παρόχων υπηρεσιών και εφαρμογών.

Ο απαιτούμενος χώρος για τον κύριο κόμβο (όπου θα υπάρχει σημείο παρουσίας PoP ενός ή πολλών παρόχων) πρέπει να εξασφαλίζει την ικανοποίηση ιδιαίτερων λειτουργικών απαιτήσεων. Το μέγεθος του χώρου πρέπει να είναι ικανό να φιλοξενήσει όλες τις διατάξεις για συγκόλληση ινών, διασύνδεση ινών (interconnection) μικτονόμηση ινών (cross - connection), και σύνδεση ενεργού εξοπλισμού μετάδοσης από διαφορετικούς ανταγωνιστικούς ή μη παρόχους. Επιπλέον πρέπει να υπάρχει χώρος για μελλοντική επέκταση.

Ο χώρος πρέπει να είναι εφοδιασμένος με διατάξεις κλιματισμού, μηχανική προστασία από κλοπή, ηλεκτρική παροχή με χρόνο αυτόνομης κάλυψης τουλάχιστον 30 λεπτά. Παράλληλα, εάν δεν υπάρχει, πρέπει να μπει στο σχεδιασμό και να υλοποιηθεί δευτερεύουσα πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, είναι επιθυμητό ο χώρος να είναι εφοδιασμένος με ηλεκτρονικό σύστημα ταυτοποίησης με ιδιαίτερα επιθυμητή τη δυνατότητα καταγραφής (logging). Τα βασικά παθητικά στοιχεία απαρτίζονται από μονάδες συγκόλλησης, τερματισμού και μικτονόμησης οι οποίες μπορούν να φιλοξενούνται σε κοινά ικριώματα ( Optical Distribution Frames - ODF). Τα ενεργά στοιχεία, καθώς και παθητικές διατάξεις πολυπλεξίας, αποπολυπλεξίας αφορούσες συγκεκριμένες υπηρεσίες, συγκεκριμένων παρόχων, τοποθετούνται σε ικριώματα παράπλευρου χώρου ο οποίος, σε πλήρη ανάπτυξη, μπορεί να έχει διαφορετική πολιτική πρόσβασης και διαφορετικό μηχανισμό ταυτοποίησης.

### **2.1.7 Κόμβος διανομής**

Ο κόμβος διανομής απαρτίζεται από παθητικές διατάξεις cross-connect, και είναι προετοιμασμένος να δεχθεί παθητικά στοιχεία πολυπλεξίας, αποπολυπλεξίας ή και ενεργό εξοπλισμό (Σχήμα 2.9). Έτσι ο κόμβος διανομής μπορεί να υλοποιηθεί με ένα κιβώτιο εξωτερικού ή εσωτερικού χώρου εφοδιασμένου με ερμάρια συγκόλλησης, τερματισμού, αποθήκευσης καλωδίου και μικτονόμησης από την εμπρόσθια πλευρά. Για την περίπτωση μελλοντικής επέκτασης εγκατάστασης και υποστήριξης παθητικών ή ενεργών στοιχείων πολυπλεξίας ( π.χ. CWDM OADM, PON Splitters και Couplers κλπ ) απαιτείται επαρκής επιπλέον χώρος. Για τις περιπτώσεις προγραμματισμού παθητικού εξοπλισμού δεν απαιτείται ηλεκτρική παροχή.



Σχήμα 2.1.5 Κόμβος διανομής

### **2.1.8 Κόμβος πρόσβασης**

Ο κόμβος πρόσβασης, είναι το σημείο απ' όπου υλοποιούνται οι ζεύξεις προς κάθε ιδιαίτερο χρήστη και συμπεριλαμβάνει παθητικές διατάξεις (συγκόλλησης, τερματισμού) οι οποίες μπορεί να απαρτίζονται από διακριτές μονάδες ή να συστεγάζονται σε κοινά ικρίωματα ( FDFs). Η διαμόρφωση του χώρου εξαρτάται από τον αριθμό των υποστηριζόμενων χρηστών. Οι διαστάσεις του απαιτούμενου χώρου εξαρτώνται από τον αριθμό των υποστηριζόμενων χρηστών, το είδος των χρηστών (εάν ανήκουν π.χ. σε ομογενές κλειστό group ή όχι) κλπ., για μικρό αριθμό χρηστών, ο κόμβος πρόσβασης μπορεί να περιορίζεται σε ένα κλειστό ικρίωμα εντός στεγασμένου χώρου, το οποίο θα συμπεριλαμβάνει παθητικά και ενεργά στοιχεία, με πιθανά απομακρυσμένο το κιβώτιο εισόδου του καλωδίου και συγκόλλησης των εισερχόμενων (OSP) προς τις ενδοκτιριακές ίνες (IFC ) ή θα περιορίζεται σε ένα κιβώτιο εξωτερικού χώρου εφοδιασμένου με ερμάρια συγκόλλησης, τερματισμού, αποθήκευσης καλωδίου και μικτονόμησης από την εμπρόσθια πλευρά, μπαταρίες,



UPS, και ικρίωμα ανάρτησης ενεργών στοιχείων κατάλληλων για χρήση σε εξωτερικό περιβάλλον. Για μεγάλο αριθμό χρηστών, το μέγεθος και ο τύπος του κόμβου πρόσβασης μπορεί να είναι συγκρίσιμος με αυτά του κεντρικού κόμβου. Σημειώνεται ότι κόμβοι διανομής και πρόσβασης μπορούν να συστεγασθούν στον ίδιο χώρο, όμως οι διατάξεις του κόμβου διανομής θα είναι διακριτές από αυτές του κόμβου πρόσβασης.

## **2.2 Τα βασικά στοιχεία που αποτελούν ένα δίκτυο οπτικών ινών**

Αναφερόμαστε στο πρώτο επίπεδο του μοντέλου OSI οπότε αναφερόμαστε σε hardware. Τα στοιχεία που αποτελούν μια ζεύξη είναι:

### **• Συζευκτές (Couplers)**

Οι συζεύκτες οπτικών ινών διαχωρίζουν τα οπτικά σήματα σε πολλαπλές διαδρομές ή το αντίστροφο. Φανταστείτε μια οπτική ίνα που μεταφέρει το σήμα εισόδου που χρειάζεται για να συνδεθεί σε δύο διαφορετικούς προορισμούς. Το σήμα πρέπει να διαιρεθεί στην μέση . Αυτό το επιτυγχάνουμε με ένα συζεύκτη. Όταν χρησιμοποιείται για αυτόν τον σκοπό ονομάζεται και διαιρέτης.

Οι συζεύκτες είναι δύο κατευθύνσεων, μπορούν να μεταφέρουν φώς προς κάθε κατεύθυνση. Γι αυτό και ο συζεύκτης που περιγράφεται παραπάνω μπορεί με τον ίδιο τρόπο να χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε να συνδυάσει τα σήματα από δύο πομπούς σε μια οπτική ίνα.

### **• Μονωτές (Isolators)**

Οι μονωτές χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που θέλουμε να εξασφαλίσουμε τη διέλευση του φωτός προς μία κατεύθυνση. Όταν συνδέσουμε ένα laser με μια οπτική ίνα τότε το ανακλώμενο φώς από την ένωση μπορεί να προκαλέσει αστάθεια στο laser και πολλά ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Οι δίοδοι laser και οι οπτικοί ενισχυτές είναι πολύ ευαίσθητα στο φώς που ανακλάται πίσω προς την έξοδο τους. Η ανάκλαση αυτή μπορεί να προέλθει από συγκολλήσεις, συνδετήρες ή φίλτρα που αμέσως μετά την έξοδο τέτοιων διατάξεων. Για αυτό είναι συχνά απαραίτητο να τοποθετήσουμε έναν μονωτή αμέσως μετά την έξοδο τέτοιων διατάξεων.

### **• Πολυπλέκτες (multiplexers)**

#### **➤ WDM ΠΟΛΥΠΛΕΚΤΕΣ**

Πολυπλέκτης με διαίρεση μήκους κύματος είναι μια παθητική συσκευή που επιτρέπει δυο ή περισσότερα διαφορετικά μήκη κύματος φωτός να διαχωριστούν σε πολλαπλές ίνες ή να ενωθούν πάνω σε μία ίνα. Επιτρέπει την

εν δυνάμει χωρητικότητα της φερόμενης πληροφορίας που έχει μια ίνα να αυξηθεί σημαντικά. Όπως ο απλός διαχωριστής οι πολυπλέκτες με διαίρεση του μήκους κύματος τυπικά έχουν μια κοινή σύνδεση και έναν αριθμό μονάδων εισόδου και εξόδου. Δύο βασικοί παράγοντες σε μια συσκευή WDM είναι η διαφωνία και ο διαχωρισμός καναλιών. Η διαφωνία αφορά στο πόσο καλά διαχωρίζονται τα πολυπλεγμένα κανάλια. Κάθε κανάλι πρέπει να εμφανίζεται μόνο στην προσχεδιασμένη για αυτό θύρα εξόδου. Ο διαχωρισμός καναλιών περιγράφει πόσο καλά ένας συζεύκτης μπορεί να ξεχωρίσει τα μήκη κύματος.

### ➤ **OADM**

Ο οπτικός πολυπλέκτη προσθήκης εξαγωγής μηκών κύματος – Optical Add Drop Multiplexer. Ο OADM έχει την δυνατότητα να ανεβάσει στη γραμμή ζεύξης ένα μήκος κύματος ή και περισσότερα αλλά μπορεί και να κατεβάσει κατά αντίστοιχο τρόπο ένα ή περισσότερα μήκη κύματος χωρίς να επηρεάσει τα υπόλοιπα. Οι OADM αποτελούν τον κορμό για την δημιουργία οπτικών δικτύων υψηλών ταχυτήτων. Ο πολυπλέκτης OADM συναθροίζει διαφορετικά μήκη κύματος με τη μέθοδο – WDM προερχόμενα από τα ADM. Ο πολυπλέκτης OADM μπορεί να περιλαμβάνει και τη λειτουργία της ενίσχυσης οπτικού σήματος. Υπάρχουν δύο γενικοί τύποι πολυπλεκτών OADM: (α) οι σταθεροί – Fixed οι οποίοι είναι ρυθμισμένοι (από φυσικής άποψης) να προσθέτουν συγκεκριμένα μήκη και να εξάγουν κάποια άλλα, και (β) οι πολυπλέκτες δεύτερης γενιάς με δυνατότητα ρύθμισης – Reconfigurable ROADM και δυναμικής επιλογής των μηκών κύματος που θα προστεθούν ή θα εξαχθούν.

### • **4. Μεταδότες (lasers)**

Τα δύο είδη πηγών φωτός στις τηλεπικοινωνίες είναι οι δίοδοι λείζερ – Injection Laser diode I.L.D. και οι δίοδοι LED – Light Emitting Diode. Μερικά πλεονεκτήματα είναι ότι μπορούν να παρέχουν ικανοποιητική οπτική ισχύς η οποία άμεσα μπορεί να διαμορφωθεί από τη μεταβολή στο ρεύμα εισόδου, έχουν μικρές

διαστάσεις συμβατές με τις διαστάσεις οπτικών ινών και παρέχουν υψηλή αξιοπιστία κατά τη λειτουργία τους καθώς διαθέτουν μεγάλη διάρκεια ζωής.

Οι δύο αυτοί τύποι πηγών παρουσιάζουν αρκετές διαφορές. Η επιλογή του είδους της πηγής φωτός που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα οπτικό σύστημα μετάδοσης βασίζεται σε αρκετούς παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι

- Μήκος κύματος στο οποίο εκπέμπει η πηγή φωτός το οποίο πρέπει να είναι μέσα στο παράθυρο μετάδοσης που χρησιμοποιεί η οπτική ίνα
- Η ισχύς του παραγόμενου οπτικού σήματος πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να καλύπτει όλη την απόσταση μέχρι το πρώτο ενισχυτή – optical amplifier ή αναμεταδότη – repeater άλλα όχι υπερβολικά μεγάλη απόσταση ώστε να μην προκαλέσει μη γραμμικά φαινόμενα στην ίνα ή στον αποδέκτη – receiver.
- Το εύρος μήκων κύματος στο οποίο εκπέμπει η πηγή φωτός δεν θα πρέπει να έχει μμεγάλο πλάτος προκειμένου να μην υπάρχουν φαινόμενα διασποράς τα οποία θα περιορίσουν τη ταχύτητα της μετάδοσης
- Θα πρέπει να υπάρχει αποτελεσματικός τρόπος διοχέτευσης του παραγόμενου φωτός στην ίνα μετάδοσης.

#### • 5. Φωτο-ανιχνευτές (photo detectors)

Στην έξοδο μίας οπτικής γραμμής μετάδοσης τοποθετείται το κύκλωμα του δέκτη. Το πρώτο στοιχείο αυτού του κυκλώματος είναι ο ανιχνευτής. Πάνω σε αυτό πέφτει η μεταβαλλόμενη οπτική ισχύ και μετατρέπεται σε ηλεκτρικό ρεύμα. Επειδή το εξερχόμενο σήμα είναι γενικά εξασθενημένο και παραμορφωμένο ο ανιχνευτής πρέπει να έχει πολύ καλές προδιαγραφές απόδοσης. Πρέπει να έχει πολύ μεγάλη ευαισθησία στα μήκη κύματος του φάσματος εκπομπής της χρησιμοποιούμενης οπτικής πηγής, ελάχιστη συνεισφορά σε θόρυβο και τέλος μεγάλη ταχύτητα απόκρισης ή επαρκές εύρος ζώνης έτσι ώστε να μπορεί να ανταποκρίνεται στο ρυθμό διάδοσης δεδομένων.

## • 6. οπτικοί διαμεταγωγείς (optical switches)

Οι μεγάλοι οπτικοί μεταγωγείς βασίζονται στα ηλεκτρονικά για να εκτελέσουν διεργασίες ελέγχου, αλλά η δρομολόγηση των πακέτων γίνεται με οπτικά μέσα. Η υβριδική αυτή κατάσταση μας δίνει πολύ μεγάλες δυνατότητες από άποψης χωρητικότητας, αφού συνδυάζεται η διαφάνεια των οπτικών, αλλά και η πολύ μεγάλη επεξεργαστική ισχύς των ηλεκτρονικών ελέγχου. Οι κύριες λειτουργίες που καλείται να εκτελέσει ένας οπτικός μεταγωγέας είναι οι ακόλουθες:

- Συγχρονισμός πακέτων και ανάκτηση ρολογιού
- Αντικατάσταση επικεφαλίδας
- Δρομολόγηση πακέτου
- Προσωρινή αποθήκευση πακέτου για την αποφυγή συγκρούσεων (collisions)

### **2.3 Εξασθένηση**

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι παράγοντες που σχετίζονται με το εύρος ζώνης της οπτικής ίνας και την εξασθένηση που επιφέρει η ίνα στο οπτικό σήμα. Το εύρος ζώνης υποδεικνύει άμεσα τον ρυθμό μετάδοσης με τον οποίο μπορεί να σταλεί πληροφορία μέσω της οπτικής ίνας, ενώ η εξασθένηση του σήματος καθορίζει τον αριθμό ενισχυτών ή επαναληπτών που πρέπει να τοποθετηθούν μεταξύ πομπού και δέκτη σε μια οπτική ζεύξη. Η τοποθέτηση και η συντήρηση αυτών των διατάξεων έχει μεγάλη επίδραση στο ολικό κόστος του συστήματος.

Γενικά, τα φαινόμενα που επηρεάζουν τη διάδοση του φωτός στις οπτικές ίνες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα γραμμικά φαινόμενα και τα μη γραμμικά. Τα γραμμικά φαινόμενα είναι η εξασθένηση (απώλειες) του σήματος και η διασπορά των παλμών. Εξασθένηση του σήματος είναι η απώλειες στην αρχική ισχύ του σήματος που παράγεται από τον πομπό και καθορίζει άμεσα τη μέγιστη απόσταση της τηλεπικοινωνιακής ζεύξης. Διασπορά είναι ο πεπλατισμός των οπτικών παλμών καθώς ταξιδεύουν στην οπτική ίνα και καθορίζει τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης (bit rate) που μπορεί να διακινήσει, δηλαδή το μέγιστο χρήσιμο εύρος ζώνης (bandwidth) της ίνας.

Εκτός από τους περιορισμούς που θέτουν τα δύο αυτά φαινόμενα λόγω της οπτικής ίνας, υπάρχουν και άλλοι που οφείλονται σε άλλα δομικά στοιχεία των οπτικών δικτύων όπως πομποί, δέκτες ή ενισχυτές. Τα βασικότερα μη γραμμικά φαινόμενα που επηρεάζουν τη διάδοση του φωτός στην οπτική ίνα είναι η μίξη τεσσάρων κυμάτων (four wave mixing (FWM)), η εξαναγκασμένη σκέδαση Raman (stimulated Raman Scattering (SRS)) και Brillouin(SBS) και η αυτοδιαμόρφωση και η ετεροδιαμόρφωση φάσης (Self/Cross phase Modulation (SPM/XPM)). Τα μη γραμμικά φαινόμενα παρατηρούνται όταν χρησιμοποιούνται οπτικοί παλμοί μεγάλης έντασης και θα μελετηθούν σε επόμενη παράγραφο. Για συνηθισμένες τιμές της έντασης σήματος, ο κυρίαρχος μηχανισμός που επηρεάζει τη διάδοση των παλμών είναι τα γραμμικά φαινόμενα.

### **2.3.1 Εξασθένηση (Attenuation)**

Σαν εξασθένηση σήματος (ή απώλεια σήματος) σε μια οπτική ίνα ορίζεται ως ο λόγος της οπτικής ισχύος στην έξοδο της ίνας σε σχέση με τη ισχύ εισόδου και καθορίζει, κατά μεγάλο μέρος, τη μέγιστη απόσταση στην οποία απαιτείται αναγέννηση και ενίσχυση του σήματος. Εκφράζεται σε dB/km και ο συντελεστής εξασθένησης  $\alpha$  γράφεται:

$$\frac{10}{L} \log \frac{P_{out}}{P_{in}} = \alpha (dB)$$

Όπου  $L$  είναι το μήκος της οπτικής ίνας,  $P_{out}$  είναι η ισχύς στην έξοδο και  $P_{in}$  η ισχύς στην είσοδο της οπτικής ίνας.

Διάφοροι μηχανισμοί είναι υπεύθυνοι για την εξασθένηση του σήματος στην οπτική ίνα και οφείλονται στην απορρόφηση του σήματος λόγω του υλικού κατασκευής της ίνας, σε σκεδάσεις στο εσωτερικό της ίνας, σταν σημεία συνενώσεων (splices) δύο οπτικών ινών και στους συνδετήρες (connectors) που χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν τα οπτικά στοιχεία.

### **2.3.2 Απορρόφηση (Absorption)**

Στο γυαλί, από το οποίο είναι κατασκευασμένη η οπτική ίνα, υπάρχουν ηλεκτρόνια ξένων προσμείξεων, όπως είναι το ιόντα, τα οποία απορροφούν μέρος της μεταδιδόμενης οπτικής ισχύος. Επίσης, απώλειες απορρόφησης υπάρχουν ακόμα στην περιοχή του υπεριώδους φωτός λόγω του ίδιου του υλικού της ίνας και στο υπέρυθρο φως λόγω αλληλεπίδρασης των φωτονίων με τα ταλαντευόμενα μόρια του πλέγματος του γυαλιού. Άλλοι εξωγενείς παράγοντες, όπως ξένες προσμίξεις και ανομοιογένειες στη κατασκευή της ίνας, συμβάλλουν στις απώλειες λόγω απορρόφησης της οπτικής ενέργειας η οποία καταναλώνεται με την μορφή

θερμότητας.

### **2.3.3 Σκέδαση (Scattering)**

Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζεται η διάχυση (σκόρπισμα) που υφίσταται η φωτεινή ακτινοβολία στο μανδύα καθώς διαδίδεται στον πυρήνα της ίνας. Μπορεί να οφείλεται σε ανωμαλίες στη σύνθεση του υλικού της ίνας, που μπορεί να είναι είτε κάποιες ξένες προσμείξεις είτε κάποια σημειακή ανομοιογένεια του δείκτη διάθλασης. Αν αυτές οι ανωμαλίες έχουν μέγεθος  $r$  αρκετά μικρότερο από το χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος  $\lambda$  (δηλαδή  $r < 0.1\lambda$ ), η σκέδαση ονομάζεται Rayleigh scattering και έχει ισχυρή εξάρτηση από το μήκος κύματος στο οποίο γίνεται η μετάδοση. Η σκέδαση είναι πολύ μεγαλύτερη στα μικρά μήκη κύματος γιατί είναι ανάλογη του  $1/\lambda^4$ . Αυτός ο τύπος σκέδασης είναι υπεύθυνος για τις απώλειες στις ίνες περίπου στο 90%.

### **2.3.4 Διασπορά (Dispersion)**

Οι διάφοροι μηχανισμοί διασποράς σε μία οπτική ίνα έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα τη διεύρυνση του πλάτους των φωτεινών παλμών καθώς αυτοί ταξιδεύουν στην ίνα. Παρατηρείται ότι καθώς το πλάτος ενός παλμού διευρύνεται, κάποια στιγμή αλληλεπικαλύπτεται με γειτονικούς παλμούς και γίνεται δυσδιάκριτος στον δέκτη (intersymbol interference). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού λαθών στην μετάδοση και δυσκολία σωστής μετάφρασης των δεδομένων από το δέκτη. Συνεπώς, η διασπορά των παλμών του σήματος περιορίζει το ρυθμό μετάδοσης στην οπτική ίνα, η με άλλα λόγια το εύρος ζώνης της ίνας που μπορεί να αξιοποιηθεί.

Η διασπορά  $D$  δεν εμφανίζεται από την αρχή της μετάδοσης των οπτικών παλμών, αλλά μετά από κάποιο μήκος οπτικής ίνας και δίνεται από την παρακάτω σχέση. Η απόσταση στην οποία εμφανίζεται η διασπορά εξαρτάται από τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων, το μήκος κύματος που χρησιμοποιείται και το υλικό της οπτικής ίνας, και δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις.



$$D = -\beta_2 \frac{\pi c}{\lambda^2}, \quad L_D = \frac{T_0^2}{|\beta_2|} \Rightarrow L_D = \frac{2\pi c}{B^2 \lambda^2 |D|}$$

### **2.3.5 Χρωματική διασπορά (Chromatic Dispersion)**

Συναντάται σε όλους τους τύπους των οπτικών ινών και οφείλεται στο πεπερασμένο εύρος ζώνης της οπτικής πηγής που τροφοδοτεί την ίνα. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η πηγή μπορεί να είναι είτε ένα laser συνεχούς εκπομπής και είτε ένα LED. Οι πηγές αυτές, δεν εκπέμπουν μόνο μια συχνότητα αλλά ομάδα συχνοτήτων πεπερασμένου εύρους

Τα διαφορετικά μήκη κύματος υπόκεινται διαφορετικές καθυστερήσεις στη διάδοσή τους λόγω της διαφορετικής τους συχνότητας και ταχύτητας με την οποία ταξιδεύουν στην οπτική ίνα. Αυτές οι χρονικές καθυστερήσεις των διαφόρων συχνοτήτων στο άλλο άκρο του δέκτη έχουν σαν αποτέλεσμα τη χρονική διεύρυνση (διασπορά) του παλμού. Οι καθυστερήσεις αυτές μπορεί να οφείλονται είτε στις συγκεκριμένες ιδιότητες του υλικού της ίνας, είτε στην επιλεκτική με τη συχνότητα κυματοδότηση της ίνας.

### **2.3.6 Διασπορά κυματοδηγού (Waveguide Dispersion)**

Στην περίπτωση που ο κυματοδηγός είναι μια μονότροπη ίνα, ο μοναδικός τρόπος διάδοσης 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 περιβλήματος είναι μικρότερος από του πυρήνα άρα η ταχύτητα των κυμάτων που διαδίδονται εκεί μεγαλύτερη. Ο μηχανισμός αυτός είναι γνωστός ως διασπορά κυματοδηγού και εξαρτάται από τα γεωμετρικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της οπτικής ίνας και το μήκος κύματος και έχει ως αποτέλεσμα την διαπλάτυνση του διαδιδόμενου σήματος λόγω της διαφορικής χρονικής καθυστέρησης  $\Delta t$  των μηκών κύματος. 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 αυτής εξαλείφεται πλήρως αν χρησιμοποιηθεί οπτική πηγή που να εκπέμπει αυστηρά σε ένα μόνο μήκος κύματος. Επειδή όμως αυστηρά μονοχρωματικές πηγές βέβαια δεν υπάρχουν, οι ευρέως χρησιμοποιούμενες φωτεινές πηγές laser εκπέμπουν σε ένα φασματικό εύρος  $\Delta\lambda$  από 1 έως 10nm ενώ οι πηγές LED έχουν μεγαλύτερο φασματικό εύρος 50 -100nm. Άρα με την χρησιμοποίηση των laser μειώνεται το φαινόμενο της χρωματικής διασποράς μιας και οι μεταδιδόμενες συχνότητες είναι πολύ λιγότερες από αυτές των LED. 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 του οπτικού παλμού εξαρτάται από την αρχική του χρονική διάρκεια. Σε παλμούς με μικρή χρονική διάρκεια, οι οποίοι συνεπώς έχουν μεγάλο εύρος ζώνης, η διασπορά θα κάνει πολύ 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 οπτική ίνα.

### **2.3.7 Διασπορά υλικού (Material Dispersion)**

Η διασπορά υλικού οφείλεται στο γεγονός ότι οι διάφορες φασματικές συνιστώσες του σήματος ταξιδεύουν στην ίνα με διαφορετικές ταχύτητες, όποτε, όταν διανύσουν  $L$  χιλιόμετρα που είναι το μήκος της ίνας, φθάνουν στον δέκτη χρονικά καθυστερημένα.

### **2.3.8 Μη γραμμικά φαινόμενα**

Μέχρι την ανακάλυψη και ανάπτυξη του laser, σχεδόν όλα τα οπτικά μέσα μετάδοσης θεωρούνταν γραμμικά. Αυτό πρακτικά σήμαινε ότι η οπτικές ιδιότητες τους όπως ο δείκτης διάθλασης, ο συντελεστής απορρόφησης κ.α. ήταν ανεξάρτητες από την ένταση του φωτός που διαδιδόταν μέσα σε αυτά. Επίσης θεωρούνταν αποδεκτό ότι η συχνότητα του φωτός δεν μπορεί να αλλάξει λόγω της διάδοσης του

μέσα από κάποιο μέσο. Η ανακάλυψη του laser όμως προσέφερε μεγαλύτερες εντάσεις ακτινοβολίας και έτσι διαπιστώθηκε ότι τα οπτικά μέσα μετάδοσης παρουσιάζουν εκτός από γραμμικά φαινόμενα και μη γραμμική συμπεριφορά για μεγάλες τιμές της έντασης ακτινοβολίας. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα συνηθισμένα φαινόμενα που συνήθως απασχολούν κατά το σχεδιασμό ενός δικτύου οπτικών ινών είναι τα γραμμικά φαινόμενα της απορρόφησης, της σκέδασης και της διασποράς.

Σε μερικές περιπτώσεις όμως, πως για παράδειγμα στον σχεδιασμό WDM ζεύξεων μεγάλων αποστάσεων (long haul), είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση παλμού φωτός μεγαλύτερης ισχύος. Η αυξημένη αυτή ισχύς όμως έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση των μη γραμμικών φαινομένων τα οποία επιδρούν στο σήμα που μεταφέρει την πληροφορία.

Τα βασικότερα μη γραμμικά φαινόμενα είναι τα φαινόμενα λόγω σκέδασης, εξαναγκασμένη σκέδαση Brillouin και εξαναγκασμένη σκέδαση Raman, και τα φαινόμενα λόγω εξάρτησης του δείκτη διάθλασης από το φαινόμενο Kerr, αυτοδιαμόρφωση φάσης (self-phase modulation), ετεροδιαμόρφωση φάσης (cross-phase modulation) και μίξη τεσσάρων κυμάτων (four-wave mixing).

Η εξαναγκασμένη σκέδαση Brillouin SBS οφείλεται στην σκέδαση του φωτός από ακουστικά κύματα. Πιθανοί τρόποι αντιμετώπισης είναι η διατήρηση της ισχύος σε επίπεδα χαμηλότερα από το κατώφλι του SBS, η μείωση της απόστασης μεταξύ των ενισχυτών, η διεύρυνση του φάσματος του εκπεμπόμενου σήματος και η χρήση σχημάτων διαμόρφωσης κατά φάση. Η εξαναγκασμένη σκέδαση Raman SRS οφείλεται στην σκέδαση του φωτός από μοριακές δονήσεις και το φως που σκεδάζεται μπορεί να κινηθεί και προς τις δύο κατευθύνσεις. Πιθανοί τρόποι αντιμετώπισης είναι η μείωση των καναλιών σε ένα σύστημα, η διατήρηση της ισχύος κάτω από το κατώφλι SRS και η διάδοση σε ένα μη-μηδενικής διασποράς.

Στην αυτοδιαμόρφωση φάσης SPM, διαμόρφωση του δείκτη διάθλασης της οπτικής ίνας οδηγεί σε διαμόρφωση της φάσης του διαδιδόμενου σήματος. Συνεπώς, επιβάλλονται στιγμιαίες μεταβολές της κεντρικής συχνότητας (frequency chirping), διευρύνεται το φάσμα του διαδιδόμενου σήματος και γίνεται πιο ευάλωτο στη χρωματική διασπορά. Στην ετεροδιαμόρφωση φάσης XPM, ο δείκτης διάθλασης που συναντά ένα κύμα εξαρτάται και από την ισχύ των άλλων καναλιών που βρίσκονται

μέσα στην ίνα. Στην μίξη τεσσάρων κυμάτων FWM, η μίξη των τεσσάρων κυμάτων μετατρέπει φωτόνια από ένα ή δύο κύματα σε δύο νέες συχνότητες. Η επίδραση του FWM είναι ισχυρή για μεγάλες τιμές ισχύος σήματος, για μικρή διασπορά και για μικρή απόσταση μεταξύ των καναλιών. Το φαινόμενο του FWM είναι κάποιες φορές επιθυμητό και βρίσκει εφαρμογές όπως παραμετρική ενίσχυση, αποπολυπλεξία OTDM καναλιών, μετατροπή μήκους κύματος και γένεση υπερσυνεχούς φάσματος-φασματοσκοπία.

## 2.4 Έλεγχος αξιοπιστίας δικτύου οπτικών ινών

Ο βασικός δείκτης αξιοπιστίας ενός δικτύου είναι ο ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων (bit error rate – BER). Αυτό ορίζεται:

$$BER = \frac{Ber}{Btotal}$$

Όπου Ber είναι τα bit που μεταδόθηκαν λανθασμένα και Btotal τα συνολικά bit. Μια τυπική τιμή είναι από  $10^{-9}$  –  $10^{-15}$ . Έτσι ένας BER της τάξης του  $2 \times 10^{-6}$  αντιστοιχεί σε μέσο όρο 2 σφαλμάτων ανα ένα εκατομμύριο bit. Ένα συνηθισμένο κριτήριο για τους ψηφιακούς οπτικούς δέκτες απαιτεί  $BER \leq 1 \times 10^{-9}$ . Παράγοντες που επηρεάζουν το BER είναι η εξασθένηση, η διασυμβολική παρεμβολή, κλπ.

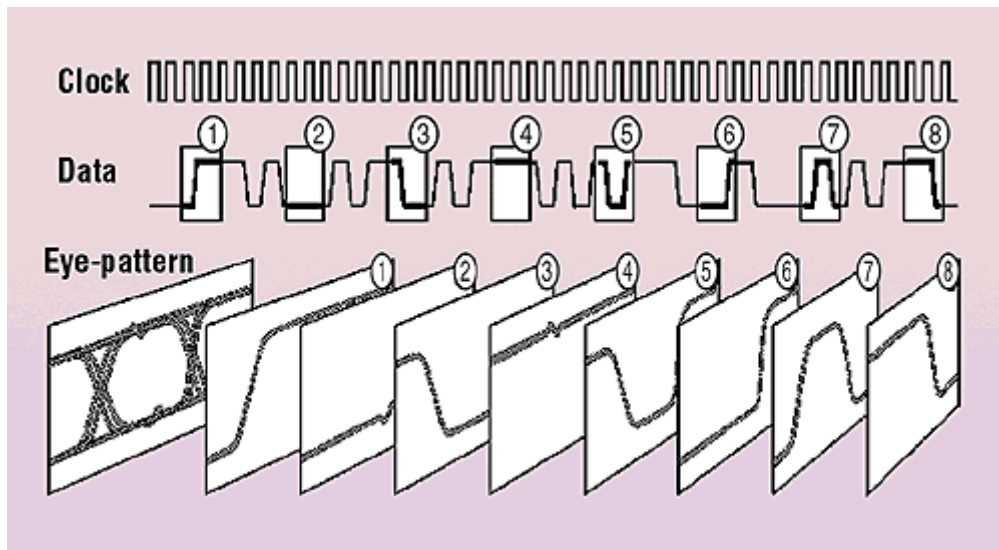
Μετριέται με διάφορους τρόπους όπως η μέτρηση S/N σε διάφορα σημεία, ή πιο απλά με BER tester. Ο BER Tester (Υπολογιστής Ρυθμού Σφαλμάτων) συγκρίνει την ακολουθία των ψηφιακών δεδομένων στην είσοδο του συστήματος με αυτή στην έξοδο (δηλαδή μετά την μετάδοση) και βρίσκει τον ρυθμό με τον οποίο γίνονται σφάλματα. Ο ρυθμός αυτός ονομάζεται BER (Bit Error Rate) και είναι κριτήριο της απόδοσης ενός συστήματος και της ανθεκτικότητάς του στον θόρυβο. Στην πραγματικότητα το BER εκφράζει την πιθανότητα το κύκλωμα αποφάσεων στον δέκτη να ανιχνεύσει ένα 1 ενώ έχει μεταδοθεί 0, ή να ανιχνεύσει ένα 0 ενώ έχει μεταδοθεί ένα 1. Τα λάθη αυτά οφείλονται κυρίως στην υποβάθμιση του σήματος μέσα στην ίνα λόγω διαφόρων παραγόντων όπως εξασθένηση, χρωματική διασπορά κτλ.

### 2.4.1 Διάγραμμα ματιού

Η ποιότητα των οπτικών σημάτων αξιολογείται με δύο κυρίως τρόπους, με μετρήσεις ρυθμού λαθών (BER) που λαμβάνει ο δέκτης ή εποπτικά με την παρατήρηση διαγραμμάτων οφθαλμού (eye-diagrams). Το διάγραμμα ματιού είναι μια μέθοδος που ελέγχει το μέτρο της διασποράς και της εξασθένησης ενός οπτικού δικτύου.

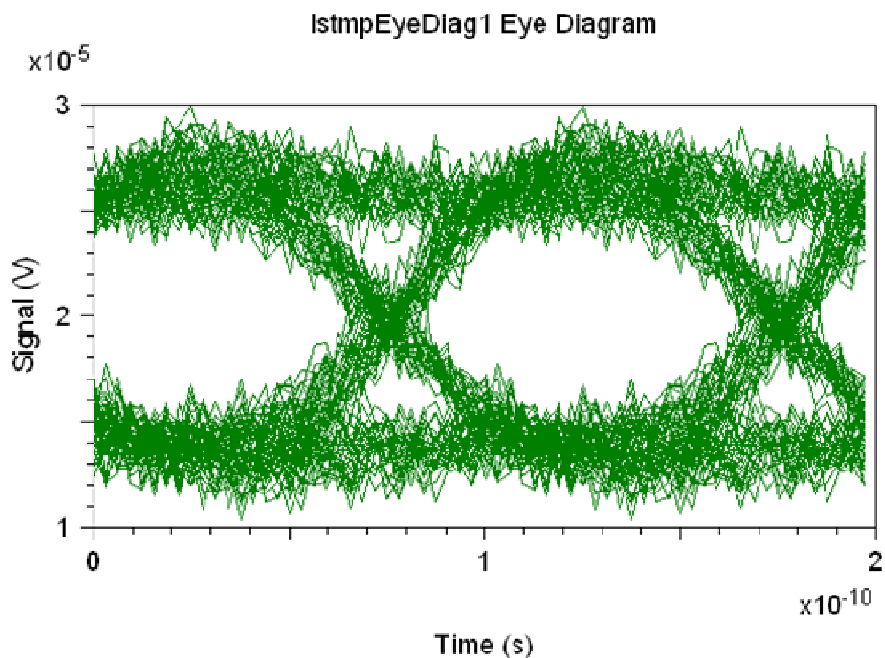
Οι οπτικές επικοινωνίες αναφέρονται σε ψηφιακά σήματα, μια σειρά μηδέν και ένα. Το κλείσιμο του ματιού αποτελεί ένδειξη ότι ο δέκτης λειτουργεί σωστά. Το

διάγραμμα σχηματίζεται για μια αλληλουχία τριών Bit για όλους τους οχτώ πιθανούς συνδυασμούς .(βλέπε σχήμα 2.4.1)



Σχήμα 2.4.1 eye-diagram

Στην περίπτωση που οι αναδίπλωση των bit δημιουργεί κενά (jitter) όπως εμφανίζεται στο σχήμα 2.4.2, τότε δεν έχω συγχρονισμό στην αλληλουχία των bit λόγω μεγάλης απώλειας του οπτικού σήματος.



Σχήμα 2.4.2 Παράμετροι του διαγράμματος ματιού

Επίσης 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.

#### **2.4.2 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 1550μm) οδηγεί σε απώλειες λόγω κάμψης και αυξάνει το σύνολο των απωλειών στη ζεύξη.

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).

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.





Σχήμα 2.4.3 Optical power meters

### **2.4.3 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.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 3.1 Όργανα μέτρησης και OTDR (Optical Time Domain Reflectomet)

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 στην παρακάτω εικόνα.



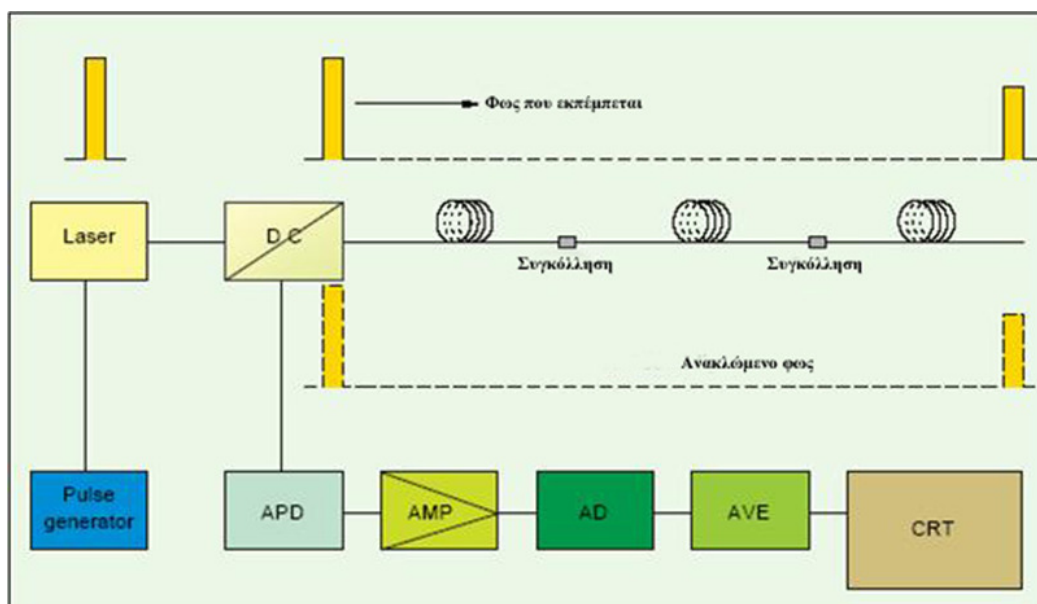
Σχήμα 3.1.1 Φορητή συσκευή OTDR

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.

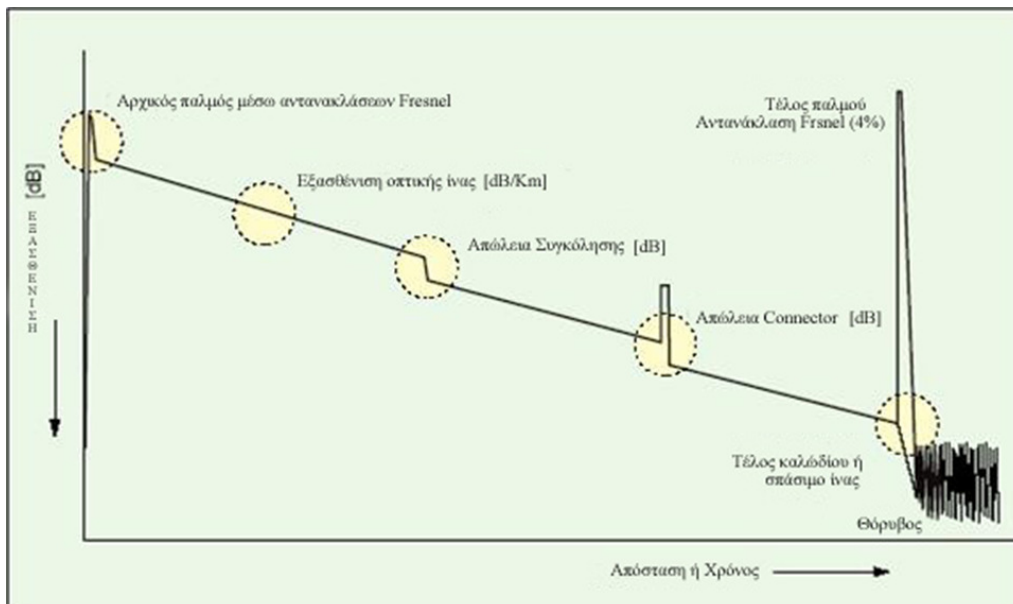
### 3.1.1 Αργή λειτουργίας του OTDR

Το OTDR λειτουργεί με βάση τη διάδοση φωτός σε οπτική ίνα κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Σχηματικά η λειτουργία του αποδίδεται στο σχήμα. 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 3.1.2 Διάγραμμα λειτουργίας του OTDR

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



Σχήμα 3.1.3 Πρότυπο μέτρησης του OTDR

### 3.1.2 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:

$$\frac{ut}{2} = \frac{ct}{2n} = L$$

οπου  $u$  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.

### 3.1.3 Απώλεια οπτικής ισχύος - Εξασθένιση

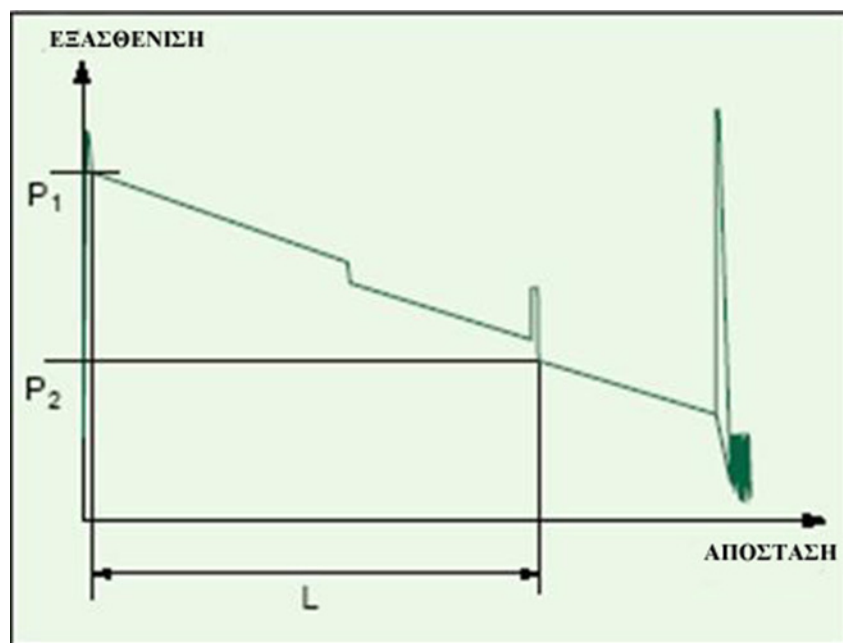
Η απώλεια οπτικής ισχύος σε ένα διάστημα μπορεί να υπολογιστεί αφαιρώντας τα επίπεδα ισχύος των δύο σημείων που ορίζουν το διάστημα με βάση την απλή σχέση.

$$A = P_1(dB) - P_2(dB)$$

Η εξασθένιση αντίστοιχα υπολογίζεται διαιρώντας με το αντίστοιχο διάστημα

$$\frac{P_1(dB) - P_2(dB)}{L} = a(db / Km)$$

Όπως φαίνεται στο παρακάτω αλλά και 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».



Σχήμα 3.1.4 Μέτρηση ισχύος

### **3.2 Ρύθμιση ενός OTDR**

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

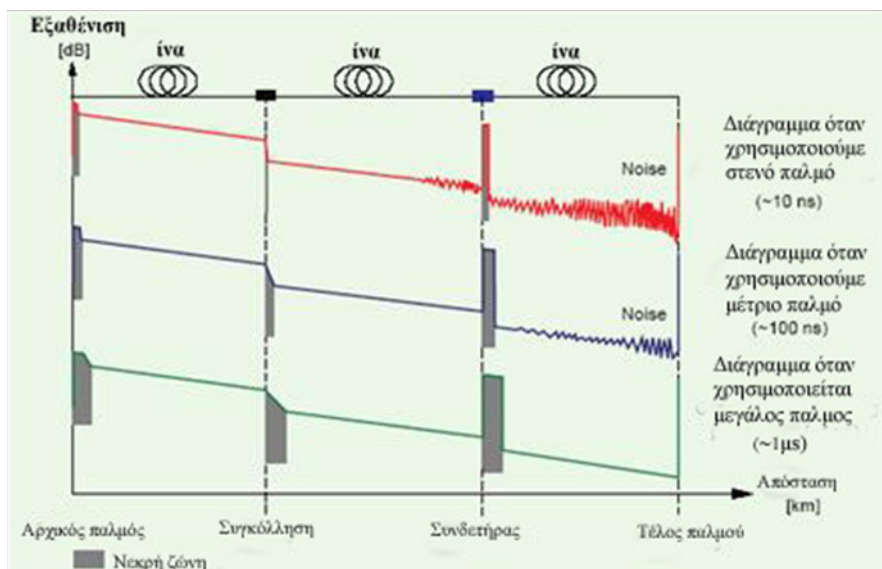
#### **1. Νεκρή Ζώνη**

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 στιδήποτε. 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 ποτέ 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.

#### **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 χρησιμοποιούνται 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 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 3.2.1 Νεκρή ζώνη



### 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.

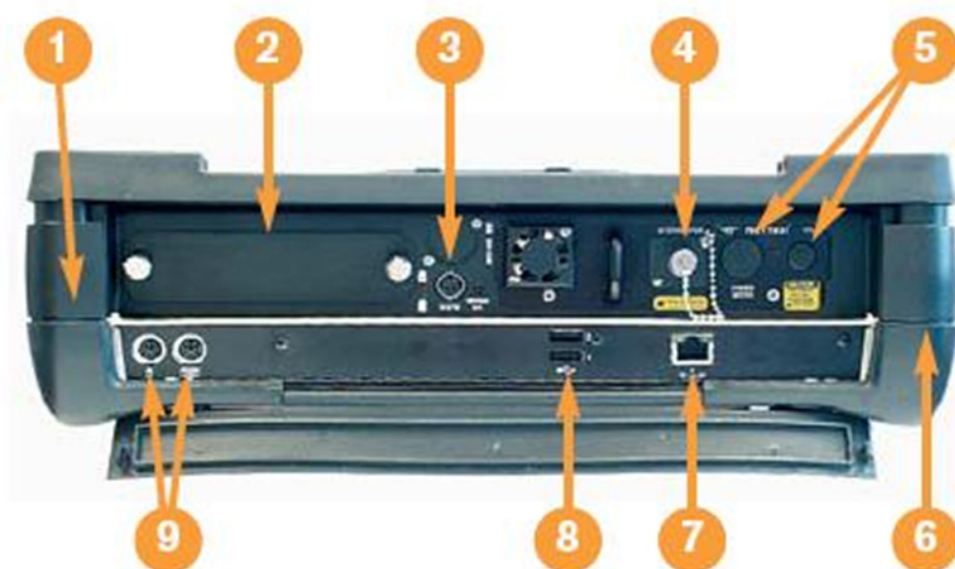
#### **3.2.1 Συμβουλές για την αποδοτική χρήση ενός OTDR**

1. Η σμίκρυνση της «νεκρής ζώνης» επιτυγχάνεται με τη χρήση στενών παλμών
2. Η ελαχιστοποίηση του θορύβου στη μέτρηση (Σχήμα 4.7) επιτυγχάνεται με ευρύτερους παλμούς.
3. Πιο ευκρινή διαγράμματα επιφέρει η χρήση της επιλογής στατιστική επεξεργασίας (averaging)
4. 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 ιδιοτήτων της ζεύξης σε όλο το μήκος της.

### 3.3 Το μοντέλο 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.



Σχήμα 3.3 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(fast Ethernet) για σύνδεση δικτύου.

8.Θύρα USB

9.Θύρες PS/2 για να συνδέσουμε εξωτερικό πληκτρολόγιο και ποντίκι.

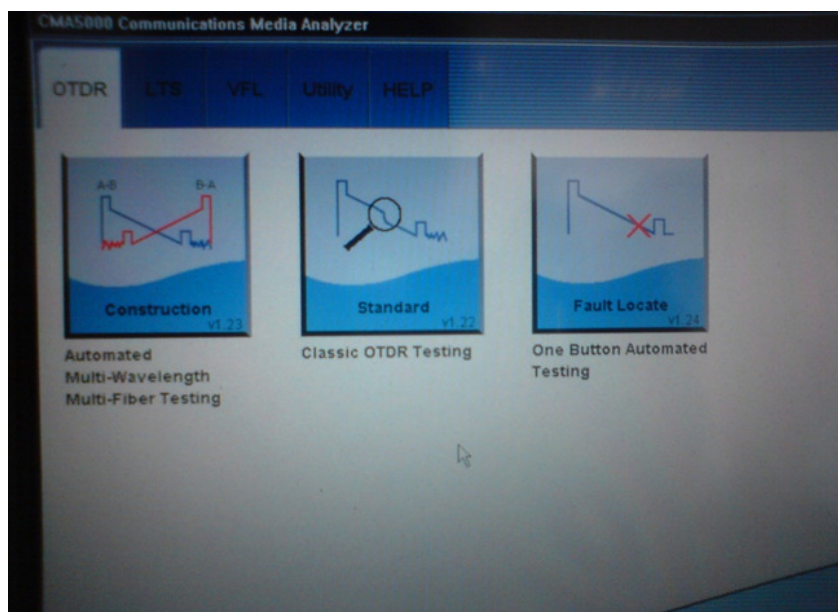
### **3.4 WIZARD εγκατάσταση ίνας και χρήση OTDR**

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 ιγνηλάτηση 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:



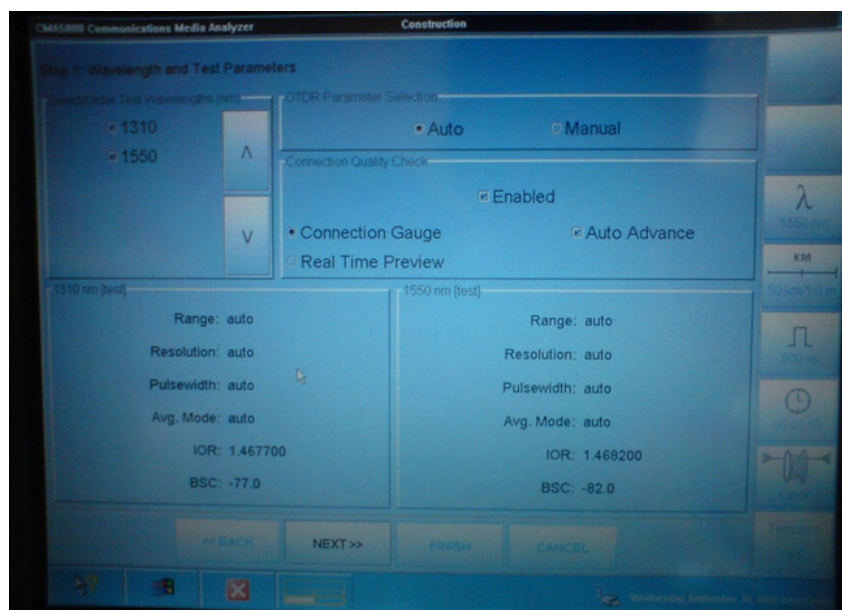
Σχήμα 3.4.1 System status of ODTR

Το αριστερό IDLE είναι το module και αφορά τις μονότροπες ίνες και μήκος κύματος 1330 και 1550 μέτρα. Το δεξί 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:

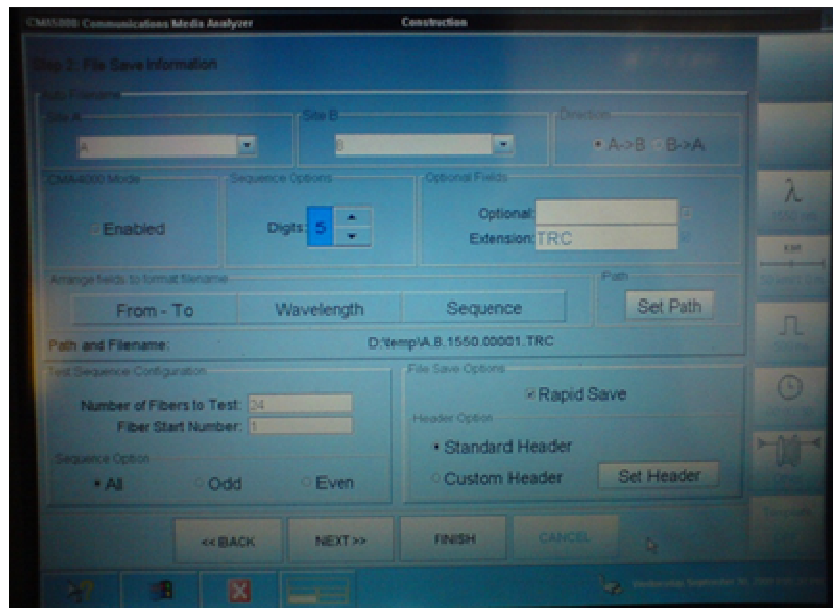


Σχήμα 3.4.2 Κατασκευή OTDR

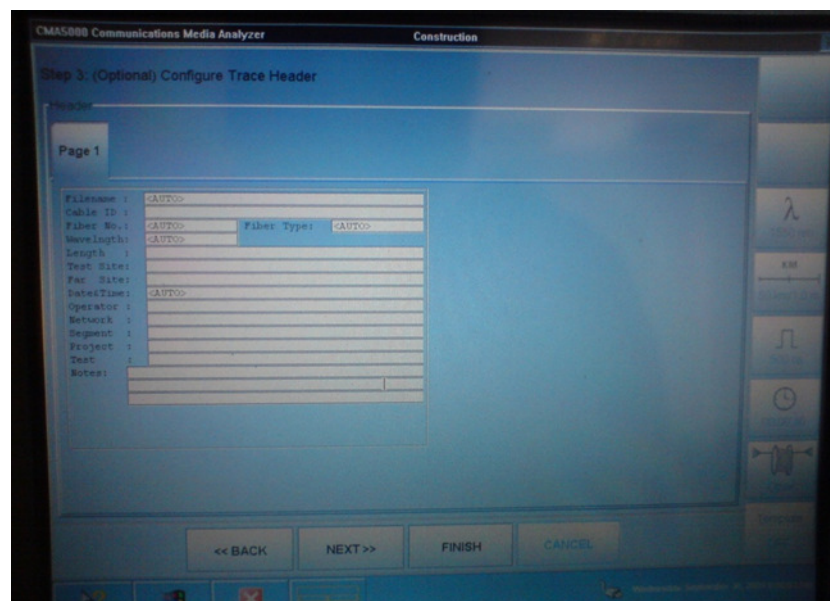
Επιλέγουμε αριστερά το Construction (Κατασκευή OTDR) πιέζοντας την οθόνη αφής. Μόλις το επιλέξουμε ακολουθούν 4 βήματα όπου ρυθμίζουμε κάποιες παραμέτρους πριν ξεκινήσει ο έλεγχος OTDR. Τα 4 αυτά βήματα φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



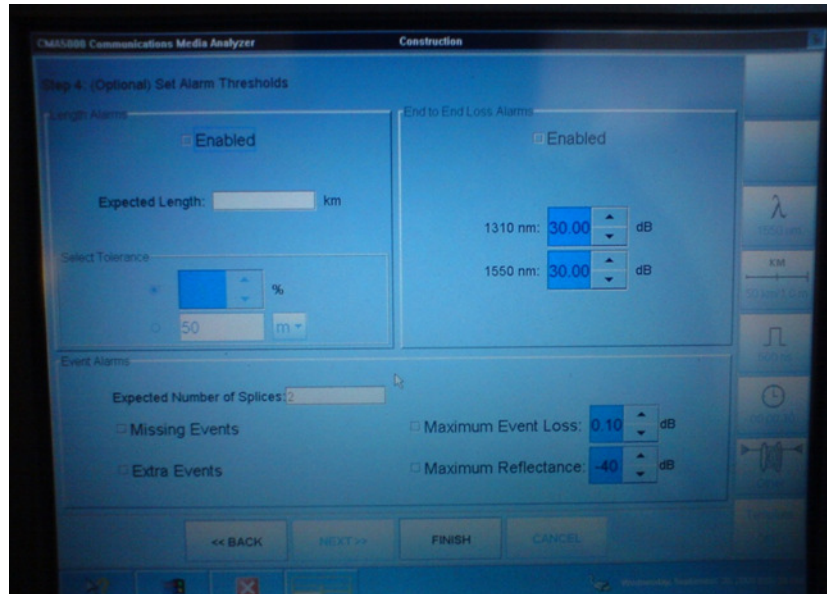
Σχήμα 3.4.3 Παράμετροι OTDR



Σχήμα 3.4.4 Παράμετροι ODTR

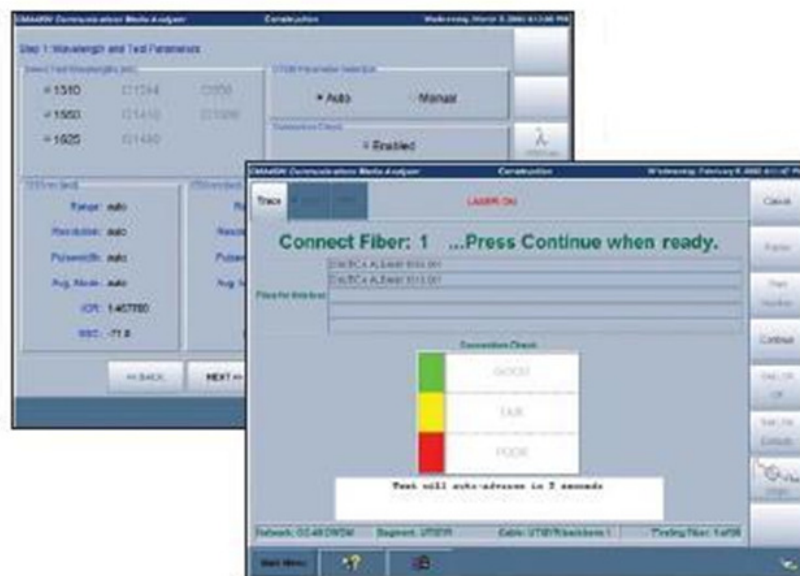


Σχήμα 3.4.5 Παράμετροι ODTR



Σχήμα 3.4.6 Παράμετροι ODTR

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.

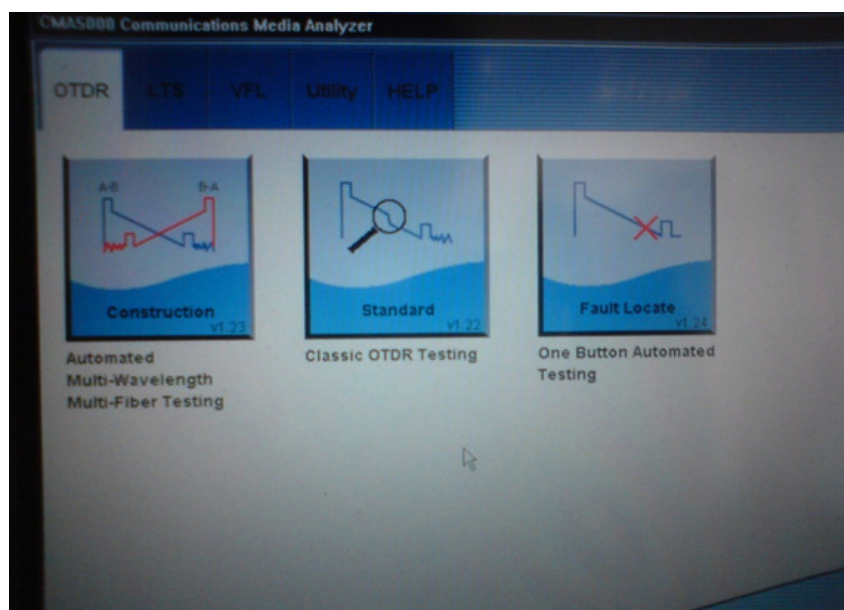


Σχήμα 3.4.7 Έλεγχος συνδέσμων



### 3.5 Οπτικός ανιχνευτής λάθους

Με τη μέθοδο αυτή επιτρέπεται στο χρήστη να εντοπίσει οπτικά αν υπάρχει κάποιο σπάσιμο ή απότομη καμπύλη της ίνας. Το μόνο που χρειάζεται είναι να συνδεθεί η ίνα που θέλουμε να ελέγξουμε με το μηχάνημα και μετά επιλέγουμε Fault Locate, ώστε η συσκευή μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα να μας παρέχει λεπτομέρειες της βλάβης, όπως σε ποιο χιλιόμετρο υπάρχει βλάβη και συνολικές απώλειες. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει βλάβη μας εμφανίζει τις συνολικές απώλειες και το μέγεθος του δικτύου που μετράμε (σε χλμ).



Σχήμα3.5.1 Επιλογή test OTDR

Έτσι μόλις επιλέξουμε module στο μενού που εμφανίζεται επιλέγουμε One Button Automated Testing. Αμέσως μετά ελέγχει αν συνδέθηκε σωστά οι σύνδεσμοι (connectors) και ξεκινάει ο έλεγχος.



Σχήμα 3.5.2 Έλεγχος οπτικής ίνας

### **3.5.1 Συνολικός έλεγχος απωλειών (Loss Test Set)**

Στον συνολικό έλεγχο απωλειών προσφέρεται μια 'προαιρετική' πηγή φωτός και ένας μετρητής ισχύος για να έχουμε πιο ακριβείς μετρήσεις απωλειών λόγω ανοίγματος. Παρέχει ένα GUI που είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί, με χρήσιμα χαρακτηριστικά όπως ενδείξεις PASS/FAIL (επιτυχίας/αποτυχίας) που βασίζονται στις ρυθμίσεις του κατωφλίου που έχει ορίσει ο χρήστης και ένα πλήρως ρυθμιζόμενο πίνακα δεδομένων που υποστηρίζει πολλαπλά μήκη κύματος και αμφίδρομο averaging (τεχνική κατά την οποία, το ίδιο σήμα μεταδίδεται πολλές φορές και καταγράφεται η μέση τιμή του).



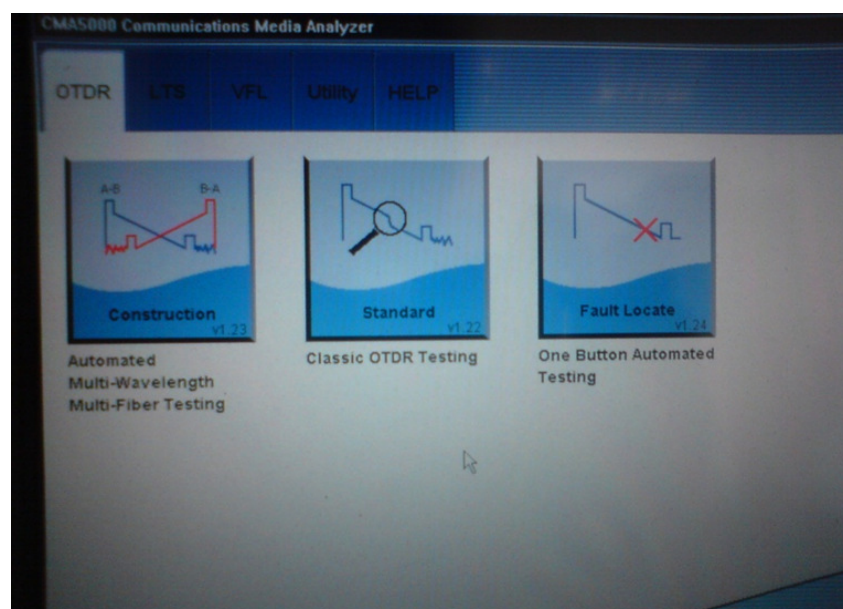
Σχήμα 3.5.3 Συνολικός έλεγχος απωλειών

### 3.6 Standard OTDR



Σχήμα 3.6.1 Module OTDR

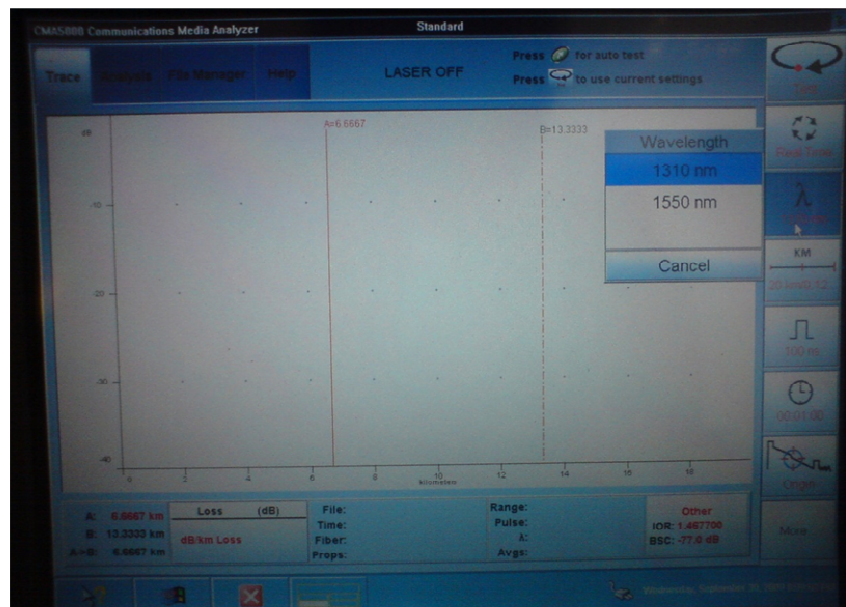
Επιλέγουμε το επιθυμητό module και μεταβαίνουμε στο παρακάτω μενού όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Σχήμα 3.6.2 Classic OTDR testing

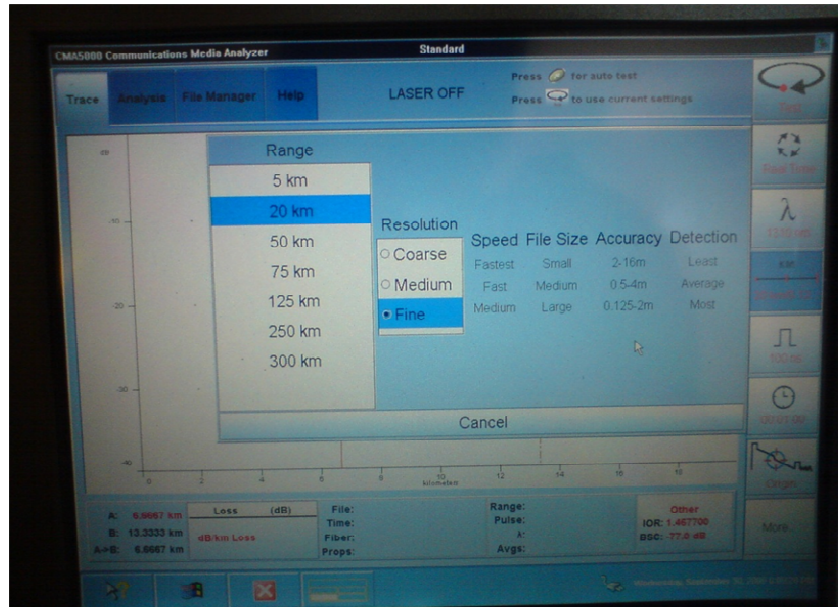
Στο μενού που εμφανίζεται επιλέγουμε Classic OTDR Testing και πιέζουμε την οθόνη αφής. Μέσω του standard OTDR μπορούμε να κάνουμε, ανάλογα με τις ανάγκες μερικές ή όλες τις ρυθμίσεις χειροκίνητα παρέχοντας τη δυνατότητα

βελτιστοποίησης των παραμέτρων [5]. 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.



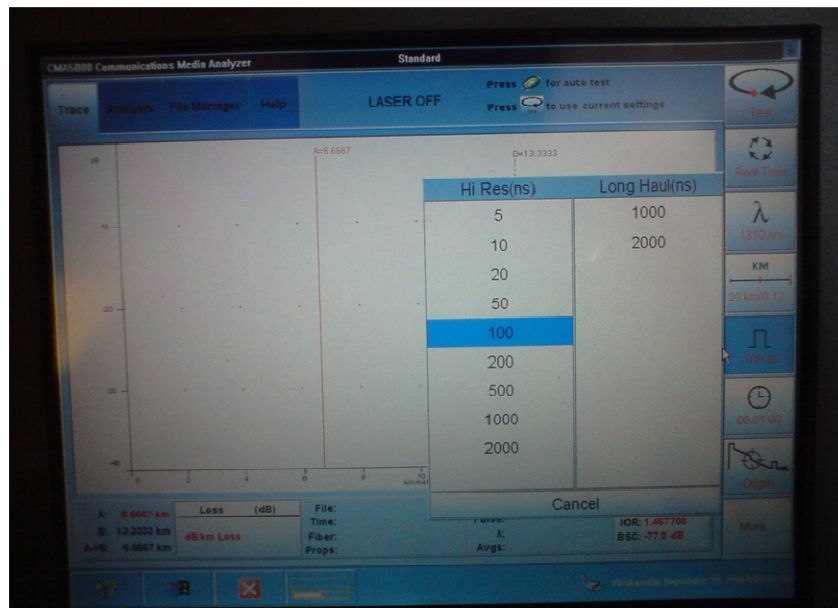
Σχήμα 3.6.3 Επιλογή μήκους κύματος.

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το μενού επιλογής για το μήκος κύματος.



Σχήμα 3.6.4 Εμβέλεια OTDR

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

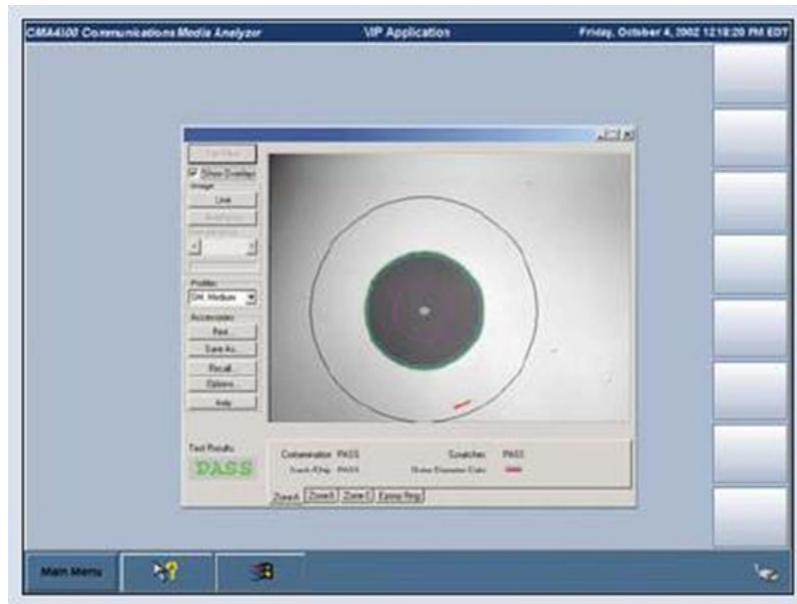


Σχήμα 3.6.5 Παλμός μηχανήματος

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

### **3.7 Τηλεοπτικός καθετήρας επιθεώρησης connector**

Έρευνες έδειξαν ότι το 75% της αποτυχίας για όλα τα οπτικά δίκτυα οφείλεται στο γεγονός της μη επαρκούς ποιότητας του συνδέσμου. Η εφαρμογή του τηλεοπτικού καθετήρα επιθεώρησης δίνουν τη δυνατότητα στο χειριστή να αναλύσει και να καταγράψει την κατάσταση του συνδέσμου (connector) με ασφάλεια και μεγάλη ευκολία. Ο τηλεοπτικός καθετήρας επιθεώρησης χρησιμοποιεί μία κάμερα 1/3” ίντσες για να μετατρέψει τις εικόνες του συνδέσμου σ’ ένα ψηφιακό σήμα το οποίο εμφανίζεται μετά στην οθόνη. Τις εικόνες του συνδέσμου μπορούμε να τις δούμε ή να τις αποθηκεύσουμε σε ποικίλους τύπους γραφικών αρχείων για να τις ξαναδούμε αργότερα ή να καταγράψουμε την ποιότητα του συνδέσμου. Ο τηλεοπτικός καθετήρας επιθεώρησης connector έχει διάφορους adapter διαθέσιμους ,ώστε να υπάρχει δυνατότητα να δούμε απευθείας το άκρο ενός καλωδίου patch καθώς και τα καλώδια που είναι ήδη συνδεδεμένα σ’ ένα patch panel. Με την εφαρμογή αυτή μπορούμε να αποφύγουμε πιθανούς τραυματισμούς των ματιών καθώς δεν χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε ειδικά μικροσκόπια για τους συνδέσμους και έτσι δεν έρχεται σε επαφή το ανθρώπινο μάτι με το σύνδεσμο.

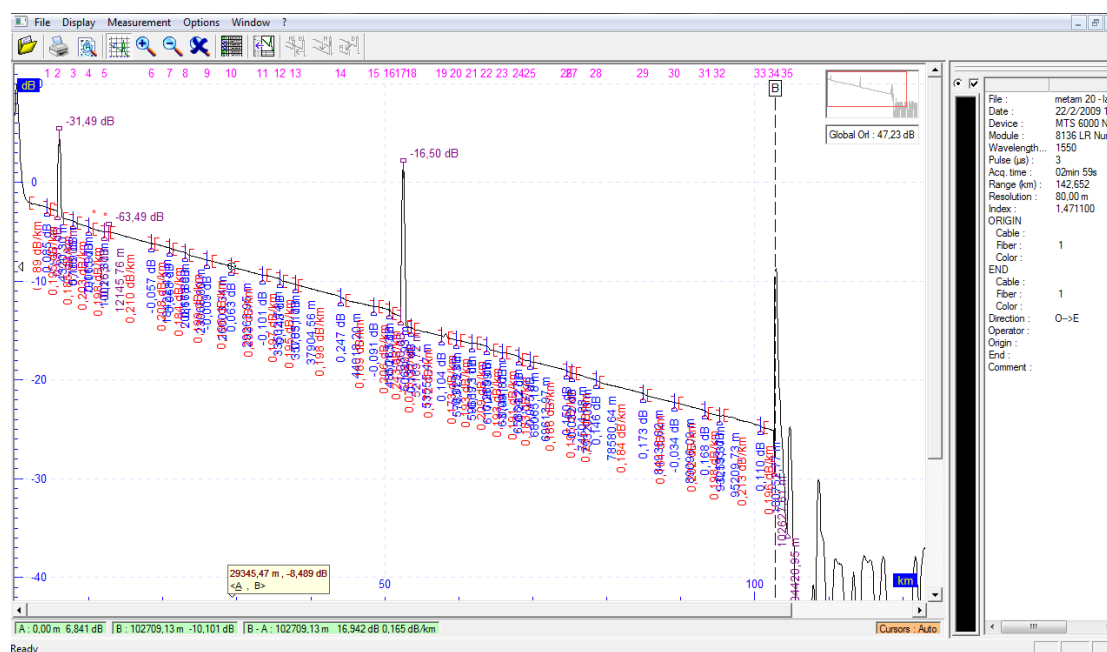


Σχήμα 3.7. Τηλεοπτικός καθετήρας επιθεώρησης connector

### 3.8 Μετρήσεις με τη χρήση OTDR

Με τη χρήση του OTDR πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω μετρήσεις σε διάφορους τύπους οπτικών ινών και διαφορετικών αποστάσεων.

#### Μέτρηση 1<sup>η</sup>



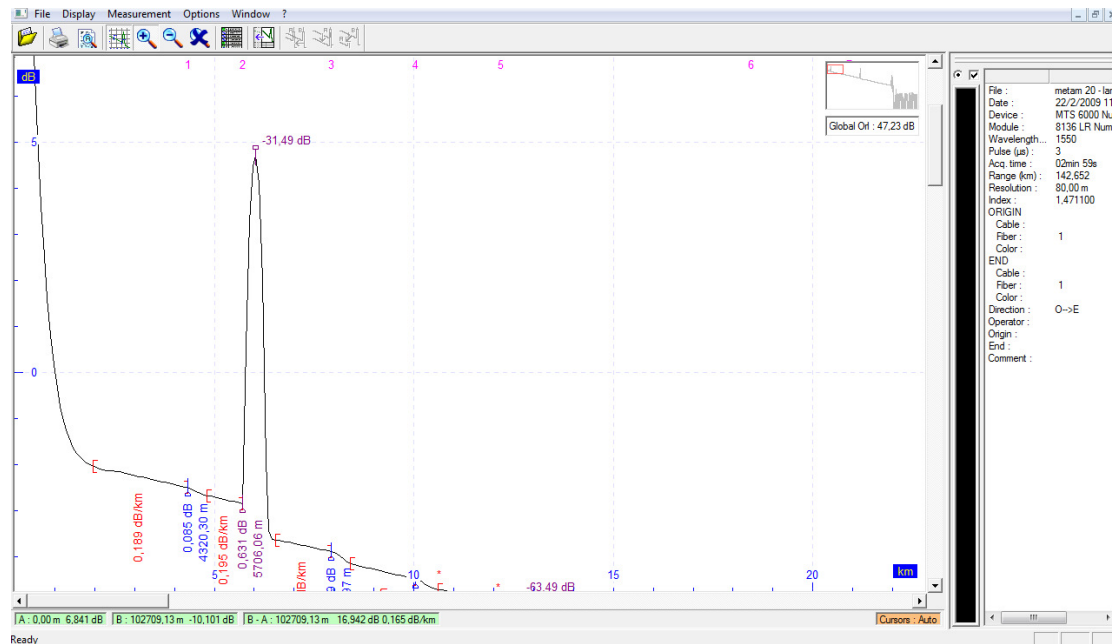
Σχήμα 3.8.1 Μέτρηση 1η

Από την γραφική παράσταση προκύπτει ότι το συνολικό μήκος της οπτικής ίνας είναι περίπου 102 Km. Από την μελέτη της παραπάνω μέτρησης μπορούμε να προβούμε στα εξής συμπεράσματα:

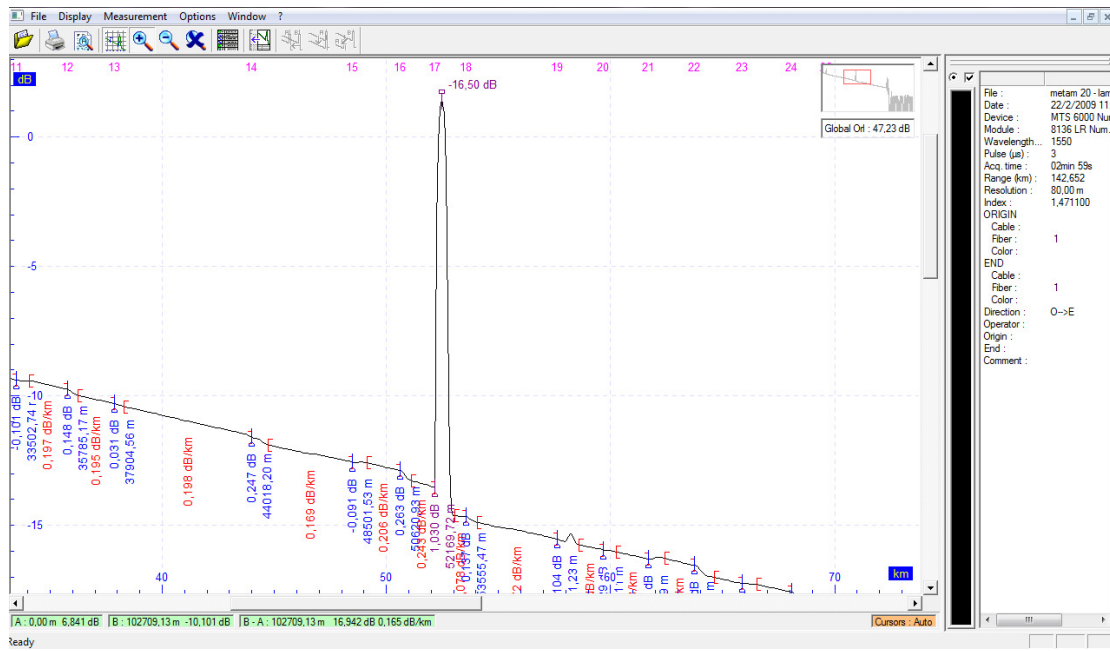
Η οπτική ίνα δεν παρουσιάζει σταθερή απώλεια σε όλο το μήκος της, αλλά ο συντελεστής απωλειών παρουσιάζει διαφορετικές τιμές σε διάφορα σημεία της οπτικής ίνας. Επίσης παρατηρούνται δύο κορυφές (peaks) στην αρχή και στο τέλος της οπτικής ζεύξης. Η πρώτη κορυφή στην αρχή της ζεύξης οφείλεται στην σύνδεση της οπτικής πηγής με την οπτική ίνα. Γενικότερα οι συνδέσεις σε ένα οπτικό δίκτυο εμφανίζονται ως ατέλειες, συμβάντα, γι αυτό και στην σύνδεση οπτικής πηγής – οπτικής ίνας το OTDR μετρά ένα γεγονός λόγω του ότι ένα ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπει το laser ανακλάται και ανιχνεύεται από το ODTR ως ατέλεια. Από το συγκεκριμένο peak και από την προέκταση της



γραφικής παράστασης της μέτρησης μπορεί να εκτιμηθεί η οπτική ισχύς που εισέρχεται εντός της ίνας, όπου για την συγκεκριμένη μέτρηση είναι -1 dB. Αντίστοιχα ερμηνεύεται και η εμφάνιση του τελευταίου peak στο τέλος της μετρήσεις το οποίο οφείλεται στην σύνδεση οπτικής ίνας οπτικού δέκτη. Τέλος, στην συγκεκριμένη μέτρηση εμφανίζονται ακόμα δύο γεγονότα (peaks), ένα στα 5706 m από την οπτική πηγή το οποίο παρουσιάζει εξασθένηση - 31,49 dB (Σχήμα 3.8.2) και το άλλο στα 52169 m με εξασθένηση -16,50 dB (Σχήμα 3.8.3), αντίστοιχα. Η ύπαρξη αυτών των δύο κορυφών μπορεί να οφείλεται στο ότι η οπτική ίνα στα συγκεκριμένα σημεία να έχει υποστεί κάποια συγκόλληση ή η οπτική ίνα στα συγκεκριμένα σημεία να έχει υποστεί κάποια μορφής θραύση ή κάποια μορφής κάμψη. Σε κάθε περίπτωση αν δεν είναι γνωστή η προέλευση των κορυφών θα πρέπει εξειδικευμένα συνεργία να ελέγξουν την ποιότητα της οπτικής ίνας στα συγκεκριμένα σημεία.

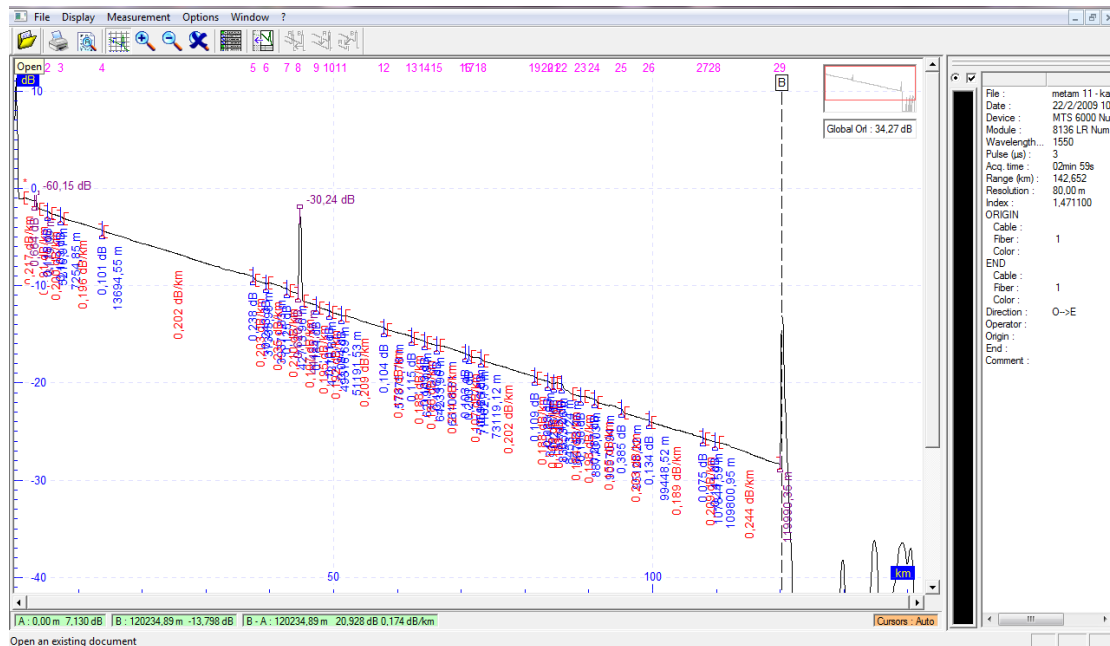


Σχήμα 3.8.2 Σε μεγέθυνση η κορυφή στα 5706 m η οποία παρουσιάζει εξασθένηση - 31,49 dB.



Σχήμα 3.8.3 Σε μεγέθυνση η κορυφή στα 52169 m η οποία παρουσιάζει εξασθένηση – 16,50 dB.

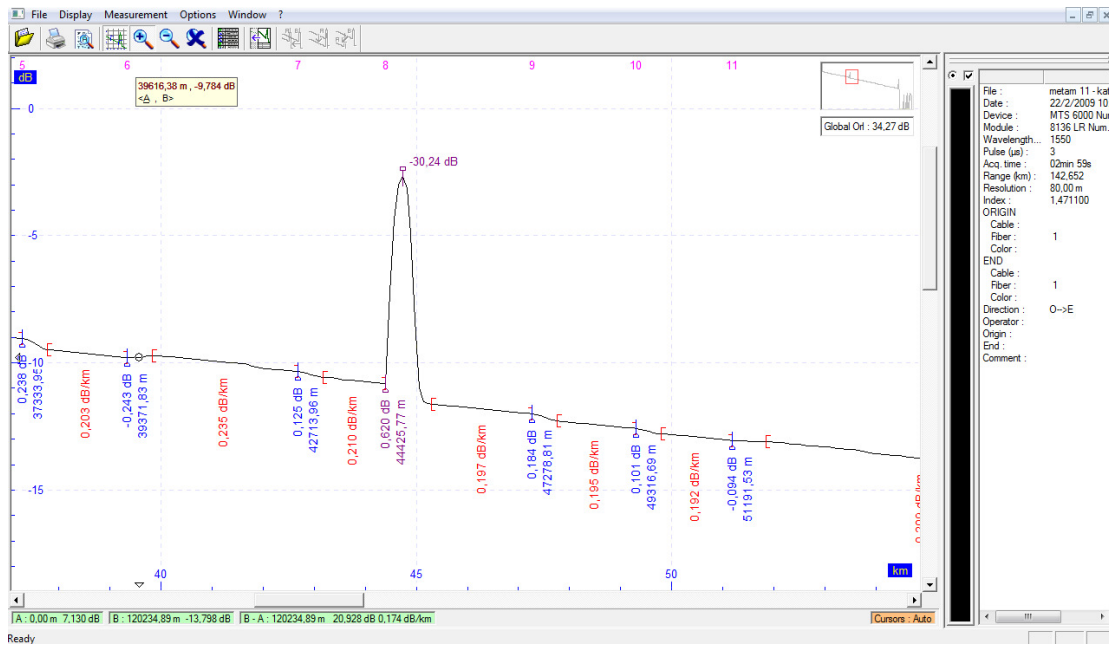
## Μέτρηση 2<sup>η</sup>



Σχήμα 3.8.4 Μέτρηση 2<sup>η</sup>

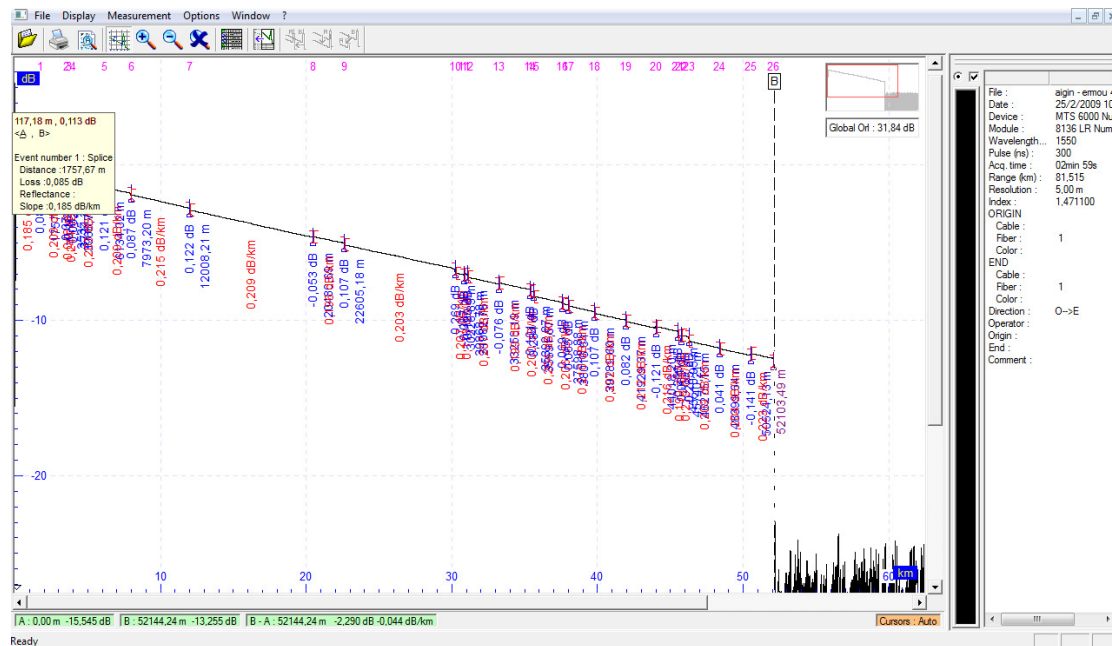
Από την γραφική παράσταση προκύπτει ότι το συνολικό μήκος της οπτικής ίνας είναι περίπου 111 Km. Από την μελέτη της παραπάνω μέτρησης μπορούμε να προβούμε στα εξής συμπεράσματα:

Η οπτική ίνα δεν παρουσιάζει σταθερή απώλεια σε όλο το μήκος της, αλλά ο συντελεστής απωλειών παρουσιάζει διαφορετικές τιμές σε διάφορα σημεία της οπτικής ίνας. Παρατηρούνται δύο κορυφές (peaks) στην αρχή και στο τέλος της οπτικής ζεύξης (βλέπε ερμηνεία στην πρώτη μέτρηση). Τέλος, στην συγκεκριμένη μέτρηση εμφανίζεται ακόμα ένα γεγονός (peak), στα 44425 m από την οπτική πηγή το οποίο παρουσιάζει εξασθένιση – 30,24 dB (Σχήμα 3.8.5). Η ύπαρξη αυτής της κορυφής μπορεί να οφείλεται (βλέπε ερμηνεία στην πρώτη μέτρηση).



Σχήμα 3.8.5 Σε μεγέθυνση η κορυφή στα 44425 m η οποία παρουσιάζει εξασθένηση – 30,24 dB.

## Μέτρηση 3<sup>η</sup>

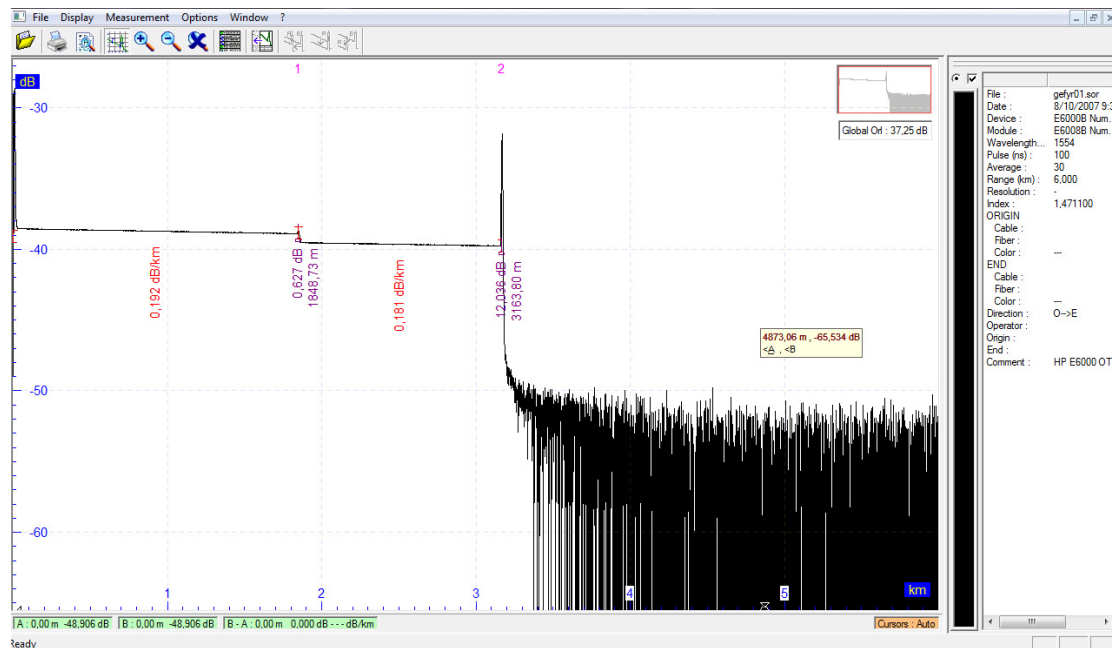


Σχήμα 3.8.6 Μέτρηση 3η

Από την γραφική παράσταση προκύπτει ότι το συνολικό μήκος της οπτικής ίνας είναι περίπου 52 Km. Από την μελέτη της παραπάνω μέτρησης μπορούμε να προβούμε στα εξής συμπεράσματα:

Η οπτική ίνα δεν παρουσιάζει σταθερή απώλεια σε όλο το μήκος της, αλλά ο συντελεστής απωλειών παρουσιάζει διαφορετικές τιμές σε διάφορα σημεία της οπτικής ίνας. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν και αρκετά μεγάλα κομμάτια στην οπτική ίνα τα οποία παρουσιάζουν σταθερό συντελεστή απωλειών όπως είναι το κομμάτι μεταξύ 10 – 20 Km.

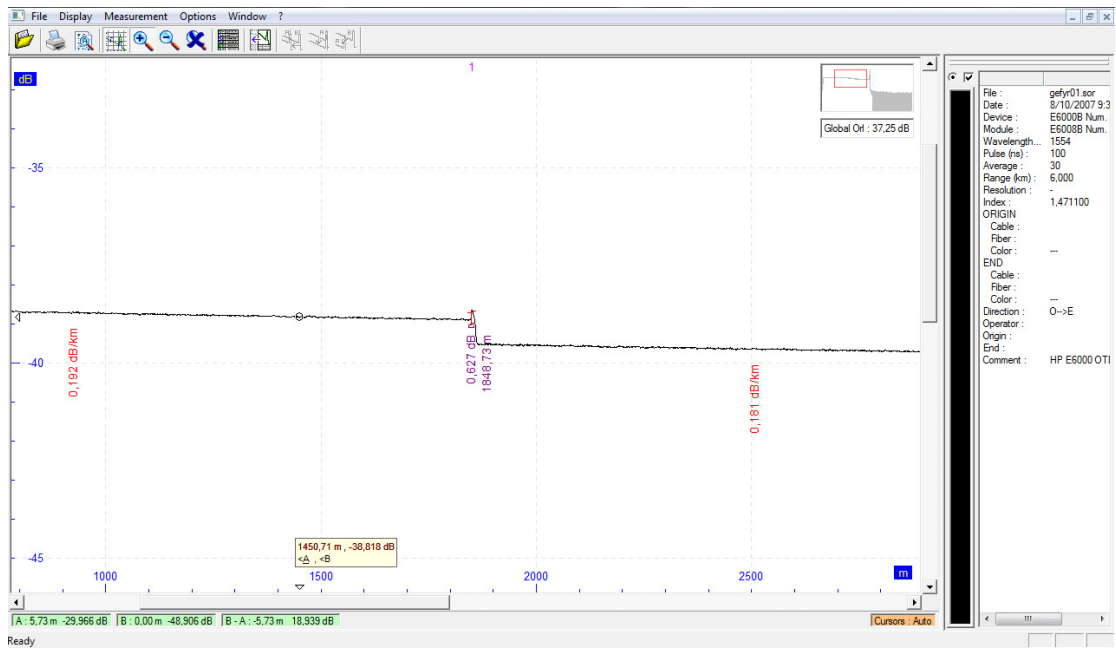
## Μέτρηση 4<sup>η</sup>



Σχήμα 3.8.7 Μέτρηση 4η

Από την γραφική παράσταση προκύπτει ότι το συνολικό μήκος της οπτικής ίνας είναι περίπου 3163 m. Από την μελέτη της παραπάνω μέτρησης μπορούμε να προβούμε στα εξής συμπεράσματα:

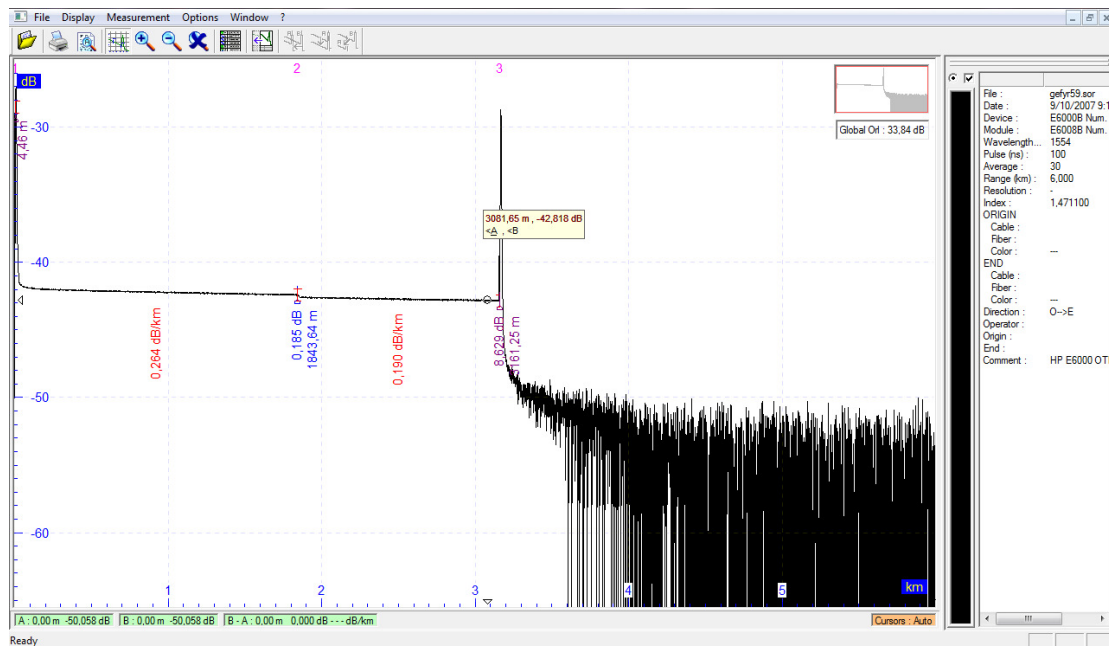
Η οπτική ίνα δεν παρουσιάζει σταθερή απώλεια σε όλο το μήκος της. Χωρίζεται θα λέγαμε σε δύο κομμάτια, ένα απο την αρχή της μέτρησης μέχρι 1848 m όπου παρουσιάζει σταθερό συντελεστή απωλειών 0,192 dB/Km και ένα δεύτερο απο τα 1848 m εως το τέλος της μέτρησης με συντελεστή απωλειών 0,181 dB/Km.



Σχήμα 3.8.8 Σχόλιο για την κορυφή

Επίσης παρατηρείται μία κορυφή (peak) στα 1848 m με εξασθένιση  $-0,627$  dB (Σχήμα 3.8.8). Το συγκεκριμένο << μικρό peak >> μπορεί να ερμηνευτεί ως μία μικρή ατέλεια ή μια πρόσμιξη στην οπτική ίνα (βλέπε ερμηνεία μέτρησης ένα) .

## Μέτρηση 5<sup>η</sup>

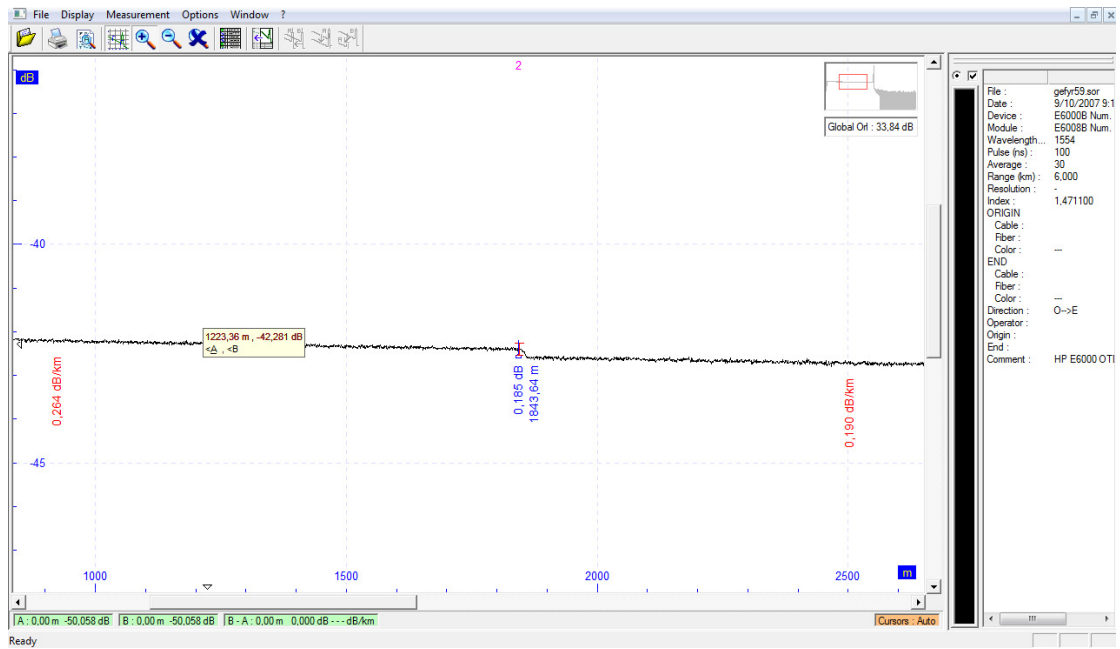


Σχήμα 3.8.9 Μέτρηση 5η

Από την γραφική παράσταση προκύπτει ότι το συνολικό μήκος της οπτικής ίνας είναι περίπου 161 m. Από την μελέτη της παραπάνω μέτρησης μπορούμε να προβούμε στα εξής συμπεράσματα:

Η οπτική ίνα δεν παρουσιάζει σταθερή απώλεια σε όλο το μήκος της. Χωρίζεται θα λέγαμε σε δύο κομμάτια, ένα απο την αρχή της μέτρησης μέχρι 1843 m όπου παρουσιάζει σταθερό συντελεστή απωλειών 0,264 dB/Km και ένα δεύτερο απο τα 1843 m εως το τέλος της μέτρησης με συντελεστή απωλειών 0,190 dB/Km.

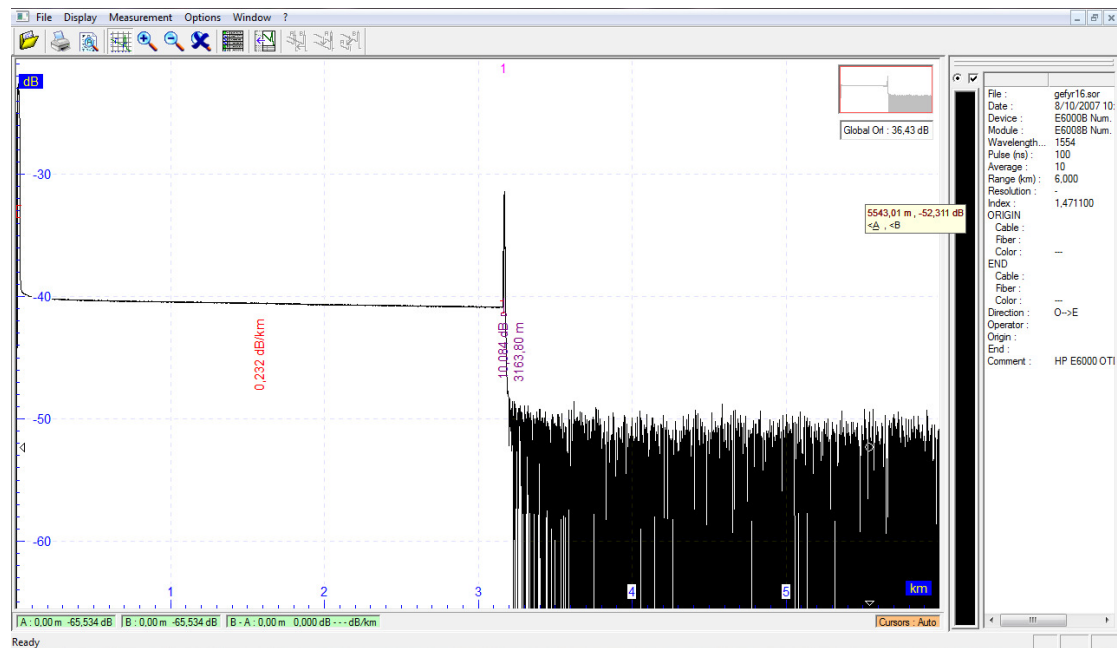




Σχήμα 3.8.10 Σχόλιο για την κορυφή

Επίσης παρατηρείται μία κορυφή (peak) στα 1843 m με εξασθένιση  $-0,185$  dB (Σχήμα 3.8.9). Το συγκεκριμένο << μικρό peak >> μπορεί να ερμηνευτεί ως μία μικρή ατέλεια ή μια πρόσμιξη στην οπτική ίνα (βλέπε ερμηνεία μέτρησης ένα) .

## Μέτρηση 6<sup>η</sup>

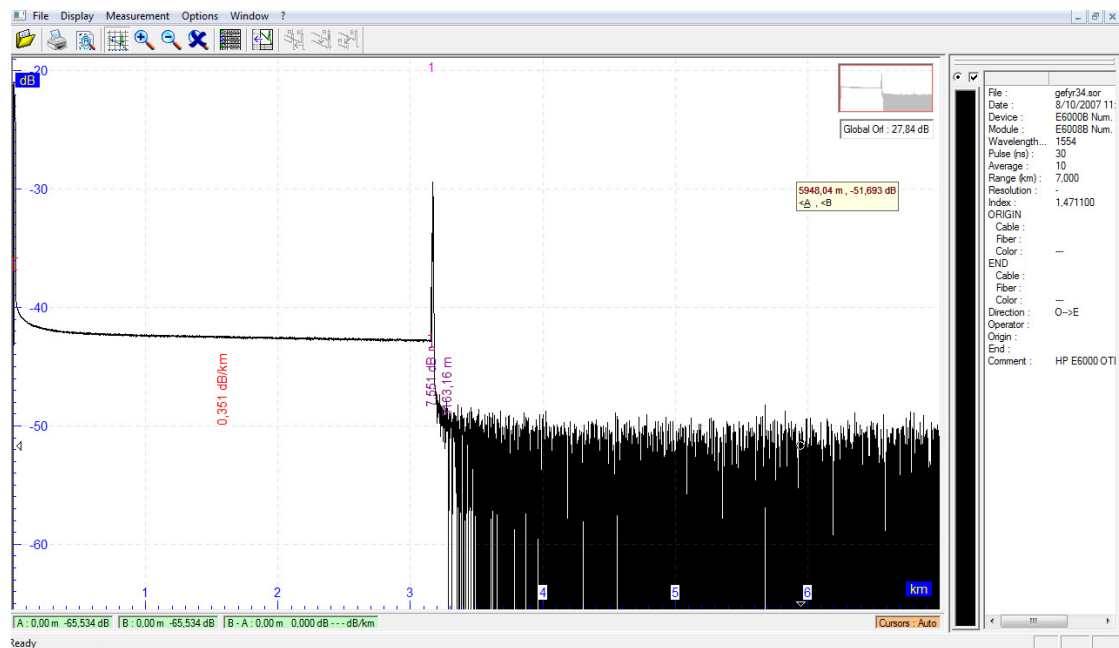


Σχήμα 3.8.11 Μέτρηση 6η

Από την γραφική παράσταση προκύπτει ότι το συνολικό μήκος της οπτικής ίνας είναι περίπου 3163 m. Από την μελέτη της παραπάνω μέτρησης μπορούμε να προβούμε στα εξής συμπεράσματα:

Η οπτική ίνα παρουσιάζει σταθερή απώλεια σε όλο το μήκος της. Πιο συγκεκριμένα ο συντελεστής απωλειών είναι 0,232 dB/Km. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η συγκεκριμένη ίνα παρουσιάζει την πιο ομαλή συμπεριφορά σε όσες μετρήσεις έχουμε δει έως τώρα.

## Μέτρηση 7<sup>η</sup>



Σχήμα 3.8.12 Μέτρηση 7η

Από την γραφική παράσταση προκύπτει ότι το συνολικό μήκος της οπτικής ίνας είναι περίπου 3163 m. Από την μελέτη της παραπάνω μέτρησης μπορούμε να προβούμε στα εξής συμπεράσματα:

Η οπτική ίνα παρουσιάζει σταθερή απώλεια σε όλο το μήκος της. Πιο συγκεκριμένα ο συντελεστής απωλειών είναι 0,351 dB/Km, βλέπε μέτρηση 6.

## Συμπεράσματα

Μέσα από όλη την διαδικασία για την υλοποίηση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας συμπεραίνουμε την αναγκαιότητα των οπτικών ινών στον σύγχρονο κόσμο. Τον τρόπο με τον οποίο εξελίσσονται ραγδαία και συμβάλουν στις όλο και υψηλότερες απαιτήσεις των καταναλωτών.

Όμως το πιο σημαντικό κομμάτι, το πειραματικό, μας βοήθησε να κατανοήσουμε τον τρόπο λειτουργίας των οπτικών ινών, την χρησιμότητα τους και τον τρόπο ελέγχου ενός δικτύου οπτικών ινών.

Η χρήση του εργαστηριακού εξοπλισμού ήταν πολύτιμη και συγκεκριμένα η χρήση του OTDR. Στο εργαστήριο χρησιμοποιήθηκαν διάφορων τύπων οπτικές ίνες, όπου η κάθε μια μέσα από ανακλάσεις Fresnel παρουσίασε διαφορετική και ενδιαφέρουσα συμπεριφορά. Οι οποίες είχαν διαφορετική προέλευση, όπως κάμψη της ίνας, εξασθένηση του οπτικού σήματος λόγω διασποράς ή σκέδασης.

Τέλος, το OTDR είναι ένα πολύ αξιόπιστο εργαλείο για τον έλεγχο αξιοπιστίας ενός οπτικού δικτύου και ευρέως γνωστό στις τηλεπικοινωνίες.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Α. Αναγνωστάκη Α Τα Βασικά Δομικά Στοιχεία Ανάπτυξης της Τεχνικής Πολυπλεξίας Διαίρεσης Μήκος Κύματος στις Οπτικές Επικοινωνίες [Βιβλίο]. - Λάρισα : Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, 2011.
2. Α. Τζιουμάκης Α Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος - Εφαρμογές σε Μητροπολιτικά Δίκτυα [Βιβλίο]. - Πειραιάς : Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, 2011.
3. Κ. Βλάχος Κ Οπτικά Δίκτυα [Βιβλίο]. - Πάτρα : Πανεπιστήμιο Πάτρας, 2009
4. Συστήματα επικοινωνιών με οπτικές ίνες Δίκτυα [Βιβλίο].-GOVIND P.AGRAWAL
5. Οπτικά Δίκτυα Επικοινωνιών[Σημειώσεις Εργαστηρίου]- Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων ΤΕΙ Μεσολογγίου
6. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ[βιβλίο]- Τ.Ε.Ι. ΣΕΡΡΩΝ Τμήμα Πληροφορικής & Επικοινωνιών 2011

### **References**

[http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/4078/3/kouloumentasch\\_signalprocessing.pdf](http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/4078/3/kouloumentasch_signalprocessing.pdf)

[http://www.photonics.ece.ntua.gr/Diafaneies\\_Susthmata\\_metadoshs/Systemata\\_Metadosis\\_kai%20Diktya\\_Optikwn\\_Inwn.pdf](http://www.photonics.ece.ntua.gr/Diafaneies_Susthmata_metadoshs/Systemata_Metadosis_kai%20Diktya_Optikwn_Inwn.pdf)

[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%AF%CE%BD%CE%B1](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%AF%CE%BD%CE%B1)

[http://3lyk-kalam.mes.sch.gr/opt\\_fiber\\_gr.htm](http://3lyk-kalam.mes.sch.gr/opt_fiber_gr.htm)

[http://www.teiser.gr/icd/staff/chilas/files/Lab\\_DI/FO\\_FOA\\_forSite.pdf](http://www.teiser.gr/icd/staff/chilas/files/Lab_DI/FO_FOA_forSite.pdf)

[http://www.photonics.ece.ntua.gr/Diafaneies\\_Susthmata\\_metadoshs/Systimata\\_Metadosis\\_kai%20Diktya\\_Optikwn\\_Inwn.pdf](http://www.photonics.ece.ntua.gr/Diafaneies_Susthmata_metadoshs/Systimata_Metadosis_kai%20Diktya_Optikwn_Inwn.pdf)

## Ευρετήριο Εικόνων

1.1 Διάφορες οπτικές ίνες.....	8
1.2 Δομή οπτικής ίνας.....	10
1.3.1 Δομή καλωδίου Tight Buffer.....	13
1.3.2 Δομή καλωδίου Loose Buffer.....	14
1.3.3 Διάδοση φωτός σε πολύτροπη και μονότροπη οπτική ίνα.....	15
1.3.4 Ίνα διακριτού βήματος (step index).....	16
1.3.5 Ίνα βαθμιαίου βήματος (graded index).....	16
1.4 Μονότροπη και πολύτροπη οπτική ίνα.....	19
2.1.1 Splicer, όργανο συγκόλλησης οπτικών ινών.....	25
2.1.2 Εσωτερικό Splicer.....	25
2.1.3 Μέθοδος micro trencher.....	27
2.1.4 Φρεάτιο οπτικών ινών.....	28
2.1.5 Κόμβος διανομής.....	32
2.4.1 eye diagram.....	46
2.4.2 Παράμετροι του διαγράμματος ματιού.....	46
2.4.3 Optical power meter.....	49
3.1.1 Φορητή συσκευή OTDR.....	51
3.1.2 Διάγραμμα λειτουργίας OTDR.....	52
3.1.3 Πρότυπο μέτρησης OTDR.....	53
3.1.4 Μέτρηση ισχύος.....	54
3.2.1 Νεκρή ζώνη.....	56
3.3 CMA5000.....	59

3.4.1	System status of OTDR.....	61
3.4.2	Κατασκευή OTDR.....	62
3.4.3	Παράμετροι OTDR.....	62
3.4.4	Παράμετροι OTDR.....	63
3.4.5	Παράμετροι OTDR.....	63
3.4.6	Παράμετροι OTDR.....	64
3.4.7	Έλεγχος συνδέσμων.....	64
3.5.1	Επιλογή test OTDR.....	65
3.5.2	Έλεγχος οπτικής ίνας.....	66
3.5.3	Συνολικός έλεγχος απωλειών.....	67
3.6.1	Module OTDR.....	68
3.6.2	Classic OTDR testing.....	68
3.6.3	Επιλογή μήκους κύματος.....	69
3.6.4	Εμβέλεια OTDR.....	70
3.6.5	Παλμός μηχανήματος.....	70
3.7	Τηλεοπτικός καθετήρας επιθεώρησης connector.....	71
3.8.1	Μέτρηση1.....	72
3.8.2	Μεγέθυνση κορυφής.....	73
3.8.3	Μεγέθυνση κορυφής.....	74
3.8.4	Μέτρηση2.....	75
3.8.5	Μεγέθυνση κορυφής.....	76
3.8.6	Μέτρηση3.....	77
3.8.7	Μέτρηση4.....	78



<b>3.8.8</b> Σχόλιο για την κορυφή.....	79
<b>3.8.9</b> Μέτρηση5.....	80
<b>3.8.10</b> Σχόλιο για την κορυφή.....	81
<b>3.8.11</b> Μέτρηση6.....	82
<b>3.8.12</b> Μέτρηση7.....	83