

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΜΕΣΣΟΛΟΓΓΙΟΥ

**ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ**



Π Τ Υ Χ Ι Α Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α

Fiber To The Home (FTTH) -

Μετρήσεις Οπτικών Ινών με μηχανήμα OTDR σε κατακεμητή οπτικού δικτύου

**ΑΒΡΑΜΙΔΗ ΚΩΝ. ΜΑΡΙΑΝΝΑ
ΛΑΘΟΥΡΑΣ ΓΕΩΡ. ΜΙΛΤΙΑΔΗΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ
ΛΟΥΒΡΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ Επίκουρος Καθηγητής**

Ν Α Υ Π Α Κ Τ Ο Σ 2 0 1 2

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Ναύπακτος .../...../2013

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

- 1.
- 2.
- 3.

*Ευχαριστούμε την εταιρεία τηλεπικοινωνιών
“OptiConnect”*

Και συγκεκριμένα τους:

*Βασίλης Σπανουδάκης-Πρόεδρος
Διονύσης Γαλάτης-Διευθύνων Σύμβουλος
Γεώργιος Ψωμαδέλλης-Τμήμα Προμηθειών
και το τεχνικό προσωπικό
για την πολύτιμη βοήθειά τους.*

*Ευχαριστούμε επίσης, τον επίκουρο καθηγητή
Σπυρίδωνα Λούβρο,
για την επίλυση προβλημάτων κατά την
εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας.*

ABSTRACT

This project provides an overview of the basic principles of transmission of optical information, it examines how to install an optical network and the termination of the optical fiber to the home (FTTH).

Finally, actual measurements are presented with OTDR (Optical Time Domain Reflectometer), which checks the quality of the already installed optical fibers or of those which are about to be installed.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται επισκόπηση των βασικών αρχών μετάδοσης οπτικής πληροφορίας, μελετώνται ο τρόπος εγκατάστασης ενός οπτικού δικτύου και ο τερματισμός της οπτικής ίνας μέχρι το σπίτι (FTTH).

Τέλος, παρουσιάζονται πραγματικές μετρήσεις με το OTDR (Optical Time Domain Reflectometer), το οποίο ελέγχει την ποιότητα των εγκατεστημένων ή προς εγκατάσταση οπτικών ινών.

Περιεχόμενα

1. ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ	10
1.1 Οπτική επικοινωνία	10
1.2 Δομή Οπτικής Ίνας	10
1.3 Κατασκευή Οπτικής Ίνας	11
1.4 Τρόποι μετάδοσης φωτός στις οπτικές ίνες	12
1.4.1 Μονότροπες οπτικές ίνες (Single mode fiber optics)	12
1.4.2 Πολύτροπες Ίνες (Multi mode fiber optics)	13
1.5 Είδη πολύτροπων οπτικών ινών	13
1.5.1 Πολύτροπη ίνα με βηματικό προφίλ δείκτη (Multi – mode step index)	13
1.5.2 Πολύτροπη ίνα με βαθμιαίο προφίλ δείκτη (Multi – mode graded index)	13
1.6 Τύποι πολύτροπων οπτικών ινών	14
1.7 Αρχή λειτουργίας οπτικών ινών	15
1.7.1 Ανάκλαση και διάθλαση σε μια διαχωριστική επιφάνεια	15
1.7.2 Σύζευξη φωτός στην οπτική ίνα	18
1.8 Απώλειες Οπτικών ινών	20
1.9 Πλεονεκτήματα Οπτικών Ινών	23
1.10 Μειονεκτήματα Οπτικών Ινών	24
2. ΟΠΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	25
2.1 Οπτικό σύστημα επικοινωνίας	25
2.2 Στοιχεία οπτικού δικτύου	26
2.2.1 Πομπός	26
2.2.2 Πηγές φωτός	26
2.2.2.1 Laser	26
2.2.2.2 Led	27
2.2.3 Οπτικοί Ανιχνευτές/Δέκτες	28
2.2.4 Οπτικοί Ενισχυτές	29
2.2.6 Οπτικοί Πολυπλέκτες-Αποπολυπλέκτες	29
2.2.7 Κάρτες Δικτύου	30
2.3 Οπτικό Δίκτυο	30
2.3.1 Κύριος κόμβος	30

2.3.2 Κόμβος Διανομής	30
2.3.3 Κόμβος Πρόσβασης	31
2.3.4 Τελικός Χρήστης	31
2.3.5 Κύριο Δίκτυο	31
2.3.6 Δίκτυο Διανομής	31
2.3.7 Δίκτυο Πρόσβασης	31
3. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΟΠΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	33
3.1 Οπτική Υποδομή	33
3.1.1 Απαιτήσεις για το κύριο δίκτυο	33
3.1.2 Απαιτήσεις για το δίκτυο διανομής	33
3.1.3 Απαιτήσεις για το δίκτυο πρόσβασης	34
3.1.4 Απαιτήσεις για το δίκτυο συγκέντρωσης (τελικών χρηστών)	34
3.1.5 Κύριος κόμβος	34
3.1.6 Κόμβος διανομής	35
3.1.7 Κόμβος Πρόσβασης	36
3.1.8 Τελικός Χρήστης	37
3.2 Υλικά εγκατάστασης οπτικού δικτύου	38
3.2.1 Μόνιμοι σύνδεσμοι (splicers)	38
3.2.1.1 Ένωση με τη μέθοδο της σύντηξης (Fusion splicing)	38
3.2.1.2 Μηχανική ένωση	40
3.2.2 Καλώδια οπτικών ινών	40
3.2.2.1 Βασικοί σχεδιασμοί καλωδίων	40
3.2.2.2 Κοινά στοιχεία κατασκευής καλωδίων εξωτερικού/εσωτερικού χώρου (με μονότροπες ή πολύτροπες οπτικές ίνες)	42
3.2.2.3 Διαφορές κατασκευής καλωδίων εξωτερικού/εσωτερικού χώρου (με μονότροπες ή πολύτροπες οπτικές ίνες)	42
3.2.2.3.1 Καλώδια εσωτερικού χώρου	42
3.2.2.3.2 Καλώδια εξωτερικού χώρου	43
3.2.3 Φρεάτια	46
3.2.4 Σωληνώσεις	49
3.2.4.1 Τρόποι υποδομής σωληνώσεων:	49
3.2.4.1.1 Συμβατική Υποδομή με Σωλήνες	50
3.2.4.1.2 Χρήση συστοιχιών μικροσωληνώσεων	52
3.2.4.2 Τύποι μικροσωληνών	52
3.2.5 Συνδετήρες – Διακλαδωτήρες μικρο-σωληνώσεων	54
3.2.6 Χάνδακες (trenches)	55
3.2.6.1 Τύποι Χάνδακα	55
3.2.6.2 Μέθοδοι κατασκευής χάνδακα	59
3.2.7 Μέθοδοι Εγκατάστασης Καλωδίων	61
3.2.7.1 Εγκατάσταση καλωδίου στον σωλήνα με έλξη	61
3.2.7.2 Εγκατάσταση καλωδίου στον σωλήνα με εμφύσηση	62
3.2.7.3 Εγκατάσταση καλωδίου στον σωλήνα με επίπλευση	62
3.2.7.4 Εναέρια όδευση	63
3.2.8 Διατάξεις συγκόλλησης ινών σε εξωτερικό χώρο (μούφες)	64
3.2.9 Σύνδεσμοι (optical fiber connectors)	66

3.2.10	Ικριώματα Οπτικής Διανομής και Τερματισμού (Fiber Distribution Frames - FDF)	68
3.2.11	Οπτικοί κατανεμητές (Optical Distribution Frames - ODF)	69
3.2.12	Εξωτερικοί Οικίσκοι	72
3.2.13	Indoor/outdoor termination box	72
3.2.14	Μεταγωγείς Ethernet (Ethernet Switches)	73
3.2.14.1	Μεταγωγείς Χρηστών	73
3.2.14.2	Κεντρικοί Μεταγωγείς και Μεταγωγείς Πρόσβασης (Μεταγωγοί Παρόχου)	73
3.3	Σχεδιασμός Ελέγχου Εργοταξίου και λειτουργίας εγκατάστασης	74
3.3.1	Κατασκευή, Εξοπλισμός και Σχεδιασμός	74
3.3.2	Καλωδίωση Σωλήνων και Μικροσωλήνων	75
3.3.3	Καλώδιο Άμεσου Ενταφιασμού	75
3.3.4	Πλαίσιο Λειτουργίας και Συντήρησης υποδομής Δικτύου	76
4.	FTTX-FTTH (FIBER TO THE HOME)	77
4.1	Δίκτυα FTTx	77
4.1.1	Διαφορές των τεχνολογιών FTTx	77
4.2	Fiber to the Home-FTTH	78
4.2.1	Η εξέλιξη του FTTH	78
4.2.2	Λειτουργία FTTH	79
4.2.3	Πλεονεκτήματα FTTH	80
4.2.4	Στοιχεία που συνθέτουν το FTTH	80
4.3	Αρχιτεκτονικές FTTH	81
4.3.1	Point-to-point (σημείο-προς-σημείο)	81
4.3.2	Point-to-multipoint (σημείο-προς-πολλαπλά σημεία)	82
4.3.2.1	Πρότυπα PON	83
4.4	Είσοδος Οπτικής ίνας στο Σπίτι	84
4.4.1	Είσοδος σε μονοκατοικία	84
4.4.2	Είσοδος σε πολυκατοικία	87
4.4.2.1	Πρώτη περίπτωση εισόδου σε πολυκατοικία	87
4.4.2.2	Δεύτερη περίπτωση εισόδου σε πολυκατοικία	88
4.4.3	Εσωτερική Καλωδίωση	90
4.4.4	Εγκατάσταση ινών στα κτίρια	91
4.4.5	Ενδεικτικές διαδρομές και στοιχεία εγκατάστασης από τον κόμβο στην κατοικία	92
4.4.5.1	Πρώτος ενδεικτικός τρόπος	92
4.4.5.2	Δεύτερος ενδεικτικός τρόπος	93
4.5	Πλαίσιο Σχεδιασμού Λειτουργίας & Συντήρησης Υποδομής Δικτύου FTTH	94
5.	OTDR	96
5.1	Τι είναι το OTDR	96
5.2	Αρχή Λειτουργίας OTDR	96

5.3 Χαρακτηριστικά OTDR	98
5.3.1 Ανάκλαση	98
5.3.2 Υπολογισμός απόστασης	99
5.3.3 Νεκρή ζώνη	99
5.3.3.1 Νεκρή ζώνη γεγονόςτος	100
5.3.3.2 Νεκρή ζώνη εξασθένισης	100
5.3.3.3 Η σημαντικότητα της νεκρής ζώνης	101
5.3.4 Δυναμική περιοχή	101
5.3.5 Μήκος παλμού	102
5.3.6 Δειγματοληψία	104
5.3.7 Οθόνη	105
5.4 Θέτοντας σε λειτουργία το OTDR-Start up	107
5.4.1 Κάρτες OTDR (Modules)	109
5.4.2 Applications	110
5.4.2.1 Automatic OTDR	110
5.4.2.3 Advanced Mode OTDR	110
5.4.3 Ρυθμίσεις του OTDR	111
5.4.3.1 General Tab	111
5.4.3.2 Acquisition Tab	112
5.4.3.3 Analysis Tab	113
5.4.3.4 Event table Tab	114
5.5 Παρουσίαση δικτύου	115
5.5.1 Events	115
5.5.2 Παρουσίαση παραμέτρων	116
5.6 Εντοπισμός σφαλμάτων της ίνας	118
6. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΟ OTDR	119
6.1 Μετρήσεις καλών ινών	119
6.1.1 Μέτρηση καλής ίνας χρησιμοποιώντας βρόχο	119
6.1.2 Αμφίδρομη μέτρηση	129
6.2 Μετρήσεις προβληματικών ινών	132
6.2.1 Κακή διευθέτηση/χτύπημα μικρό στην ίνα	132
6.2.2 Κακή κόλληση ίνας	134
6.2.3 Μεγάλο χτύπημα/Τσάκισμα στην ίνα	136
6.2.4 Κομμένη ίνα	138
7. ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	139
8. ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	142
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ/ΑΝΑΦΟΡΕΣ	143

1. ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

1.1 Οπτική επικοινωνία

Τα τελευταία χρόνια κυριαρχεί στην ενσύρματη μεταφορά πληροφορίας, η τεχνολογία των Οπτικών Επικοινωνιών. Τα οπτικά συστήματα επικοινωνίας, που σε σχέση με τα συμβατικά χρησιμοποιούν ως φορέα «φως» ορατό ή μη (οπτική ζώνη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με μήκη κύματος από 0.4 μm έως 3 μm). Ως μέσο μεταφοράς της πληροφορίας αντί των κλασσικών χάλκινων γραμμών μεταφοράς, χρησιμοποιούνται πολύ λεπτές ίνες από γυαλί.

Οι οπτικές ίνες είναι τα πλέον κατάλληλα μέσα για την οδήγηση της οπτικής δέσμης που μεταφέρει την πληροφορία σε ψηφιακή μορφή. Είναι καθολικά αποδεκτό ότι χωρίς την οπτική ίνα δεν θα υπήρχαν οι οπτικές επικοινωνίες, ενώ ακόμη και σήμερα τα υπάρχοντα οπτικά συστήματα δεν αξιοποιούν πλήρως τις δυνατότητές της.

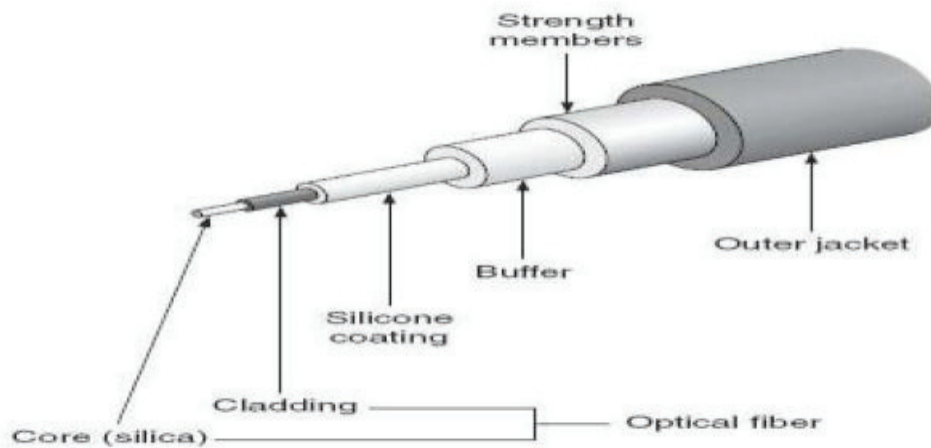
1.2 Δομή Οπτικής Ίνας

Οι οπτικές ίνες αποτελούνται από πολύ λεπτές υαλώδεις ίνες, και διαθέτουν ικανότητα εκπομπής ίση με τα 2/3 της ταχύτητας του φωτός στο κενό. Το σήμα μεταφέρεται μέσα από τον πυρήνα-κεντρική ίνα (core), υπό τη μορφή παλμών φωτός. Ο πυρήνας περιβάλλεται από την επίστρωση (cladding). Την επίστρωση περιβάλλει πλαστικός μανδύας γνωστός ως περίβλημα και δέσμη συνθετικών ινών, οι οποίες έχουν στόχο την προστασία της ίνας κατά την εγκατάσταση, όπου είναι επικίνδυνο να σπάσει το γυαλί. Όλα τα παραπάνω περικλείονται σε εξωτερικό πλαστικό μανδύα όμοιο με αυτό των καλωδίων συνεστραμμένων ζευγών.

Αναλυτικότερα:

- **Πυρήνας (core):** Η δέσμη των οπτικών ινών, που αναλαμβάνουν τη μετάδοση των φωτεινών σημάτων. Βρίσκεται τοποθετημένη ακριβώς στο κέντρο του καλωδίου. Η διάμετρος του κυμαίνεται από 9 μm έως 100 μm στις ίνες που χρησιμοποιούνται περισσότερο.
- **Μανδύας (Cladding):** Είναι το υλικό που αντανακλά εσωτερικά το φως, εκμηδενίζοντας παράλληλα το ποσοστό διαφυγής του στο εξωτερικό του καλωδίου. Περιβάλλει πλήρως την περιοχή του πυρήνα και τυπικά έχει διάμετρο 125 μm ή 140 μm .
- **Silicone coating:** Χρησιμεύει για να ξεχωρίζουμε τις ίνες, όταν είναι πολλές σε ένα καλώδιο. Κάθε ίνα έχει διαφορετικό χρώμα.
- **Προστατευτική επικάλυψη (Buffer) :** Το cladding περιβάλλεται από ένα buffer υλικό το οποίο συχνά είναι πλαστικό. Αυτό το υλικό βοηθάει στην προστασία του πυρήνα και του cladding από πιθανές ζημιές.
- **Τα ανθεκτικά μέλη (strength members):** Προστατεύουν το καλώδιο από κακομεταχείριση, όπως για παράδειγμα απότομο τράβηγμα. Το υλικό που συχνά χρησιμοποιείται εδώ είναι το Kevlar που επίσης χρησιμοποιείται και στην παραγωγή των αλεξίσφαιρων γιλέκων.
- **Μια εξωτερική προστασία (outer jacket):** Είναι το περίβλημα του καλωδίου που προστατεύει την ίνα από γδαρσίματα, διαλυτικές ουσίες και από άλλες επικίνδυνες καταστάσεις. Συνήθως η εξωτερική προστασία έχει πορτοκαλί χρώμα.

Το φως συγκρατείται στον πυρήνα λόγω του φαινομένου της ολικής ανάκλασης στη διεπιφάνεια πυρήνα-μανδύα. Το κύμα (φως) κυματοδηγείται με συγκεκριμένες εγκάρσιες κατανομές (ρυθμοί). Ο αριθμός τους εξαρτάται από τη συχνότητα του κύματος και τις φυσικές παραμέτρους της ίνας.



Σχήμα 1.1: Δομή Οπτικής Ίνας

Το εξωτερικό περίβλημα (είτε είναι buffer, είτε jacket) είναι συχνά χρωματισμένο έτσι ώστε να υποδεικνύει τον τύπο της οπτικής ίνας.

Buffer/jacket color	Meaning
Yellow	single-mode optical fiber
Orange	multi-mode optical fiber
Aqua	10 gig laser-optimized 50/125 micrometer multi-mode optical fiber
Grey	outdated color code for multi-mode optical fiber
Blue	Sometimes used to designate polarization-maintaining optical fiber

Πίνακας 1.1: Χρωματισμοί εξωτερικού περιβλήματος

1.3 Κατασκευή Οπτικής Ίνας

Μπορεί μεν οι οπτικές ίνες να δημιουργούνται από γυαλί, θα πρέπει να τονιστεί όμως ότι το γυαλί αυτό δεν μπορεί να συγκριθεί, ως προς την καθαρότητά του, με το κοινό γυαλί που συναντάμε σε διάφορα αντικείμενα γύρω μας.

Η φύση των δεδομένων που μεταδίδονται, καθώς και οι μεγάλες αποστάσεις που καλύπτουν τα καλώδια αυτά, απαιτούν το υλικό κατασκευής τους να είναι απολύτως διαφανές. Φυσικά αυτό δεν είναι εφικτό σε ποσοστό 100% και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η ισχύς του φωτεινού σήματος μειώνεται σταδιακά.

Η δημιουργία μιας οπτικής ίνας πραγματοποιείται σε τρία βήματα, που είναι ο σχηματισμός ενός αρχικού υάλινου κυλίνδρου, η τομή των ινών από τον κύλινδρο αυτό, καθώς και η δοκιμή για την αντοχή τους, αλλά και για την σωστή λειτουργία τους.

Στο πρώτο στάδιο, γίνονται όλες οι απαραίτητες χημικές διαδικασίες για τον σχηματισμό του καθαρού γυαλιού, ενώ ειδικός εξοπλισμός αναλαμβάνει να απομακρύνει από τον υάλινο κύλινδρο όλα τα ξένα σώματα, που θα είχαν ως αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης της οπτικής ίνας. Πρόκειται για το κυριότερο βήμα για τη δημιουργία των οπτικών ινών.

Αφού δημιουργηθεί ο αρχικός κύλινδρος, στη συνέχεια τοποθετείται σε μια συσκευή η οποία έχει το σχήμα πύργου και αναλαμβάνει τη δημιουργία των μικροσκοπικών ινών. Ο πύργος αυτός λιώνει το γυαλί σε θερμοκρασία περίπου 2.300 βαθμών Κελσίου και στη συνέχεια αυτό ρέει κατακόρυφα από μικρές οπές, οπότε και ψύχεται σταδιακά, ώστε να πάρει την τελική μορφή οπτικής ίνας. Ειδικοί μηχανισμοί ελέγχουν τον σωστό της σχηματισμό, ενώ εξασφαλίζουν ότι η διάμετρός της δεν θα ξεπεράσει το φυσιολογικό όριο. Στο κάτω μέρος του πύργου, συναντάμε μια τροχαλία που αναλαμβάνει την περιέλιξη της οπτικής ίνας σε κυλίνδρους.

Στο τελικό στάδιο, η οπτική ίνα περνά από ένα σύνολο ελέγχων που εξασφαλίζουν ότι είναι σε θέση να διατεθεί προς χρήση, χωρίς να προξενήσουν τυχόν προβλήματα κατά τη χρήση της. Στα τεστ αυτά περιλαμβάνεται ο έλεγχος αντοχής κατά ενδεχόμενης θραύσης, το σωστό της σχήμα αλλά και η μέτρηση της διαφάνειας, καθώς από αυτή εξαρτάται η σωστή μετάδοση του φωτεινού σήματος.

Καταγράφεται επίσης η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, η συμπεριφορά της οπτικής ίνας στα διάφορα μήκη κύματος (χρώματα) του φωτός που μεταδίδει, καθώς και οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος στις οποίες δύναται αυτή να λειτουργήσει σωστά.

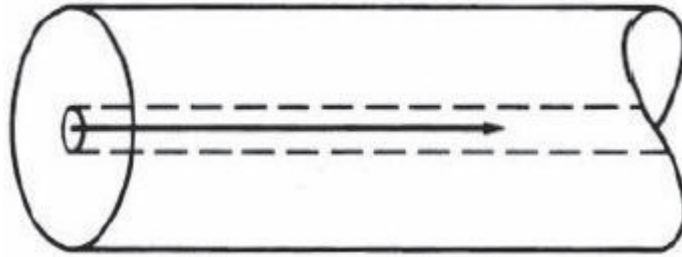
Όταν όλοι αυτοί οι έλεγχοι ολοκληρωθούν επιτυχώς, η οπτική ίνα πλέον διατίθεται στο εμπόριο για χρήση από τις εταιρείες παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.

Η βασική χημική αντίδραση από την οποία παράγεται το οπτικό γυαλί είναι:
 $\text{SiCl}_4 (\text{gas}) + \text{O}_2 (\text{SiO}_2 (\text{solid})) + 2\text{Cl}_2 (\text{Υψηλή θερμοκρασία})$
 $\text{GeCl}_4 (\text{gas}) + \text{O}_2 (\text{GeO}_2 (\text{solid})) + 2\text{Cl}_2 (\text{Υψηλή θερμοκρασία})$ στον πυρήνα.

1.4 Τρόποι μετάδοσης φωτός στις οπτικές ίνες

1.4.1 Μονότροπες οπτικές ίνες (Single mode fiber optics)

Στις μονότροπες οπτικές ίνες η διάμετρος της κεντρικής ίνας είναι πολύ μικρή και πλησιάζει περίπου το επίπεδο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου σήματος. Η διάμετρος του πυρήνα είναι 9 μm και του μανδύα 125 μm. Στην περίπτωση αυτή, έχουμε έναν μόνο δυνατό τρόπο μετάδοσης του οπτικού σήματος, τον αξονικό. Είναι ευρέως χρησιμοποιούμενες για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και έχουν χαμηλότερη εξασθένηση σήματος σε σχέση με τις πολύτροπες. Επιτυγχάνουν σημαντική εκμετάλλευση του εύρους ζώνης και μείωση της διασποράς. Όλες οι ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων (Long Haul Links) αλλά και οι οπτικοί μητροπολιτικοί δακτύλιοι (MAN) χρησιμοποιούν μονότροπες ίνες. Λόγω του πολύ μικρού πυρήνα τους συνδυάζονται μόνο με πηγές Laser.



Σχήμα 1.2: Μονότροπη ίνα

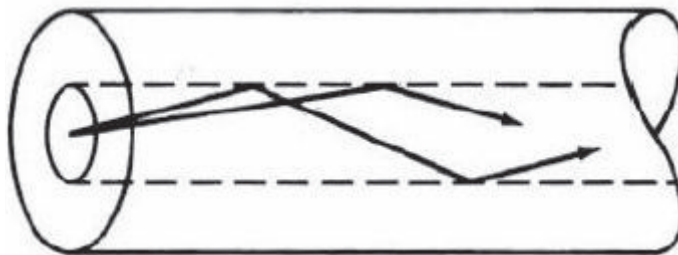
1.4.2 Πολύτροπες Ίνες (Multi mode fiber optics)

Οι πολύτροπες ίνες έχουν πυρήνα μεγαλύτερης διαμέτρου από τις μονότροπες και επιτρέπουν πολλαπλές οδεύσεις ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ταυτόχρονα. Εξ' ου και ο όρος πολύτροπες, ο οποίος φυσικά αναφέρεται στο γεγονός ότι πολλές ακτίνες φωτός μεταφέρονται συγχρόνως μέσα από την ίνα.

1.5 Είδη πολύτροπων οπτικών ινών

1.5.1 Πολύτροπη ίνα με βηματικό προφίλ δείκτη (Multi – mode step index)

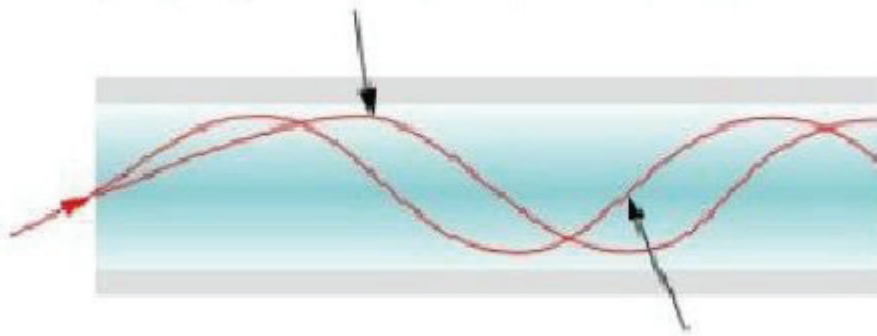
Το προφίλ του συντελεστή διάθλασης παρουσιάζει μια σταθερή τιμή στην κεντρική ίνα και μια απότομη αύξηση στο σημείο επαφής με την επίστρωση, συμβαίνει δηλαδή μια απότομη μεταβολή του δείκτη διάθλασης μεταξύ της κεντρικής ίνας και του υλικού επίστρωσης.



Σχήμα 1.3: Πολύτροπη ίνα με βηματικό προφίλ δείκτη

1.5.2 Πολύτροπη ίνα με βαθμιαίο προφίλ δείκτη (Multi – mode graded index)

Οι πολύτροπες ίνες με βαθμιαίο προφίλ δείκτη χαρακτηρίζονται από μια βαθμιαία μείωση του συντελεστή διάθλασης του υλικού όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο και προς την εξωτερική επιφάνεια της κεντρικής ίνας. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης χρησιμοποιούνται σε δίκτυα περιορισμένης γεωγραφικής έκτασης με το εύρος ζώνης και τη χωρητικότητα των καναλιών να κυμαίνονται μεταξύ 500 – 2000 MHz*km.



Σχήμα 1.4: Πολύτροπη ίνα με βαθμιαίο προφίλ δείκτη: Το φως ταξιδεύει πιο αργά στο κέντρο

1.6 Τύποι πολύτροπων οπτικών ινών

- Πολύτροπες 62,5/125 μm (OM1): Έχουν πυρήνα διαμέτρου 62.5 μm και μανδύα διαμέτρου 125 μm . Τα πρώτα LAN οπτικά δίκτυα υλοποιήθηκαν με ίνες αυτού του τύπου. Ο σχεδιασμός τους επιβάλλει τη χρήση τους σε συνδυασμό με πηγές LED με μήκος κύματος 850nm. Υποστηρίζουν ρυθμούς μετάδοσης Fast Ethernet ή και Giga Ethernet όμως περιορίζονται από τις δυνατότητες των LEDs τα οποία έχουν μέγιστο ρυθμό διαμόρφωσης τα 622 Mbps.
- Πολύτροπες 50/125 μm (OM2): Έχουν πυρήνα διαμέτρου 50 μm και μανδύα διαμέτρου 125 μm . Ευρέως χρησιμοποιούμενες. Συνδυάζονται συνήθως με πηγές LED σε τοπικά δίκτυα. Μπορούν να υποστηρίξουν ρυθμούς μετάδοσης ως 1 Gbps (Gigabit Ethernet) αν η πηγή είναι laser. Τα χρησιμοποιούμενα μήκη κύματος είναι τα 850nm και τα 1300nm.
- Πολύτροπες 50/125 μm Laser Optimized - LOMMF (OM3): Έχουν πυρήνα διαμέτρου 50 μm και μανδύα διαμέτρου 125 μm . Η έλευση των VCSELs (Vertical Cavity Surface-Emitting Lasers) σε συνδυασμό με τις OM3 ίνες οδήγησε σε τοπικά οπτικά δίκτυα που μπορούν να υποστηρίξουν ρυθμούς μετάδοσης 10 Gbps μέχρι και 550 μέτρα. Διαφέρουν από τις OM2 στο προφίλ του δείκτη διάθλασης τους.

Χαρακτηριστικά/ Είδος ίνας	Πολύτροπη	Μονότροπη
Διάμετρος πυρήνα	50-100 μm	2-10 μm
Τρόποι διάδοσης (Modes)	Εκατοντάδες ή χιλιάδες	Μικρός αριθμός
Κατανομή δείκτη διάθλασης	Βηματική ή βαθμιαία	Βηματική
Ποσοστό εξασθένησης	Υψηλό	Χαμηλό
Ποιότητα διάδοσης παλμών	Χαμηλή (λόγω διασποράς)	Υψηλή
Δυνατότητα σύζευξης	Εύκολη	Δύσκολη
Κόστος αγοράς	Χαμηλό	Υψηλό
Τεχνικές απαιτήσεις	Περιορισμένες	Υψηλές

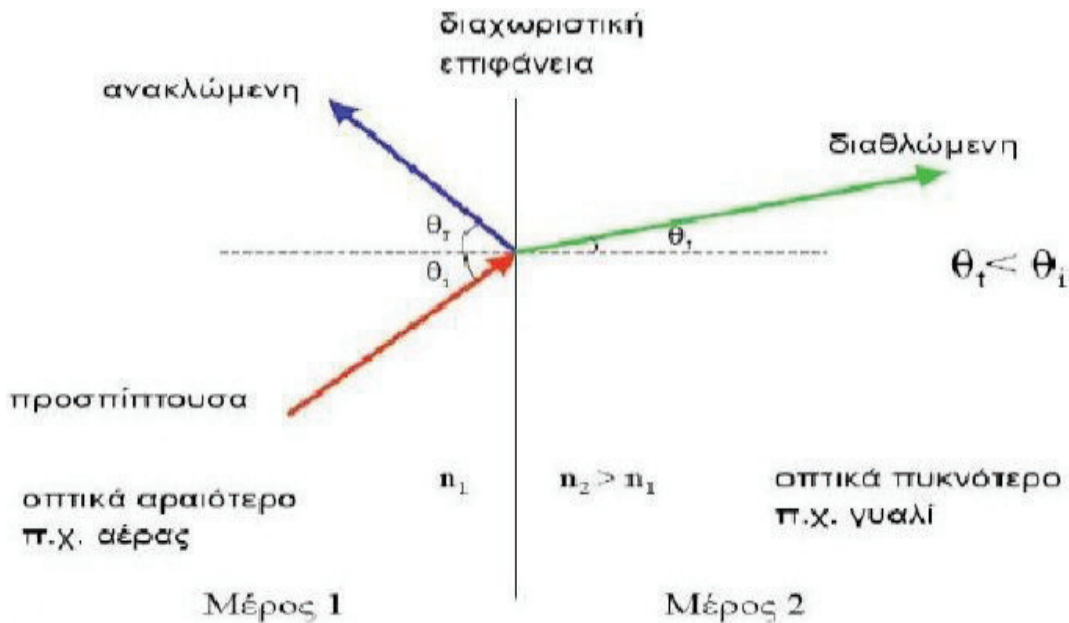
Πίνακας 1.2: Σύγκριση πολύτροπων και μονότροπων ινών

1.7 Αρχή λειτουργίας οπτικών ινών

Το φως είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η διεύθυνση μετάδοσης της ενέργειας του φωτός, με άλλα λόγια των φωτονίων, είναι πάντα ευθύγραμμη, εφόσον δεν παρεμβάλλονται εμπόδια και αποτελεί μία ακτίνα φωτός. Πολλές ακτίνες συγκροτούν μια δέσμη φωτός. Για τα κύματα του φωτός, ισχύουν τα φαινόμενα της ανάκλασης και της διάθλασης, όταν αυτά προσπίπτουν στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων. Το φως είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η διεύθυνση μετάδοσης της ενέργειας του φωτός, με άλλα λόγια των φωτονίων, είναι πάντα ευθύγραμμη, εφόσον δεν παρεμβάλλονται εμπόδια και αποτελεί μία ακτίνα φωτός. Πολλές ακτίνες συγκροτούν μια δέσμη φωτός. Για τα κύματα του φωτός, ισχύουν τα φαινόμενα της ανάκλασης και της διάθλασης, όταν αυτά προσπίπτουν στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων.

1.7.1 Ανάκλαση και διάθλαση σε μια διαχωριστική επιφάνεια

Θεωρούμε φωτεινή ακτίνα που προσπίπτει υπό γωνία θ_i σε μια επίπεδη διαχωριστική επιφάνεια δύο ιδανικών μέσων με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 αντίστοιχα. Αυτό που συμβαίνει είναι ένα μέρος της φωτεινής ακτίνας να ανακλαστεί πίσω στο μέσο 1 και ένα μέρος της να διαδοθεί στο μέσο 2. Το δεύτερο φαινόμενο ονομάζεται διάθλαση του φωτός. Οι γωνίες ανάκλασης και διάθλασης με την κάθετο στην διαχωριστική επιφάνεια είναι θ_r και θ_t αντίστοιχα. Εξετάζουμε πρώτα την περίπτωση το φως να διαδίδεται από ένα οπτικά αραιό μέσο σε ένα οπτικώς πυκνότερο δηλαδή από ένα μέσο με μικρό δείκτη διάθλασης σε ένα άλλο με μεγάλο δείκτη $n_2 > n_1$ (π.χ. από τον αέρα στο γυαλί).



Σχήμα 1.5: Ανάκλαση και διάθλαση φωτός που διαδίδεται από ένα οπτικά αραιό μέσο σε οπτικώς πυκνότερο.

Το σενάριο αυτό της διάδοσης του φωτός (από αραιό σε πυκνό) μας ενδιαφέρει μόνο κατά τη στιγμή της σύζευξης του φωτός στην οπτική ίνα δηλαδή κατά την είσοδο του φωτός στην ίνα και όχι κατά τη διάδοσή του όντας αυτό στην οπτική ίνα. Οι φυσικοί νόμοι που διέπουν το φαινόμενο είναι δύο:

- **Νόμος της ανάκλασης:** η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης $\theta_i = \theta_r$ και η ανακλώμενη ακτίνα βρίσκεται στο επίπεδο που καθορίζεται από την προσπίπτουσα ακτίνα και την κάθετο στη διαχωριστική επιφάνεια.

- **Νόμος της διάθλασης του Snell:** καθορίζει τη γωνία διάθλασης θ_t και δίνεται από τη σχέση:

$$n_1 \cdot \sin \theta_i = n_2 \cdot \sin \theta_t$$

ή

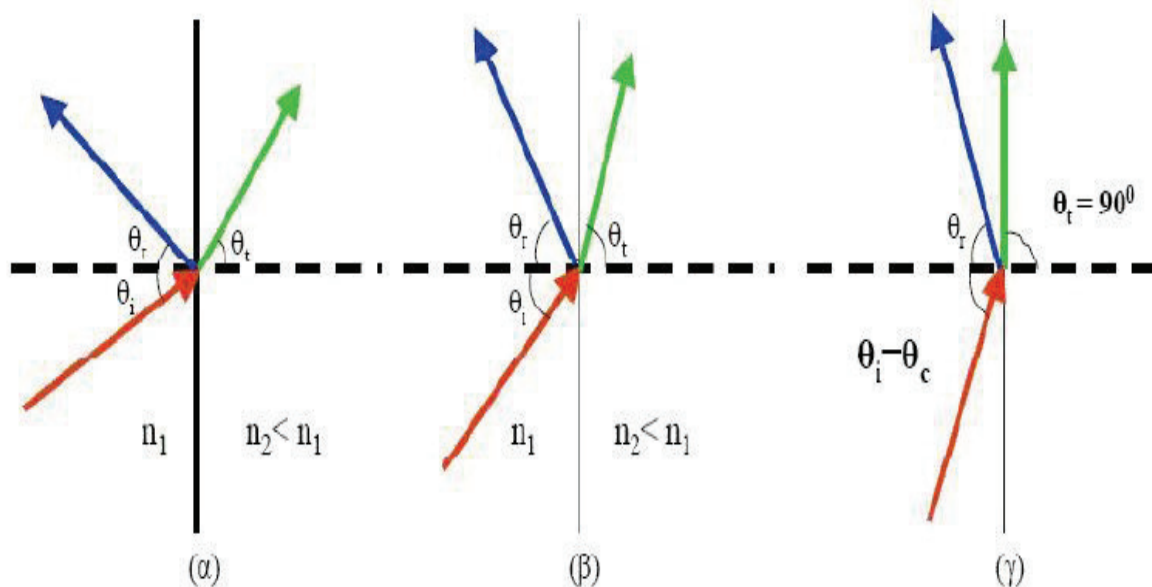
$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{n_2}{n_1}$$

Παρατηρούμε ότι, εφόσον έχουμε διάδοση φωτός από οπτικώς αραιότερο σε οπτικώς πυκνότερο ($n_2 > n_1$), είναι από το νόμο του Snell: $\sin \theta_i > \sin \theta_t$ και συνεπώς η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη από τη γωνία διάθλασης. Πάντα δηλαδή στην περίπτωση αυτή έχουμε διάδοση του φωτεινού σήματος και στο δεύτερο μέσο διάδοσης.

Αντίθετα στην περίπτωση που το φως διαδίδεται από ένα οπτικά πυκνό μέσο σε ένα οπτικώς αραιότερο, δηλαδή, $n_2 < n_1$, (π.χ. από γυαλί σε αέρα), ισχύουν με και πάλι οι προηγούμενοι νόμοι της ανάκλασης και του Snell αλλά τώρα παρατηρούμε τα εξής:

Επειδή $n_2 < n_1$ ο νόμος του Snell δίνει τώρα $\sin \theta_i < \sin \theta_t$ και συνεπώς η γωνία διάθλασης είναι μεγαλύτερη από τη γωνία πρόσπτωσης. Καθώς όμως η γωνία πρόσπτωσης αυξάνεται, για κάποια τιμή της $\theta_i < 90^\circ$ η γωνία διάθλασης γίνεται $\theta_t = 90^\circ$. Δηλαδή, η διαθλώμενη ακτίνα γίνεται παράλληλη με τη διαχωριστική επιφάνεια. Αυτή η γωνία πρόσπτωσης λέγεται κρίσιμη γωνία θ_{cr} . Αν η γωνία πρόσπτωσης γίνει μεγαλύτερη από την κρίσιμη $\theta_i > \theta_{cr}$ τότε δε θα υπάρχει καθόλου η διαθλώμενη ακτίνα (αφού η θ_t δεν μπορεί να γίνει μεγαλύτερη από 90° και ταυτόχρονα να βρίσκεται στο δεύτερο μέσο), δηλαδή, δεν θα υπάρχει διάδοση του φωτεινού σήματος στο δεύτερο μέσο. Το φαινόμενο αυτό λέγεται ολική ανάκλαση.

Για να συμβεί ολική ανάκλαση απαιτούνται δυο προϋποθέσεις, πρώτον να έχουμε μετάβαση από οπτικά πυκνό σε οπτικά αραιό μέσο ($n_1 > n_2$) και δεύτερον, η γωνία πρόσπτωσης να είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη ($\theta_i > \theta_{cr}$).

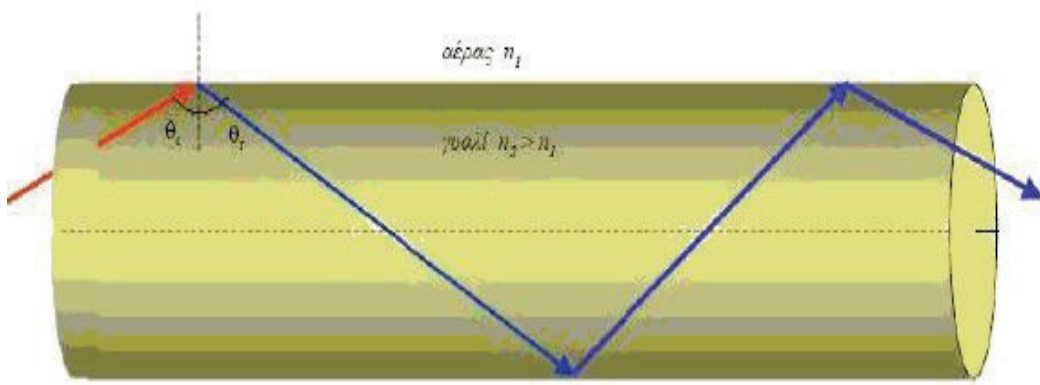


Σχήμα 1.6: Προσπίπτουσες ακτίνες φωτός από οπτικής πυκνότερο μέσο σε αραιότερο (π.χ. γυαλί-αέρας)

Εδώ φαίνεται ότι καθώς η γωνία πρόσπτωσης αυξάνεται και πλησιάζει την κρίσιμη γωνία θ_c , η θ_t πλησιάζει τις 90° και φυσικά όταν $\theta_i = \theta_{cr}$ είναι $\theta_t = 90^\circ$ (γ). Για $\theta_i > \theta_{cr}$ συμβαίνει ολική ανάκλαση και υπάρχει μόνο η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη ακτίνα. Από το νόμο του Snell για την περίπτωση (γ) του σχήματος, θέτοντας $\theta_t = 90^\circ$ και $\theta_i = \theta_{cr}$, την έκφραση για την κρίσιμη γωνία:

$$\sin \theta_{cr} = \frac{n_2}{n_1}$$

Το φαινόμενο της ολικής ανάκλασης είναι ο καθοριστικός λόγος για την τεχνολογική αξιοποίηση των οπτικών ινών ως κυματοδηγών φωτεινών σημάτων στις τηλεπικοινωνίες. Όταν το φως που διαδίδεται, προσπέσει στη διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα - μανδύα με γωνία μεγαλύτερη από τη κρίσιμη γωνία, θα υποστεί ολική ανάκλαση, δεν θα έχουμε πρακτικά διαρροή του σήματος στον αέρα (απώλειες) και θα συνεχίσει να διαδίδεται στο γυαλί. Αυτός είναι και ο λόγος φυσικά για τον οποίο ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα της ίνας είναι ελαφρώς μεγαλύτερος από τον δείκτη διάθλασης του μανδύα. Βέβαια ολική ανάκλαση θα μπορούσε να συμβεί ακόμα και σε μια γυμνή (χωρίς προστατευτικά πλαστικά) ίνα που θα είχε έναν δείκτη διάθλασης και δε θα διαχωριζόταν σε πυρήνα και μανδύα αλλά η διαφορά των δύο δεικτών διάθλασης πρέπει να είναι μικρή, για τεχνικούς λόγους (π.χ. επιθεώρηση της ίνας χωρίς να χρειάζεται να κοπεί ή για σύνδεση τηλεπικοινωνιακών συσκευών, για επικοινωνία μεταξύ των τεχνικών).

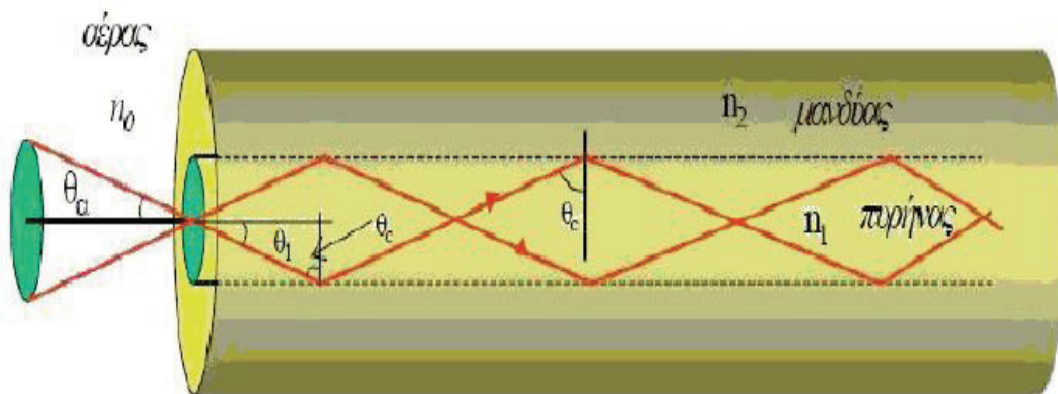


Σχήμα 1.7: Αρχή λειτουργίας οπτικών ινών. Η κυματοδότηση του φωτεινού σήματος οφείλεται στο φαινόμενο της ολικής ανάκλασης

1.7.2 Σύζευξη φωτός στην οπτική ίνα

Γνωρίζουμε ότι για να έχουμε κυματοδότηση πρέπει να ισχύει η συνθήκη της ολικής ανάκλασης στην ίνα. Δηλαδή, η προσπίπτουσα ακτίνα στην ενδοεπιφάνεια πυρήνα-μανδύα πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη της κρίσιμης γωνίας. Από τη γεωμετρία του σχήματος, βλέπουμε ότι αυτό συμβαίνει μόνο όταν η φωτεινή ακτίνα εισέλθει στην ίνα υπό γωνία μικρότερη της γωνίας θ_a .

Ακτίνες φωτός που εισέρχονται στην ίνα εκτός του κώνου που καθορίζεται από την θ_a , προσπίπτουν στην ενδοεπιφάνεια πυρήνα-μανδύα υπό γωνία μικρότερη της κρίσιμης γωνίας θ_{cr} και δεν μπορούν να συνεχίσουν τη διάδοσή τους κατά μήκος της ίνας. Αυτές οι ακτίνες προοδευτικά διαφεύγουν εκτός της οπτικής ίνας. Η γωνία, λοιπόν, θα είναι η μέγιστη γωνία που επιτρέπεται να έχει μια εισερχόμενη ακτίνα φωτός με τον άξονα της ίνας, ώστε να πληροί τη συνθήκη της ολικής ανάκλασης και να περιοριστεί στο εσωτερικό της ίνας. Η γωνία αυτή ονομάζεται γωνία αποδοχής της ίνας. Ο αντίστοιχος τρισδιάστατος κώνος που σχηματίζεται από την θ_a , ονομάζεται κώνος αποδοχής ή κρίσιμος κώνος (critical cone ή acceptance cone). Ο κώνος αποδοχής όπως θα δούμε και παρακάτω είναι σημαντικός παράγοντας στη διαδικασία της σύζευξης (εισαγωγής) του φωτός στην ίνα.



Σχήμα 1.8: Σύζευξη φωτός στην οπτική ίνα

Θεωρώντας ότι η οπτική ίνα είναι κυλινδρική χωρίς ατέλειες και αποκλίσεις στη σύνθεσή της, η συμμετρία της γεωμετρίας του παραπάνω σχήματος επιβάλλει η φωτεινή ακτίνα να εξέρχεται από το άλλο άκρο της ίνας με την ίδια γωνία με την οποία εισέρχεται. Με άλλα λόγια το φως εξέρχεται της οπτικής ίνας υπό μορφή κώνου με άνοιγμα ίσο με αυτό του κρίσιμου κώνου της ίνας.

Για να υπολογίσουμε τη μέγιστη γωνία σύζευξης του φωτός (γωνία αποδοχής) θα θεωρούμε ότι το φως εισέρχεται από τον αέρα (δείκτης διάθλασης $n_0 = 1$) στον πυρήνα της οπτικής ίνας (δείκτης διάθλασης n_1). Ο νόμος του Snell και η γεωμετρία μας δίνουν:

$$n_0 \cdot \sin \theta_a = n_1 \cdot \sin \theta_1$$

Είναι όμως $\theta_1 = 90 - \theta_c$, από το ορθογώνιο τρίγωνο του σχήματος.

Έτσι:

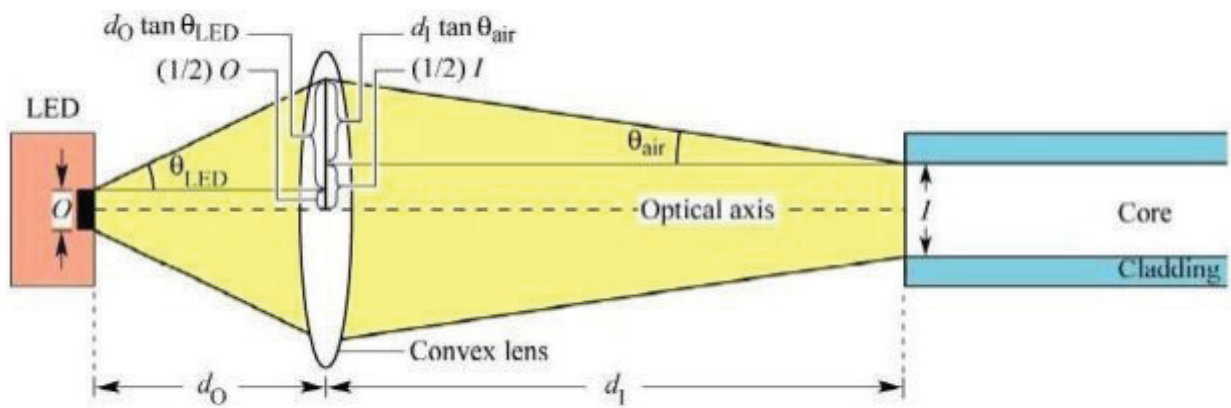
$$\sin \theta_a = \frac{n_1}{n_0} \cdot \cos \theta_c = \frac{n_1}{n_0} \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \theta_c}$$

Θέτοντας $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ παίρνουμε

$$NA = n_0 \sin \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Η παράμετρος NA είναι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους της οπτικής ίνας. Ονομάζεται αριθμητικό άνοιγμα (numerical aperture) της ίνας και ουσιαστικά εκφράζει την ικανότητα σύζευξης φωτός στην οπτική ίνα αφού συνδέεται άμεσα με την γωνία αποδοχής στην παραπάνω σχέση. Περιγράφει, δηλαδή, την δυνατότητα συλλογής φωτός της ίνας ή της δέσμης οπτικών ινών. Όσο μεγαλύτερο το NA τόσο πιο εύκολη η εισαγωγή του φωτός στην ίνα άρα μεγαλύτερη και η ποσότητα φωτός που μεταφέρεται με αυτήν.

Για την εισαγωγή του φωτός μιας φωτεινής πηγής μέσα στην ίνα απαιτείται η χρήση μικροφακών. Δηλαδή, φακών πολύ μικρών διαστάσεων και κατάλληλης καμπυλότητας ώστε να συλλέγουν τις αποκλίνουσες ακτίνες που εκπέμπονται από τη φωτεινή πηγή (laser ή LED) και να τις μετατρέπουν σε συγκλίνουσες με NA μικρότερο από το NA της ίνας. Επειδή το NA των πηγών LED είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό των πηγών laser οι πρώτες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μονότροπες ίνες που έχουν μικρή διάμετρο πυρήνα και άρα μικρό NA.



Σχήμα 1.9: Σύζευξη φωτός με LED σε οπτική ίνα με χρήση αμφίκυρτου φακού (convex lens). Η θέση και οι διαστάσεις του φακού εφαρμόζονται από το NA της πηγής και της ίνας

1.8 Απώλειες Οπτικών Ινών

Οι απώλειες που παρουσιάζουν οι οπτικές ίνες είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας μια και καθορίζει τη μέγιστη απόσταση διάδοσης του σήματος χωρίς παραμόρφωση (ή την απόσταση μεταξύ των αναμεταδοτών). Συγκριτικά με τις πλαστικές, οι γυάλινες οπτικές ίνες παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερες απώλειες.

Παρακάτω οι παράγοντες οι οποίοι συμβάλουν στις απώλειες των γυάλινων οπτικών ινών:

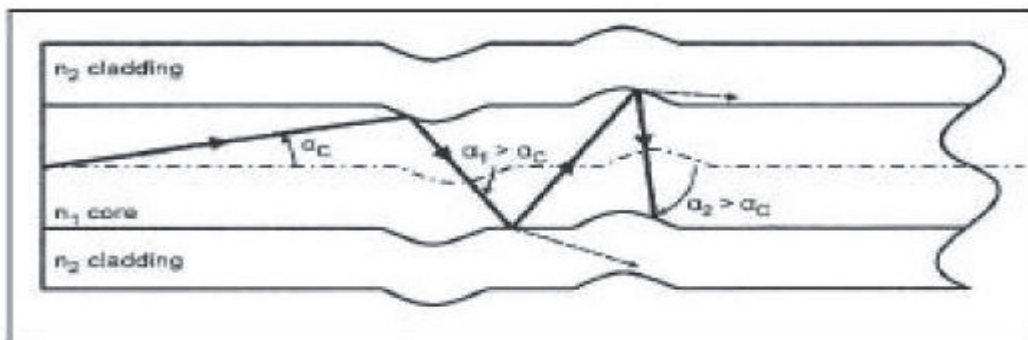
- **Απορρόφηση υλικού:** Λόγω ύπαρξης ξένων μοριακών δομών στο διοξείδιο του πυριτίου κατά τη παραγωγή της οπτικής ίνας το, φως απορροφάται από το υλικό μετάδοσης και η ενέργεια του μετατρέπεται σε θερμότητα. Στις μονότροπες ίνες η μεταβολή της εξασθένησης σαν συνάρτηση του μήκους κύματος, όπως διαμορφώνεται από την επίδραση των μηχανισμών σκέδασης και απορρόφησης ορίζει δύο περιοχές λειτουργίας. Στα 1300 nm με απώλειες 0,35 db/km και στα 1550 nm με 0,21 db/km. Στα 1400 nm οι απώλειες που παρατηρούνται είναι αρκετά αυξημένες.
- **Σκέδαση:** Είναι ο διασκορπισμός των φωτεινών ακτίνων που ακολουθεί όταν προσπέσουν σε μικροσκοπικά σωματίδια.
 - ✓ Σκέδαση Rayleigh: Προκαλείται από τις κατά τόπους μικροσκοπικές διακυμάνσεις της πυκνότητας του υλικού που οδηγούν σε διακυμάνσεις του δείκτη διάθλασης και δρουν ως εστίες σκέδασης στο “ομογενές” υλικό της οπτικής ίνας. Η σκέδαση Rayleigh της ακτινοβολίας εξαρτάται από το μήκος κύματος της. Εμφανίζεται στα χαμηλά μήκη κύματος, άρα όσο υψηλότερο το μήκος κύματος μετάδοσης τόσο περισσότερο ελαχιστοποιείται η απώλεια λόγω της σκέδασης Rayleigh.



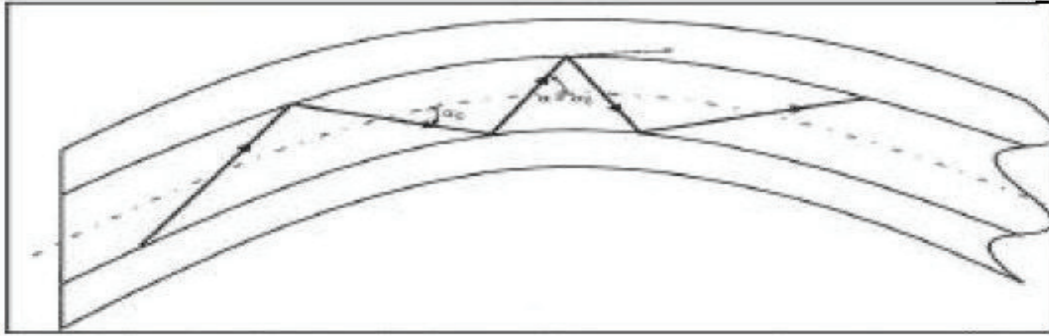
Σχήμα 1.10: Σκέδαση Rayleigh

- ✓ Σκέδαση Mie: Απώλειες από αυτό το είδος σκέδασης, οφείλονται στην κοινή επιφάνεια πυρήνα/μανδύα, λόγω μικρών μεταβολών στους συντελεστές διάθλασης των υλικών, διαφοροποιήσεων της διαμέτρου πυρήνα κατά μήκος της ίνας και λόγω ύπαρξης μικροφυσαλίδων. Αυτές οι απώλειες ελαχιστοποιούνται με τη βελτίωση της διαδικασίας κατασκευής.
 - ✓ Σκέδαση Raman: Μερική μεταβολή της συχνότητας και της φάσης της διερχόμενης ακτινοβολίας. Οφείλεται στο ότι ορισμένα από τα μόρια του υλικού απορροφούν ή προσφέρουν ενέργεια στα προσπίπτοντα φωτόνια, με αποτέλεσμα μετά από τη σκέδασή τους να εμφανίζονται αντίστοιχα με μικρότερη ή μεγαλύτερη συχνότητα.
 - ✓ Σκέδαση Brillouin: Σκέδαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που οφείλεται στα ακουστικά κύματα που προκαλεί η προσπίπτουσα ακτινοβολία. Η ακτινοβολία καθώς περνάει μέσα από την ύλη μπορεί να προκαλέσει ακουστικά κύματα, δηλαδή μετατοπίζει τα δομικά της συστατικά. Τα ακουστικά κύματα αλλάζουν το δείκτη διάθλασης κατά περιοχές του υλικού, ώστε η πορεία του φωτός να αλλοιώνεται.
- **Απώλειες λόγω κάμψης (Bending)**: Οι οπτικές ίνες αποθηκεύονται τυλιγμένες σε ειδικά στροφεία με μια ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας, πέραν την οποίας μπορεί να προκαλέσει το σπάσιμο της ίνας. Οι κάμψεις έχουν δύο βασικές επιπτώσεις στις μονότροπες οπτικές ίνες:
 - ✓ Μικρή αύξηση των απωλειών: Για μια δεδομένη ακτίνα καμπυλότητας η απώλεια από κάμψη εξαρτάται από το μήκος κύματος και αυξάνει για μακρύτερα μήκη κύματος.
 - ✓ Μείωση της αντοχής της ίνας σε εφελκυσμό: Σε καλώδια, που υφίστανται εφελκυσμό, η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας (κατά την αποθήκευση) πρέπει να είναι δεκαπλάσια της διαμέτρου του καλωδίου.

Οι απώλειες λόγω κάμψης της ίνας, οφείλονται είτε σε κατασκευαστική ατέλεια micro-bending losses είτε στην κάμψη της ίνας κατά την τοποθέτηση της macro bending losses. Και στις δύο περιπτώσεις προκαλείται διάθλαση κύματος εντός του μανδύα με αποτέλεσμα να έχω απώλεια οπτικής ισχύος.



Σχήμα 1.11: Απώλειες λόγω μικροκάμψης της ίνας (κατασκευαστική ατέλεια)



Σχήμα 1.12: Απώλειες λόγω κάμψης της ίνας οφειλόμενη σε εφέλκυσμό

- **Επίδραση υδρογόνου:** Η εμφάνιση υδρογόνου οφείλεται στην εισχώρηση υγρασίας στο εσωτερικό του οπτικού καλωδίου. Το υδρογόνο εκλύεται είτε από την ηλεκτρολυτική επίδραση της υγρασίας στην μεταλλική δομή θωράκισης του καλωδίου, είτε από χημική αποσύνθεση των υλικών του μανδύα. Η πρόσθετη εξασθένηση εμφανίζεται σωρευτικά. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα αισθητό σε υποβρύχιες ζεύξεις.
- **Επίδραση ραδιενέργειας:** Η έκθεση των οπτικών ινών σε ραδιενεργά περιβάλλοντα τα οποία μπορεί να προκληθούν από πυρηνικά ατυχήματα προκαλεί την μοριακή τους αποσύνθεση με αποτέλεσμα να δημιουργούνται χρωματικά κέντρα απορρόφησης του οπτικού σήματος.
- **Διασπορά – Dispersion:** Ως διασπορά ορίζεται η διαφορετική χρονική καθυστέρηση της διάδοσης των τμημάτων του φασματικού περιεχομένου του σήματος πληροφορίας από τον πομπό στον δέκτη.
 - ✓ Διασπορά τρόπου μετάδοσης: Η διασπορά τρόπου μετάδοσης (modal dispersion) εμφανίζεται μόνο στις πολύτροπες ίνες και οφείλεται στο γεγονός ότι το οπτικό σήμα διαδίδεται εντός της ίνας με παραπάνω από έναν τρόπο. Το οπτικό σήμα, δηλαδή, κατά τη διάδοση του εντός της πολύτροπής ίνας, διασπάται σε διαφορετικές ακτίνες φωτός οι οποίες ακολουθούν διαφορετικούς δρόμους τεθλασμένων γραμμών. Έτσι, κάθε διαδρομή έχει διαφορετική ταχύτητα. Η τιμή της διασποράς του τρόπου μετάδοσης αυξάνει ανάλογα με το πλήθος των τρόπων μετάδοσης που υποστηρίζει ο κυματοδηγός. Άρα εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος του πυρήνα. Σε πολύτροπες ίνες βηματικού δείκτη, μια τυπική τιμή διασποράς είναι τα 30ns/km, ενώ σε ίνες βαθμιαίου δείκτη η διασπορά του τρόπου μετάδοσης είναι μικρότερη του 1ns/km.
 - ✓ Διασπορά υλικού: Η διασπορά υλικού (material dispersion) ή χρωματική διασπορά (chromatic dispersion) εμφανίζεται στις πολύτροπες και στις μονότροπες ίνες. Οφείλεται στο γεγονός ότι ο συντελεστής διάθλασης του πυρήνα εξαρτάται και από το μήκος κύματος της οδηγούμενης ακτίνας φωτός. Όταν το οπτικό σήμα του πομπού περιλαμβάνει περισσότερα από ένα μήκη κύματος τότε κάθε ένα από αυτά βλέπει διαφορετικό συντελεστή διάθλασης πυρήνα $n=n(\lambda)$ και το αντίστοιχο μεταφερόμενο μέρος του σήματος κινείται με διαφορετική ταχύτητα $v=c/n$ προκαλώντας διασπορά του οπτικού σήματος στον δέκτη.
 - ✓ Διασπορά κυματοδηγού: Η διασπορά κυματοδηγού (waveguide dispersion) οφείλεται στη διαφορετική ταχύτητα μετάδοσης μεταξύ πυρήνα και μανδύα, λόγω της μικρής μεταξύ τους διαφοράς ως προς τον συντελεστή διάθλασης. Εμφανίζεται κυρίως στις μονότροπες ίνες, όπου μεγάλο μέρος κυματοδηγούμενης οπτικής ενέργειας διέρχεται από τον μανδύα, ενώ είναι ασήμαντη στις πολύτροπες ίνες.

1.9 Πλεονεκτήματα Οπτικών Ινών

Η επιλογή των οπτικών ινών για την μετάδοση πληροφορίας στις σύγχρονες τηλεπικοινωνίες μόνο τυχαία δεν είναι, τα πλεονεκτήματά της παρακάτω:

- **Χαμηλό κόστος:** Η δημιουργία ενός καλωδίου οπτικών ινών είναι πιο συμφέρουσα οικονομικά, σε σχέση με ένα χάλκινο καλώδιο ίδιας απόστασης και δυνατοτήτων. Αυτό ωφελεί αρχικά τους παρόχους υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών, οι οποίοι με μικρότερο κόστος παρέχουν ποιοτικές υπηρεσίες. Τελικά αυτό μειώνει και τις ανάγκες απόσβεσης εξόδων των παροχών, επομένως ωφελεί και τον καταναλωτή, που επιβαρύνεται με μικρότερες χρεώσεις για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιεί.
- **Υψηλό bandwidth:** Το οποίο ξεπερνά κατά εκατοντάδες φορές αυτό ενός κοινού καλωδίου. Οι υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, εξασφαλίζουν ταχύτητες της τάξεως των Gbps, που με τη σειρά τους προσφέρουν αστραπιαία διαμεταγωγή δεδομένων και αξιόπιστες υπηρεσίες τηλεφωνίας μέσω πρωτοκόλλου IP.
- **Χαμηλές απώλειες μετάδοσης:** Η ανάπτυξη των οπτικών ινών τα τελευταία 25 χρόνια έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή καλωδίων οπτικών ινών, τα οποία παρουσιάζουν πολύ χαμηλές απώλειες κατά τη μετάδοση (δηλαδή πολύ χαμηλή εξασθένιση), σε σύγκριση με τα καλύτερα καλώδια χαλκού και τα ομοαξονικά καλώδια. Οι σύγχρονες οπτικές ίνες παρουσιάζουν εξασθένιση μόλις $0,2 \text{ dB/km}$ με αποτέλεσμα οι επαναλήπτες σε συστήματα επικοινωνίας με οπτικές ίνες, να τοποθετούνται σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι οπτικές ίνες να είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων.
- **Μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια:** Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν παρατηρούνται σημαντικές απώλειες σήματος, καθώς και στον τρόπο μετάδοσης δεδομένων, δηλαδή με τη χρήση φωτεινής δέσμης, που απαιτεί πολύ μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, σε σχέση με το ηλεκτρικό σήμα.
- **Αμιγώς ψηφιακό σήμα:** Το οποίο εξασφαλίζει υψηλότερη ποιότητα επικοινωνίας και αποφυγή προβλημάτων που θα προέκυπταν σε μια αναλογική μετάδοση. Στον κόσμο της ψηφιακής πληροφορίας, τα δεδομένα αναπαρίστανται από τους αριθμούς 0 και 1, οι οποίοι ονομάζονται bits. Το 0 ισοδυναμεί με την κατάσταση «κλειστό» και το 1 με την κατάσταση «ανοικτό». Μια ακολουθία 8 bits σχηματίζουν 1 ψηφιακή λέξη που λέγεται byte ή octet. Οι οπτικές ίνες μεταδίδουν τις φωτεινές αναλαμπές με υψηλή αξιοπιστία, μεταφέροντας τα bytes με πολύ μικρότερες αλλοιώσεις σε σχέση με αυτές ενός κοινού καλωδίου δικτύου, ή μιας ασύρματης σύνδεσης δεδομένων.
- **Υψηλή διαθεσιμότητα:** Που οφείλεται κυρίως στην ανθεκτική κατασκευή των σύγχρονων οπτικών καλωδίων, που μειώνει στο ελάχιστο το ενδεχόμενο εξωτερικής ζημιάς.
- **Μικρές διαστάσεις και βάρος:** Καθώς 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.
- **Ηλεκτρική μόνωση:** Το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένη η οπτική ίνα (γυαλί ή πλαστικό), παρέχει άριστες ιδιότητες ηλεκτρικής μόνωσης. Επομένως η οπτική ίνα προστατεύεται από ηλεκτρικές υπερτάσεις και βραχυκυκλώματα.
- **Αντοχή σε παρεμβολή και συνακρόαση:** Το γεγονός ότι η οπτική ίνα δεν είναι μεταλλικός αγωγός αλλά κατασκευάζεται από γυαλί ή πλαστικό, την καθιστά ιδιαίτερα ανθεκτική σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, θόρυβο, παρεμβολές από σήματα ραδιοσυχνότητας και κεραυνούς. Επομένως, οι οπτικές ίνες δεν χρειάζονται καμία θωράκιση. Επιπλέον, για δύο ή περισσότερες ίνες που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, η συνακρόαση είναι αμελητέα.
- **Ασφάλεια σήματος:** Το φως που μεταδίδεται μέσα στην οπτική ίνα δεν ακτινοβολεί σημαντικά προς τον περιβάλλοντα χώρο και συνεπώς το σήμα που μεταφέρει η οπτική ίνα δεν είναι εύκολο να

ανιχνευθεί. Το γεγονός αυτό καθιστά τις οπτικές ίνες ιδιαίτερα «ελκυστικές» για στρατιωτικούς σκοπούς, καθώς και για διακίνηση τραπεζικών δεδομένων.

- **Στιβαρότητα και ευλυγισία:** Αν και είναι κατασκευασμένες από γυαλί ή πλαστικό, οι οπτικές ίνες μπορούν να λυγίσουν και να περιστραφούν χωρίς να καταστραφούν. Λαμβάνοντας υπόψη και το μικρό τους μέγεθος και βάρος, μπορούν εύκολα να αποθηκευτούν, να μεταφερθούν και να εγκατασταθούν.
- **Αξιοπιστία και ευκολία συντήρησης:** Λόγω της χαμηλής τους εξασθένισης και την απουσία πολλών επαναληπτών, ένα σύστημα οπτικών ινών είναι πιο αξιόπιστο και απαιτεί λιγότερη συντήρηση από ένα δίκτυο με συμβατικά καλώδια. Επιπλέον, η διάρκεια ζωής των σύγχρονων οπτικών ινών φτάνει πλέον τα 30 χρόνια.

1.10 Μειονεκτήματα Οπτικών Ινών

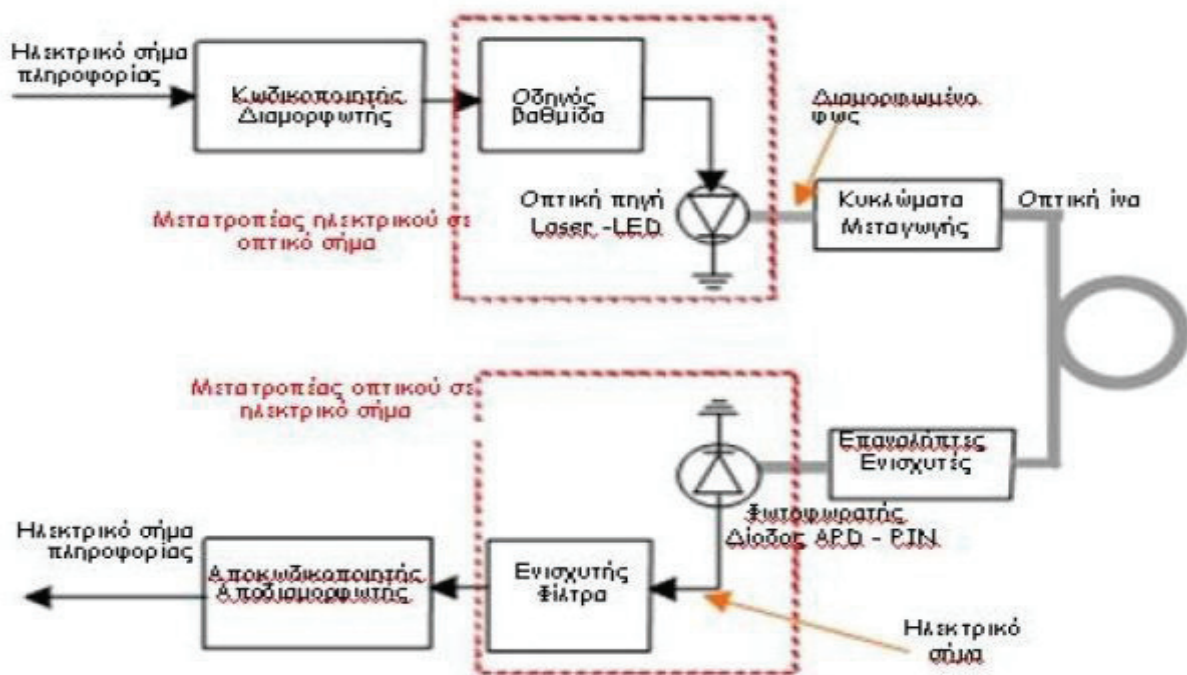
Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα των οπτικών ινών υπάρχουν δύο βασικά μειονεκτήματα, τα οποία χαρακτηρίζουν επίσης και τα συμβατικά καλώδια (καλώδια χαλκού και ομοαξονικά) και τα οποία θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά τον σχεδιασμό των τηλεπικοινωνιακών δικτύων:

- Η τοποθέτηση συμβατικών ή καλωδίων οπτικών ινών, απαιτεί την εκσκαφή του εδάφους, γεγονός το οποίο συνεπάγεται υψηλό κόστος και σημαντικό χρόνο εγκατάστασης.
- Η διασύνδεση μεταξύ απομακρυσμένων σημείων και μεταξύ οικισμών που βρίσκονται σε ορεινές περιοχές, είναι πρακτικά αδύνατη με οπτικές ίνες. Σ' αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται είτε ασύρματα ραδιοδίκτυα είτε δορυφορικά συστήματα, αν και χρησιμοποιούνται σήμερα υποβρύχιες οπτικές ίνες για τη διασύνδεση νησιωτικών περιοχών, με ιδιαίτερα όμως υψηλό κόστος.

2. ΟΠΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

2.1 Οπτικό σύστημα επικοινωνίας

Το οπτικό σύστημα επικοινωνίας δεν διαφέρει στις βασικές αρχές από το αντίστοιχο συμβατικό. Η πληροφορία που πρόκειται να μεταδοθεί είναι κατ' αρχήν σε ηλεκτρική μορφή και μετατρέπεται σε οπτικό σήμα. Αυτό απαιτεί μια οπτική πηγή και το κατάλληλο ηλεκτρονικό κύκλωμα οδήγησης. Στη συνέχεια το οπτικό πλέον σήμα οδηγείται μέσω της οπτικής ίνας. Σε μερικά σημεία της διαδρομής είναι δυνατόν να δρομολογηθεί σε άλλα κανάλια αν χρειάζεται, με τη βοήθεια διατάξεων μεταγωγής. Το οπτικό σήμα κατά τη διάδοσή του υφίσταται εξασθένιση δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται ίνες μεγάλου μήκους. Έτσι κατά μήκος μιας οπτικής ζεύξης τοποθετούνται ενισχυτές ή αναγεννητές ανάλογα με το αν το οπτικό φέρον έχει διαμορφωθεί αναλογικά ή ψηφιακά. Όταν το οπτικό σήμα φτάσει στον οπτικό δέκτη μετατρέπεται και πάλι σε ηλεκτρικό με τη βοήθεια ειδικής διάταξης, του φωτοφωρατή. Τα ηλεκτρικά σήματα πληροφορίας στη συνέχεια ενισχύονται, διαχωρίζονται και ανακτούν την αρχική τους μορφή.

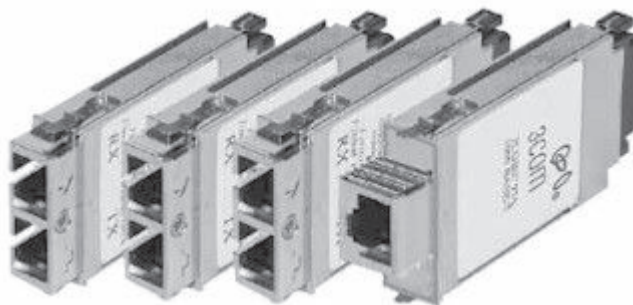


Σχήμα 2.1: Βασικό οπτικό σύστημα τηλεπικοινωνιών

2.2 Στοιχεία οπτικού δικτύου

2.2.1 Πομπός

Ο σκοπός του πομπού είναι η μετατροπή του ηλεκτρικού σήματος στο απαραίτητο ηλεκτρικό ρεύμα έτσι ώστε να λειτουργήσει μια πηγή φωτός. Τα ηλεκτρικά σήματα είναι είτε αναλογικά είτε ψηφιακά. Εάν το σήμα είναι ήδη ψηφιακό, ο πομπός πρέπει να αποτελείται από ένα ολοκληρωμένο, το οποίο να παρέχει ταχύτατη εναλλαγή παλμικής κωδικοποίησης. Εάν το σήμα είναι αναλογικό, ο πομπός θα πρέπει να παρέχει ρεύμα σε μια πηγή φωτός έτσι ώστε να γίνει η εκπομπή των εναλλαγών του σήματος.



Σχήμα 2.2: Πομπός

2.2.2 Πηγές φωτός

2.2.2.1 Laser

Αρχικά τα οποία σημαίνουν Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, (ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας).

Τα lasers είναι δίοδοι ημιαγωγών που εκπέμπουν μια συνεχή δέσμη φωτός με φάσμα πλάτους μικρότερο από 10nm. Απαιτούν εξειδικευμένο έλεγχο της θερμοκρασίας και της ενέργειας και χρησιμοποιούνται για ροή σήματος αρκετών Mbit αφού έχουν μεγάλη ταχύτητα εναλλαγής πολικότητας. Επιπλέον πάνω από ένα όριο ρεύματος, τα LASER έχουν γραμμικό χαρακτήρα και είναι κατάλληλα για αναλογική μετάδοση.

Σαν πηγή ακτινοβολίας το laser έχει τέσσερις ιδιότητες που το ξεχωρίζουν από τις άλλες γνωστές πηγές και που δημιουργούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις για τις πολλές και ποικίλες εφαρμογές του. Οι ιδιότητες αυτές είναι:

- **Μεγάλη ένταση:** Πολλή ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας και ανά περιοχή συχνοτήτων.
- **Μονοχρωματικότητα:** Η ενέργεια είναι συγκεντρωμένη σε μια στενή περιοχή συχνοτήτων.
- **Κατευθυντικότητα:** Η δέσμη αποκλίνει πολύ λίγο.
- **Συμφωνία φάσης:** Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που αποτελούν τη δέσμη ακολουθούν το ένα το άλλο με τάξη.



Σχήμα 2.3: Laser

2.2.2.2 Led

Τα led έχουν ένα μη γραμμικό χαρακτήρα. Επιπλέον, δε σχετίζονται άμεσα με τη θερμοκρασία αφού δεν απαιτούν έλεγχο της ενέργειας και της θερμοκρασίας. Ακόμη, είναι πιο αργά και με λιγότερη εκπομπή ενέργειας από τους πομπούς laser. Το φως που εκπέμπουν είναι ασυνεχές και έχει φάσμα πλάτους της τάξης των 60nm.

Το led διαφέρει από τη laser δίοδο κυρίως στο ότι μέσα σε ένα led δεν παρουσιάζεται εξαναγκασμένη εκπομπή φωτός. Λειτουργεί με βάση την αρχή της αυθόρμητης εκπομπής. Για τον λόγο αυτό, παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα σε σύγκριση με τη δίοδο laser:

- Λιγότερη ισχύς εισέρχεται στην ίνα.
- Σχετικά μικρό, ικανό να διαμορφωθεί εύρος ζώνης (< 50 MHz), αν και ορισμένα LEDS μπορούν να φτάσουν τα 150 MHz.
- Ευρύτερο φασματικό πλάτος.

Αυτά τα μειονεκτήματα μπορεί να παρουσιάζουν το LED ως μια χειρότερη λύση από τη δίοδο laser. Ωστόσο, το LED έχει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τη δίοδο laser και σε πολλές περιπτώσεις, προτιμάται στα οπτικά τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Τα πλεονεκτήματα είναι:

- **Απλούστερη κατασκευή:** Δεν χρειάζονται επιφάνειες ανάκλασης, γραμμική γεωμετρική σχεδίαση.
- **Φτηνότερα:** Παρατηρείται μεγάλη μείωση του κόστους παραγωγής με τη χρήση του led και των αντίστοιχων κυκλωμάτων οδήγησης.
- **Αξιόπιστα:** Ένα led δεν « γερνά » τόσο γρήγορα όσο η δίοδος laser.
- **Μικρότερη ευαισθησία στη θερμοκρασία:** Η ένταση του φωτός σχετικά με τα κυκλώματα οδήγησης επηρεάζεται λιγότερο από τις μεταβολές της θερμοκρασίας σε σύγκριση με την ένταση του φωτός μιας δίοδου laser.
- **Γραμμικότητα:** Ένα laser μπορεί να κατασκευαστεί γραμμικό αρκετά εύκολα, γεγονός που καθιστά τα led καταλληλότερα για αναλογική διαμόρφωση.

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εξηγούν και τη χρήση των led κυρίως σε τοπικά δίκτυα (LANs), σε εφαρμογές υπολογιστών και στους τηλεοπτικούς δέκτες. Το σύστημα FDDI (fiber distributed data interface) αποτελεί ρυθμιστικό σύστημα που έχει αναπτυχθεί αποκλειστικά για τις οπτικές ίνες και είναι ένα κλασσικό παράδειγμα χρήσης των LEDS για οπτική εκπομπή.

Τα LEADS κατασκευάζονται από τον ίδιο συνδυασμό υλικών με τις διόδους laser . Ένα LED που κατασκευάζεται από GaAs / AlGaAs είναι ιδανικό για μικρότερα μήκη κύματος μέχρι 870 nm . Για μήκη κύματος από 1310 έως 1550 nm χρησιμοποιείται συνδυασμός InGaAs και InP .

Οι διόδοι φωτοεκπομπής (LED's) αποτελούν συσκευές χαμηλών ταχυτήτων, κατάλληλες για εφαρμογές με ταχύτητες χαμηλότερες από 1 Gbps, ενώ παράγουν ακτινοβολία σε ένα σχετικά ευρύ φάσμα. Οι διατάξεις αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές πολύτροπων οπτικών ινών. Από την άλλη, οι ημιαγωγοί laser (semiconductor lasers) διαθέτουν χαρακτηριστικά και απόδοση που τους καθιστά κατάλληλους για εφαρμογές μονότροπης οπτικής ίνας.



Σχήμα 2.4: Led

2.2.3 Οπτικοί Ανιχνευτές/Δέκτες

Οι συσκευές φωτοανίχνευσης είναι διαθέσιμες σε δύο γενικούς τύπους, τις θετικές-εσωτερικές- αρνητικές φωτοδιόδους (PIN photodiodes) και τις φωτοδιόδους χιονοστιβάδας (APD photodiodes). Ο πρώτος τύπος, βασίζεται στην αντίστροφη αρχή λειτουργίας των LEDs (τα οποία μετατρέπουν ηλεκτρικά σήματα σε φωτεινά), μετατρέποντας τα φωτεινά σήματα σε ηλεκτρόνια μέσω μιας σχέσης 1:1.

Ο δεύτερος τύπος διαφέρει από τον προηγούμενο στο γεγονός ότι παρέχει επιπλέον και τη διεργασία της ενίσχυσης, μέσω της μετατροπής ενός φωτονίου σε πολλά ηλεκτρόνια. Τα κύρια πλεονεκτήματα των PIN φωτοδίοδων περιλαμβάνουν το χαμηλό κόστος και την αξιοπιστία, ενώ οι APD φωτοδιόδοι έχουν υψηλότερη ακρίβεια και ευαισθησία. Οι οπτικοί ανιχνευτές (φωτοδιόδοι) επιτελούν αντίστροφη λειτουργία από εκείνη των LEDs και των LDs. Ο οπτικός ανιχνευτής μετατρέπει την οπτική ενέργεια σε ηλεκτρική. Το ηλεκτρικό σήμα στη συνέχεια μπορεί να ενισχυθεί χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά κυκλώματα.



Σχήμα 2.5: Δέκτης

2.2.4 Οπτικοί Ενισχυτές

Ο οπτικός ενισχυτής μπορεί να ενισχύσει ταυτόχρονα όλα τα μήκη κύματος σε μια ίνα. Έτσι, το κόστος της ενίσχυσης μπορεί να κατανεμηθεί σε διάφορους χρήστες ή εφαρμογές.

Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι πως επειδή είναι ασητηρά οπτικές συσκευές, είναι ανεξάρτητες από πρωτόκολλο και ρυθμό μετάδοσης. Αυτό το γεγονός παρέχει ευελιξία στο ότι μια σύνδεση μπορεί να υποστηρίξει διάφορα πρωτόκολλα με οποιονδήποτε ρυθμό μετάδοσης. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως πρόκειται για μικρές σε μέγεθος συσκευές και με ελάχιστες απαιτήσεις σε ηλεκτρική ισχύ κάτι που αποτελεί πολύ σημαντικό πλεονέκτημα.

2.2.5 Αναμεταδότες

Ο ρόλος των αναμεταδοτών (Transponders) είναι η δημιουργία οπτικών σημάτων συμβατών με την τεχνολογία WDM (Wavelength-division multiplexing). Τα οπτικά σήματα που τροφοδοτούν τους αναμεταδότες προέρχονται από άλλα ινοοπτικά δίκτυα και δεν ικανοποιούν κατ' ανάγκη τις απαιτήσεις των συστημάτων WDM. Έτσι, ο κάθε αναμεταδότης λαμβάνει ένα οπτικό σήμα, εξάγει (μέσω ηλεκτροοπτικής αποδιαμόρφωσης) το αντίστοιχο ψηφιακό σήμα πληροφορίας και με αυτό διαμορφώνει ένα laser τα χαρακτηριστικά του οποίου (μήκος κύματος εκπομπής, οπτική ισχύς εξόδου, εύρος μήκους κύματος) είναι προκαθορισμένα και συμβατά με τις απαιτήσεις της τεχνολογίας WDM.

2.2.6 Οπτικοί Πολυπλέκτες-Αποπολυπλέκτες

Οι συσκευές πολύπλεξης και αποπολύπλεξης επιτρέπουν το συνδυασμό των εισερχόμενων προς μετάδοση σημάτων (σημείο εκπομπής) ή το διαχωρισμό του οπτικού σήματος στα στοιχειώδη σήματα που το απαρτίζουν (σημείο λήψης) αντίστοιχα.

Συνήθως οι παραπάνω λειτουργίες συνδυάζονται σε μία συσκευή, αν και σε κάποιες περιπτώσεις ο πολυπλέκτης και ο αποπολυπλέκτης είναι διαφορετικές συσκευές. Πολλές συσκευές πολύπλεξης-αποπολύπλεξης λειτουργούν χωρίς ηλεκτρική παροχή, δηλαδή είναι εντελώς παθητικά στοιχεία και συμπεριφέρονται σαν φίλτρα υψηλής επιλεκτικότητας, που συνδυάζουν και διαχωρίζουν τα μήκη κύματος του οπτικού σήματος. Τα περισσότερα παθητικά στοιχεία λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο και όταν αντιστραφεί η φορά του οπτικού σήματος.

2.2.7 Κάρτες Δικτύου

Η ραγδαία εξάπλωση των οπτικών συστημάτων είχε σαν αποτέλεσμα την πτώση των τιμών. Έτσι, σήμερα οπτικά συστήματα δεν χρησιμοποιούνται πλέον στη «ραχοκοκαλιά» (backbone) των δικτύων αλλά και στα τοπικά δίκτυα (LANs). Οι κάρτες δικτύων που συνδέονται κατευθείαν σε οπτικά καλώδια είναι πλέον γεγονός και οι εταιρίες που χρησιμοποιούν αποκλειστικά και μόνο οπτικά συστήματα, από καλώδια μέχρι διακλαδωτές (switches) και δρομολογητές (routers) αυξάνονται συνεχώς.



Σχήμα 2.6: Κάρτα Δικτύου

2.3 Οπτικό Δίκτυο

2.3.1 Κύριος κόμβος

Κύριο σημείο διασύνδεσης οπτικών αγωγών και καλωδίων του περιφερειακού ιστού για κάλυψη των συναθροισμένων επικοινωνιακών αναγκών ενός μεγάλου δήμου ή μιας ευρύτερης αλλά πλέον αραιοκατοικημένης περιοχής ή μέρους ενός μεγάλου αστικού κέντρου. Για λόγους διαθεσιμότητας της υποδομής, επιδιώκεται κάθε κύριος κόμβος να είναι άμεσα συνδεδεμένος με παραπάνω του ενός κύριους κόμβους.

Στους κύριους κόμβους εγκαθίσταται ενεργός εξοπλισμός, πέραν των παθητικών διατάξεων μικτονόμησης οπτικών ινών και προβλέπεται συν-εγκατάσταση ή πρόσβαση διαχειριστών και παροχών υπηρεσιών και εφαρμογών.

2.3.2 Κόμβος Διανομής

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

- α) δεν συντρέχουν λόγοι για τοποθέτηση κόμβου κορμού όπως στην περίπτωση ενός μικρού δήμου.
- β) για την εξυπηρέτηση ενός τμήματος μεγάλου αστικού κέντρου και την διευκόλυνση της σύνδεσης των κόμβων χαμηλότερου επιπέδου προς το κύριο δίκτυο.

2.3.3 Κόμβος Πρόσβασης

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

2.3.4 Τελικός Χρήστης

Εδώ τελειώνει το οπτικό δίκτυο αφού το δίκτυο έχει φτάσει στον πελάτη.

2.3.5 Κύριο Δίκτυο

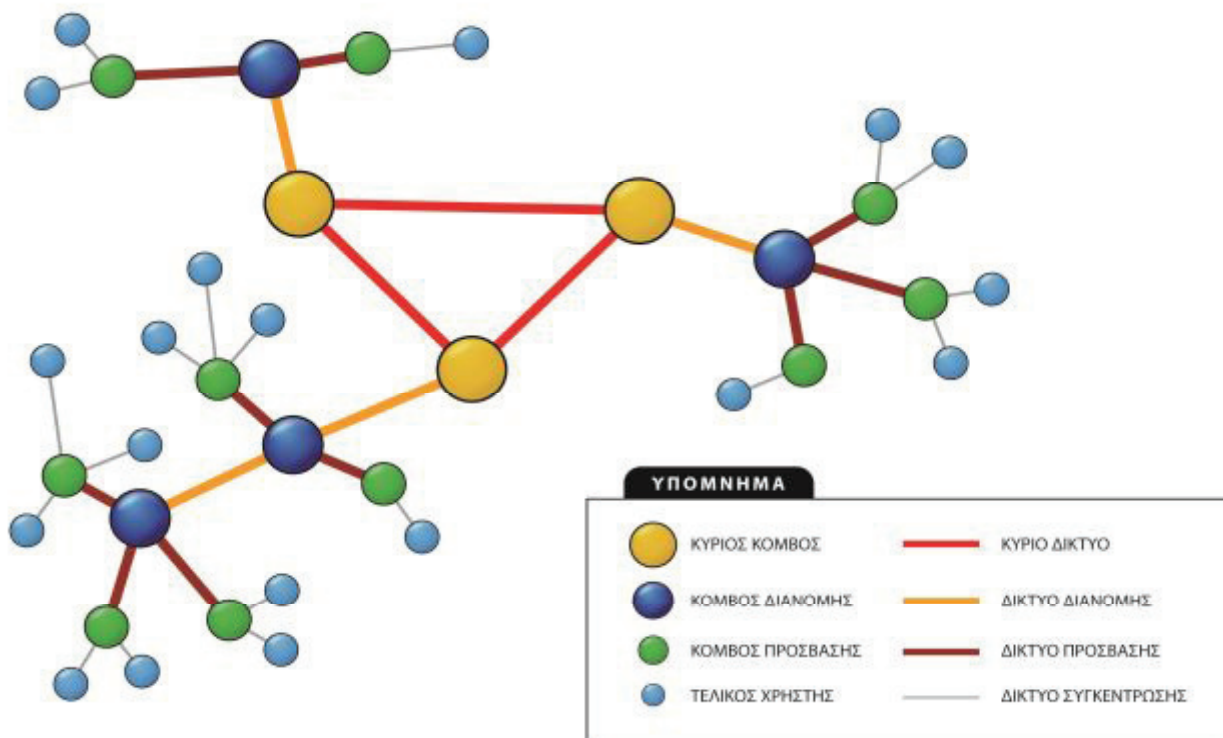
Το δίκτυο υποδομών και οπτικών καλωδίων για τη διασύνδεση μεταξύ των κυρίων κόμβων. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι διαδρομές μεταξύ των κύριων κόμβων γειτνιάζουν ή ταυτίζονται με εθνικά ή περιφερειακά δίκτυα υποδομών άλλου τύπου (όπως οδικά δίκτυα, σιδηροδρομικά δίκτυα, δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, δίκτυα μεταφοράς φυσικού αερίου, δίκτυα άρδευσης ή ύδρευσης).

2.3.6 Δίκτυο Διανομής

Το πυκνότερο δίκτυο για τη διασύνδεση μεταξύ των κόμβων διανομής ή/και μεταξύ κόμβων διανομής και κύριων κόμβων. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι διαδρομές (χάνδακες) μεταξύ κόμβων διανομής τρέχουν παράλληλα με δίκτυα άλλων υποδομών. Για λόγους διαθεσιμότητας της υποδομής, επιδιώκεται η έμμεση σύνδεση κάθε κόμβου διανομής με περισσότερους του ενός κύριους κόμβους είτε απ' ευθείας είτε εμμέσως ή/και μέσω ενδιάμεσων συνδέσεων με άλλους κόμβους διανομής (π.χ. με τη μορφή φυσικών δακτυλίων).

2.3.7 Δίκτυο Πρόσβασης

Το πυκνό δίκτυο σύνδεσης των κόμβων πρόσβασης με το δίκτυο διανομής. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι διαδρομές μεταξύ κόμβων πρόσβασης γειτνιάζουν ή ταυτίζονται και με δίκτυα άλλων υποδομών σε τοπικό επίπεδο (π.χ. μιας γειτονιάς). Για λόγους διαθεσιμότητας και ασφάλειας της υποδομής, αποτελεί λογική επιδίωξη ή έμμεση σύνδεση κάθε κόμβου πρόσβασης με περισσότερους του ενός κόμβους διανομής (π.χ. με την τοποθέτησή τους σε φυσικό δακτύλιο), αν και αυτό λόγω της πυκνότητας της υποδομής, του συνεπαγόμενου μεγάλου κόστους εναλλακτικών οδεύσεων, της μικρής σχετικά σημασίας των βλαβών στο επίπεδο μεμονωμένων χρηστών, και της παραδοσιακής πρακτικής ακτινοειδούς ανάπτυξης του τοπικού βρόχου, μπορεί να μην είναι καθολικά υλοποιήσιμο. Η δομή του δικτύου πρόσβασης διαφοροποιείται ως προς την πυκνότητα και την τοπολογία ανάλογα με την περίπτωση της εξυπηρετούμενης περιοχής (αστική, βιομηχανική, αγροτική).



Σχήμα 2.7: Φυσικό Οπτικό Δίκτυο Υποδομών

3. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΟΠΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

3.1 Οπτική Υποδομή

3.1.1 Απαιτήσεις για το κύριο δίκτυο

Μεταξύ των κυρίων κόμβων του δικτύου το καλώδιο πρέπει να είναι διακριτό και ενιαίο χωρίς ενδιάμεσες μικτονομήσεις και να έχει τον ελάχιστο αριθμό συγκολλήσεων. Τα ενιαία τμήματα μεταξύ συγκολλήσεων σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να είναι μικρότερα των 2 χιλιομέτρων (εκτός των τερματικών τμημάτων που απομένουν μετά την τελευταία συγκόλληση στην κατεύθυνση εγκατάστασης της ίνας προς τον επόμενο κεντρικό κόμβο). Συνήθως μόνο ένα οπτικό καλώδιο εντός ιδιαίτερης υποσωληνώσης απαιτείται για τη σύνδεση δύο κυρίων κόμβων προς τη μία κατεύθυνση ενός κεντρικού δακτυλίου με την προϋπόθεση ότι αυτό είναι επαρκώς διαστασιολογημένο. Η αντίστροφη κατεύθυνση προφανώς θα έχει άλλη διαδρομή.

Προβλέποντας την επέκταση του κυρίου δικτύου σε περιφερειακό επίπεδο, και τις συνδέσεις (π.χ. μεταξύ δήμων ή κοινοτήτων ή δημοτικών διαμερισμάτων) χρειάζεται χώρος για ίνες και συνεπώς για καλώδιο και σωληνώσεις στο μέλλον. Για το κύριο δίκτυο, η απόλυτη ελάχιστη προτεινόμενη ποσότητα είναι τρεις εγκατεστημένες υποσωληνώσεις κατά μήκος της διαδρομής του κυρίου δικτύου, ασχέτως αν θα χρησιμοποιηθούν σε πρώτη φάση. Γενικότερα, πρέπει να προβλέπεται πόσοι συνδρομητές θα συνδεθούν στο μέλλον. Για παράδειγμα θα πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον $K+10\%$ υποσωληνώσεις όπου K είναι ο αριθμός των προβλεπόμενων κυρίων κόμβων στους οποίους θα συνδεθούν οι κόμβοι διανομής των συγκεκριμένων έργων. Επιπλέον σωληνώσεις/ υποσωληνώσεις θα απαιτηθούν εάν ληφθούν υπ' όψη τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω. Προφανώς πρέπει να γίνει προσπάθεια για την εκμετάλλευση της εκσκαφής της συγκεκριμένης διόδευσης για τις σωληνώσεις και καλώδια διανομής και της πρόσβασης.

3.1.2 Απαιτήσεις για το δίκτυο διανομής

Δεδομένου ότι κάθε κόμβος διανομής συνδέεται τυπικά με δύο κεντρικούς κόμβους ή με ένα κεντρικό κόμβο μέσω δύο διαδρομών, μία υποσωλήνωση προς κάθε κατεύθυνση ή δύο υποσωληνώσεις προς τη μία κατεύθυνση απαιτούνται για τον σκοπό αυτό (ανάλογα με το εάν ο κόμβος διανομής είναι ανάμεσα από τους κυρίους κόμβους ή από την ίδια πλευρά αντιστοίχως), για κάθε κόμβο διανομής.

Για το δίκτυο διανομής, η απόλυτη ελάχιστη προτεινόμενη ποσότητα είναι πέντε εγκατεστημένες υποσωληνώσεις ή μικροσωληνώσεις. Συνήθως, σωληνώσεις για περισσότερους του ενός κόμβους διανομής, καθώς και σωληνώσεις του δικτύου πρόσβασης θα συνυπάρχουν στην ίδια διόδευση. Συνεπώς πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη για περισσότερες υποσωληνώσεις.

Αν και το καλώδιο από κύριο κόμβο προς κάθε κόμβο διανομής στη βέλτιστη περίπτωση πρέπει να είναι διακριτό και ενιαίο, μπορεί ένας κύριος κόμβος να εξυπηρετήσει με το ίδιο καλώδιο παραπάνω από ένα κόμβο διανομής, με την προϋπόθεση:

α) ότι το καλώδιο έχει αριθμό ινών ικανό να εξυπηρετήσει τους κόμβους πρόσβασης που αντιστοιχούν σε κάθε κόμβο διανομής

β) ότι σε κάθε κόμβο διανομής, μέσω συγκόλλησης ινών αναχωρούν και επιστρέφουν μόνο οι ίνες που αφορούν το συγκεκριμένο κόμβο ενώ οι υπόλοιπες, οργανωμένες συνήθως σε πολλαπλάσια θαλάμων (tubes) ή ταινιών (ribbons) των 12 ινών, παρακάμπτουν τη διαδικασία της συγκόλλησης.

Οι κόμβοι διανομής μπορεί αρχικά (για λόγους απλότητας και μικρού κόστους διαχείρισης) να μην είναι τίποτε παραπάνω από διατάξεις μικτονόμησης (cross-connect) οι οποίες υλοποιούν κατά περίπτωση μία ή παραπάνω φυσικές συνδέσεις (χωρίς πλεονασμό ή με πλεονασμό αντίστοιχα) μεταξύ ενός κόμβου πρόσβασης και ενός κυρίου κόμβου. Αυτό όμως σημαίνει ότι σε πλήρη ανάπτυξη, και με ανάγκη πλεονασματικής σύνδεσης κάθε σημείου πρόσβασης προς δύο κεντρικούς κόμβους, ο αριθμός των ινών που πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει ο κόμβος διανομής είναι ιδιαίτερα μεγάλος. Η πρόβλεψη ενεργών ή παθητικών στοιχείων πολυπλεξίας και απο-πολυπλεξίας στους κόμβους διανομής, καθώς και της σύνδεσης εν σειρά κόμβων για υλοποίηση τοπικών δακτυλίων ή αρτηριών με ένα ή περισσότερα σημεία εξόδου, μπορεί να μειώσει κατά πολύ τις παραπάνω απαιτήσεις σε αριθμό εγκατεστημένων ινών.

3.1.3 Απαιτήσεις για το δίκτυο πρόσβασης

Το δίκτυο πρόσβασης ενώνει τους κόμβους πρόσβασης με τους κόμβους διανομής μέσω του καλωδίου πρόσβασης το οποίο με τη μορφή βρόχου διατρέχει φρεάτια διακλάδωσης και συγκόλλησης. Στον κόμβο πρόσβασης, υπάρχουν ενεργά στοιχεία μεταγωγής ή/και ενεργά ή παθητικά στοιχεία πολυπλεξίας για την υποστήριξη των χρηστών. Από τον κόμβο πρόσβασης αναχωρούν ζεύξεις για διακριτούς χρήστες της περιοχής. Ο αριθμός των σωλήνων, πυροσωλήνων, κλπ που θα τοποθετηθεί στον χάνδακα που ενώνει τα φρεάτια πρόσβασης θα εξαρτηθεί από το εάν κοινοί χάνδακες και σωληνώσεις εξυπηρετούν κατά μήκος της διαδρομής τους και άλλους χρήστες.

3.1.4 Απαιτήσεις για το δίκτυο συγκέντρωσης (τελικών χρηστών)

Τυπικά κάθε χρήστης (κτίριο) εξυπηρετείται από έναν κόμβο πρόσβασης, μέσω φρεατίων και διαδρομών οι οποίες στο φυσικό επίπεδο μπορούν να έχουν μικτή τοπολογία απαρτιζόμενη από αστέρα, αρτηρία ή και δακτύλιο. Κάθε χρήστης θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα πλεονασματικών συνδέσεων (εντός της ίδιας όδευσης) προς τον οικείο κόμβο πρόσβασης και σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να γίνεται εκμετάλλευση κοινών διοδεύσεων όπου αυτό είναι δυνατόν.

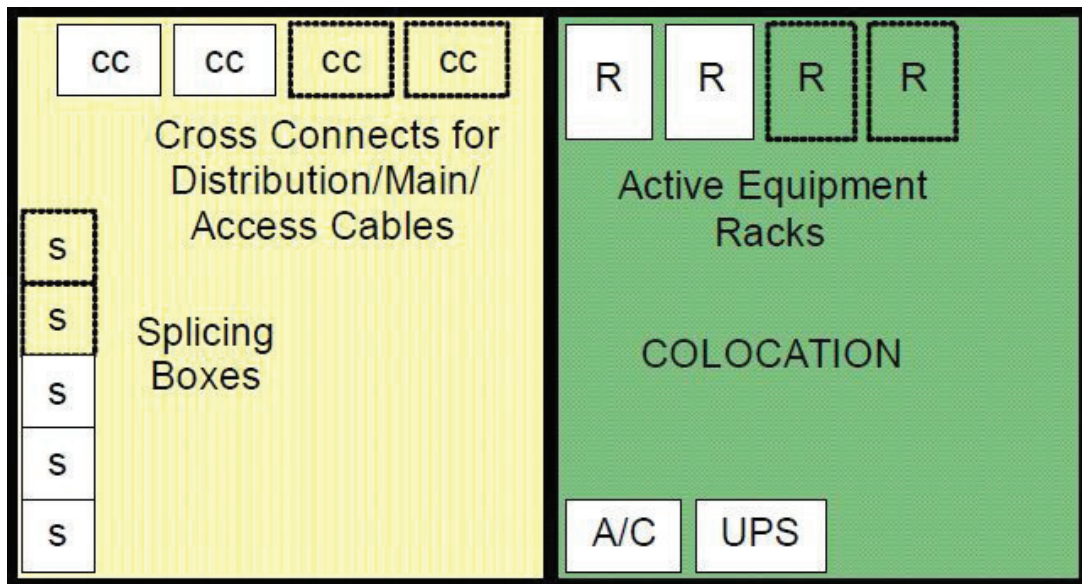
3.1.5 Κύριος κόμβος

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, κοινή διάταξη αδιάλειπτης ηλεκτρικής παροχής με χρόνο αυτόνομης κάλυψης τουλάχιστον 30 λεπτά. Παράλληλα, εάν δεν υπάρχει, πρέπει να μπει στο σχεδιασμό και να υλοποιηθεί δευτερεύουσα πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ηλεκτρο-παραγωγό ζεύγος).

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 κριώματα (Optical Distribution Frames - ODF). Τα ενεργά στοιχεία, καθώς και παθητικές διατάξεις πολυπλεξίας, απο-πολυπλεξίας αφορούσες συγκεκριμένες υπηρεσίες, συγκεκριμένων παρόχων, τοποθετούνται σε κριώματα παράπλευρου χώρου ο οποίος, σε πλήρη ανάπτυξη, μπορεί να έχει διαφορετική πολιτική πρόσβασης και διαφορετικό μηχανισμό ταυτοποίησης.



Σχήμα 3.1: Κόμβος

3.1.6 Κόμβος διανομής

Ο κόμβος διανομής μπορεί:

- να απαρτίζεται απλά από παθητικές διατάξεις cross-connect
- να έχει παθητικά στοιχεία πολυπλεξίας/απο-πολυπλεξίας
- να είναι προετοιμασμένος να υποδεχθεί και ενεργό εξοπλισμό.

Η πρώτη και δεύτερη περίπτωση είναι απλούστερες και μπορούν να υλοποιηθούν ως εξής:

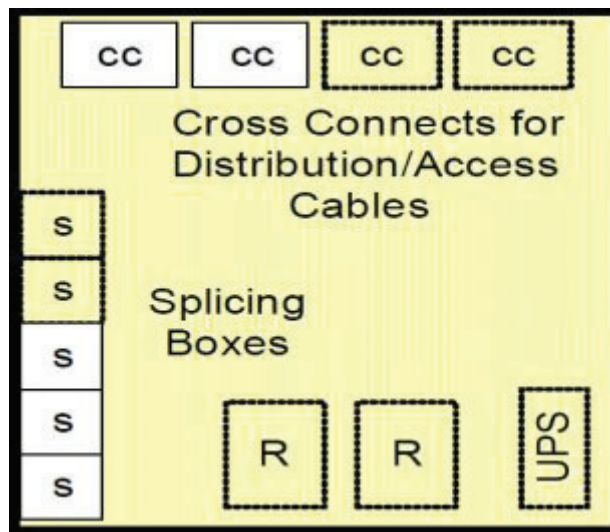
Για την πρώτη περίπτωση, με ένα κιβώτιο εξωτερικού ή εσωτερικού χώρου εφοδιασμένο με ερμάκια συγκόλλησης, τερματισμού, αποθήκευσης καλωδίου και μικτονόμησης από την εμπρόσθια πλευρά.

Για τη δεύτερη περίπτωση απαιτείται επιπλέον χώρος, επαρκής για άμεση ή μελλοντική υποστήριξη παθητικών ή ενεργών στοιχείων πολυπλεξίας (π.χ. CWDM OADM, PON Splitters και Couplers κλπ).

Για τις δύο πρώτες περιπτώσεις δεν απαιτείται ηλεκτρική παροχή.

Αντίθετα στην τρίτη περίπτωση που υπάρχει άμεση ανάγκη τοποθέτησης ενεργού εξοπλισμού, είτε λόγω ύπαρξης στενότητας σε αριθμό ινών προς τον κεντρικό κόμβο, είτε γιατί αυτό προβλέπεται από τον τρόπο παροχής μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας, τότε ο κόμβος διανομής παίρνει τη μορφή μικρού κεντρικού κόμβου, με κριώματα για ενεργά στοιχεία, ηλεκτρική παροχή,

UPS, σύστημα ελέγχου εισόδου και κλιματισμός αν απαιτείται στις συγκεκριμένες κλιματολογικές συνθήκες.

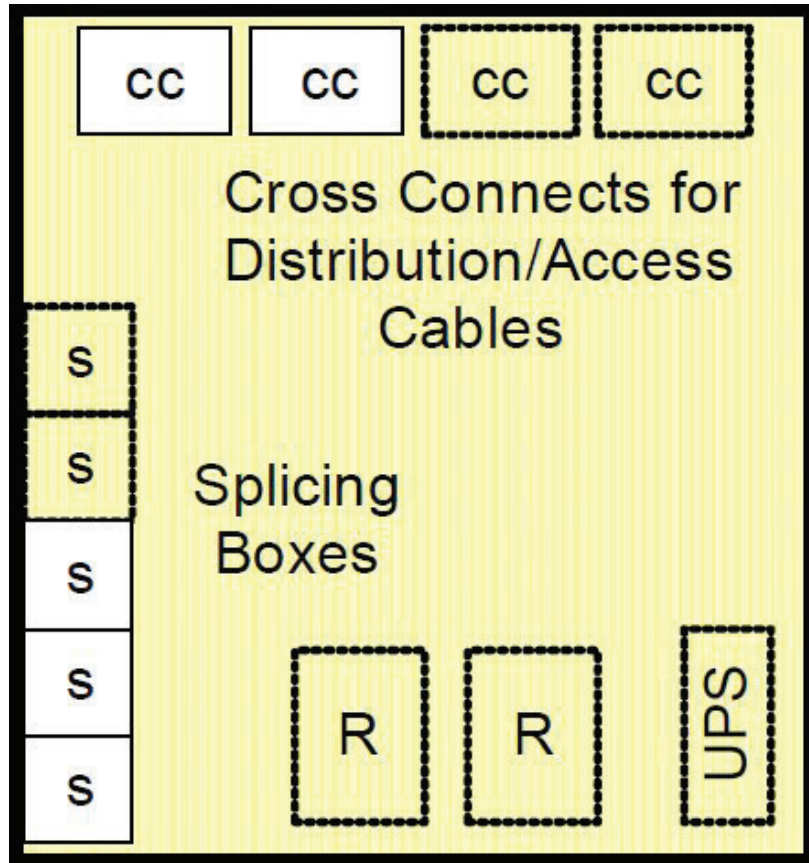


Σχήμα 3.2: Κόμβος Διανομής

3.1.7 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 συστέγονται σε κοινά ικρίωματα (FDFs), και ενεργά στοιχεία μετάδοσης. 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.



Σχήμα 3.3: Κόμβος Πρόσβασης

3.1.8 Τελικός Χρήστης

Κατά τεκμήριο, οι τελικοί χρήστες εξυπηρετούνται από επιτοίχιο οπτικό κιβώτιο συγκόλλησης όπου καταλήγει το καλώδιο εξωτερικού χώρου (ή η μικροσωλήνωση). Ο τερματισμός μπορεί να γίνει στο κιβώτιο αυτό, ή εναλλακτικά να χρησιμοποιηθεί καλώδιο εσωτερικού χώρου του οποίου οι ίνες, μετά τη συγκόλληση στο ένα άκρο με τις αντίστοιχες ίνες του εξωτερικού καλωδίου θα τερματισθούν σε δεύτερο οπτικό κατανεμητή, πλησίον των ενεργών στοιχείων του χρήστη (π.χ. στο ίδιο ικρίωμα 19''). Άξιες ιδιαίτερης προσοχής είναι λύσεις οι οποίες συνδυάζουν σε ένα επιτοίχιο κιβώτιο εξωτερικού χώρου, τη φιλοξενία ενός μεταγωγέα, διάταξης εισόδου και στεγανοποίησης των καλωδίων οπτικών ινών και χαλκού για τον πάροχο και το χρήστη αντίστοιχα, UPS, μπαταρίας και μηχανισμού ασφαλείας για περιορισμό της πρόσβασης. Η λύση αυτή συμβάλει στον περιορισμό διαδικαστικών προβλημάτων που θα προκαλούσε η ανάγκη συντήρησης και επιδιόρθωσης βλαβών σε μη εργάσιμες ώρες.

3.2 Υλικά εγκατάστασης οπτικού δικτύου

3.2.1 Μόνιμοι σύνδεσμοι (splicers)

Κάποιες φορές οι οπτικές ίνες χρειάζεται να ενωθούν μεταξύ τους έτσι ώστε είτε να δημιουργηθούν μεγαλύτερα τμήματα ινών είτε για τη συγκόλληση ινών που έχουν σπάσει.

Σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά καλώδια, που το μόνο που χρειάζεται για να γίνει μια συγκόλληση είναι ένα 'κολλητήρι', η διαδικασία ένωσης οπτικών ινών, που είναι γνωστή ως splicing, είναι αρκετά πολύπλοκη και απαιτεί ειδικά μηχανήματα.

Τα δυο άκρα που πρόκειται να ενωθούν πρέπει να είναι στοιχισμένα με μεγάλη ακρίβεια, ειδάλλως το φως δεν θα μπορεί να διανύσει το κενό ανάμεσα στα δύο άκρα, με αποτέλεσμα να αχρηστεύεται ολόκληρη η οπτική ίνα.

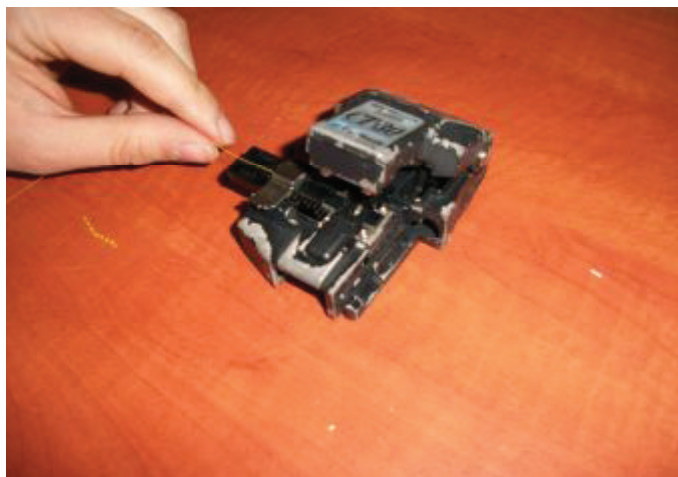
Τα πιθανά «λάθη» που μπορεί να προκληθούν είναι τα παρακάτω:

- Παράλληλη λάθος ευθυγράμμιση
- Αξονική λάθος ευθυγράμμιση
- Γωνιακή λάθος ευθυγράμμιση
- Κακή λείανση της ίνας

Για την αποφυγή προβληματικών ενώσεων έχουν αναπτυχθεί δυο συστήματα που παρέχουν επιτυχείς ενώσεις. Αυτές περιλαμβάνουν την μέθοδο της σύντηξης και τη μηχανική.

3.2.1.1 Ένωση με τη μέθοδο της σύντηξης (Fusion splicing)

Αρχικά η ίνα απογυμνώνεται και καθαρίζεται με ειδικά μαντηλάκια καθαρισμού. Στη συνέχεια κόβεται στην άκρη της (αν τυχόν είναι χαλασμένη σε αυτό το σημείο) υπό γωνία 8° με τον κόφτη.



Σχήμα 3.4: Κόφτης

Η κόλληση γίνεται με το splicer. Θερμαίνοντας δυο οπτικές ίνες καθαρισμένες και κομμένες με μεγάλη ακρίβεια, ακριβώς στη θερμοκρασία που λιώνουν και πιέζοντας τη μια προς την άλλη, συνδέονται δημιουργώντας μια κόλληση με πολύ μικρή απώλεια.

Αρχικά τα τελειώματα των δυο ινών τοποθετούνται απέναντι. Στα σύγχρονα κολλητήρια όλη η διαδικασία που περιγράφεται είναι πλήρως αυτοματοποιημένη. Με χρήση μικροεπεξεργαστών, μικρό-μηχανισμών και εξαιρετικά εξελιγμένης τεχνολογίας σάρωσης, τα τελειώματα των δύο ινών τοποθετούνται απέναντι και ευθυγραμμίζονται με ακρίβεια 1/10.000 mm. Η ευθυγράμμιση συμπεριλαμβάνει έλεγχο της γωνίας κοπής και της καθαρότητας των τελειωμάτων των ινών. Τα δύο τελειώματα θερμαίνονται (χρήση δυο ηλεκτροδίων) με μεγάλη ακρίβεια στη θερμοκρασία που λιώνουν και πλησιάζουν το ένα με το άλλο με χρήση μικρό-μηχανισμών, ώστε τελικά να δημιουργηθεί μια ομογενοποιημένη κόλληση. Κατά τη διαδικασία fusion splicing λαμβάνονται κάποιες εικόνες σάρωσης ώστε να μπορεί να ελεγχθεί η ποιότητα των κολλήσεων.



Σχήμα 3.5: Splicer



Σχήμα 3.6: Η κόλληση είναι επιτυχής

Έπειτα βάζουμε στην κόλληση ένα προστατευτικό, το θερμοσυστελλόμενο (splice protector) για να είναι η ίνα ανθεκτική.



Σχήμα 3.7: Splice protector

3.2.1.2 Μηχανική ένωση

Στη μηχανική ένωση τα δύο άκρα ευθυγραμμίζονται με τη βοήθεια ενός οδηγού ο οποίος είναι συνήθως φτιαγμένος από γυαλί. Τα άκρα του οδηγού είναι συνήθως ραβδωτά έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η ευθυγράμμιση των άκρων της οπτικής ίνας. Ο οδηγός γεμίζεται με οπτικό «τσιμέντο» του οποίου ο συντελεστής διάθλασης είναι ίδιος με αυτό τις κεντρικής ίνας. Αφού τα δύο άκρα τοποθετηθούν στον οδηγό ευθυγραμμίζονται έτσι ώστε να επιτύχουμε τις λιγότερες δυνατές απώλειες. Στη συνέχεια τα δύο άκρα «κλειδώνονται» στη θέση τους και το όλο σύστημα εκτίθεται σε υπεριώδες φως έτσι ώστε να «δέσει» το τσιμέντο.

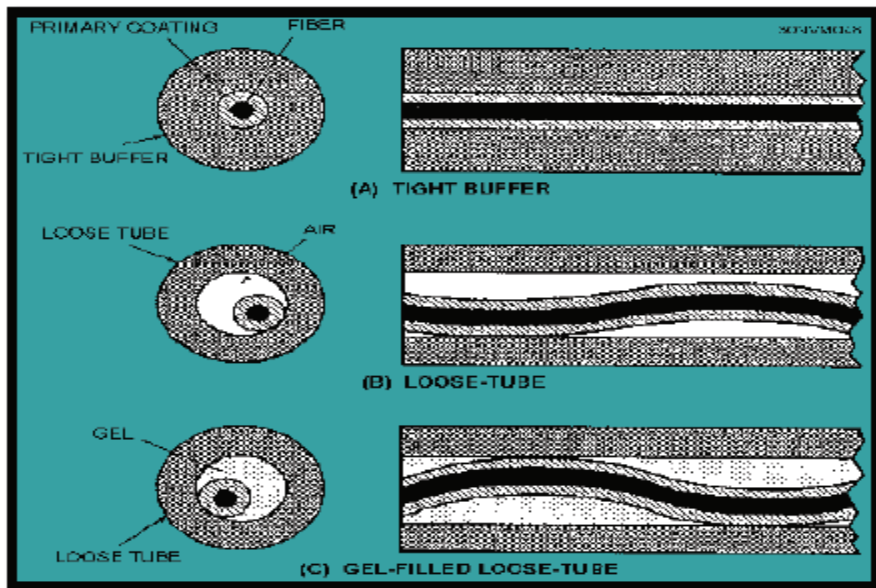
3.2.2 Καλώδια οπτικών ινών

Ως καλώδιο οπτικών ινών ορίζεται το καλώδιο που περιέχει μία ή περισσότερες οπτικές ίνες. Κάθε μία οπτική ίνα είναι επικαλυμμένη με πλαστική στρώση και τοποθετούνται συνολικά εντός καλωδίου, το οποίο θα πρέπει να είναι κατάλληλο για το περιβάλλον που πρόκειται να τοποθετηθεί.

3.2.2.1 Βασικοί σχεδιασμοί καλωδίων

Loose tube (χαλαρός σχεδιασμός): Αυτή η τεχνολογία καλωδίου παρέχει καλύτερη προστασία σε περιπτώσεις ακραίων εναλλαγών θερμοκρασίας. Οι περισσότεροι κατασκευαστές καλωδίων εγχύουν ένα ζελέ για προστασία από το νερό μέσα στους σωλήνες χαλαρής μόνωσης για να προστατεύουν την οπτική ίνα από καταστροφή από το νερό. Γι' αυτούς τους λόγους τα loose-tube καλώδια χρησιμοποιούνται για εξωτερικές εγκαταστάσεις. Τα καλώδια loose-tube που περιέχουν το ζελέ για την προστασία από το νερό δεν μπορούν να εγκατασταθούν σε εσωτερικούς χώρους γιατί παραβιάζουν τους κανονισμούς πυροπροστασίας καθώς το ζελέ προέρχεται από ένα υλικό με βάση το πετρέλαιο.

Tight-buffered (σφιχτός σχεδιασμός): Αυτόν τον σχεδιασμό χρησιμοποιούν οι περισσότερες οπτικές ίνες στα LANs, στον οποίο το buffering υλικό που περικλείει το cladding είναι σε άμεση επαφή με αυτό. Τα καλώδια αυτά έχουν πολύ μικρό μέγεθος και αυτό τα κάνει ιδιαίτερα εύκαμπτα, δηλαδή εύκολα στην εγκατάσταση. Η κατασκευή τους παρέχει εξαιρετική αντίσταση σε συγκρούσεις αλλά δεν προστατεύει το γυαλί της οπτικής ίνας και δεν παρέχει αντοχή σε εναλλαγές θερμοκρασίας. Γι' αυτούς τους λόγους τα καλώδια αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για εσωτερικές εγκαταστάσεις.



Σχήμα 3.8: Σφιχτός και χαλαρός σχεδιασμός καλωδίων οπτικών ινών.

Η ποσότητα των οπτικών καλωδίων και του αριθμού των ινών σε κάθε οπτικό καλώδιο για τα διάφορα μήκη επιλέγονται με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

- Αριθμός υπαρχόντων αγωγών
- Είδος δικτύου (κύριο δίκτυο, δίκτυο διανομής, δίκτυο διασύνδεσης)
- Αριθμός χρηστών
- Πρόβλεψη ή αντιμετώπιση επέκτασης στην περιοχή.
- Αριθμός παρόχων στην περιοχή.
- Πιθανότητα εκμίσθωσης dark fiber στους διαχειριστές Internet, σε επιχειρήσεις και άλλους οργανισμούς που κατασκευάζουν ενεργά δίκτυα.
- Αριθμός κομβικών σημείων στο δίκτυο
- Τοποθέτηση ενεργού εξοπλισμού.
- Βαθμός πλεονασματικότητας στα δίκτυα.

Αν θα χρησιμοποιηθεί υπάρχουσα όδευση, πρέπει να γίνει προσεκτική αποτίμηση του καλύτερου τρόπου χρησιμοποίησης της. Αν ο αριθμός των υπαρχόντων οπτικών σωλήνων είναι μικρός, συστοιχίες μικροσωληνώσεων θα πρέπει να εισαχθούν εντός υπαρχόντων σωλήνων. Εναλλακτικά, θα πρέπει να εγκατασταθεί καλώδιο με μεγαλύτερο αριθμό ινών ώστε να γίνει η καλύτερη δυνατή χρήση της όδευσης.

3.2.2.2 Κοινά στοιχεία κατασκευής καλωδίων εξωτερικού/εσωτερικού χώρου (με μονότροπες ή πολύτροπες οπτικές ίνες)

Η κατασκευή του καλωδιακού πυρήνα αποτελείται:

- Από το κεντρικό στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης που τοποθετείται στον άξονα του καλωδίου και είναι συνήθως διηλεκτρικό κατασκευασμένο από πολυεστέρα ενισχυμένο με ίνες υάλου (Fiber Reinforced Plastic-FRP).
- Από τους πλαστικούς σωληνίσκους χαλαρής δομής εντός των οποίων τοποθετούνται με περίσσεια μήκους μέχρι 12 οπτικές ίνες που περιβάλλονται από κατάλληλο πληρωτικό υλικό (jelly) για την προστασία τους από τυχόν διείσδυση νερού στο καλώδιο.

Με σκοπό τον μοναδικό προσδιορισμό κάθε οπτικής ίνας στο καλώδιο οι σωληνίσκοι είναι χρωματισμένοι με συγκεκριμένη διαδοχή χρωμάτων (π.χ. πρώτος σωληνίσκος κόκκινος, ο τελευταίος μπλε και οι υπόλοιποι λευκού χρώματος), ενώ σε κάθε σωληνίσκο οι οπτικές ίνες έχουν χρωματισμένη την πρωτεύουσα επικάλυψη τους ακολουθώντας συγκεκριμένη διαδοχή χρωμάτων η οποία επαναλαμβάνεται όπως:

1 ^η ίνα: μπλε	5 ^η ίνα: πράσινο	9 ^η ίνα: τουρκουάζ
2 ^η ίνα: κίτρινο	6 ^η ίνα: βιολετί	10 ^η ίνα: μαύρο
3 ^η ίνα: κόκκινο	7 ^η ίνα: πορτοκαλί	11 ^η ίνα: καφέ
4 ^η ίνα: λευκό	7 ^η ίνα: γκρι	12 ^η ίνα: ροζ

Πίνακας 3.1: Αντιστοίχιση ινών και χρωμάτων

Κάθε τηλεπικοινωνιακή εταιρεία έχει δικαίωμα να αλλάζει τη σειρά των χρωματικών διατάξεων στις ίνες.

Για την συμπλήρωση της κυλινδρικής γεωμετρικής δομής του πυρήνα, όπου απαιτείται, χρησιμοποιούνται γεμίσματα αντί σωληνίσκων κατασκευασμένα από πολυαιθυλένιο.

Εφ' όσον απαιτείται για την ενίσχυση σε εφελκυσμό των καλωδίων τοποθετείται γύρω από τον καλωδιακό πυρήνα που σχηματίζεται από την συστροφή των σωληνίσκων στρώση (-εις) ινών αραμίδης ή υάλου ως περιφερειακό στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης.

3.2.2.3 Διαφορές κατασκευής καλωδίων εξωτερικού/εσωτερικού χώρου (με μονότροπες ή πολύτροπες οπτικές ίνες)

3.2.2.3.1 Καλώδια εσωτερικού χώρου

Τα καλώδια αυτά κατασκευάζονται με σκοπό να χρησιμοποιηθούν στο εσωτερικό κτιρίων ώστε να πληρούν τις απαιτήσεις ασφαλείας που σχετίζονται με την καύση τους κατά την εκδήλωση πυρκαγιάς και ικανοποιούν επιπλέον τις απαιτήσεις των προδιαγραφών IEC 60332-1 (διάδοση φλόγας) και IEC 61034-2 (διάδοση καπνού).

Οι σωληνίσκοι (και τα γεμίσματα όπου απαιτείται) συστρέφονται γύρω από το κεντρικό στοιχείο μηχανικής σε διάταξη SZ.

Γύρω από τον καλωδιακό πυρήνα (και το περιφερειακό στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης όπου απαιτείται) δεν τοποθετείται πληρωτικό υλικό.

Είδη καλωδίων εσωτερικού χώρου:

- Καλώδια εσωτερικού χώρου με μεταλλική θωράκιση

Στα καλώδια αυτά τοποθετείται πάνω από τον καλωδιακό πυρήνα και κατά μήκος του καλωδίου με επικάλυψη των άκρων, κυματοειδής χαλύβδινη ταινία η οποία φέρει εκατέρωθεν πλαστική επικάλυψη.

- Διηλεκτρικά καλώδια εσωτερικού χώρου

Στα καλώδια αυτά τοποθετούνται πάνω από τον καλωδιακό πυρήνα πυρίμαχες ταινίες κατάλληλου πάχους με επικάλυψη των άκρων τους.

- Διηλεκτρικά καλώδια εσωτερικού χώρου με αντιτρωκτική προστασία

Στα καλώδια αυτά τοποθετείται πρόσθετη στρώση ινών υάλου κατάλληλου πάχους ως πρόσθετη αντιτρωκτική προστασία.

Όλα τα καλώδια εσωτερικού χώρου φέρουν εξωτερικό μανδύα από θερμοπλαστικό, βραδύκαυστο υλικό τύπου LSZH (Low Smoke Zero Halogen) κατάλληλου πάχους.

3.2.2.3.2 Καλώδια εξωτερικού χώρου

Γύρω από τον καλωδιακό πυρήνα (και το περιφερειακό στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης όπου απαιτείται) τοποθετείται πληρωτικό υλικό (jelly) με σκοπό την προστασία του καλωδιακού πυρήνα από τυχόν διείσδυση νερού.

Εναλλακτικά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν αντί του πληρωτικού μέσου, διογκωτικά υλικά για την προστασία του καλωδίου σε περίπτωση διείσδυσης νερού (dry core).

Για την περαιτέρω προστασία του καλωδιακού πυρήνα τοποθετείται ελικοειδώς με επικάλυψη των άκρων της κατάλληλη ή υδατοαπορροφητική ταινία.

Είδη καλωδίων εξωτερικού χώρου

- Χερσαία

✓ Σωλήνωσης

Είναι καλώδια μικρού βάρους που τοποθετούνται σε πλαστικές σωληνώσεις είτε με έλξη, είτε μέσω εμφύσησης αέρα και φέρουν μεταλλικό φράγμα υγρασίας (φύλλο αλουμινίου).

Στην περίπτωση των καλωδίων αυτών πάνω από τον καλωδιακό πυρήνα, τοποθετούνται επάλληλα από μέσα προς τα έξω τα παρακάτω στρώματα:

- Ταινία αλουμινίου αμφίπλευρα καλυμμένη με στρώμα πολυαιθυλενίου η οποία τοποθετείται κατά μήκος του καλωδίου με επικάλυψη των πλευρών της.
- Εξωτερικός μανδύας πολυαιθυλενίου μαύρου χρώματος και κατάλληλου πάχους.

✓ Σωλήνωσης διηλεκτρικά

Είναι καλώδια μικρού βάρους που τοποθετούνται σε πλαστικές σωληνώσεις είτε με έλξη, είτε μέσω εμφύσησης αέρα και δεν φέρουν μεταλλική θωράκιση καθώς χρησιμοποιούνται σε κεραυνόπληκτες περιοχές ή σε διαδρομές όπου αναμένονται έντονες ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις (π.χ. τοποθετούνται παράλληλα σε γραμμές υψηλής τάσης).

Στην περίπτωση των καλωδίων αυτών πάνω από τον καλωδιακό πυρήνα, τοποθετείται ο εξωτερικός μανδύας πολυαιθυλενίου μαύρου χρώματος και κατάλληλου πάχους.

Εναλλακτικά και μετά από απαίτηση του πελάτη μπορούν να τοποθετηθούν επάλληλα από μέσα προς τα έξω τα παρακάτω στρώματα.

- Εσωτερικός μανδύας πολυαιθυλενίου μαύρου χρώματος και κατάλληλου πάχους.
- Στρώση ινών αραμίδης ή υάλου ως περιφερειακό πρόσθετο στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης. Στην περίπτωση των ινών υάλου αυτές τοποθετούνται και ως αντιτρωκτική προστασία.
- Εξωτερικό μανδύα πολυαιθυλενίου μαύρου χρώματος και κατάλληλου πάχους.

✓ Οπλισμένα για απ' ευθείας ταφή

Είναι ειδικά ενισχυμένα καλώδια που τοποθετούνται σε υπόγειες τάφρους σε άμεση επαφή με το χώμα.

Στην περίπτωση των καλωδίων αυτών πάνω από τον καλωδιακό πυρήνα, τοποθετούνται επάλληλα από μέσα προς τα έξω τα παρακάτω στρώματα.

- Ταινία αλουμινίου αμφίπλευρα καλυμμένη με στρώμα πολυαιθυλενίου η οποία τοποθετείται κατά μήκος του καλωδίου με επικάλυψη των πλευρών της.
- Εσωτερικός μανδύας πολυαιθυλενίου μαύρου χρώματος και κατάλληλου πάχους.
- Κυματοειδής χαλύβδινη ταινία η οποία φέρει εκατέρωθεν πλαστική επικάλυψη και η οποία τοποθετείται κατά μήκος του καλωδίου με επικάλυψη των πλευρών της.
- Εξωτερικός μανδύας πολυαιθυλενίου μαύρου χρώματος και κατάλληλου πάχους.

✓ Μικροσωλήνωσης

Είναι καλώδια σωλήνωσης διηλεκτρικά μικρής διαμέτρου (6mm) για εγκατάσταση σε πλαστικές μικροσωληνώσεις (εσωτερικής διαμέτρου 8mm) μέσω εμφύσησης αέρα.

Τα καλώδια αυτά με περιεκτικότητα έως 72 οπτικές ίνες λόγω της αιτούμενης μικρής εξωτερικής τους διαμέτρου και του αιτούμενου μικρού τους βάρους αποτελούνται:

- Από πλαστικούς σωληνίσκους χαλαρής δομής μικρής εξωτερικής διαμέτρου που περιέχουν έκαστος 12 οπτικές ίνες.
- Είναι κατασκευής «dry core», δεν φέρουν πληρωτικό μέσο στον πυρήνα.
- Δεν φέρουν περιφερειακό στέλεχος μηχανικής ενίσχυσης.
- Φέρουν εξωτερικό μανδύα μικρού πάχους.

- **Εναέρια**

Είναι ειδικά καλώδια ενισχυμένα σε εφελκυσμό και για λειτουργία σε δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες και αναρτώνται μεταξύ στήλων.

- ✓ **Αυτοστήρικτα σχήματος "8"**

Τα καλώδια αυτά φέρουν συρματόσχοινο (messenger wire) που αποτελείται από επικασσιτερωμένα χαλύβδινα σύρματα υψηλής αντοχής σε εφελκυσμό το οποίο συνδέεται μηχανικά με τον πυρήνα του καλωδίου μέσω πλέγματος (μίσχου) ορθογωνιακής διατομής από πολυαιθυλένιο που αποτελεί μέρος του εξωτερικού μανδύα πολυαιθυλενίου που περιβάλλει στο επάνω τμήμα του καλωδίου το φέρον συρματόσχοινο και στο κάτω τμήμα του καλωδίου τον οπτικό πυρήνα (διατομή καλωδίου σχήματος «8»).

Στην περίπτωση των καλωδίων αυτών τοποθετείται παράλληλα κατά την ίδια φάση παραγωγής πάνω από το φέρον συρματόσχοινο και τον οπτικό πυρήνα ο εξωτερικός μανδύας πολυαιθυλενίου κατάλληλου πάχους μαύρου χρώματος σταθεροποιημένου σε UV και ανθεκτικού σε καιρικές μεταβολές.

Είναι δυνατή η αντικατάσταση του φέροντος συρματόσχοινο με (μη μεταλλικό) πολυεστερικό μηχανικό στοιχείο το οποίο είναι ενισχυμένο με ίνες υάλου FRP (αυτοστήρικτο διηλεκτρικό καλώδιο σχήματος «8» - για χρήση σε κεραυνό- πληκτες περιοχές ή σε διαδρομές όπου αναμένονται έντονες ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις).

- ✓ **Αυτοστήρικτα διηλεκτρικά**

Τα καλώδια αυτά είναι κυκλικής διατομής μικρότερου βάρους, σε σχέση με τα αυτοστήρικτα σχήματος «8», δεν φέρουν μεταλλικά στοιχεία, χρησιμοποιούνται σε διαδρομές όπου αναμένονται έντονες ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις, ενώ φέρουν πρόσθετη περιφερειακή ενίσχυση σε εφελκυσμό για αντοχή στο φαινόμενο του καλπασμού (galloping effect) και των αιολικών ταλαντώσεων (aeolian vibrations).

Στην περίπτωση των καλωδίων αυτών πάνω από τον καλωδιακό πυρήνα τοποθετούνται επάλληλα από μέσα προς τα έξω τα παρακάτω στρώματα:

- Εσωτερικός μανδύας πολυαιθυλενίου μαύρου χρώματος και κατάλληλου πάχους.
- Πρόσθετη στρώση περιφερειακού υλικού μηχανικής ενίσχυσης από ίνες αραμιδής.
- Εξωτερικός μανδύας πολυαιθυλενίου κατάλληλου πάχους μαύρου χρώματος σταθεροποιημένου σε UV και ανθεκτικού σε καιρικές μεταβολές.

3.2.3 Φρεάτια

Τα φρεάτια χρησιμοποιούνται για τρεις κυρίως σκοπούς:

- α) για τοποθέτηση πλεονασματικού καλωδίου (looping cable).
- β) για συγκόλληση/διακλάδωση καλωδίων και φιλοξενία των διατάξεων συγκόλλησης (cable splicing) ή διακλαδωτήρων μικροσωληνώσεων (microtube branching).
- γ) ως σημεία για την υποβοήθηση της έλξης ή της εμφύσησης καλωδίου.

Για ομοιομορφία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας τύπος φρεατίου (με μεταβλητές διαστάσεις ανάλογα με τη λειτουργία του και τους εκάστοτε περιορισμούς). Σε περιπτώσεις που ο υπόγειος χώρος είναι περιορισμένος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπαίθρια κιβώτια καλωδίων.

Στις πυκνοδομημένες αστικές περιοχές, τα φρεάτια συγκόλλησης ή διακλάδωσης συστήνεται να τοποθετούνται σε αποστάσεις από 200 έως 300 μέτρα, ενώ για διαδρομές καλωδίων σε αραιοκατοικημένες περιοχές οι αντίστοιχες αποστάσεις μπορούν να φτάνουν τα 500 μέτρα. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι αποστάσεις μεταξύ των φρεατίων που θα χρησιμοποιηθούν για την υποβοήθηση του περάσματος ίνας με έλξη ή εμφύσηση, πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να υποστηρίζονται απρόσκοπτα όλες οι προβλεπόμενες τεχνικές περάσματος του καλωδίου για τον προβλεπόμενο τύπο και αριθμό καλωδίων και τον υπάρχοντα ή προβλεπόμενο τύπο σωληνώσεων, υπο-σωληνώσεων ή μικρο-σωληνώσεων.

Φρεάτια για τοποθέτηση πλεονασματικού καλωδίου συστήνεται να τοποθετούνται σε τακτά διαστήματα ιδιαίτερα σε περιοχές όπου προβλέπονται μελλοντικές μικρο-μετατοπίσεις της διόδευσης. Πρέπει να δοθεί προσοχή στον προσδιορισμό της θέσης των φρεατίων ώστε να μπορούν να προστεθούν εύκολα χρήστες στο μέλλον.

Η επιλογή της θέσης τους πρέπει να γίνει λαμβάνοντας υπόψη τη βέλτιστη θέση για τη σύνδεση με τους ακραίους κλάδους των τελικών χρηστών. Τα φρεάτια των σωλήνων πρέπει να είναι αρκετά μεγάλα ώστε να επιτρέπουν όλες τις εργασίες εγκατάστασης καλωδίων στους σωλήνες, την αποθήκευση των πλεονασματικών βρόχων καλωδίου για σύνδεση και συντήρηση, των αναρτήρων και φορέων καλωδίου, καθώς και την αποθήκευση κιβωτίων συγκόλλησης καλωδίου. Διατίθενται επίσης δομικά στοιχεία φρεατίου κατασκευασμένα επί τόπου. Όπου τα υφιστάμενα φρεάτια πρόσβασης είναι ανεπαρκή λόγω μεγέθους ή υπερσυγκέντρωσης καλωδίων / κιβωτίων θα πρέπει να εξεταστεί η κατασκευή πλαϊνού εκτός τροχιάς φρεατίου. Κατά περίπτωση μπορεί να απαιτείται πρόνοια αποφυγής μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης και ασφάλισης του φρεατίου. Σε τέτοιες περιπτώσεις, θα πρέπει να εξεταστεί η περίπτωση τοποθέτησης ειδικά θωρακισμένων καλυμμάτων φρεατίων και κλειδαριών ασφαλείας κατά της παραβίασης.

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι φρεατίων:

- Θυρίδες χειρός από σκυρόδεμα
- Θυρίδες χειρός από HDPE
- Πολυεστερικές θυρίδες χειρός
- Πολυκαρβονικές θυρίδες χειρός



(α): Από Σκυρόδεμα



(β): HDPE



(γ) : Πολυκαρβονικά



Σχήμα 3.9: Τύποι Φρεατίων

Κριτήρια επιλογής τύπου φρεατίου:

- Τόπος εγκατάστασης (για λόγους ασφαλείας)
- Μέγιστο φορτίο αντοχής
- Απαιτούμενος χώρος
- Τοπικοί κανονισμοί
- Τοποθέτηση (στην επιφάνεια του εδάφους ή υπόγεια)

Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει κίνδυνος κατεδάφισης ορισμένες φορές είναι προτιμότερο να τοποθετηθεί το φρεάτιο πλήρως υπογείως. Αυτό έχει το μειονέκτημα της δυσκολίας πρόσβασης σε περίπτωση επακόλουθης θεμελίωσης. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί φρεάτιο με κάλυμμα που κλειδώνει με ειδικά κλειδιά. Υπάρχουν διαθέσιμοι αρκετοί τύποι για όλους τους τύπους θυρίδων χειρός.

Τα κιβώτια σύνδεσης καλωδίου μπορεί να λειτουργούν ως σύνδεσμοι διέλευσης για τη μεταξύ τους σύνδεση διαδοχικών τμημάτων καλωδίου και ίνας, ή να λειτουργούν ως διακλαδώσεις προς μικρότερους ακραίους κλάδους. Τα κιβώτια θα τοποθετούνται στις ανθρωποθυρίδες ή τα υπόγεια φρεάτια. Κατά περίπτωση η σύνδεση καλωδίου μπορεί να πραγματοποιηθεί εντός πλαϊνού εκτός τροχιάς φρεατίου ή σε υπέργειο ερμάριο. Τα κύρια ζητήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στα κιβώτια είναι η αντίσταση στο μακροχρόνιο πλημμύρισμα και η πρόβλεψη για μελλοντική πρόσβαση για πρόσθεση ή αναδιαμόρφωση των κυκλωμάτων οπτικών ινών των τελικών χρηστών. Τυπικά, η τοποθέτηση κιβωτίων μπορεί να πραγματοποιείται ανά 500 μέτρα για μεσαίας πυκνότητας περιοχές και ανά 250 μέτρα σε υψηλής πυκνότητας περιοχές. Συγκεκριμένα δίκτυα μπορεί να απαιτούν τη χρήση ενδιάμεσων συνδέσμων, επιτρέποντας στα στοιχεία οπτικών ινών να συνεχίζονται μέσω του συνδέσμου χωρίς συγκόλληση. Μόνο οι απαιτούμενες ίνες διακόπτονται για

συγκόλληση.

Ενδεικτικά χαρακτηριστικά παρατίθενται στη συνέχεια:

Φρεάτιο Φ1 μεγάλο:

- Μέσο μήκος φρεατίου (εσωτερικά): 900mm
- Μέσο πλάτος φρεατίου (εσωτερικά): 700mm
- Μέσο βάθος φρεατίου 650mm με απόσταση μεγαλύτερη των 200mm μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και των αγωγών)
- Προβλεπόμενη μέση απόσταση μεταξύ των φρεατίων: 250-300 m
- Περιμετρική κάλυψη με σκυρόδεμα πάχους τουλάχιστον 150mm με οπλισμό 2#T377

Φρεάτιο Φ2 μεσαίο:

- Μέσο μήκος φρεατίου (εσωτερικά): 600mm
- Μέσο πλάτος φρεατίου (εσωτερικά): 600mm
- Μέσο βάθος φρεατίου 650mm με απόσταση μεγαλύτερη των 200mm μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και των αγωγών)
- Προβλεπόμενη μέση απόσταση μεταξύ των φρεατίων: 250-300 m
- Περιμετρική κάλυψη με σκυρόδεμα πάχους τουλάχιστον 150mm με οπλισμό 2#T377

Φρεάτιο Φ3 μικρό:

- Μέσο μήκος φρεατίου (εσωτερικά): 300mm
- Μέσο πλάτος φρεατίου (εσωτερικά): 300mm
- Μέσο βάθος φρεατίου 450mm με απόσταση μεγαλύτερη των 200mm μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και των αγωγών)
- Προβλεπόμενη μέση απόσταση μεταξύ των φρεατίων: 250-300 m
- Περιμετρική κάλυψη με σκυρόδεμα πάχους τουλάχιστον 150mm με οπλισμό 2#T377

Καλύμματα Φρεατίων:

Τα καλύμματα των φρεατίων πρέπει να υπερκαλύπτουν τις προδιαγραφές D400 για αντοχή πάνω από 10 τόνους και πρέπει να έχουν τις αναγκαίες βεβαιώσεις του Ελληνικού Οργανισμού Τυποποίησης. Σε κάθε περίπτωση, τα φρεάτια θα πρέπει να μπορούν να φιλοξενήσουν τις απαραίτητες διατάξεις συγκόλλησης ινών, διακλάδωσης μικρο-σωληνώσεων, σύνδεσης και σφράγισης υποσωληνίων κλπ.

Επίσης θα πρέπει να μπορούν να φιλοξενήσουν πλεονασματικό καλώδιο χωρίς να παραβιάζονται οι προδιαγραφές του κατασκευαστή για την ελάχιστη ακτίνα κάμψης κλπ. Τέλος θα πρέπει να αναγράφεται συγκεκριμένα το λογότυπο που αφορά το δίκτυο.

ΦΟΡΤΙΟ ΚΑΛΥΜΑΤΟΣ	ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ
A 15 15 kN Φορτίο δοκιμής	Περιοχές κυκλοφορίας που χρησιμοποιούνται μόνο από πεζούς και ποδήλατα και παρόμοιες περιοχές (π.χ. χώροι πάρκων) – μπορούν να διασχιστούν από αυτοκίνητα σε περιορισμένη έκταση
B 125 125 kN Φορτίο δοκιμής	Πεζοδρόμια, χώροι πεζών, χώροι στάθμευσης – μπορούν να διασχιστούν από αυτοκίνητα σε περιορισμένη έκταση
D 400 400 kN Φορτίο δοκιμής	Όλοι οι οδοί κυκλοφορίας (εκτός από διαδρόμους προσγείωσης)

Πίνακας 3.2: Πεδία εφαρμογής καλυμμάτων

3.2.4 Σωληνώσεις

Αναφερόμαστε στο σύστημα σωλήνων και υποσωλήνων HDPE ή και συστοιχιών μικροσωληνώσεων που θα εγκατασταθούν για την υποδοχή των οπτικών καλωδίων.

Ένα σημαντικό κόστος της υποδομής αποτελούν οι εκσκαφές και η τοποθέτηση των σωληνώσεων αυτών. Αυτό αυξάνει τις απαιτήσεις για καλό σχεδιασμό και πρόβλεψη. Σχετικά με τον προσδιορισμό των μελλοντικών αναγκών, η εμπειρία δείχνει, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου ανάλογες υποδομές αναπτύχθηκαν από τηλεπικοινωνιακούς φορείς με σκοπούς, την κάλυψη άμεσων αναγκών και την ελαχιστοποίηση του κόστους, ότι αυτά ήταν υπο-διαστασιολογημένα όσον αφορά σωληνώσεις, καλώδια, μέγεθος και πυκνότητα φρεατίων.

Στην επιλογή της διόδευσης, πρέπει να δοθεί προσοχή στη μελλοντική δομή του πλήρως ανεπτυγμένου δικτύου. Οι σωληνώσεις για το κύριο δίκτυο, το δίκτυο διανομής και το δίκτυο πρόσβασης διαστασιολογούνται χωριστά.

Ο αριθμός των σωλήνων (ή υποσωλήνων ή συστοιχιών μικροσωλήνων εντός ενός κοινού σωλήνα) εξαρτάται από τον αριθμό των απαιτούμενων οπτικών καλωδίων. Η τοποθέτηση ενός (και μόνο) καλωδίου ανά υποσωλήνωση ή μικροσωλήνα πρέπει να θεωρείται γενικός κανόνας και να αποφεύγονται οι παρεκκλίσεις. Σε κάθε περίπτωση, ο σχεδιασμός κύριου δικτύου, δικτύου διανομής, και δικτύου πρόσβασης, πρέπει να προβλέπει την άμεση τοποθέτηση κενών σωλήνων ή συστοιχιών μικροσωληνώσεων και τη μελλοντική εισαγωγή υπο-σωλήνων και οπτικών καλωδίων για την ικανοποίηση της μελλοντικής ζήτησης.

Η θεώρηση των αναπτυξιακών και ρυμοτομικών σχεδίων της περιοχής είναι απαραίτητη ώστε η πιθανότητα να προκύψει ανάγκη αχρήστευσης ή μετακίνησης μεγάλου μέρους της υποδομής να ελαχιστοποιηθεί.

3.2.4.1 Τρόποι υποδομής σωληνώσεων:

α) 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.

β) Χρήση συστοιχιών μικροσωληνώσεων οι οποίες και προτείνονται να χρησιμοποιηθούν τουλάχιστον για τις συνδέσεις των χρηστών, το δίκτυο πρόσβασης ή/και τις αρτηρίες διανομής (ακόμη και του κυρίου δικτύου εάν αυτό είναι εφικτό).

3.2.4.1.1 Συμβατική Υποδομή με Σωλήνες

Περιλαμβάνει ένα μεγάλο κύριο σωλήνα που περιέχει μικρότερους υποσωλήνες (για ανεξάρτητη εγκατάσταση καλωδίου), ένα μεγάλο κύριο σωλήνα εντός του οποίου έλκονται προοδευτικά καλώδια το ένα πάνω από το άλλο καθώς αναπτύσσεται το δίκτυο ή ένα μικρό υποσωλήνα για την εγκατάσταση ενός μόνου καλωδίου. Η εγκατάσταση σωλήνα αποτελεί την ευκολότερη και ασφαλέστερη μέθοδο και επιτρέπει επίσης την περαιτέρω πρόσβαση και αναδιαμόρφωση. Η αποτελεσματικότητα της εγκατάστασης καλωδίου σε σωλήνες εξαρτάται έντονα από την ποιότητα της τοποθέτησης του σωλήνα.

Η χρήση ενός μόνου σωλήνα μεγιστοποιεί τον αριθμό των καλωδίων που μπορούν να εγκατασταθούν αλλά οι γεμάτοι σωλήνες δυσκολεύουν την αφαίρεση των παλαιότερων καλωδίων (τυπικά στο κάτω τμήμα του σωλήνα) για να δημιουργηθεί χώρος για νέα καλώδια. Η χρήση υποσωλήνων μπορεί να μειώνει τον ολικό αριθμό καλωδίων που μπορούν να εγκατασταθούν, αλλά τουλάχιστον τα παλαιότερα καλώδια μπορούν να αφαιρεθούν και να εγκατασταθούν νέα. Επιτρέπει επίσης το ίδιο καλά με την έλξη καλωδίου την εμφύσηση καλωδίου, εφόσον είναι ευκολότερη η δημιουργία αεροστεγούς σύνδεσης στον υποσωλήνα.

Αυτή η υποδομή μπορεί να ακολουθηθεί για το κύριο δίκτυο στην περίπτωση μεγάλων αποστάσεων και επίσης πρέπει να εξετασθεί η καταλληλότητα της χρήσης της για το δίκτυο διανομής και πρόσβασης καθώς και για τις συνδέσεις προς τους χρήστες.

Κάθε καλώδιο του κυρίου δικτύου τοποθετείται εντός ιδιαίτερης υποσωληνώσεως και οδεύει χωρίς διακοπές από κύριο κόμβο σε κύριο κόμβο με προσπάθεια για μεγιστοποίηση των τμημάτων τα οποία μεσολαβούν μεταξύ συγκολλήσεων. Οι συγκολλήσεις όλων των ινών του καλωδίου ασφαλιζονται και προστατεύονται από την υγρασία εντός ειδικής διάταξης (μούφας).

Το δίκτυο διανομής, αναπτύσσεται με τον ίδιο τρόπο εφ' όσον αυτό είναι δυνατόν. Η πρόβλεψη πλεονασματικής απ' ευθείας σύνδεσης ενός κόμβου διανομής προς δεύτερο κύριο κόμβο, απαιτεί την ύπαρξη κενής υποσωληνώσεως καθ' όλο το μήκος της σχετικής διαδρομής. Έτσι για ένα τμήμα με N κόμβους διανομής μεταξύ δύο κυρίων κόμβων, απαιτούνται N υποσωλήνες.

Για τη μείωση του απαιτούμενου αριθμού καλωδίων και υποσωληνώσεων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν καλώδια μεγαλύτερου αριθμού ινών και στο πέρασμά τους από τους κόμβους διανομής να εξέρχονται μέσω διάταξης συγκόλλησης μόνο οι απαιτούμενες για το συγκεκριμένο κόμβο ίνες από τον κατάντη της διαδρομής κύριο κόμβο και να εισέρχονται οι ίνες που προορίζονται για τον ανάντη της διαδρομής κύριο κόμβο.

Το δίκτυο πρόσβασης αναπτύσσεται με τον ίδιο τρόπο που αναφέρθηκε στην παραπάνω παράγραφο για το δίκτυο διανομής.

Οι χρήστες γενικά υποστηρίζονται με διακριτά καλώδια από τον κόμβο πρόσβασης χωρίς να αποκλείεται η προαναφερθείσα τεχνική με καλώδιο που εκκινεί από κόμβο πρόσβασης και «ξεφλουδίζεται» τμηματικά παρέχοντας συγκεκριμένο αριθμό ινών ανά χρήστη. Η διαμεσολάβηση χρήστη στο δίκτυο πρόσβασης δεν αποκλείεται σε περιπτώσεις μεγάλου χρήστη ισοδύναμου από άποψη απαίτησης ινών με κόμβο πρόσβασης.

Τα καλώδια εγκαθίστανται στους σωλήνες με έλξη, εμφύσηση ή επίπλευση. Εάν πρόκειται να τραβηχτούν, τότε ο σωλήνας είτε πρέπει να έχει προ εγκατεστημένο οδηγό έλξης ή να εγκατασταθεί ένας με ράβδο οδηγό. Εάν πρόκειται να εγκατασταθούν με εμφύσηση ή επίπλευση, τότε ο σωλήνας και οι τυχόν συνδέσεις μεταξύ των τμημάτων του σωλήνα πρέπει να είναι αεροστεγή.

Οι σωλήνες HDPE θα έχουν εξωτερική διάμετρο 40mm ή 50mm και εσωτερική διάμετρο 32mm ή 44mm αντίστοιχα σε διάταξη μονών σωληνώσεων ή συστοιχιών περισσοτέρων της μίας συνδεδεμένων κατά μήκος σωληνώσεων. Οι σωλήνες θα έχουν τη δυνατότητα σύνδεσης τμημάτων τους, χωρίς αλλαγή της εσωτερικής διαμέτρου για την εξασφάλιση της απρόσκοπτης ολίσθησης υποσωληνώσεων εντός του σωλήνα. Οι σωλήνες θα είναι κατασκευασμένοι από HDPE με υψηλές προδιαγραφές όσον αφορά την αντοχή σε θλίψη, παραμόρφωση και κρούση. Οι σωλήνες θα έχουν εσωτερικά ιδιαίτερα λεία επιφάνεια και διαμήκεις εσοχές για μείωση της επιφάνειας επαφής με υποσωληνώσεις ή καλώδια, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι τριβές και να διευκολύνεται το πέρασμα των τελευταίων. Οι κενές σωληνώσεις θα φέρουν στο εσωτερικό τους διηλεκτρικό οδηγό για έλξη υποσωληνώσεων ή καλωδίων. Οι σωλήνες θα είναι ενιαίου χρώματος (μαύρου ή γκρι ή πορτοκαλί) και θα διαφέρουν από τους σωλήνες ύδρευσης, φυσικού αερίου, και ηλεκτροδότησης (τυπικά μπλε, κόκκινου και κίτρινου χρώματος αντίστοιχα)



Σχήμα 3.10: Σωλήνας HDPE

Οι σωλήνες δεν θα διακόπτονται εκτός όπου προβλέπεται από την μελέτη και συντρέχει ιδιαίτερος λόγος (συγκόλληση ινών, έλξη καλωδίων, εισαγωγή υποσωληνών και συστημάτων μικροσωληνώσεων).

Οι σωλήνες πρέπει να συμμορφώνονται στις οδηγίες για προστασία του περιβάλλοντος ISO GUIDE 64.2 (Guide for the inclusion of environmental aspects in product standard, draft 9/96) και IEC Guide 109, Environmental aspects – inclusion in electrotechnical product standard, 1995/08.

Κατ' ελάχιστο θα πρέπει να έχουν προδιαγραφές ισοδύναμες του EN 50086-2-4/1994 όσον αφορά την αντοχή σε πίεση, κάμψη (έως την αναφερόμενη ελάχιστη ακτίνα) και κρούση.

Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να υπάρχει χρωματικός κώδικας ή άλλος εμφανής τρόπος αναγνώρισης της κάθε σωληνώσεως.

3.2.4.1.2 Χρήση συστοιχιών μικροσωληνώσεων

Στη δεύτερη υποδομή, προτείνεται να χρησιμοποιηθούν συστοιχίες μικροσωληνώσεων για τις συνδέσεις των χρηστών, το δίκτυο πρόσβασης ή/και τις αρτηρίες διανομής.

Οι μικροσωληνώσεις είτε έχουν τη μορφή μίας ολοκληρωμένης συστοιχίας σωληνίσκων με εξωτερικό περιβάλλοντα προστατευτικό μανδύα (κατάλληλο για άμεσο ενταφιασμό π.χ. από HDPE), είτε μπορούν να τοποθετηθούν τμηματικά κατά δέσμες, εφόσον προκύπτει ανάγκη, εντός υπάρχοντος προστατευτικού σωλήνα με ειδικές διατάξεις προώθησης.

Αν και εκ πρώτης όψεως το σύστημα φαίνεται παρόμοιο με αυτό των συμβατικών υποσωληνώσεων που χρησιμοποιούνται στη συμβατική προσέγγιση, η διαφορά έγκειται στο εξής: Αντί της δρομολόγησης οπτικών ινών μέσω συγκόλλησης μεταξύ διαφορετικών καλωδίων και χρήσης διατάξεων συγκόλλησης, αυτά που δρομολογούνται είναι οι μικροσωληνώσεις μέσω κατάλληλων διακλαδωτήρων και συνδέσμων. Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται ένα λείο φυσικό κανάλι από επιλεγμένο σημείο προς επιλεγμένο σημείο, με τη δυνατότητα το κανάλι αυτό να ενώνει κόμβους διαφορετικών επιπέδων, κόμβους ίδιου επιπέδου ή χρήστες με κόμβους πρόσβασης. Τα άκρα των κενών μικροσωληνών σφραγίζονται με υδατοστεγή πάματα στα σημεία που αυτές καταλήγουν (κατά τεκμήριο σε κόμβους).

Το μικροκαλώδιο εμφυσάται με κατάλληλες συσκευές σε ύστερο χρόνο, όταν απαιτείται, και με τον απαιτούμενο αριθμό ινών ο οποίος με την τρέχουσα τεχνολογία μπορεί να κυμαίνεται από 2 έως 96 ίνες με την μέγιστη εξωτερική διάμετρο του μικρο-καλωδίου να παραμένει στο επίπεδο των 4-6mm, ανάλογα με τον αριθμό των ινών.

Η διάμετρος και το βάρος του μικρο-καλωδίου είναι δυνατό να παραμένει σε χαμηλά επίπεδα επειδή λόγω της μεθόδου τοποθέτησης και λόγω της προστασίας από τη μικροσωληνώση και το εξωτερικό περιβάλλον της συστοιχίας, δεν αναπτύσσονται δυνάμεις ελκυσμού ή θλίψης οπότε εκλείπει η ανάγκη για ενισχυτικούς μανδύες στο ίδιο το καλώδιο. Βεβαίως η απαιτούμενη αντοχή του μικροκαλωδίου πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αντέχει τα συνήθη φορτία κρούσης και θλίψης τα οποία μπορούν να αναπτυχθούν κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης του καλωδίου καθ' όσο διάστημα αυτό βρίσκεται εκτεθειμένο εκτός των μικροσωληνώσεων.

Απουσιάζουν οι διατάξεις συγκόλλησης οι οποίες πλέον περιορίζονται στο εσωτερικό των κόμβων και στο εσωτερικό των εγκαταστάσεων των χρηστών. Οι συνδέσεις με τον απαιτούμενο αριθμό ινών γίνονται όταν προκύψει ανάγκη. Δεν τοποθετείται μικροκαλώδιο εάν αυτό δεν χρειάζεται άμεσα ή μεσοπρόθεσμα.

Για μεγάλες αποστάσεις, η εμφύσηση του καλωδίου μπορεί να γίνει από ενδιάμεσο σημείο προς τα υπο σύνδεση άκρα ή ακόμη και να επαναληφθεί σε σειρά. Το καλώδιο μπορεί να παραγελθεί σε στροφεία μεγάλου μήκους αλλά εάν παρουσιασθεί η ανάγκη συγκόλλησης μεταξύ δύο τμημάτων μεγάλου μήκους, αυτό μπορεί να γίνει με διακλάδωση των σχετικών μικροσωληνώσεων στο κιβώτιο συγκόλλησης .

Οι δρομολογήσεις για εναλλακτικές οδεύσεις μπορούν να προετοιμασθούν σε οποιαδήποτε στιγμή και νέο μικρο-καλώδιο μπορεί να εμφυσηθεί όταν προκύψει ανάγκη.

3.2.4.2 Τύποι μικροσωληνών

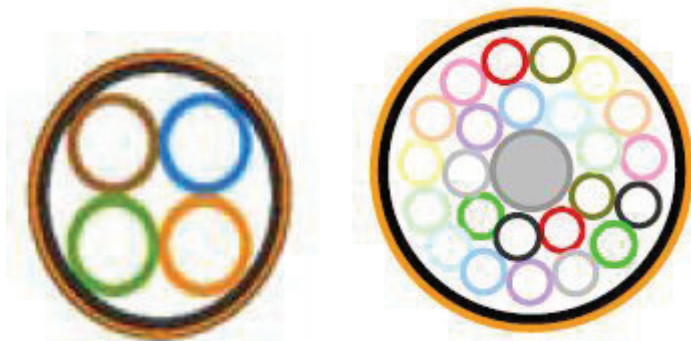
- *(M1) Συστοιχία μικροσωληνώσεων (microduct bundles):* με 7 ή περισσότερους σωληνίσκους (microtubes), στην καθεμία εκ των οποίων θα μπορεί να εμφυσηθεί, με την κατάλληλη διάταξη εμφύσησης, μικροκαλώδιο (micro-cable) με αριθμό ινών έως και 72 το καθένα. Η συστοιχία μπορεί να απαρτίζεται από διακριτές δέσμες μικρότερου αριθμού σωληνίσκων εάν αυτές μπορούν να τοποθετηθούν τμηματικά εντός υπο-σωλήνα ώστε να συνθέσουν τον απαιτούμενο

αριθμό μικροσωληνίσκων ο οποίος σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να καλύπτεται (7 ή παραπάνω). Οι σωληνίσκοι θα πρέπει να έχουν χρωματικό ή άλλο κώδικα για τον εύκολο εντοπισμό τους. Τυπικές διαστάσεις των σωληνίσκων είναι: $D \leq 10\text{mm}$, $d \leq 8\text{mm}$. Η τυπική εξωτερική διάσταση της έτοιμης προς ενταφιασμό δέσμης είναι 40mm για 7 μικροσωληνίσκους.



Σχήμα 3.11: Μικροσωληνίσκος M1/7

- (M2) Συστοιχία μικροσωληνώσεων (microduct): με σωληνίσκους (microtubes) για την υλοποίηση του Δικτύου Συγκέντρωσης. Σε κάθε σωληνίσκο θα μπορεί να εμφοσηθεί, με την κατάλληλη διάταξη εμφύσησης, μικροκαλώδιο (micro-cable) με αριθμό ινών τουλάχιστον 8 το καθένα. Οι σωληνίσκοι θα πρέπει να έχουν χρωματικό ή άλλο κώδικα για τον εύκολο εντοπισμό τους. Τυπικές διαστάσεις των μικροσωληνίσκων είναι $D/d = 5\text{mm}/3,5\text{mm}$ ή $D/d = 3\text{mm}/2,1\text{mm}$. Επίσης τυπικές κατηγορίες συστοιχιών M2 ανάλογα με τον αριθμό των σωληνίσκων που υπάρχουν είναι:
 - ✓ M2/24: η συστοιχία θα περιέχει τουλάχιστον 24 σωληνίσκους
 - ✓ M2/19: η συστοιχία θα περιέχει τουλάχιστον 19 σωληνίσκους
 - ✓ M2/12: η συστοιχία θα περιέχει τουλάχιστον 12 σωληνίσκους
 - ✓ M2/ 4 : η συστοιχία θα περιέχει τουλάχιστον 4 σωληνίσκους



Σχήμα 3.12: Μικροσωληνίσκοι M2/4 και M2/24 αντίστοιχα

- (M3): Τα πολυσωληνίσκων τύπου M3 αποτελούνται από 4 σωληνίσκους διαστάσεων 5/3,5. Κάθε ένα από τα M3 καταλήγει στο εσωτερικό κάθε διασυνδεδεμένου κτιρίου και από τη μεριά του δικτύου διασυνδέεται με τους σωληνίσκους του πολυσωληνίσκου M2 στο σημείο όπου το X2 τέμνεται με το X1 μέσω συνδέσμου ο οποίος τοποθετείται στο σημείο αυτό.

- *(M4)*: Ο τύπος του αγωγού έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε τα καλώδια οπτικών ινών να προστατεύονται μέσα στον τραχύ κάθετο αγωγό, ο οποίος είναι ανθεκτικός στις συντριβές και ικανός να αντισταθεί στις άσφατες καιρικές συνθήκες και στη θερμοκρασία. Ο αγωγός είναι τύπου φερμουάρ (zipper) κλειστός πάνω από το καλώδιο και έπειτα τοποθετημένος σε μια λεπτή τομή στην υποδομή. Ο M4 καταλήγει στο εσωτερικό κάθε διασυνδεδεμένου κτιρίου και από τη μεριά του δικτύου διασυνδέεται με τους σωληνίσκους του πολυσωληνίου M2 στο σημείο όπου το X3 τέμνεται με το X1 μέσω συνδέσμου ο οποίος τοποθετείται στο σημείο αυτό.



Σχήμα 3.13: Μικροσωλήνας M4

3.2.5 Συνδετήρες – Διακλαδωτήρες μικρο-σωληνώσεων

Οι σωλήνες που περιβάλλουν τις συστοιχίες μικρο-σωληνώσεων ενώνονται μεταξύ τους με ειδικά τεμάχια σύνδεσης ή/και διακλάδωσης ώστε να διατηρείται αφ' ενός η συνέχεια της προστασίας και στεγάνωσης σωληνίσκων και καλωδίων και αφ' ετέρου να εξασφαλίζεται η έξοδος παρόμοιων ή μικρότερων σωληνώσεων για εξυπηρέτηση κόμβων, και χρηστών αντίστοιχα. Θα απαιτηθούν διακλαδωτήρες οι οποίοι θα επιτρέπουν:

- α) την είσοδο και απαραίτητα την ταυτόχρονη έξοδο τμημάτων σωλήνα του βρόχου ίδιας διαμέτρου
- β) την έξοδο τουλάχιστον 2 σωληνίσκων με τη δυνατότητα εσωτερικής σύνδεσης των σωληνίσκων των εξερχόμενων σωλήνων πρόσβασης προς αντίστοιχους σωληνίσκους οποιουδήποτε εκ των σωλήνων του βρόχου.



Gasblock Tube Connector



Straight Tube Connector



End Tube Connector

Σχήμα 3.14: Σύνδεσμοι σωλήνων

Για την ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων χώρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν διακλαδωτήρες τύπου «H», «Y». Θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα τρόπου οργάνωσης και στήριξής τους εντός των φρεατίων.



Σχήμα 3.15: Διακλαδωτήρες

3.2.6 Χάνδακες (trenches)

Ο ακριβής καθορισμός του τύπου του χάνδακα θα πρέπει να προκύψει μετά από λεπτομερή έρευνα της τοπογραφίας αρχικά και των υπογείων εμποδίων με τις κατάλληλες ή προσφορότερες μεθόδους σε συνεργασία με τους δήμους και τους οργανισμούς (ΟΤΕ, ΔΕΗ, Υδρευση κλπ) ώστε να εξασφαλισθούν παράλληλα και οι ελάχιστες αποστάσεις για λειτουργικούς λόγους και για αποφυγή βλαβών από επεμβάσεις σε παρακείμενα δίκτυα

3.2.6.1 Τύποι Χάνδακα

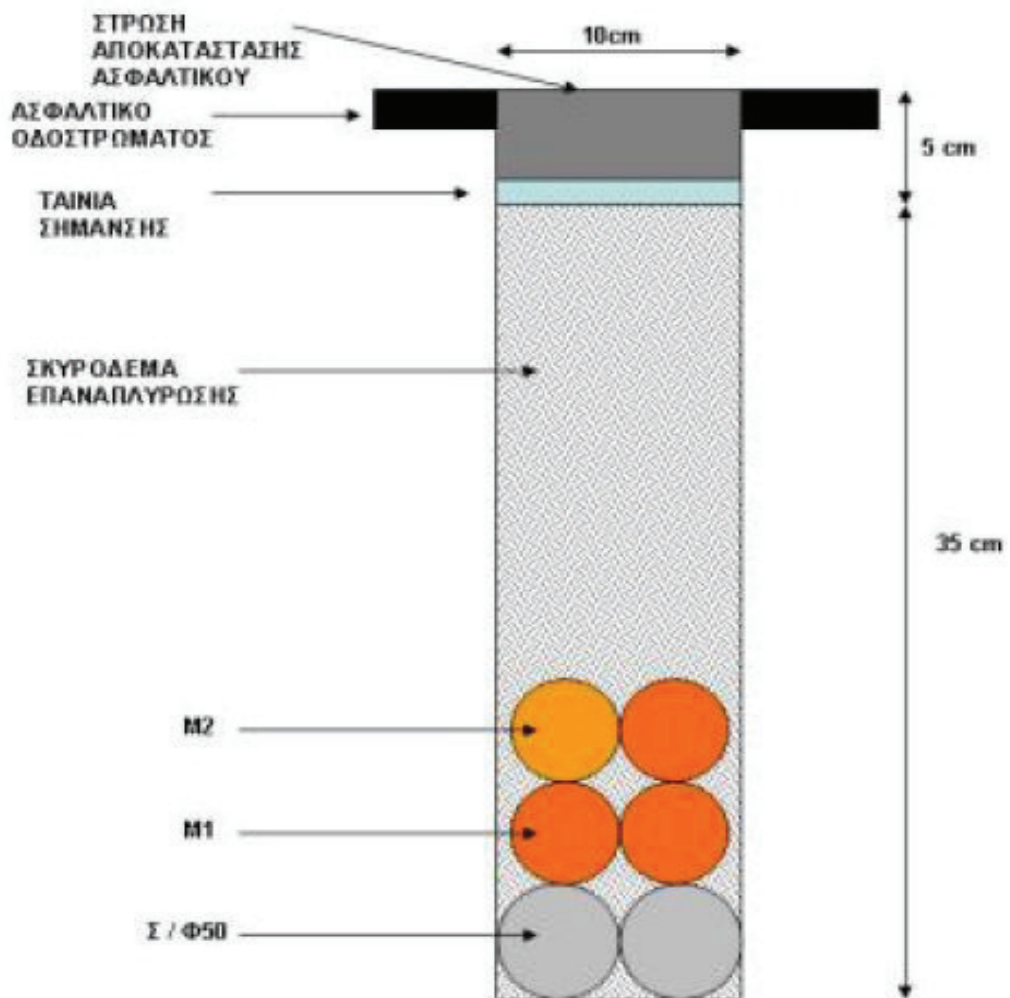
Χάνδακας (X1)

Ο χάνδακας X1 αποτελεί το μέρος του κεντρικού δικτύου υποδομής. Είναι ανοικτού τύπου στην άκρη του δρόμου (ασφαλτικό οδόστρωμα) διατομής βάθους 400 mm και πλάτους ≤ 150 mm σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία και με τις προδιαγραφές ITU-T L.48 και L.35 (CCITT outside plant technologies for public networks).

Μετά τη διάνοιξη και τον καθαρισμό του χάνδακα θα τοποθετηθούν 6 σωλήνες οι οποίοι θα είναι δυο κενοί για εφεδρεία, 3 μικρο σωλήνες τύπου M1/7 και ένας μικροσωλήνας τύπου M2/24 εξασφαλίζοντας τη συγκεκριμένη χωροθέτηση τους καθ' όλο το μήκος του χάνδακα. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στην αποφυγή μετακινήσεων και παραμορφώσεων των σωληνώσεων ώστε να διατηρείται πάντοτε η καθ' ύψος και πλάτος χωροθέτησης των καθ' όλο το μήκος του χάνδακα.

Μετά την τοποθέτηση των σωλήνων γίνεται η πλήρωση του χαντακιού ως εξής:

- Η πρώτη στρώση θα είναι από σκυρόδεμα των 200Kg/m³ σε ύψος περίπου 350 mm.
- Στην συνέχεια θα τοποθετηθεί ταινία σήμανσης.
- Η τελευταία στρώση θα περιλαμβάνει την αποκατάσταση του ασφαλτικού της επιφανείας στην αρχική της μορφή σε ύψος τουλάχιστο 50mm.



Σχήμα 3.16: Τομή χάνδακα X1



Σχήμα 3.17: Χάνδακας X1

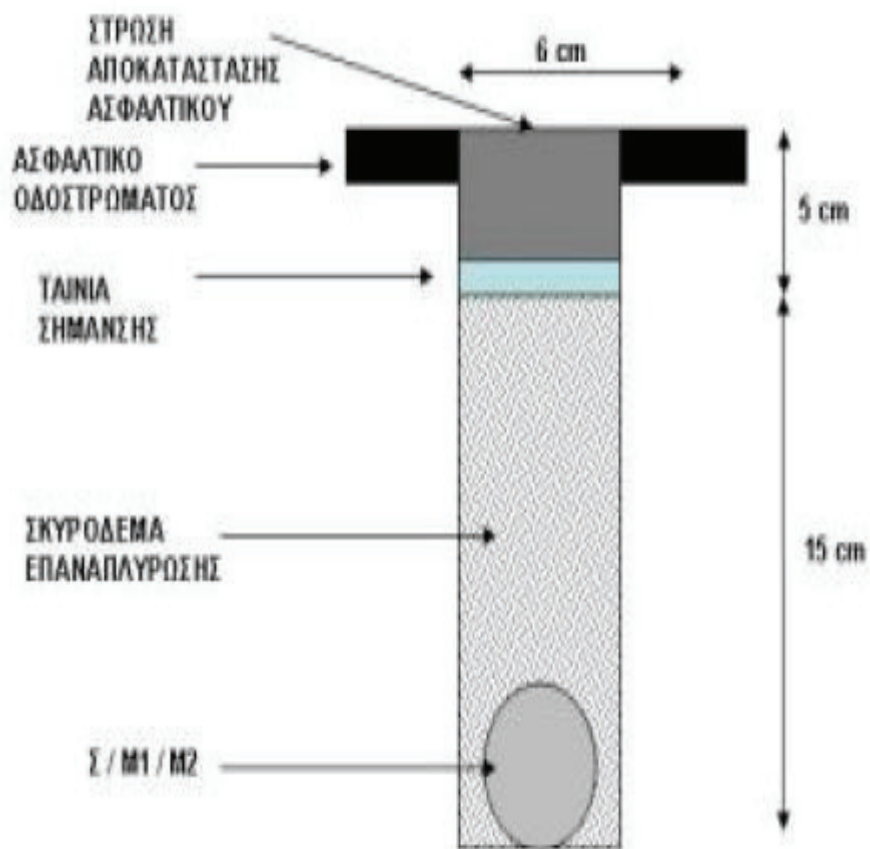
Χάνδακας (X2)

Ο χάνδακας X2 ή μικρο χάνδακας θα χρησιμοποιηθεί για την εξυπηρέτηση χρηστών. Κατασκευάζεται σε δρόμους, πεζοδρόμια, ρείθρα, προαύλιους χώρους, διατομής βάθους τουλάχιστον 200 mm και πλάτους 50 mm σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία και με τις προδιαγραφές ITU-T L.48, ITU-T L.49 και L.35 (CCITT outside plant technologies for public networks). Θα γίνει η χρήση των αντιστοίχων κοπτικών εργαλείων που περιγράφονται στις ανωτέρω προδιαγραφές ITU-T.

Μετά τη διάνοιξη και τον καθαρισμό του χάνδακα θα πρέπει να τοποθετηθεί η κατάλληλη σωλήνωση. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στην αποφυγή μετακινήσεων και παραμορφώσεων της σωλήνωσης ώστε να διατηρείται πάντοτε η καθ' ύψος και πλάτος χωροθέτηση της καθ' όλο το μήκος του μικροχάνδακα.

Κατόπιν της τοποθέτησης της σωλήνωσης, θα γίνει η τμηματική πλήρωση του χάνδακα ως εξής:

- Η πρώτη στρώση θα είναι από σκυρόδεμα των 200Kg/m³ σε ύψος περίπου 150 mm.
- Η τελευταία στρώση θα περιλαμβάνει την αποκατάσταση της επιφάνειας στην αρχική της μορφή, λαμβάνοντας ιδιαίτερη μέριμνα για την αποφυγή ασυνεχειών της επιφάνειας.

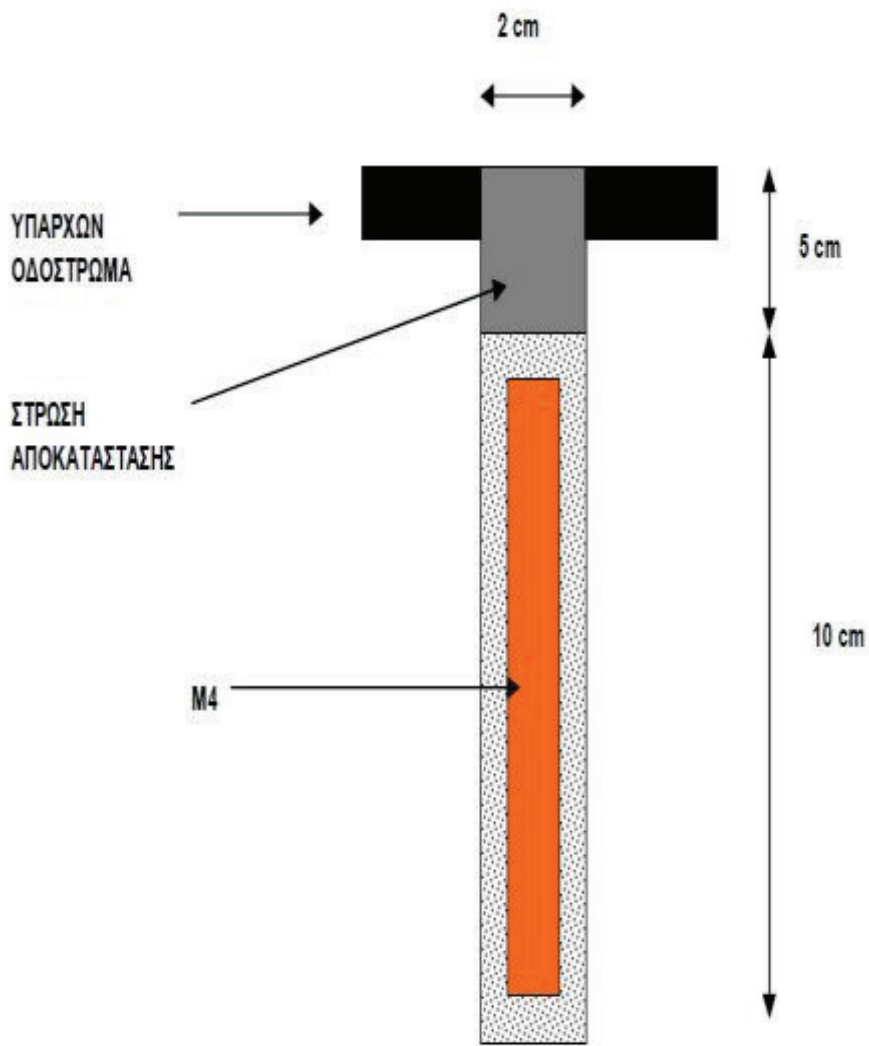


Σχήμα 3.18: Τομή Χάνδακα X2

Χάνδακας (X3)

Ο χάνδακας X3 ή μικροχάνδακας θα χρησιμοποιηθεί για την εξυπηρέτηση χρηστών. Κατασκευάζεται σε δρόμους, πεζοδρόμια, ρείθρα, προαύλιους χώρους, διατομής βάθους τουλάχιστον 150 mm και πλάτους 15-20 mm. Οι προδιαγραφές βάσης προτύπου είναι υπό εξέλιξη. Γίνεται χρήση των αντιστοίχων κοπτικών εργαλείων που περιγράφονται στις ανωτέρω προδιαγραφές ITU-T.

Μετά τη διάνοιξη και τον καθαρισμό του χάνδακα θα πρέπει να τοποθετηθεί η κατάλληλη σωλήνωση. Κατόπιν της τοποθέτησης της σωλήνωσης, θα γίνει η πλήρωση του χάνδακα η οποία περιλαμβάνει την αποκατάσταση της επιφάνειας στην αρχική της μορφή, λαμβάνοντας ιδιαίτερη μέριμνα για την αποφυγή ασυνεχειών της επιφάνειας.



Σχήμα 3.19: Τομή χάνδακα X3

3.2.6.2 Μέθοδοι κατασκευής χάνδακα

Μέθοδος mini-Trencher:

Ο χάνδακας είναι τομή ανοικτού τύπου στην άκρη του δρόμου (ασφαλτικό οδόστρωμα) ή σε πεζοδρόμια. Η τομή κατασκευάζεται με την χρήση μηχανημάτων τύπου trencher. Το, συγκεκριμένου τύπου, μηχάνημα διάνοιξης χάνδακα κινείται σε συνήθους τύπου ελαστικά και με ειδικό τροχό διάνοιξης (ο οποίος περιέχει τα κατάλληλα κοπτικά εξαρτήματα), κατασκευάζει χάνδακα τυποποιημένων διαστάσεων, σε μια ευθεία γραμμή στον ελάχιστο δυνατό χρόνο.



Σχήμα 3.20: Μηχάνημα τύπου mini-trencher

Η τοποθέτηση των σωλήνων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- Ταυτόχρονου ενταφιασμού των σωλήνων κατά την φάση της διάνοιξης του χάνδακα (απαιτείται ειδικός μηχανισμός).
- Μη – ταυτόχρονου ενταφιασμού των σωλήνων. Στην περίπτωση αυτή γίνεται η διάνοιξη του χάνδακα για Χ μέτρα και κατόπιν ενταφιάζονται οι σωλήνες.

Σε κάθε περίπτωση κατά την διάρκεια της κατασκευής θα πρέπει να τοποθετούνται τα απαραίτητα διαχωριστικά στον δρόμο καθώς και οι κατάλληλες σημάνσεις με σκοπό την αποφυγή ατυχημάτων. Η κατασκευή των υποδομών θα γίνεται σε μικρά μέρη μήκους το πολύ 500μ. Θα γίνεται αποκατάσταση της τομής την ίδια ημέρα και θα παραδίδεται στην κυκλοφορία ώστε να κρατηθεί η όχληση σε χαμηλά επίπεδα.

Μέθοδος Micro Trencher

Το σύστημα κάθετης ένθετης οπτικής καλωδίωσης (micro trencher) αλλάζει τον τρόπο που τοποθετούνται τα καλώδια οπτικών ινών. Συνδυάζοντας την ευκολία στη χρήση και την ταχύτητα της τοποθέτησης, όπως επίσης και τα θετικά πλεονεκτήματα για τις πόλεις και τους εγκαταστάτες, η μεθοδολογία του συγκεκριμένου συστήματος είναι μια ελκυστική λύση για την οπτική καλωδίωση last mile. Εκτός από το χαμηλό αντίκτυπο στους πεζούς, την κυκλοφορία, και τις εμπορικές ζώνες, το άλλο πλεονέκτημα για τις πόλεις αφορά τον αντίκτυπο στην υποδομή αυτών.

Η μέθοδος δεν χρησιμοποιεί αυλάκωμα μέσω των οδοστρωμάτων και των πεζοδρομίων, ενώ το παραδοσιακό αυλάκωμα επιδεινώνει την κατάσταση των οδοστρωμάτων και μειώνει την υπολογιζόμενη διάρκεια ζωής τους μέχρι 30%, το σύστημα κάθετης ένθετης οπτικής ίνας δεν επηρεάζει το οδόστρωμα. Παρά τη δημιουργία των άσχημων τάφρων με τα μεγάλα μηχανήματα, το σύστημα ένθετης οπτικής καλωδίωσης απαιτεί μόνο μια λεπτή περικοπή με πριόνι. Οι περικοπές στις σκληρές υποδομές, όπως η ασφαλτος ή το σκυρόδεμα, εφαρμόζονται με ένα απλό κόφτη πλακών και είναι 1,5 cm φάρδος και 10 ή 12 cm βάθος. Στις μαλακές υποδομές, οι περικοπές εφαρμόζονται με μια μικρή μηχανή αυλακώματος. Ιδανικά, οι περικοπές στο σκυρόδεμα ακολουθούν τις υπάρχουσες γραμμές ρευστοκονιάματος για αισθητικούς λόγους. Μόλις τοποθετηθεί ο αγωγός, η τομή αποκαθίσταται αμέσως καλυπτόμενη με τα κατάλληλα υλικά αποκατάστασης, ενώ

στα πεζοδρόμια εμποτίζεται για να αποκαταστήσει την εμφάνιση της αρχικής υποδομής. Οι εγκαταστάσεις του συγκεκριμένου συστήματος στα οδοστρώματα είναι διακριτικές, ενώ οι ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις στα πεζοδρόμια και στις λεωφόρους είναι ουσιαστικά άορατες.



Σχήμα 3.21: Μέθοδος micro-trencher

3.2.7 Μέθοδοι Εγκατάστασης Καλωδίων

3.2.7.1 Εγκατάσταση καλωδίου στον σωλήνα με έλξη

Για να τραβηχτούν καλώδια εντός σωλήνα, πρέπει είτε να υπάρχει προ-εγκατεστημένος οδηγός έλξης ή αυτός πρέπει να εγκατασταθεί πριν από την έλξη του καλωδίου. Το καλώδιο πρέπει να διαθέτει στροφέα, που επιτρέπει στο καλώδιο να περιστρέφεται ελεύθερα κατά την εγκατάσταση, καθώς και ασφάλεια ονομαστικής αντοχής μικρότερης ή ίσης της αντοχής εφελκυσμού του καλωδίου. Για να υπάρχει δυνατότητα εγκατάστασης μεγάλων μηκών καλωδίου, το καλώδιο θα πρέπει να έχει επαρκή ονομαστική αντοχή για το πρόσθετο απαιτούμενο φορτίο έλξης ή να υπάρχουν ενδιάμεσα σημεία μεταφοράς του καλωδίου όπου θα πραγματοποιείται βοηθητική έλξη ή θα υπάρχουν ενδιάμεσες βοηθητικές διατάξεις έλξης (καστάνιες ή προωθητές καλωδίων).

Κατά την εγκατάσταση των καλωδίων, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι μηχανικές και περιβαλλοντικές τους αντοχές σύμφωνα με τα φύλλα τεχνικών χαρακτηριστικών του προμηθευτή. Αυτές δεν πρέπει να υπερκαλύπτονται. Το φορτίο εφελκυσμού αντιπροσωπεύει το μέγιστο εφελκυσμό που επιτρέπεται να εφαρμοστεί σε ένα καλώδιο κατά τη διαδικασία εγκατάστασης και εξασφαλίζει ότι οι όποιες καταπονήσεις μεταδίδονται στις ίνες βρίσκονται εντός των ορίων ασφαλείας. Η χρήση στροφέα και μηχανικής ασφάλειας προστατεύει το καλώδιο σε περίπτωση υπέρβασης της δύναμης έλξης. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν λιπαντικά καλωδίου για να μειωθεί η τριβή μεταξύ καλωδίου και υποσωλήνα, μειώνοντας έτσι το φορτίο εφελκυσμού. Η ελάχιστη διάμετρος κάμψης αντιπροσωπεύει την ελάχιστη περιέλιξη αποθήκευσης καλωδίου εντός ενός θαλάμου καλωδίου. Πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλες διατάξεις τροχαλιών και οδηγών που να εξασφαλίζουν ότι δεν θα υπάρχει υπέρβαση της ελάχιστης δυναμικής ακτίνας κάμψης κατά την εγκατάσταση. Εάν η εξωτερική διάμετρος του καλωδίου υπερβαίνει το 75% της εσωτερικής διαμέτρου του σωλήνα, το μήκος έλξης μπορεί να μειωθεί.

3.2.7.2 Εγκατάσταση καλωδίου στον σωλήνα με εμφύσηση

Αυτού του είδους η εγκατάσταση είναι γρηγορότερη από την έλξη και μπορεί να επιτρέψει την εγκατάσταση μεγαλύτερων συνεχόμενων μηκών (μειώνοντας έτσι τον αριθμό των συνδέσεων καλωδίου). Εάν εγκατασταθούν εφεδρικοί σωλήνες, υπάρχει στη συνέχεια δυνατότητα εγκατάστασης αντίστοιχων καλωδίων όταν αυξηθεί η ζήτηση.

Κατά την εμφύσηση καλωδίων σε ένα σωλήνα, είναι σημαντικό το δίκτυο σωλήνων να είναι αεροστεγές σε όλο του το μήκος. Αυτό πρέπει να θεωρείται δεδομένο για νέα κατασκευή αλλά μπορεί να χρειάζεται έλεγχο σε υφιστάμενες σωληνώσεις, ειδικά εάν είναι παλιάς κατασκευής (π.χ. υφιστάμενο δίκτυο). Πρέπει να υπάρχει ισορροπία μεταξύ της εσωτερικής διαμέτρου του σωλήνα και της εξωτερικής διαμέτρου του καλωδίου. Εάν η εξωτερική διάμετρος του καλωδίου υπερβαίνει το 75% της εσωτερικής διαμέτρου του σωλήνα, απαιτούνται μεγαλύτερες πιέσεις αέρα από αυτές που αναπτύσσουν οι συμβατικοί συμπιεστές ή θα πρέπει να μειωθεί το μήκος εμφύσησης. Εντούτοις έχουν επιτευχθεί καλά αποτελέσματα και σε μεγαλύτερους βαθμούς πλήρωσης, π.χ. καλώδιο 7.1 mm έχει εμφυσηθεί για πάνω από 1 km σε μικροσωλήνα 10 mm εσωτερικής διαμέτρου 8 mm (βαθμός πλήρωσης 89%). Εάν το καλώδιο είναι πολύ μικρό μπορεί να προκύψουν άλλες δυσκολίες εγκατάστασης, ειδικά εάν το καλώδιο είναι πολύ εύκαμπτο. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι δυσκολίες αυτές μπορούν να αντιμετωπιστούν με την προσαρμογή ημι-ανοικτής οδηγού σαΐτας στο άκρο του καλωδίου.

Απαιτείται κεφαλή εμφύσησης καλωδίου τόσο για την εμφύσηση όσο και για την ώθηση του καλωδίου στο σωλήνα. Η ώθηση υπερνικά την τριβή μεταξύ καλωδίου και αγωγού κατά τις πρώτες εκατοντάδες μέτρων και τραβάει το καλώδιο από το τύμπανο. Οι σωλήνες και οι συνδέσεις πρέπει να είναι επαρκώς «αεροστεγείς» ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη παροχή αέρα σε όλο το σωλήνα. Απαιτείται κατάλληλος αεροσυμπιεστής στο τέρμα του εξοπλισμού καλωδίωσης του τμήματος σωλήνα συνδεδεμένος στην κεφαλή εμφύσησης. Η υδραυλική πίεση στην κεφαλή εμφύσησης που χρησιμοποιείται για να παρέχει έλξη οδήγησης/ώθησης στο καλώδιο πρέπει να είναι αυστηρά ελεγχόμενη για να μην προκληθεί ζημιά στο καλώδιο.

3.2.7.3 Εγκατάσταση καλωδίου στον σωλήνα με επίπλευση

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα περισσότερα υπόγεια καλώδια εξωτερικής τοποθέτησης εκτίθενται σε νερό για μεγάλο μέρος της ζωής τους, η επίπλευση είναι μια εναλλακτική μέθοδος της εμφύσησης. Η επίπλευση μπορεί να πραγματοποιηθεί με μηχανήματα που είναι αρχικά σχεδιασμένα

για εμφύσηση. Απλά ο αέρας αντικαθίσταται από το νερό. Συγκριτικά με την εμφύσηση, η επίπλευση επιτρέπει την τοποθέτηση τμημάτων καλωδίων σημαντικά μεγαλύτερου μήκους σε σωλήνες χωρίς ενδιάμεσα σημεία πρόσβασης. Η επίπλευση μπορεί να αποδειχθεί πολύ αποτελεσματική για πέρασμα καλωδίου σε πολλές περιπτώσεις. Με την επίπλευση επίσης μειώνεται η απόδοση κατά την τοποθέτηση καλωδίων που έχουν εξωτερική διάμετρο που υπερβαίνει το 75% της εσωτερικής διαμέτρου του σωλήνα. Εντούτοις έχουν επιτευχθεί καλά αποτελέσματα και σε μεγαλύτερους βαθμούς πλήρωσης, π.χ. καλώδιο 38 mm έχει περαστεί με επίπλευση για πάνω από 1.9 km σε σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου 41 mm (βαθμός πλήρωσης 93%). Επιτρέπει την ασφαλή αφαίρεση των καλωδίων από τον σωλήνα (float out), καθιστώντας έτσι εφικτή την επαναχρησιμοποίηση αυτών των καλωδίων. Συγκριτικά η αφαίρεση καλωδίου με φύσημα (blow out) είναι μια επικίνδυνη διαδικασία.

3.2.7.4 Εναέρια όδευση

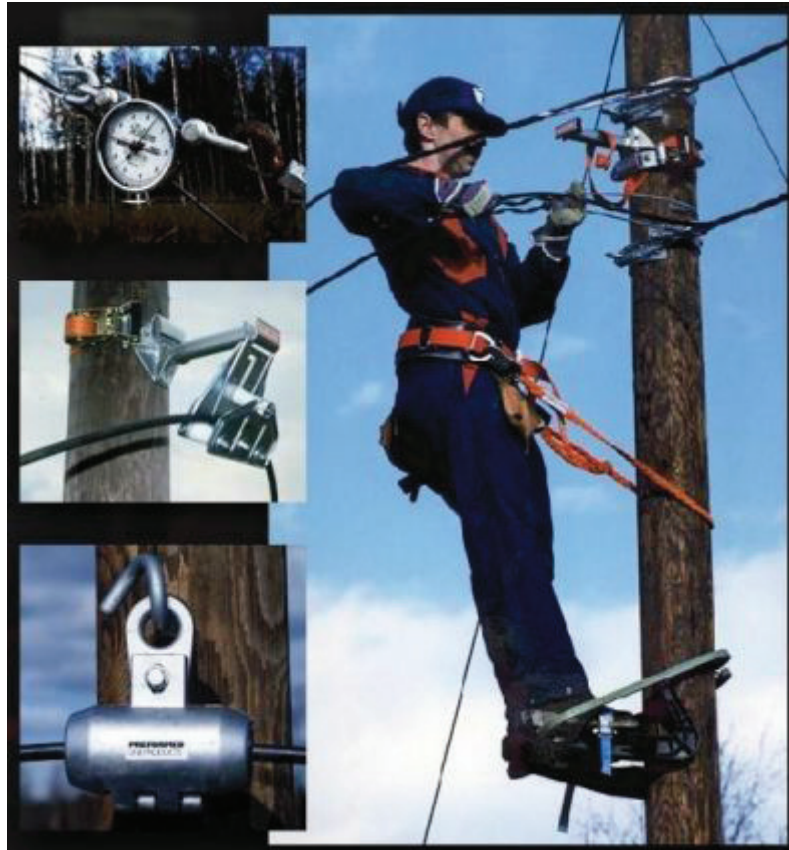
Οι εναέρια οδεύσεις είναι ελκυστικές λόγω του χαμηλού κόστους αλλά είναι συνυφασμένες με ιδιαίτερες δυσκολίες που αφορούν :

- α) Την επίλυση προβλημάτων με δικαιώματα διέλευσης τα οποία ανήκουν σε πολλαπλούς οργανισμούς κοινής ωφέλειας ή δημόσιους ή ιδιωτικούς φορείς.
- β) Τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- γ) Την αντιστράτευση στην προσπάθεια για σταδιακή μετατροπή υπέργειων των καλωδιακών υποδομών κοινής ωφέλειας από εναέρια σε υπόγεια σε περιοχές αστικής δόμησης.
- δ) Το κυριότερο, την δυσκολία ανάπτυξης γενικής, ανοικτής στον ανταγωνισμό και ανεξάρτητης από συγκεκριμένα μοντέλα λειτουργίας υποδομής, με χρήση εναέριων λύσεων.

Αυτό δεν σημαίνει ότι σε περιπτώσεις που αφορούν κυρίως:

- α) συνδέσεις τελικών χρηστών
 - β) μακρές οδεύσεις με ελάχιστη πιθανότητα μελλοντικών διακλαδώσεων και πυκνής «εγκάρσιας» ανάπτυξης του δικτύου,
- δεν μπορούν να εφαρμοσθούν συμπληρωματικά οι τεχνικές αυτές αλλά μόνο εάν εξαντληθούν τα τεχνικά περιθώρια υπόγεια διέλευσης.

Στην τελευταία περίπτωση, είναι απαραίτητο να μεσολαβούν σε τακτά διαστήματα διατάξεις συγκόλλησης κοντά σε φρεάτια και να έχουν διαστασιοποιηθεί τα καλώδια με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να απομαστευτεί ο απαραίτητος αριθμός ινών όταν παραστεί ανάγκη.



Σχήμα 3.22: Εναέρια όδευση

3.2.8 Διατάξεις συγκόλλησης ινών σε εξωτερικό χώρο (μούφες)

Πρόκειται για διατάξεις που θα τοποθετηθούν σε εξωτερικούς χώρους, κατά τεκμήριο σε φρεάτια, και σκοπό έχουν την προέκταση μέσω συγκόλλησης οπτικού καλωδίου εν σειρά (με πιθανή αλλαγή τύπου καλωδίου), ή την διακλάδωση καλωδίου.

Στην περίπτωση της διάταξης σύνδεσης εν σειρά (in line joint) οι οπτικές ίνες μπορεί να ανήκουν σε δύο καλώδια διαφορετικού τύπου και διαφορετικής εξωτερικής διαμέτρου ακόμη και με διαφορετικό αριθμό ινών το καθένα. Στην τελευταία περίπτωση, οι πλεονάζουσες ίνες προστατεύονται μέσα στη διάταξη.

Στην περίπτωση της διάταξης για διακλάδωση, αντικειμενικός σκοπός είναι η εξαγωγή καλωδίου για εξυπηρέτηση π.χ. ενός κόμβου οπτικού δακτυλίου με χρήση ενός συγκεκριμένου αριθμού ινών από το καλώδιο-τροφοδότη και πιθανή δυνατότητα διασύνδεσης μέρους των ινών ανάντη και κατόντη της διαδρομής του καλωδίου τροφοδότη (τυπικά σε αριθμό ίσο ή πολλαπλάσιο του αριθμού των ινών που εμπεριέχονται σε κάθε θάλαμο (tube) ή ταινία (ribbon) του καλωδίου τροφοδότη. Η είσοδος και έξοδος των καλωδίων πρέπει να είναι δυνατή από την ίδια πλευρά της διάταξης. Οι διαστάσεις πρέπει να είναι κατά το δυνατόν περιορισμένες αλλά και επαρκείς για να επιτρέπουν την άνετη συγκόλληση του επιθυμητού αριθμού των ινών αλλά και τη διεύθετη των διερχομένων θαλάμων ή ταινιών του καλωδίου-τροφοδότη.

Η βασική δομή μπορεί να απαρτίζεται από ένα πλαστικό περίβλημα, υδατοστεγές και θα συμπεριλαμβάνει σύστημα εισαγωγής, σφράγισης και αδιαβροχοποίησης των καλωδίων. Το άνοιγμα

του περιβλήματος πρέπει να εξασφαλίζει την άμεση πρόσβαση χωρίς την ανάγκη ειδικών διατάξεων και το κλείσιμο πρέπει να είναι ερμητικό.

Το περίβλημα πρέπει να μπορεί να συνδυαστεί με διατάξεις κλειδώματος και ασφάλισης. Το κιτ συναρμολόγησης κάθε διάταξης πρέπει να συμπεριλαμβάνει όλα τα απαραίτητα υλικά όπως θερμοσυστελλόμενα, καθαριστικά, λειαντικά, προστατευτικά ελάσματα και αφυγραντικά.

Στην περίπτωση συμβατικής προσέγγισης, οι διατάξεις συγκόλλησης και επέκτασης που θα χρησιμοποιηθούν (μούφες) θα επιτρέπουν είτε τη μονοκυκλωματική διαχείριση είτε την απλή πολυκυκλωματική διαχείριση, και θα μπορούν να οργανώνουν η κάθε μία έως και 144 συγκολλήσεις μεταξύ 2-4 τμημάτων καλωδίων διαφορετικών διαμέτρων, προφανώς με ίνες του ίδιου τύπου (π.χ 2 εισερχόμενα καλώδια των 72 ινών και ένα απερχόμενο των 144 ινών ITUG. 652.C).

Στην περίπτωση χρήσης μικροσωληνώσεων, ή μικτής προσέγγισης οι διατάξεις επέκτασης, θα πρέπει να επιτρέπουν εναλλακτικά την είσοδο και έξοδο έως και τεσσάρων μικροσωληνώσεων και τη συγκόλληση όλων των ινών του φιλοξενούμενου στη μικροσωληνώση μικροκαλωδίου.

Στην περίπτωση συμβατικής προσέγγισης, οι διατάξεις συγκόλλησης και διακλάδωσης θα τοποθετηθούν στα φρεάτια διακλάδωσης προς τους κόμβους πρόσβασης. Οι διατάξεις αυτές θα πρέπει να μπορούν να οργανώνουν έως 72 συγκολλήσεις για τουλάχιστον 6 τμήματα εισερχομένων και εξερχομένων καλωδίων με δυνατότητα συνύπαρξης καλωδίων διαφορετικών διαμέτρων και αριθμού ινών του ίδιου τύπου.



Σχήμα 3.23: Μούφα σε φρεάτιο



Σχήμα 3.24: Εσωτερικό μούφας

Παραπάνω βλέπουμε το εσωτερικό της μούφας. Οι γκρι κασέτες, όπως ονομάζονται, χρησιμεύουν στη σωστή διεύθυνση των ινών. Παρόμοιες έχουν και οι κατανεμητές.

3.2.9 Σύνδεσμοι (optical fiber connectors)

Όπως τα καλώδια χαλκού, έτσι και τα οπτικά καλώδια στα δίκτυα οπτικών ινών τερματίζουν σε κονέκτορες και αντάπτορες. Συζεύουν μηχανικά και ευθυγραμμίζουν τους πυρήνες των ινών έτσι ώστε να μπορεί να περάσει το φως. Η πολύ κοντινή σύζευξη αποτρέπει την παρουσία αέρα ανάμεσα στους πυρήνες και έτσι οι απώλειες λόγω των συνδέσμων (το λεγόμενο gap loss) ελαχιστοποιούνται. Η τυπική διάρκεια ζωής των συνδέσμων εκτείνεται από 500 έως 1000 κύκλους συνδέσεων.

Τύποι συνδέσμων

Οι σύνδεσμοι τύπου FC (Ferrule Connector ή Fiber Channel) είναι βιδωτοί, διαμέτρου 2.5mm και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές τηλεπικοινωνιών, μετάδοσης δεδομένων, μετρήσεων με μονόρυθμες οπτικές ίνες με laser.



Σχήμα 3.25: Σύνδεσμος τύπου FC

Οι σύνδεσμοι τύπου SC (Subscriber Connector ή Square Connector ή Standard Connector) έχουν ζεύξη push-pull, είναι διαμέτρου 2.5mm και χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε εφαρμογές τηλεπικοινωνιών και μετάδοσης δεδομένων.



Σχήμα 3.26: Σύνδεσμος τύπου SC

Οι σύνδεσμοι τύπου ST/BFOC (Straight Tip/Bayonet Fiber Optic Connection) έχουν ζεύξη bayonet όπως άλλωστε δηλώνεται από την ονομασία τους, είναι διαμέτρου 2.5mm και χρησιμοποιούνται κυρίως με πολύτροπες οπτικές ίνες και σπάνια με μονότροπες.



Σχήμα 3.27: Σύνδεσμος τύπου ST

Ο LC είναι νέος συνδετήρας που χρησιμοποιεί ένα 1.25 mm ferrule, μισού μεγέθους του SC.



Σχήμα 3.28: Σύνδεσμος τύπου LC



Σχήμα 3.29: Αντάπτορες και κονέκτορες

3.2.10 Ικριώματα Οπτικής Διανομής και Τερματισμού (Fiber Distribution Frames - FDF)

Τα FDFs χρησιμοποιούνται ως συνδετικές διατάξεις μεταξύ του δικτύου των εξωτερικών οπτικών καλωδίων (Outside Service Plan - OSP) και των εσωτερικών καλωδίων (IFC) των κόμβων πρόσβασης ή και για μικτονόμηση μεταξύ εξωτερικών καλωδίων (cross-connect) με συνδετικές χορδές. Έχουν τη μορφή ικριώματος ή συστοιχίας ικριωμάτων ικανών να φιλοξενήσουν τα πλαίσια οπτικής διανομής (ODFs) εντός των οποίων βρίσκονται οι κασέτες συγκόλλησης (SPT) ή άλλες διατάξεις για τον χειρισμό των συγκολλήσεων, μέσω των οποίων μετά από συγκόλληση εξέρχονται και τερματίζουν σε συνδέσμους <LC/APC> οι μονότροπες οπτικές ίνες των καλωδίων, απ' όπου επιτρέπεται η σύνδεση με ενεργό εξοπλισμό ή άλλα καλώδια μέσω οπτικών συνδετικών χορδών (optical patch cords).

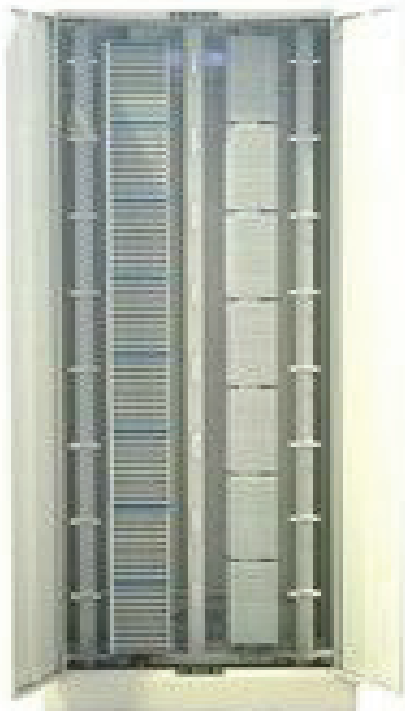
Οι υποψήφιοι ανάδοχοι θα πρέπει να προσφέρουν ισοδύναμες ή καλύτερες λύσεις από αυτές που προδιαγράφονται παρακάτω, συμπεριλαμβανομένης και της πιθανότητας οι μονάδες συγκόλλησης να μην είναι στο ίδιο πλαίσιο (π.χ. σε περιπτώσεις όπου η διαδρομή του εξωτερικού καλωδίου σε εσωτερικό χώρο πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη, π.χ. για λόγους πυρασφάλειας, και όταν αυτό δεν μπορεί να ικανοποιηθεί με άλλο τρόπο). Στην τελευταία περίπτωση οι συγκολλήσεις θα γίνονται σε επιτοίχιο ή επιδαπέδιο κιβώτιο συγκόλλησης με λειτουργικότητα ισοδύναμη με αυτή που περιγράφεται στη συνέχεια.

Κάθε FDF σε κάθε κόμβο, θα πρέπει να έχει χώρο και τις απαιτούμενες διατάξεις για την εισαγωγή και υποστήριξη των αναφερόμενων στα ποσοτικά στοιχεία μικροσωληνώσεων, καλωδίων, συγκολλήσεων και τερματισμών και σε κάθε περίπτωση για την υποστήριξη όλων των προδιαγραφόμενων ως ελαχίστων. Σε σημεία όπου συστεγάζονται κόμβοι των διαφορετικών επιπέδων θα υπάρχουν διακριτά FDF για κάθε λειτουργία (κύριες συνδέσεις, διανομή, πρόσβαση). Όπου αυτό δεν είναι δυνατό λόγω περιορισμών διαθέσιμου χώρου (και μόνο), τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν κοινά FDF με σαφή τη διάκριση μεταξύ των λειτουργιών και χωρητικότητα ίση με

το άθροισμα των απαιτούμενων για κάθε λειτουργία χωρητικότητων όπως αυτές αναφέρθηκαν παραπάνω.

Η συνολική απαιτούμενη χωρητικότητα πρέπει να είναι επεκτάσιμη μέσω παράθεσης πολλών μονάδων στη σειρά. Η επέκταση και αναδιάρθρωση θα πρέπει να είναι εύκολη και να παρουσιάζει τις ελάχιστες δυνατές τεχνικές δυσκολίες στην πρόσθεση ή εναλλαγή δομικών στοιχείων.

Τα εξωτερικά καλώδια πρέπει να μπορούν να εισέρχονται στο σύστημα είτε από ψευδοπάτωμα είτε από σχάρες οροφής. Οι είσοδοι από την οροφή πρέπει να μπορούν να ανθίστανται σε κατακόρυφες δυνάμεις ελκυσμού τουλάχιστον 100N για κάθε καλώδιο 72 ινών.



Σχήμα 3.30: Ικρίωμα Οπτικής Διανομής και Τερματισμού

3.2.11 Οπτικοί κατανεμητές (Optical Distribution Frames - ODF)

Ο κατανεμητής γενικά είναι ένας χώρος που προορίζεται για τη διασύνδεση της οριζόντιας καλωδίωσης με την κατακόρυφη καλωδίωση, ενώ μπορεί να αποτελεί ένα ενδιάμεσο ή το κύριο σημείο μικτονόμησης για διαφορετικά τμήματα του συστήματος κατακόρυφης καλωδίωσης. Επίσης μπορεί να περιλαμβάνει το σημείο οριοθέτησης της καλωδίωσης, δηλαδή το ακραίο σημείο της καλωδίωσης που βρίσκεται στο σημείο εισαγωγής του κτιρίου.

Τα ODFs πρέπει να είναι κατανεμητές/συρτάρια εσωτερικής μικτονόμησης και να επιτρέπουν:

- την είσοδο και τη σταθεροποίηση των εξωτερικών καλωδίων ή συστημάτων μικροσωληνώσεων από την οροφή ή το πάτωμα.
- την απογύμνωση των καλωδίων ώστε να χρησιμοποιηθούν εσωτερικά οι οπτικές ίνες με μόνο το προστατευτικό τους περίβλημα και προετοιμασμένα pigtails.

- την αποθήκευση πλεοναζόντων οπτικών ινών.
- τη διαφύλαξη της ελάχιστης ακτίνας κάμψης των ινών κατά τη διαδρομή τους εντός του συστήματος.

Η μηχανική δομή των ODFs πρέπει να είναι τέτοια ώστε να επιδεικνύουν ευελιξία και δομησιμότητα (modularity) όσον αφορά στη διευθέτηση των στοιχείων του ικρίωματος, και να παρουσιάζουν ενιαίο και εύκολο τρόπο πρόσβασης στο κάθε επιμέρους στοιχείο (module/panel/shelf/tray) για συντήρηση και μετρήσεις.

Οι υποψήφιοι ανάδοχοι θα πρέπει να προσφέρουν ικρίωματα Οπτικής Διανομής και Τερματισμού (Fiber Distribution Frames - FDF) των 19", που να συμμορφώνονται στο πρότυπο ETSI 300-119 με τις εξής κατά κανόνα διαστάσεις: συνολικό πλάτος 900mm συμπεριλαμβανομένων των κατακόρυφων πλευρικών αγωγών, βάθος 300mm και ύψος 2200mm. Το ύψος του ικρίωματος μπορεί να είναι μικρότερο αν αυτό επιβάλλεται από περιορισμούς του διαθέσιμου χώρου φιλοξενίας των κόμβων.

Πρέπει να παρέχονται ασφαλείς και ευέλικτοι τρόποι για την σταθεροποίηση των εξωτερικών καλωδίων και των pigtails.

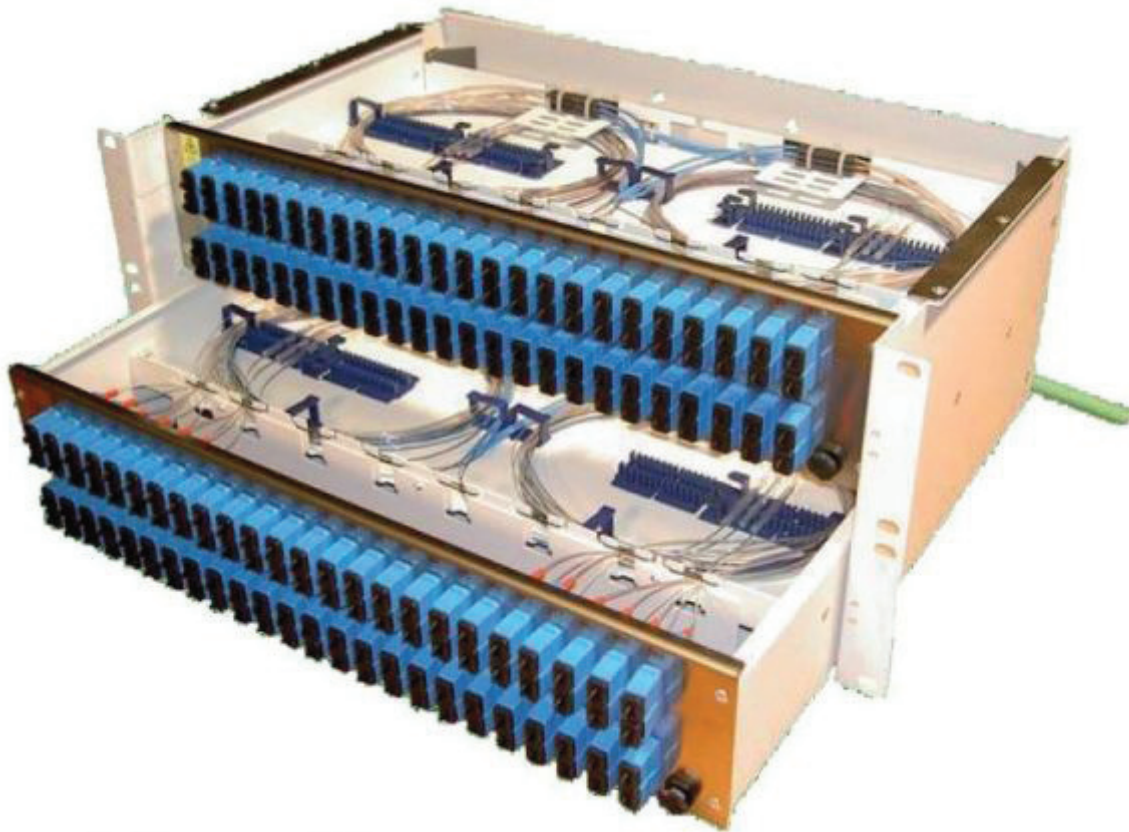
Τα ODFs πρέπει να είναι εφοδιασμένα με αποθηκευτικό χώρο, ικανό για τη διευθέτηση πλεονασματικού μήκους συνδετικών χορδών παίρνοντας υπόψη ότι το μήκος κάθε χορδής μπορεί να φτάνει σε μήκος τα 5 μέτρα, για κάθε οπτική ίνα και ταυτόχρονα να εξασφαλίζεται ότι η ακτίνα καμπυλότητας των χορδών δεν θα είναι μικρότερη από αυτή που απαιτεί ο κατασκευαστής.

Τα ODFs θα πρέπει να είναι εφοδιασμένα με τον απαραίτητο αριθμό των κασετών ή με αντίστοιχες διατάξεις για το χειρισμό και τη συγκόλληση ινών, να είναι πλήρως προσβάσιμα και να επιτρέπουν την τοποθέτηση και τη διευθέτηση καλωδίων και κασετών χωρίς ενόχληση της επικοινωνίας σε ήδη εγκατεστημένα και λειτουργούντα γειτονικά ερμάρια.

Κάθε ODF θα πρέπει να τερματίζει αριθμό ινών πολλαπλάσιο του 12.

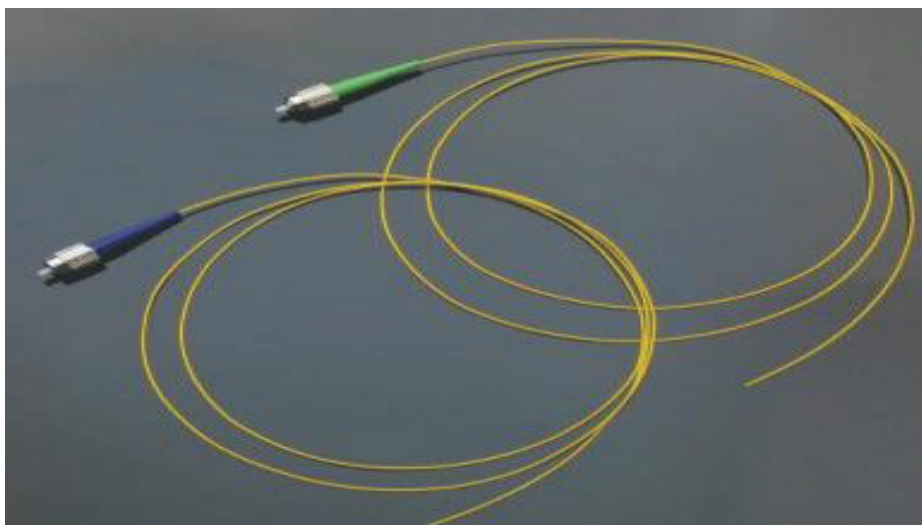


Σχήμα 3.31: Οπτικός Κατανομητής 24 θέσεων



Σχήμα 3.32: Οπτικός Κατανεμητής 192 θέσεων

Τα pigtails που χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό των κατανεμητών, είναι μια μονή ίνα, η καλωδιούρά, της οποίας τερματίζει μόνο το ένα άκρο σε κονέκτορα , το οποίο συνδέεται στον αντάπτορα και περιμένει να δεχτεί κάποιον άλλο καλώδιο με κονέκτορα (φυσική ένωση ινών). Στο άλλο άκρο υπάρχει η δυνατότητα να κολληθεί μια άλλη ίνα, π.χ. αυτή που έρχεται από την μούφα στον κατανεμητή.



Σχήμα 3.33:Pigtails

3.2.12 Εξωτερικοί Οικίσκοι

Οι εξωτερικοί οικίσκοι ή καμπίνες ή FDH είναι μεταλλικοί ή πλαστικοί χώροι στέγασης τοποθετημένοι υπέργεια συνήθως σε πεζοδρόμια. Συνήθως τοποθετούνται για σχετικά εύκολη και γρήγορη πρόσβαση στα κυκλώματα οπτικών ινών. Συγκριτικά με τα κιβώτια σύνδεσης ινών μπορούν να δεχτούν περισσότερες ίνες και μπορούν να προσφέρουν ευελιξία τύπου ODF. Αυτά συχνά χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση διατάξεων διαμοίρασης (splitter) σε αρχιτεκτονικές PON (Passive Optical Network - Παθητικό Οπτικό Δίκτυο) που απαιτούν ευέλικτη συνδεσιμότητα σε αποκλειστικές οπτικές ίνες τελικού χρήστη.

Απαιτείται να ληφθεί σοβαρά υπόψη η παράμετρος ασφάλειας και πρόληψης από βανδαλισμό και τροχαία ατυχήματα.

Η τοποθέτηση ενδέχεται επίσης να περιορίζεται από τις τοπικές αρχές (ιστορικά κέντρα πόλεων, δημόσιοι χώροι ασφαλείας κλπ.). Για αυτό το λόγο, αρκετοί προμηθευτές υλικού προσφέρουν και υπόγειες λύσεις ερμαρίων με δυνατότητα ανύψωσης από το έδαφος μόνο όταν χρειάζεται πρόσβαση. Σε θέση αποθήκευσης δεν πρέπει να φαίνεται κάτι περισσότερο από μία θυρίδα χειρός.



Σχήμα 3.34: FDH

3.2.13 Indoor/outdoor termination box

Οι δέσμες καλωδίων, εντός της αρχικής μικροσωλήνωσης (ή εντός μικροσωλήνωσης απαλλαγμένης από το εξωτερικό περίβλημα HDPE ώστε να αυξηθεί η πλαστικότητα της και η προσαρμογή της στις απαιτούμενες καμπύλες της διαδρομής στον εσωτερικό χώρο), θα καταλήγουν σε εσωτερικό επιτοίχιο ή επιδαπέδιο κιβώτιο, με ενσωματωμένα τα εξής:

- Οπτικό καταναμητή τουλάχιστον 8 θέσεων με συνδέσμους < LC/APC >.

- Ικρίωμα 19’’ ενεργού εξοπλισμού για την φιλοξενία του μεταγωγέα χρήστη και την φιλοξενία ενός rack-mounted UPS.
- Rack-mounted πολύπριζο.

Αντίστοιχα, τα εξωτερικά κουτιά τοποθετούνται στον εξωτερικό χώρο της οικίας.

3.2.14 Μεταγωγείς Ethernet (Ethernet Switches)

Οι μεταγωγείς θα πρέπει να έχουν τα παρακάτω ελάχιστα χαρακτηριστικά:

3.2.14.1 Μεταγωγείς Χρηστών

Οι νέοι μεταγωγείς των χρηστών θα πρέπει να είναι εφοδιασμένοι θα διαθέτουν θύρες Gigabit Ethernet uplinks για σύνδεση με τους μεταγωγείς των κομβών πρόσβασης και UTP θύρες τεχνολογίας FastEthernet (10/100Base-TX) για το τοπικό δίκτυο των χρηστών. Θα πρέπει να υποστηρίζουν τα συνήθη πρότυπα και πρωτόκολλα για : Ethernet, Multicast Management, Network Management, Link and Path Protection, Ασφάλειας,, ποιότητας υπηρεσιών, κλπ

Για τον υπάρχοντα εξοπλισμό των χρηστών, προτείνεται να γίνει τεχνοοικονομική ανάλυση για το αν είναι συμφερότερη η διατήρηση υπάρχοντος εξοπλισμού μεταγωγής με προσθήκη media-converters ή διαχειρίσιμων και ελεγχόμενων ως προς τη ρυθμαπόδοση γραμμών για τη σύνδεση με τους μεταγωγείς πρόσβασης, ή την προμήθεια νέων μεταγωγέων με τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά. Στον υπολογισμό πρέπει να υπεισέλθει και το «κόστος» της μη δυνατότητας παροχής υπηρεσιών οι οποίες απαιτούν συγκεκριμένο επίπεδο εξασφάλισης ποιότητας από τους μεταγωγείς των χρηστών (QoS).

3.2.14.2 Κεντρικοί Μεταγωγείς και Μεταγωγείς Πρόσβασης (Μεταγωγοί Παρόχου)

Οι μεταγωγείς στους κύριους κόμβους θα διαθέτουν θύρες Gigabit Ethernet (αποκλειστικά SFP-Based).

Οι μεταγωγείς στους κόμβους πρόσβασης έχουν επαρκή αριθμό από θύρες Gigabit Ethernet (αποκλειστικά SFP-Based) για σύνδεση με τον μεταγωγέα του κεντρικού κόμβου και τους μεταγωγείς των χρηστών.

Όσον αφορά τους μεταγωγείς πρόσβασης, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στον τρόπο με τον οποίο υλοποιούνται τα ιδεατά κυκλώματα (Virtual Circuits - VC) για την παροχή point-to-point ή multipoint-to-multipoint transparent services.

Είναι επιθυμητή όμως η δυνατότητα εξυπηρέτησης πολλών ιδεατών κυκλωμάτων σε μία φυσική πόρτα (per-port-pervlan service).

Συνδεδεμένο με τα παραπάνω είναι και το θέμα της παροχής συγκεκριμένης ποιότητας υπηρεσίας (QoS) και υποστήριξης SLA απ’ όλους τους μεταγωγείς του παρόχου. Είναι ιδιαίτερα επιθυμητό οι μεταγωγείς να παρέχουν ευέλικτους τρόπους ταυτοποίησης διακριτών traffic flows και αντιστοίχησής τους (Service Mapping) με βάση παραμέτρους όπως το VLAN tag, τη φυσική θύρα εξόδου ή εισόδου, το 802.1p priority, το TCP ή UDP port, το DSCP field, πάνω σε διακριτά επίπεδα υπηρεσίας (Service Levels).

3.3 Σχεδιασμός Ελέγχου Εργοταξίου και Λειτουργίας εγκατάστασης

Η εργασία με υπόγεια συστήματα απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και σε πολλές περιπτώσεις θα προκαλεί διακοπή της κυκλοφορίας. Θα απαιτηθεί συνεργασία με τις τοπικές αρχές και τοποθέτηση των κατάλληλων διατάξεων ελέγχου. Στα ακόλουθα σημεία αναφέρονται συνοπτικά τα κύρια ζητήματα εγκατάστασης που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την ενασχόληση με μια εγκατάσταση με σωλήνες:

3.3.1 Κατασκευή, Εξοπλισμός και Σχεδιασμός

- Θα πρέπει να πραγματοποιηθεί πλήρη προσεκτική εξέταση ολόκληρου του υπόγειου συστήματος σωληνώσεων ή της εναέριας εγκατάστασης πριν από την εγκατάσταση.
- Στις θυρίδες και τα φρεάτια καλωδίων με μεγάλη στάθμη νερού θα πρέπει να αντλείται το πλεονάζον νερό.
- Οι σωλήνες θα πρέπει να ελέγχονται για ζημιές και ενδεχόμενα φραξίματα. Συνιστάται η πραγματοποίηση ελέγχου των τμημάτων σωλήνα με δοκιμαστικό άξονα ή βούρτσα πριν από την εγκατάσταση.
- Οι θυρίδες θα πρέπει να ελέγχονται προς εξασφάλιση του απαιτούμενου χώρου για περιέλιξη των πλεονασμάτων καλωδίου, πρόβλεψη στηριγμάτων καλωδίων και χώρο για τοποθέτηση Κιβωτίων Σύνδεσης Συγκόλλησης.
- Θα πρέπει να εξασφαλιστεί σχέδιο για βέλτιστη τοποθέτηση του εξοπλισμού καλωδίου, των ενδιάμεσων σημείων μεταφοράς και εξοπλισμό μαζέματος/έλξης καλωδίου. Τα ίδια ισχύουν και στην περίπτωση εμφύσησης των καλωδίων στο σωλήνα, η οποία απαιτεί Κεφαλή Εμφύσησης και Εξοπλισμό Συμπιεστή. Θα πρέπει αντίστοιχα να προβλέπονται ανοχές για αλλαγές στο ύψος.
- Θα πρέπει να υπάρχει επικοινωνία με τον κατασκευαστή του σωλήνα ή του εσωτερικού σωλήνα προς εξασφάλιση οδηγιών εγκατάστασης καλωδίου.
- Οι κυματοειδείς σωλήνες με ραβδώσεις και οι σωλήνες με εσωτερική επένδυση χαμηλής τριβής είναι σχεδιασμένοι να μειώνουν την τριβή καλωδίου/ σωλήνα κατά την εγκατάσταση. Οι λείοι χωρίς εσωτερική επένδυση σωλήνες μπορεί να απαιτούν κατάλληλο συμβατό με το καλώδιο λιπαντικό.
- Λαβές έλξης χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή του σχοινιού-οδηγού έλξης στο άκρο του καλωδίου. Αυτές συχνά είναι δικτυωτής/πλεκτής βάσης ή προσαρμόζονται με μηχανικό τρόπο στο άκρο του καλωδίου ελαχιστοποιώντας τη διάμετρο και συνεπώς το χώρο του χρησιμοποιούμενου σωλήνα. Θα πρέπει επίσης να τοποθετηθεί διάταξη “στροφέα με ασφάλεια” μεταξύ της λαβής έλξης του καλωδίου και του σχοινιού-οδηγού έλξης.
- Οι στροφείς είναι σχεδιασμένοι να εξουδετερώνουν τυχόν ροπές περιστροφής που παράγονται κατά την έλξη και με τον τρόπο αυτό να προστατεύουν το καλώδιο. Μια μηχανική ασφάλεια απόσπασης προστατεύει το καλώδιο από υπερβολικές δυνάμεις έλξης σπάζοντας μια «θυσιαζόμενη» περόνη αποκοπής. Οι περόνες διατίθενται σε διάφορες τιμές εφελκυσμού.
- Θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί Βαρούλκο Έλξης κατάλληλης δυναμικότητας. Τα βαρούλκα θα πρέπει να διαθέτουν δυναμόμετρο επιτήρησης εφελκυσμού κατά τη διάρκεια της έλξης.

- Για την οδήγηση του καλωδίου υπό τάση από τον εξοπλισμό θα πρέπει να χρησιμοποιούνται τροχαλίες, καστάνιες και τεμάχια σχήματος τεταρτημόριου για την οδήγηση του καλωδίου υπό τάση από τον εξοπλισμό, προς και από την είσοδο του σωλήνα και προς τον εξοπλισμό μαζέματος για εξασφάλιση τήρησης της ελάχιστης διαμέτρου κάμψης του καλωδίου.
- Σε όλες τις θέσεις λειτουργίας θα πρέπει να υπάρχουν ασύρματοι επικοινωνίας, κινητά τηλέφωνα ή ανάλογος εξοπλισμός.
- Σε περιπτώσεις όπου το φορτίο εφελκυσμού του καλωδίου προσεγγίζει το όριό του και μπορεί να αναμένεται μεγαλύτερο τμήμα έλξης, μπορεί να συνιστάται η χρήση ενδιάμεσων σημείων ή βοηθητικών βαρούλκων.
- Διάταξη Τύλιξης καλωδίου: συνιστάται ρυμουλκούμενο με τύμπανο.

3.3.2 Καλωδίωση Σωλήνων και Μικροσωλήνων

- Η εγκατάσταση και η συντήρηση των σωλήνων είναι σχετικά απλή. Σε κάποιες περιπτώσεις τα καλώδια μπορεί να αποκαλυφτούν από σφάλμα, θα πρέπει συνεπώς να υπάρχουν πάντα διαθέσιμα τμήματα σωλήνωσης για συντήρηση.
- Μήκος διαδρομής συν ανοχή για τη σύνδεση (τυπικά 3-5 μέτρα).
- Εφεδρικό/πλεόνασμα καλωδίου σε χώρους φρεατίων τυπικά 20 μέτρα. Αυτό θα επιτρέψει την εκ των υστέρων πρόσθεση συνδέσεων πρόσβασης σε ενδιάμεσα σημεία.
- Δεν θα πρέπει να υπάρχει υπέρβαση των τιμών Ελάχιστης Ακτίνας Κάμψης (Minimum Bend Radii - MBR) και μέγιστου φορτίου εφελκυσμού.
- Η στατική MBR είναι η ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή κάμψης για το καλώδιο σε λειτουργία (δηλαδή κουλουριασμένο εντός θυρίδας ή φρεατίου). Η δυναμική MBR είναι η ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή κάμψης για το καλώδιο σε συνθήκες έλξης κατά την εγκατάσταση.
- Η τιμές Φορτίου Έλξης (ή Εφελκυσμός Έλξης, N, ή Δύναμη, Kgf) συνήθως προσδιορίζονται για συνθήκες βραχυχρόνιας ή μακροχρόνιας καταπόνησης. Οι τιμές φορτίου βραχυχρόνιας καταπόνησης αναφέρονται στο μέγιστο εφελκυσμό που μπορεί να εφαρμοστεί στο καλώδιο κατά τη διαδικασία εγκατάστασης και οι τιμές μακροχρόνιας καταπόνησης αναφέρονται στο μέγιστο εφελκυσμό που μπορεί να εφαρμοστεί στο καλώδιο καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργικής ζωής του καλωδίου.
- Σε περιπτώσεις εγκατάστασης των καλωδίων με εμφύσηση, το καλώδιο και ο σωλήνας θα πρέπει να είναι κατάλληλα για τη διαδικασία εμφύσησης.
- Θα πρέπει να υπάρχει επικοινωνία με τον/τους προμηθευτή/ές καλωδίου και σωλήνα προς εξασφάλιση οδηγιών εγκατάστασης.

3.3.3 Καλώδιο Άμεσου Ενταφιασμού

- Οι τεχνικές εγκατάστασης καλωδίων ενταφιασμού μπορεί να περιλαμβάνουν άνοιγμα ορύγματος, εκσκαφή, κατευθυντήρια διάτρηση και διάτρηση με ώθηση. Πρέπει επίσης να γίνει αναφορά στην προδιαγραφή IEC (International Electrotechnical Commission) 60794-1-1 Παράρτημα C.3.6 'Installation of buried cables' (Εγκατάσταση ενταφιασμένων καλωδίων).
- Επιβεβαίωση ελάχιστης ακτίνας κάμψης και μέγιστων φορτίων έλξης για συνθήκες εγκατάστασης και μακροχρόνιας λειτουργίας.
- Διασφάλιση επιτήρησης φορτίου εφελκυσμού καλωδίου κατά τον ενταφιασμό και μη υπέρβασης μέγιστων ορίων καλωδίου.

- Η πλήρης εξέταση του ενταφιασμένου τμήματος θα εξασφαλίσει αποτελεσματική εργασία εγκατάστασης.
- Τα σημεία διασταύρωσης με άλλα δίκτυα κοινής ωφελείας θα πρέπει να είναι αναγνωρίσιμα.
- Όλα τα ενταφιασμένα καλώδια θα πρέπει να είναι αναγνωρίσιμα και με κατάλληλη σήμανση για τυχόν μελλοντικό εντοπισμό.
- Η οπίσθια πλήρωση πρέπει να εξασφαλίζει ότι τα καλώδια προστατεύονται κατάλληλα έναντι ζημιάς από μεγάλες πέτρες π.χ. με άμμο. Η οπίσθια πλήρωση πρέπει να πατικόνεται για την αποφυγή μελλοντικής μετακίνησης ή καθίζησης εδάφους.
- Όλες οι επιφάνειες πρέπει να αποκαθίστανται σύμφωνα με τα τοπικά πρότυπα

3.3.4 Πλαίσιο Λειτουργίας και Συντήρησης υποδομής Δικτύου

Πρέπει να ληφθούν υπόψη ζητήματα σχετικά με:

- Μετρήσεις
- Αρχεία καλωδίων ινών και σωλήνων
- Σήμανση σημαντικών στοιχείων υποδομής
- Πλήρης υποστήριξη με έγγραφα
- Αναγνώριση σήμανση σημαντικών στοιχείων υποδομής που υπόκεινται σε εργασίες συντήρησης
- Λίστα δευτερεύουσας συντήρησης
- Σχέδιο για καταστροφική βλάβη δικτύου λόγω εξωγενών παραγόντων (ακούσιο σκάψιμο καλωδίου και σωλήνα)
- Διατήρηση στοκ ανταλλακτικών καλωδίων και σωλήνων υποδομής για περιπτώσεις όπως ανωτέρω
- Θέση και διαθεσιμότητα αρχείων δικτύου για τα ανωτέρω πρόβλεψη συμβολαίου συντήρησης

4. FTTx-FTTH (Fiber To The Home)

4.1 Δίκτυα FTTx

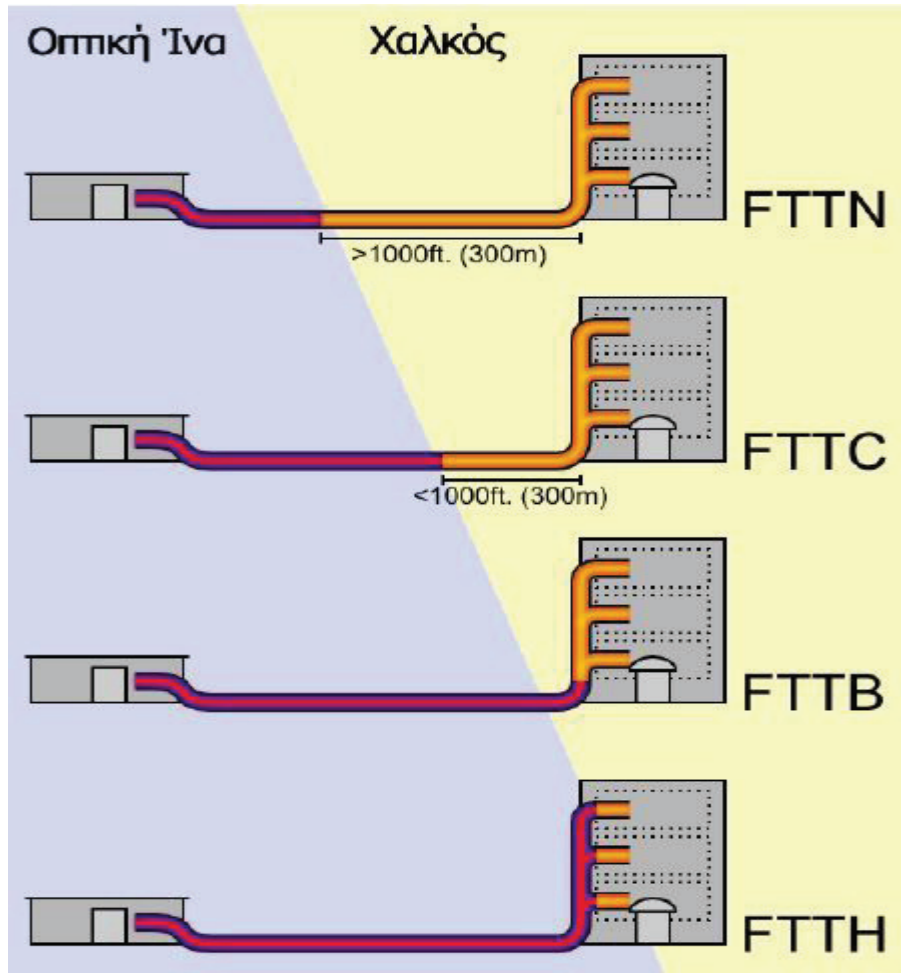
Με τον όρο «Fiber to the x (FTTx)», αναφερόμαστε σε οποιαδήποτε αρχιτεκτονική χρησιμοποιεί οπτική ίνα για την αντικατάσταση μέρους ή όλου του χαλκού ή άλλων τεχνολογιών στον τοπικό βρόχο. Ανάλογα με τον βαθμό συμμετοχής της οπτικής ίνας στη διαμόρφωση του τοπικού βρόχου, διακρίνουμε τις παρακάτω υποπεριπτώσεις:

- FTTN/FTTCab/FTTS: Fiber to the Node (Fiber to the Neighborhood) / Fiber to the Cabinet / Fiber to the Street
- FTTC/FTTK: Fiber to the Curb (Αμερικάνικη ορολογία) /Fiber to the Kurb (Αγγλική ορολογία)
- FTTB: Fiber to the Building
- FTTH/FTTO/FTTA/FTTD: Fiber to the Home / Fiber to the Office / Fiber to the Apartment / Fiber to the Dormitory
- FTTP: Fiber to the Premises: Με αυτόν τον όρο συνήθως γίνεται αναφορά για FTTB και FTTH.

4.1.1 Διαφορές των τεχνολογιών FTTx

FTT Node	Ορίζεται μέχρι περίπου 1500 μέτρα από τις εγκαταστάσεις του τελικού χρήστη. Οι οπτικές ίνες φτάνουν μέχρι το cabinet (κουτί) που εξυπηρετεί μια γειτονιά, και από εκεί μέχρι τον τελικό χρήστη χρησιμοποιείται η υπάρχουσα υποδομή.
FTT Curb	Ορίζεται ως περίπου 150 μέτρα από τις εγκαταστάσεις του τελικού χρήστη. Από εκεί μέχρι τον τελικό χρήστη χρησιμοποιείται η υπάρχουσα υποδομή.
FTT Building	Η οπτική ίνα φτάνει στο οικοδομικό τετράγωνο, αλλά όχι σε κάθε όροφο, γραφείο ή διαμέρισμα.
FTT Home	Η οπτική ίνα φτάνει σε ιδιωτικά σπίτια / διαμερίσματα και γραφεία.

Πίνακας 4.1: Διαφορές τεχνολογιών FTTx



Σχήμα 4.1: Τεχνολογίες FTTx

4.2 Fiber to the Home-FTTH

Σύμφωνα με τον ορισμό του FTTH Council, ως “Fiber to the Home” ορίζεται η τηλεπικοινωνιακή αρχιτεκτονική σύμφωνα με την οποία μία επικοινωνιακή οδός εκτείνεται με χρήση αποκλειστικά οπτικού μέσου από τον εξοπλισμό ενός δικτυακού παρόχου έως τον χώρο διαμονής ή εργασίας κάθε χρήστη. Η οπτική ίνα τερματίζεται εντός του καθ’ αυτού χώρου.

4.2.1 Η εξέλιξη του FTTH

Τα οπτικά δίκτυα εξελίχθηκαν απαντώντας στην απαίτηση των χρηστών για χρήση ολοένα και περισσότερων πολυμεσικών υπηρεσιών και εφαρμογών. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο ένας πάροχος χρειάζεται ένα ανθεκτικό ευρυζωνικό δίκτυο που προσφέρει απεριόριστο εύρος ζώνης αλλά συγχρόνως έχει την ικανότητα να προσφέρει στον πελάτη αμφίδρομες, διαδραστικές εφαρμογές.

Η απαίτηση για περισσότερο εύρος ζώνης (bandwidth) ανά χρήστη μεγαλώνει και έτσι καινούργιες αρχιτεκτονικές σχεδιάζονται, προτυποποιούνται και δοκιμάζονται. Η πορεία της οπτικής ίνας ως διαδόχου των γνωστών χάλκινων καλωδίων συνεχίζεται μέχρι το σπίτι του χρήστη προσφέροντας ευρυζωνική πρόσβαση (broadband access) σε όλους. Το κόστος της ίνας είναι τουλάχιστον ανταγωνιστικό σε σχέση με αυτό του χαλκού. Ήδη παρατηρείται το πρώτο κύμα πολλά υποσχόμενων εφαρμογών σε πολλές χώρες του κόσμου. Όμως, το εύρος και το μέγεθος των

δυνατοτήτων του FTTH θα τεθεί σε πλήρη λειτουργία στο μέλλον από τους μεγάλους παρόχους που θα παρακινηθούν από την απώλεια πελατών, από την αύξηση του εύρους ζώνης ανά χρήστη και από ζητήματα διεθνούς ανταγωνιστικότητας.

Ομαδοποιώντας τα κίνητρα που οδήγησαν στην ανάπτυξη και εφαρμογή της ίνας ολοένα και πιο βαθιά (πιο κοντά στον χρήστη) στο νέο μοντέλο των δικτύων πρόσβασης έχουμε:

- **Υπηρεσίες**
 - ✓ Απεριόριστο εύρος ζώνης στην οπτική υποδομή.
 - ✓ Το τρίπτυχο τηλεφωνία, δεδομένα και βίντεο καθώς και μελλοντικές υπηρεσίες.
- **Δίκτυα και Τεχνολογίες**
 - ✓ Αυξανόμενα μεγέθη, μειωτικά κόστη, οικονομικώς υλοποιήσιμα.
 - ✓ Ένα δίκτυο.
 - ✓ FTTH, Οπτική ίνα μέχρι το χρήστη: η ιδανική πλατφόρμα.
- **Ανταγωνισμός**
 - ✓ Τα παλιά μονοπώλια προκαλούνται από τους ανταγωνιστές με καινούρια πακέτα υπηρεσιών και υψηλή απόδοση δικτύου.
- **Οικονομικά της τοπικής κοινότητας και κοινωνική ανάπτυξη**
 - ✓ Ευνοϊκές δημοσιονομικές πολιτικές και ρυθμιστικοί κανόνες.

4.2.2 Λειτουργία FTTH

Σε ένα σύστημα FTTH ο εξοπλισμός βρίσκεται στο τερματικό κέντρο (central office- CO) χρησιμοποιώντας τη διεπαφή (interface) του Δημόσιου Τηλεφωνικού Μεταγωγικού Δικτύου (Public Switched Telephone Network-PSTN) και είναι συνδεδεμένο με διεπαφές Ασύγχρονου Τρόπου Μεταφοράς (Asynchronous Transfer Mode-ATM) ή διεπαφές Ethernet. Οι βίντεο υπηρεσίες εισέρχονται στο σύστημα μέσω της καλωδιακής τηλεόρασης (cable television) ή τροφοδοτούνται από δορυφόρο.

Όλα αυτά τα σήματα συνδυάζονται στη συνέχεια με τεχνικές Πολυπλεξίας με Διαίρεση Μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing-WDM) και εκπέμπονται στον τελικό χρήστη μέσω ενός παθητικού διαχωριστή (splitter). Η απόσταση του διαχωριστή από το CO και ο αριθμός των θυρών εξόδου ποικίλουν. Το σήμα μεταφέρεται στο σπίτι του τελικού χρήστη μέσω ενός ζεύγους (μία ίνα για upstream και μία για downstream, αυτή η περίπτωση χρησιμοποιείται κατά κόρον) ή μίας μοναδικής ίνας, χωρίς να χρησιμοποιούνται ενεργά μέρη.

Στο σπίτι του χρήστη το οπτικό σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό χρησιμοποιώντας έναν οπτοηλεκτρονικό μετατροπέα (Optical Electrical Converter-OEC). Ο μετατροπέας αυτός χωρίζει στη συνέχεια το σήμα στις υπηρεσίες που απαιτεί ο χρήστης.

4.2.3 Πλεονεκτήματα FTTH

- Εξασφαλίζει πολύ πιο γρήγορες ταχύτητες σύνδεσης και δυνατότητες μεταφοράς δεδομένων σε σύγκριση με τα συνεστραμμένα ζεύγη αγωγών, DSL ή ομοαξονικού καλωδίου (coaxial cable). Για παράδειγμα, ένα ζεύγος χάλκινων αγωγών μπορεί να μεταφέρει έξι τηλεφωνικές κλήσεις, ενώ ένα ζεύγος οπτικών ινών μπορεί να μεταφέρει περισσότερες από 2,5 εκατομμύρια τηλεφωνικές κλήσεις ταυτόχρονα.
- Έχει σημαντικά μικρότερο κόστος σε σχέση με τις ασύρματες συνδέσεις με σαφώς καλύτερη απόδοση. Οι ασύρματες τεχνολογίες περιορίζονται επίσης σημαντικά από ζητήματα αξιοπιστίας και ασφάλειας.
- Η αρχιτεκτονική του FTTH όπου η ροή είναι αυστηρώς συμμετρική, σε αντίθεση με τον χαλκό. Ο χρήστης στέλνει, για παράδειγμα, ηλεκτρονικά μηνύματα (e-mail) με συνημμένα αρχεία εικόνας το ίδιο γρήγορα που τα λαμβάνει.

4.2.4 Στοιχεία που συνθέτουν το FTTH

OLT: Optical Line Termination (Οπτικός Τερματισμός Γραμμής). Βρίσκεται στο CO και συνδέεται με το μητροπολιτικό δίκτυο. Πρέπει να είναι υψηλής ισχύος, διότι στέλνει τα οπτικά σήματα έξω, τα οποία διαχωρίζονται σε πολλά ρεύματα. Η κύρια λειτουργία του OLT του είναι η προσαρμογή της εισερχόμενης κίνησης από τους μητροπολιτικούς δακτύλιους στο στρώμα μεταφοράς του PON. Το OLT στέλνει δεδομένα με μήκος κύματος 1490 nm και βίντεο 1550nm.

Central Office Distributor Rack (CO): Είναι το ικρίωμα που προορίζεται για την συγκέντρωση των οπτικών ινών με μεθοδευμένο τρόπο. Συγκεντρώνει τα καλώδια των UnderDistributor και επικοινωνεί με τον OLT.

UnderDistributor Rack (SRO): Είναι το υπο-ικρίωμα του Central Office Distributor..

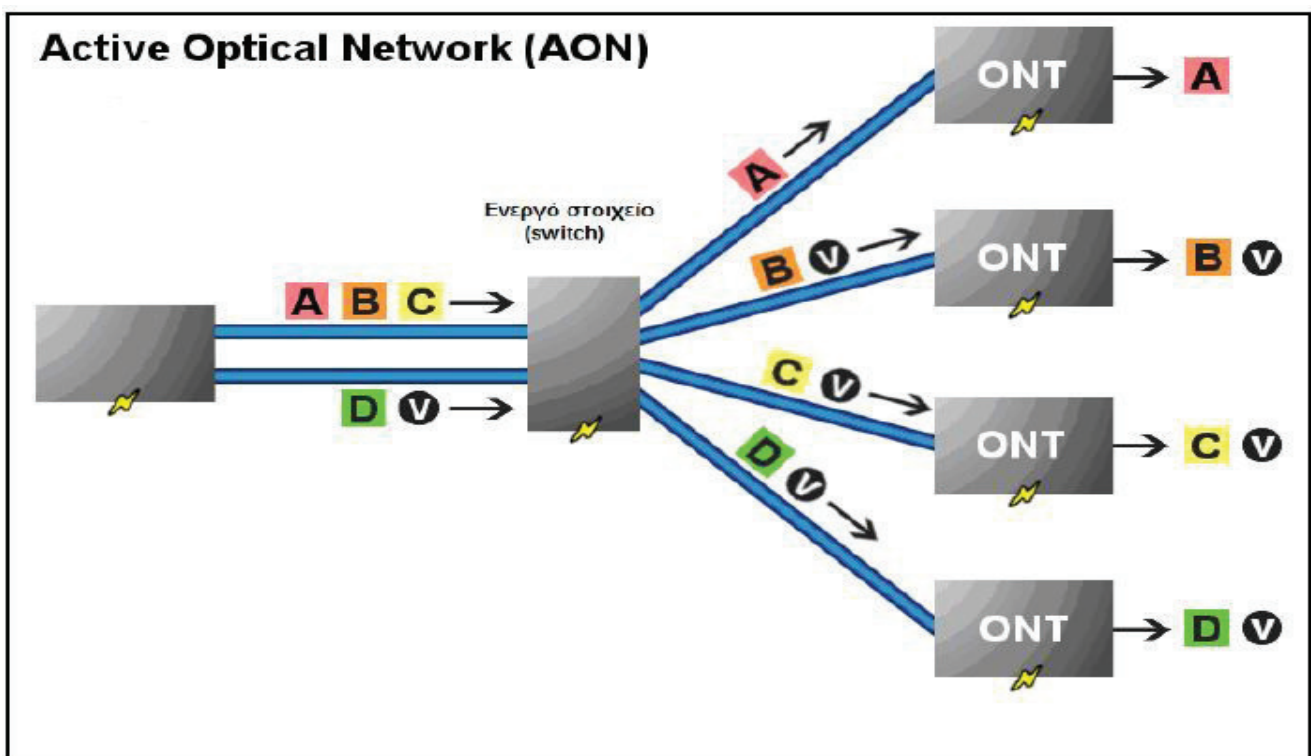
ONT: Optical Network Terminal. Αποτελούν τις οπτικές τερματικές διατάξεις προς την πλευρά των πελατών, στις οποίες καταλήγει το FTTHx δίκτυο. Σε κάθε ONT γίνεται η οπτικοηλεκτρονική μετατροπή και αποπολυπλεξία του οπτικού σήματος και παρέχονται οι υπηρεσίες προς τους πελάτες μέσω χάλκινων αγωγών. Το ONT μεταδίδει δεδομένα στον OLT με μήκος κύματος 1310 nm. .

Οπτικό Δίκτυο: Πρόκειται για την οπτική καλωδίωση που συνδέει τον OLT με το ONT. Έχει οποιαδήποτε τοπολογία: Δακτυλίου, Αστέρα ή Δενδρική. Η οπτική καλωδίωση σχεδιάζεται έτσι ώστε οι πιθανοί κόμβοι του δικτύου να μην βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τους συνδρομητές. Η απόσταση αυτή εξαρτάται από τις τελικές ταχύτητες πρόσβασης που θα δοθούν.

4.3 Αρχιτεκτονικές FTTH

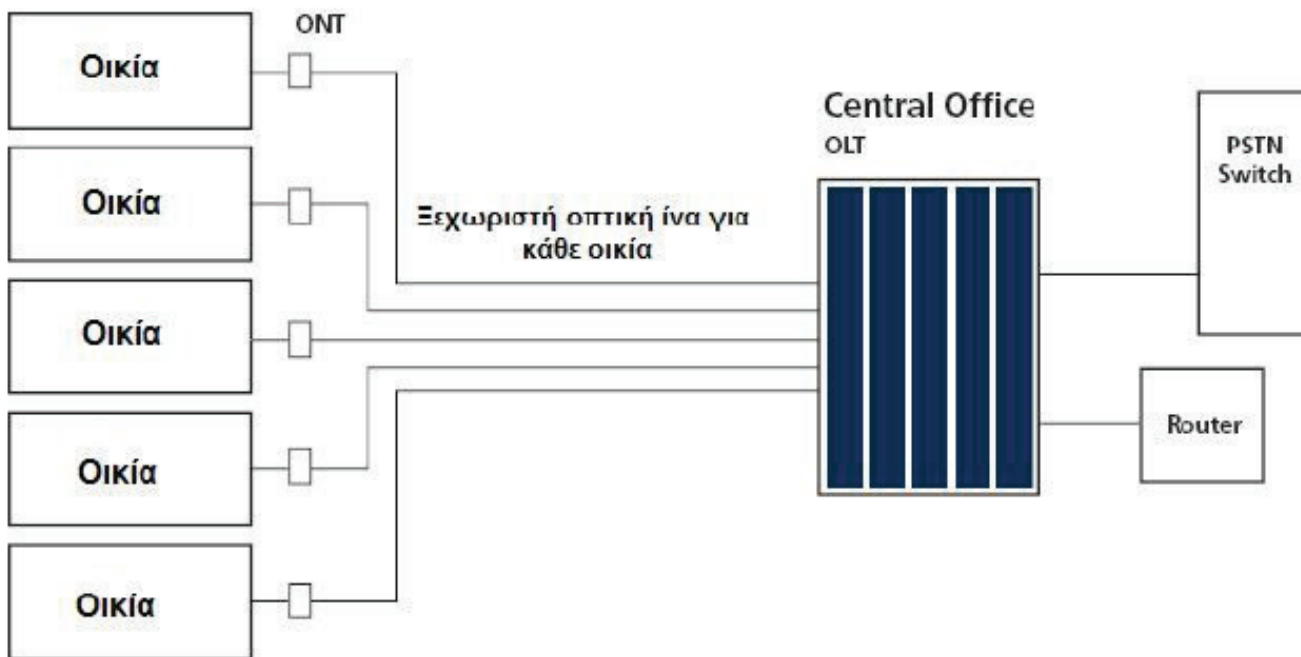
4.3.1 Point-to-point (σημείο-προς-σημείο)

Active Optical Network (ενεργό δίκτυο): Υπάρχει χρήση Ethernet switches (σε μορφή δακτυλίου ή αστέρα), όπου κάθε χρήστης διαθέτει αφοσιωμένη οπτική ίνα μέχρι το σημείο όπου βρίσκεται εγκατεστημένος ενεργός εξοπλισμός (συνήθως Ethernet switches), ο οποίος μεταγεί από εκεί και πέρα την κίνηση πολλών χρηστών προς το κυρίως δίκτυο (backbone). Λέγεται ενεργό δίκτυο διότι αυτό περιλαμβάνει ενεργούς κόμβους (τα switches), τα οποία τροφοδοτούνται με ηλεκτρικό ρεύμα. Σε αυτή την αρχιτεκτονική ο ενεργός εξοπλισμός φροντίζει να μεταγάγει τα κατάλληλα δεδομένα σε κάθε χρήστη.



Σχήμα 4.2: AON

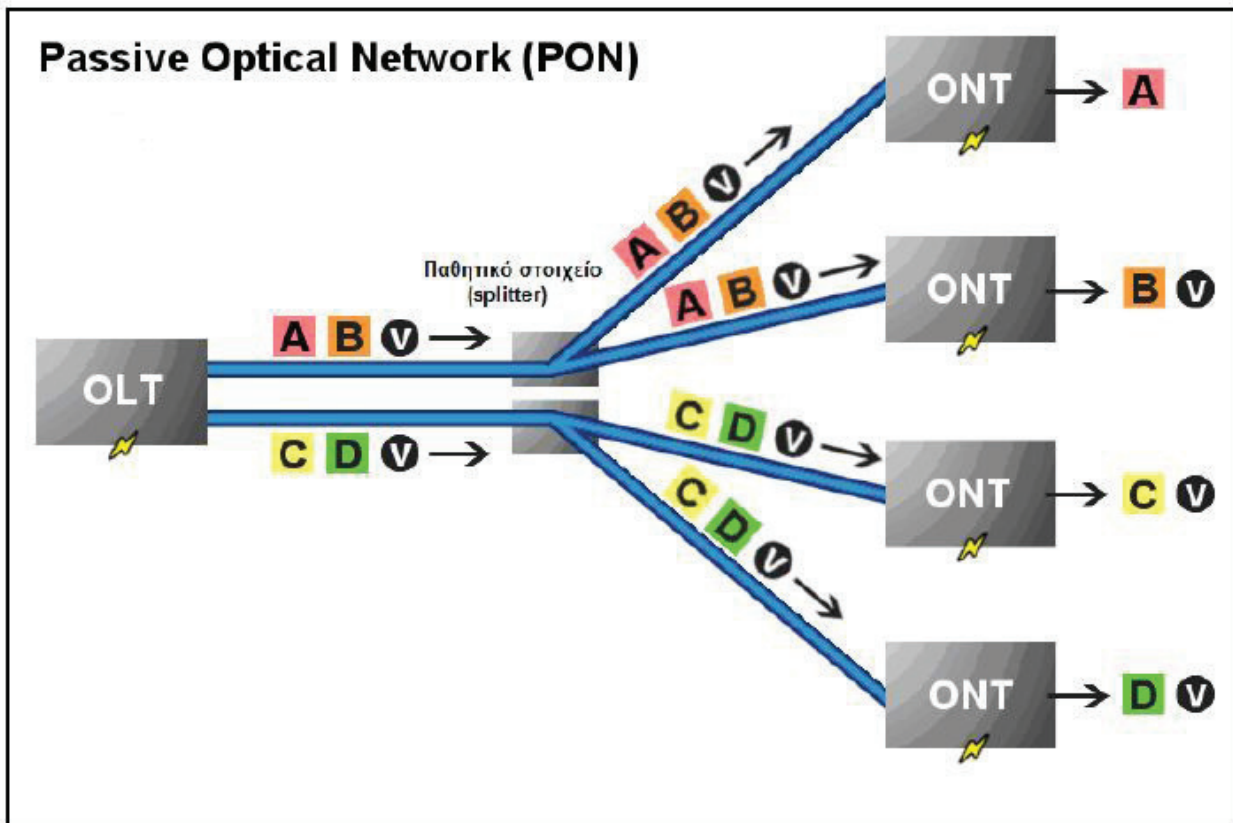
Home Run: Για κάθε χρήστη υπάρχει μια αφοσιωμένη οπτική ίνα που έρχεται από το OLT και καταλήγει σε αυτόν. οι χρήστες μπορεί να είναι ως και 80 χιλιόμετρα μακριά από το CO (Central Office) που βρίσκεται το OLT. Η αρχιτεκτονική αυτή είναι η πιο ευέλικτη και με τη μέγιστη χωρητικότητα, καθώς κάθε χρήστης έχει εντελώς δική του μια οπτική ίνα σε ολόκληρη τη διαδρομή ως το OLT. Γενικά όμως δεν είναι τόσο ελκυστική λόγω κόστους, καθώς απαιτεί το μεγαλύτερο πλήθος οπτικών ινών, με κάθε οπτική ίνα να καλύπτει μεγάλη απόσταση. Το κόστος τόσων οπτικών ινών για μεγάλες αποστάσεις κάνει την αρχιτεκτονική αυτή ασύμφορη για πολλές περιοχές.



Σχήμα 4.3: Home Run

4.3.2 Point-to-multipoint (σημείο-προς-πολλαπλά σημεία)

Passive Optical Network: Η τοπολογία του PON είναι από τη φύση της δενδρική. Σε αντίθεση με το AON, έχουμε παθητικό δίκτυο, δηλαδή χρησιμοποιούνται διατάξεις που δεν χρειάζονται ηλεκτρικό ρεύμα, συγκεκριμένα όλοι οι χρήστες διαμοιράζονται μια κοινή οπτική ίνα που διαχωρίζεται από το splitter (διαχωριστής). Το τελευταίο ενεργό στοιχείο στην περίπτωση του PON βρίσκεται στο δίκτυο κορμού (backbone). Το αποτέλεσμα είναι τα δεδομένα να γίνονται broadcast σε όλους τους χρήστες.



Σχήμα 4.4: PON

4.3.2.1 Πρότυπα PON

APON (ATM PON) : ATM-based PON λειτουργεί όπως το πρωτόκολλο ATM. Οι χρήστες εγκαθιστούν Virtual Circuits (VCs) από το APON στον προορισμό. Τα VCs ομαδοποιούνται στο γνωστό Virtual Paths (VPaths) για ταχύτερη εναλλαγή στο δίκτυο του μεταφορέα.

Η ταχύτητα της λειτουργίας εξαρτάται αν το APON είναι συμμετρικό ή ασύμμετρο. Τα συμμετρικά APON έχουν ταχύτητες 155.52 Mbit/sec ενώ τα ασύμμετρα APON, σε downstream μεταφορά από το OLT στον πελάτη η ταχύτητα ξεκινά από 155.52 έως 622.08 Mbit/sec. Η upstream μεταφορά είναι 155.52Mbit/sec.

Οι upstream και downstream μεταφορές γίνονται πάνω από δύο κανάλια, οι οποίες έχουν διαφορετικό μήκος κύματος στην ίδια ίνα ή σε διαφορετικές. Οι προδιαγραφές του αρχικού APON για downstream μεταφορές σε μονή ίνα κυμαίνονται μεταξύ 1480 και 1580 nm και στις διπλές ίνες μεταξύ 1260 και 1360nm. Οι upstream μεταφορές κυμαίνονται πάντα μεταξύ 1260 και 1360nm.

BPON (Broadband PON): Το BPON είναι πρότυπο της ITU. Βασίζεται στο APON, Αλλά χρησιμοποιεί WDM. Ορίζει πως τα ATM δεδομένα ενθυλακώνονται σε πλαίσια σε ομάδες των 54 κυψελών. Μια σημαντική ομάδα, που ονομάζεται FSAN (Full Services Access Networks) έχει ως στόχο να βρει τον καλύτερο τρόπο ώστε να πετύχει νωρίς και με χαμηλό κόστος την ανάπτυξη της ευρυζωνικής πρόσβασης στα οπτικά συστήματα. Η downstream μεταφορά έχει ταχύτητες 155 Mbps,

622 Mbps και 1,2 Gbps με μήκος κύματος 1490 και 1550 nm και η upstream 155 Mbps και 622 Mbps με μήκος κύματος 1310 nm. Πρότυπο της ITU-T G.983.

EPON (Ethernet PON): Η downstream μεταφορά έχει ταχύτητες είναι 1,25 Gbps και 10.3 Gbps, με μήκος κύματος 1550 nm και η upstream 1.25 Gbps και 10.3 Gbps με μήκος κύματος 1310 nm. Η μεταφορά γίνεται με Ethernet και είναι πρότυπο της IEEE 802.3ah.

GPON (Gigabit ethernet PON): Το GPON σχεδιάστηκε ώστε να παρέχει και δυνατότητα μεταφοράς ATM και TDM. Ωστόσο, το τελευταίο αυτό χαρακτηριστικό γνώρισμα χρησιμοποιείται πολύ σπάνια στις εφαρμογές. Αντί αυτού, το GPON χρησιμοποιείται ως Ethernet πλατφόρμα μεταφοράς. Η downstream μεταφορά έχει ταχύτητες 155 Mbps, 622 Mbps, 1.2 Gbps, 2.5 Gbps με μήκος κύματος 1490 και 1550 nm και η upstream 155 Mbps, 622 Mbps, 1.2 Gbps, 2.5 Gbps με μήκος κύματος 1310 nm. Πρότυπο της ITU-T G.984.

Στα FTTH, υποστηρίζονται μόνο τα συμμετρικά PON.

Η τεχνολογία PON είναι η πιο διαδεδομένη αλλά σε περιπτώσεις που μια κατοικία είναι απομακρυσμένη χρησιμοποιείται η AON.

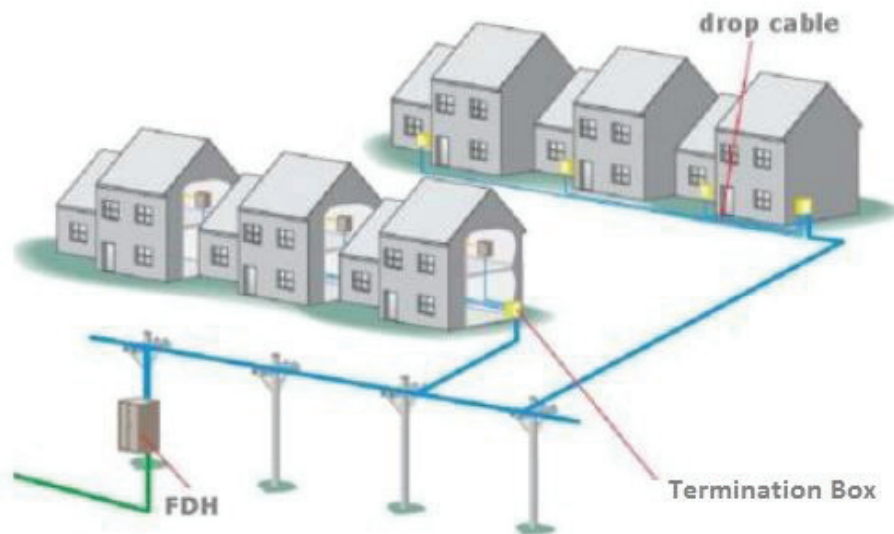
4.4 Είσοδος Οπτικής ίνας στο Σπίτι

Για την ανάπτυξη οπτικής υποδομής σε χρήστες (FTTH), απαιτείται ο σχεδιασμός να γίνει ανάλογα με την γεωγραφική περιοχή, τον πληθυσμό, τον τύπο και την υποδομή των κτηρίων και τις ανάγκες των χρηστών.

4.4.1 Είσοδος σε μονοκατοικία

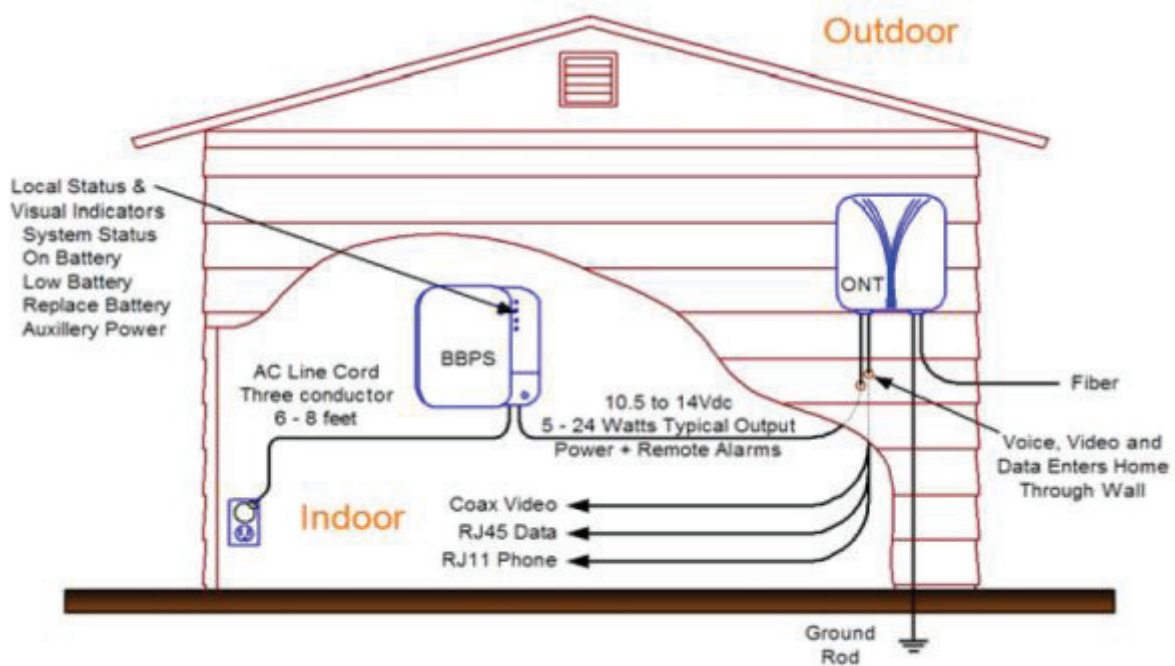
Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, η οπτική ίνα διαχωρίζεται από τον εξωτερικό οικίσκο (ή Fiber Distribution Hub, FDH) και οδηγείται ξεχωριστά σε κάθε κατοικία στο Termination Box, το οποίο είναι είτε εσωτερικό, είτε εξωτερικό.

Το Termination Box συνδέεται με το ONT, το οποίο επίσης είναι εξωτερικό ή εσωτερικό. Τα ONT των μονοκατοικιών ονομάζονται Single Family Unit (SFU) ONT και μπορούν να εξυπηρετήσουν μέχρι 4 διαφορετικούς χρήστες.



Σχήμα 4.5: Είσοδος σε μονοκατοικία

Το εξωτερικό ONT βρίσκεται στην εξωτερική πλευρά της κατοικίας. Εκεί τερματίζει η οπτική ίνα. Έπειτα ο χαλκός περνάει μέσα από τον τοίχο και τερματίζει μέσα στο σπίτι με υποδοχές RJ45, RJ11 και CATV. Αντίστοιχα συνδέεται το router, η τηλεφωνική συσκευή και ο αποκωδικοποιητής της τηλεόρασης.

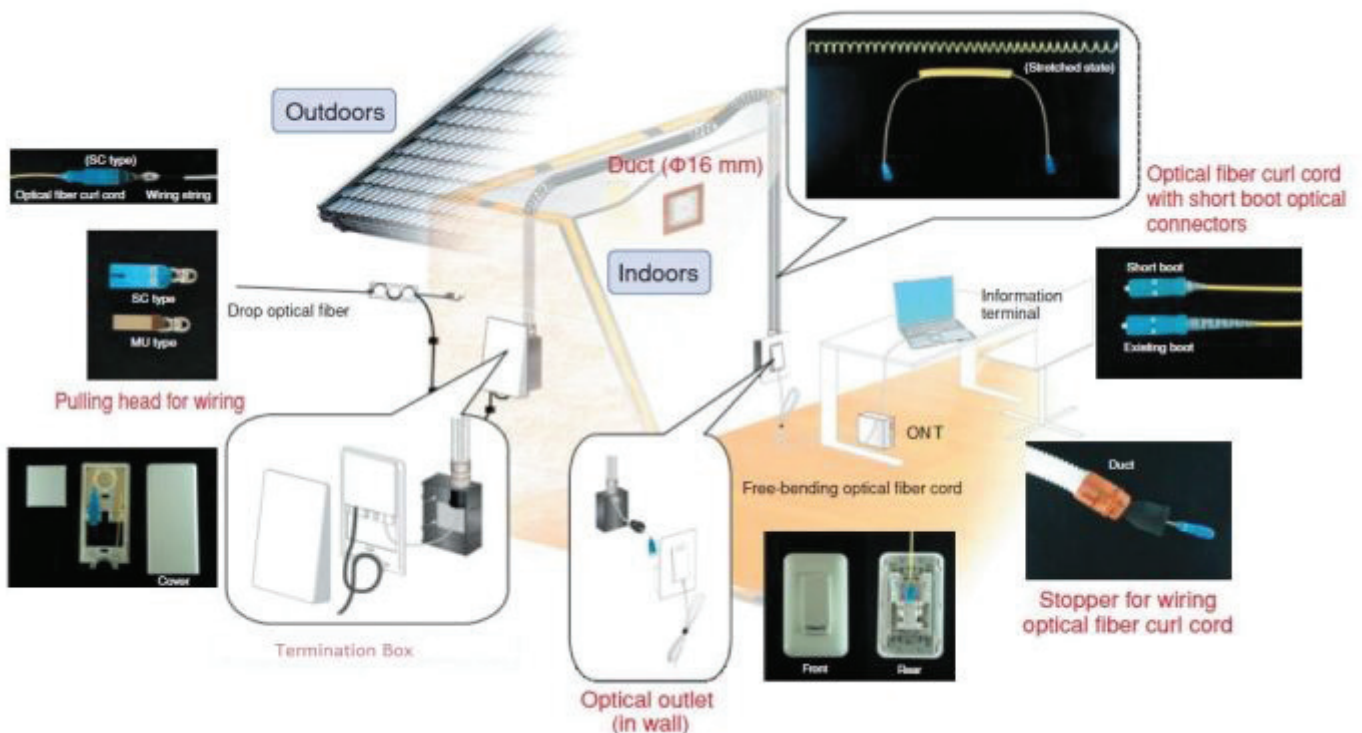


Σχήμα 4.6: Συνδεσμολογία εξωτερικού ONT



Σχήμα 4.7: Wall socket για εξωτερικό ONT

Αντίθετα, το εσωτερικό ONT συνδέεται με πρίζα στην οποία καταλήγει οπτική ίνα και τερματίζει εκεί. Σε αυτό το ONT μπορεί να συνδεθεί απευθείας ο υπολογιστής ή το high speed router και στη συνέχεια όποια συσκευή θέλουμε.



Σχήμα 4.8: Συνδεσμολογία εσωτερικού ONT



Σχήμα 4.9: Wall socket για εσωτερικό ONT

4.4.2 Είσοδος σε πολυκατοικία

Όπως και στην μονοκατοικία οι οπτικές ίνες διαχωρίζονται από τον εξωτερικό οικίσκο και οδηγείται ξεχωριστά σε κάθε κατοικία στο Termination Box. Το Termination Box της πολυκατοικίας είναι συνήθως εσωτερικό.

Στην είσοδο σε πολυκατοικία έχουμε δύο περιπτώσεις συνδεσμολογίας με το ONT. Τα ONT των πολυκατοικιών ονομάζονται Multi-Dwelling Unit (MDU) ONT και εξυπηρετούν μέχρι 8 ή 12 διαφορετικούς χρήστες. Εάν η πολυκατοικία διαθέτει λίγα διαμερίσματα μπορούν για χρησιμοποιηθούν SFU ONT για λόγους οικονομίας.

4.4.2.1 Πρώτη περίπτωση εισόδου σε πολυκατοικία

Το εσωτερικό Termination Box βρίσκεται στο ισόγειο ή υπόγειο της πολυκατοικίας και οδηγείται ξεχωριστό καλώδιο σε κάθε όροφο το οποίο τερματίζει στο Τερματικό Ορόφου και στη συνέχεια συνδέεται με το ONT και ύστερα εγκαθίσταται εσωτερική καλωδίωση προς κάθε χρήστη.



Σχήμα 4.10: Πρώτη περίπτωση εισόδου σε πολυκατοικία

4.4.2.2. Δεύτερη περίπτωση εισόδου σε πολυκατοικία

Το εσωτερικό Termination Box βρίσκεται στο ισόγειο ή υπόγειο της πολυκατοικίας μαζί με όλα τα τερματικά των ορόφων και κάθε τερματικό συνδέεται με το ONT του κάθε ορόφου και από εκεί και πέρα με κάθε χρήστη.



Σχήμα 4.11: Δεύτερη περίπτωση εισόδου σε πολυκατοικία

Τύποι ONT's



Σχήμα 4.12: Εσωτερικό ONT



Σχήμα 4.13: Εξωτερικό ONT



Σχήμα 4.14: MDU ONT

4.4.3. Εσωτερική Καλωδίωση

Τα καλώδια εσωτερικού χώρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν από την είσοδο του κτηρίου και μπορεί να διατρέχουν μικρές διαδρομές εντός ενός σπιτιού ή μεγάλες διαδρομές εντός ενός κτιρίου. Αυτά μπορεί να κυμαίνονται από καλώδια μονής ίνας, πιθανώς με προ-εγκατεστημένους συνδετήρες, έως σχέδια πολλών ινών σε διατάξεις διατεταγμένης τοποθέτησης ή ελεύθερης τοποθέτησης σε σωλήνα. Υπάρχουν επίσης παραλλαγές οπτικών ινών εμφύσησης σε μικροσωλήνα.

Παρόλο που τα σχέδια μπορεί να διαφέρουν, προορίζονται όλα για χρήση στις οικίες των τελικών χρηστών, πρέπει συνεπώς τυπικά να προσφέρουν κάποια μορφή πυροπροστασίας. Αυτή τυπικά μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση περιβλήματος χαμηλής εκπομπής καπνού και μηδενικής εκπομπής αλογόνου (LSZH - low smoke zero halogen). Το καλώδιο πρέπει να είναι έτσι κατασκευασμένο ώστε να διαθέτει κάποιο βαθμό προστασίας από διάδοση φλόγας και εκπομπή καπνού. Τα υλικά μπορεί να χαρακτηρίζονται αναφορικά με την περιεκτικότητά τους σε αλογόνο και αναφορικά με την αγωγιμότητα και το pH.

Μπορεί να εφαρμόζονται και άλλα κριτήρια, ανάλογα με τις ακριβείς απαιτήσεις του τελικού χρήστη, όμως σε κάθε περίπτωση η φροντίδα της δημόσιας ασφάλειας είναι πρωταρχικής σημασίας.

- Ο πιο απλός τύπος καλωδίου είναι η συνδετική χορδή (patchcord) τερματισμένη και στις δύο πλευρές με κονέκτορα. Αυτή αποτελείται από μια ίνα διαμέτρου 250 μm με ακριλική

επένδυση και εξωτερικό περίβλημα τυπικά από νάιλον έως τα 0.8-1mm. Αυτό βελτιώνει τις ιδιότητες χειρισμού της ίνας και επιτρέπει πιο ισχυρή σύνδεση μέσω των συνδετήρων. Αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε διατεταγμένη τοποθέτηση για βέλτιστη ανθεκτικότητα. ή σε ημιδιατεταγμένη στρώση για διευκόλυνση της απογύμνωσης. Ένα στρώμα αραμιδικών ινών προσδίδει αντοχή. Αυτό καλύπτεται με περίβλημα από υλικό χαμηλής εκπομπής καπνού.

- Για διανομή των ινών σε ένα κτίριο, μια δημοφιλής μέθοδος κατασκευής είναι η πολλαπλής διατεταγμένης τοποθέτησης ('multi-tight'). Αυτή είναι παρόμοια με το παραπάνω καλώδιο, με τη διαφορά ότι τυπικά μπορεί να φέρει έως 24 ίνες.



Σχήμα 4.15: Patchcord

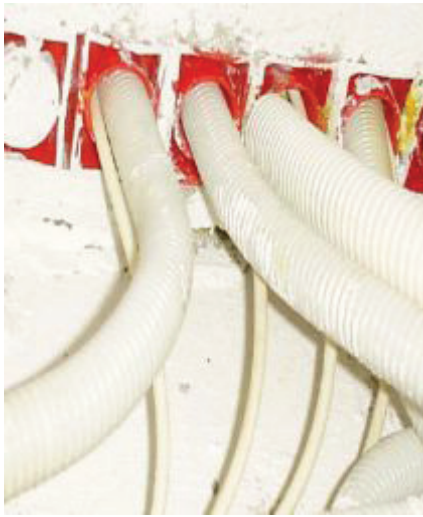
Οι ίνες μπορεί επίσης να βρίσκονται εντός θαλάμων ελεύθερης τοποθέτησης, (για έως 24 ίνες) ή πολλαπλών θαλάμων ελεύθερης τοποθέτησης για έως 144 ίνες, για σύνδεση σε rack σε κεντρικά κτίρια. Τα καλώδια μικροσωλήνων μπορούν να κατασκευαστούν με υλικά χαμηλής εκπομπής καπνού και μηδενικής εκπομπής αλογόνου (LSZH) για εφαρμογές εσωτερικών χώρων.

4.4.4 Εγκατάσταση ινών στα κτίρια

Η εγκατάσταση των ινών διαφέρει εάν το κτίριο είναι ήδη χτισμένο ή όχι. Στα ήδη χτισμένα κτίρια η εγκατάσταση γίνεται ως εξής:

- Εξωτερική τοποθέτηση, σαν καλώδιο κεραίας τηλεόρασης.
- Τοποθέτηση σε υπάρχοντες ηλεκτρολογικούς σωλήνες > 65mm.
- Τοποθέτηση σε τυποποιημένα ηλεκτρολογικά κανάλια

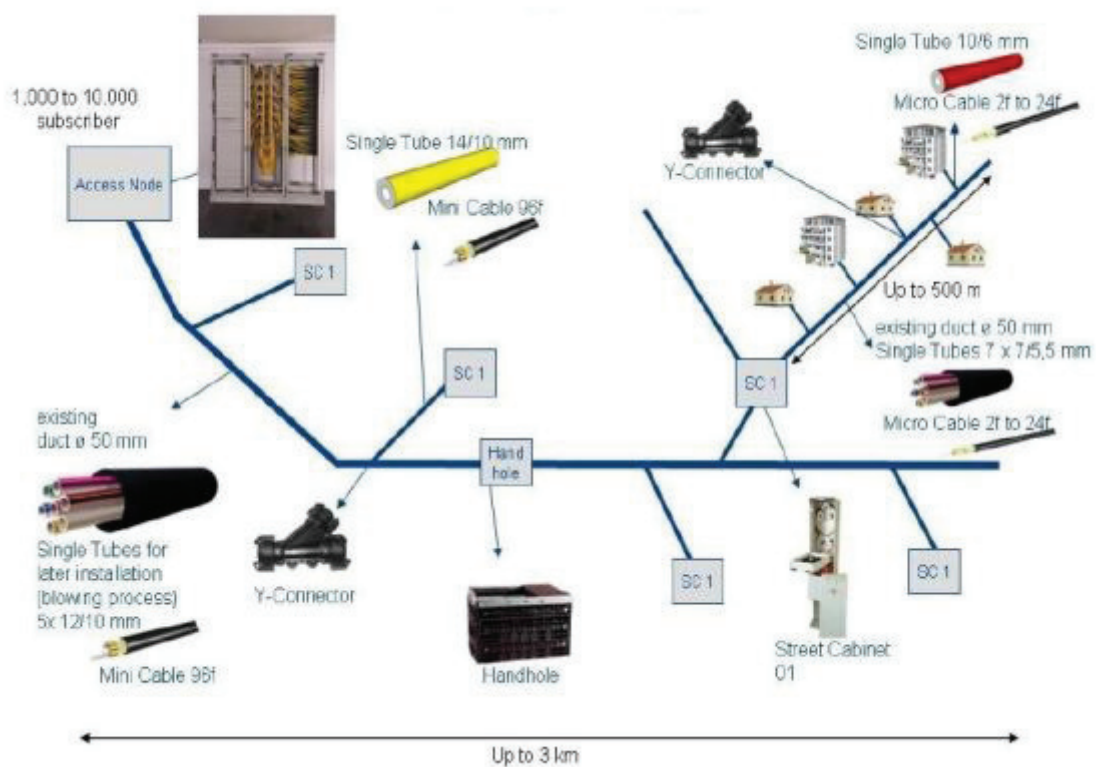
Η εγκατάσταση των οπτικών ινών σε νέες οικοδομές συνδυάζεται με τη ρευματοδότηση.



Σχήμα 4.16: Εγκατάσταση σε υπάρχουσες οικοδομές

4.4.5 Ενδεικτικές διαδρομές και στοιχεία εγκατάστασης από τον κόμβο στην κατοικία

4.4.5.1 Πρώτος ενδεικτικός τρόπος

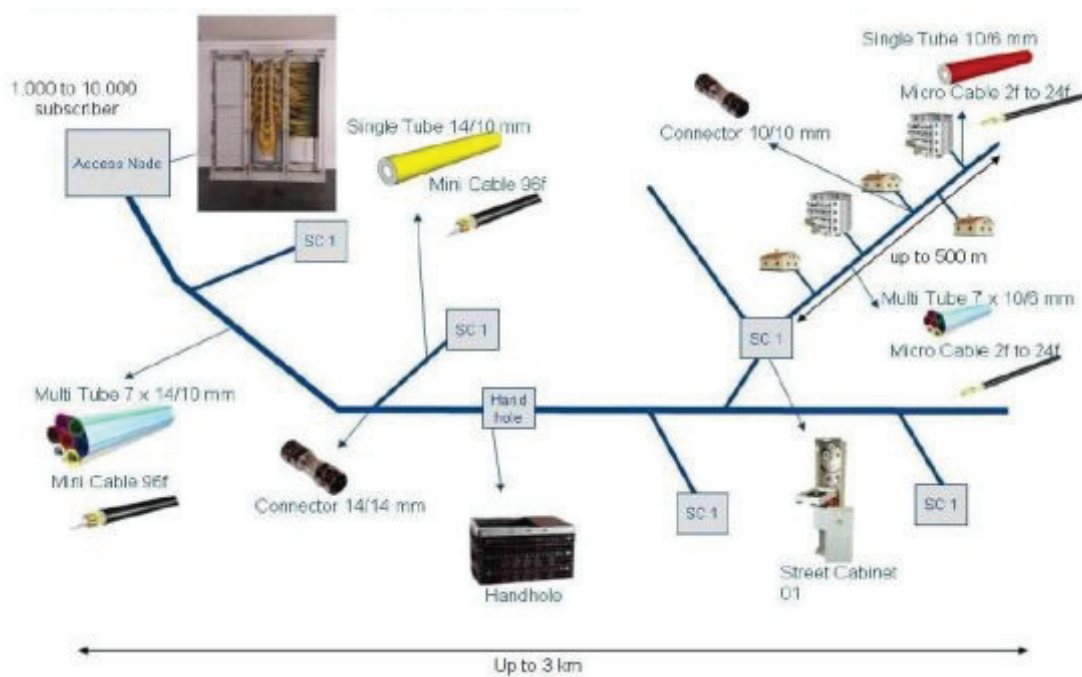


Σχήμα 4.17: Διαδρομή



Σχήμα 4.18: Στοιχεία

4.4.5.2. Δεύτερος ενδεικτικός τρόπος



Σχήμα 4.19: Διαδρομή



Σχήμα 4.20: Στοιχεία

Η διαφορά τους είναι ότι στον δεύτερο τρόπο χρησιμοποιούνται εξαγωνικοί σωλήνες αντί για στρογγυλούς. Οι εξαγωνικοί σωλήνες διευκολύνουν την εγκατάσταση των υποσωλήνων και είναι πιο ακριβοί. Επίσης υπάρχουν και διαφορετικοί συνδετήρες σωλήνων, μιας και μιλάμε για διαφορετικό τύπο σωλήνων.

Σημαντικός παράγοντας στην κατασκευή του δικτύου είναι το κόστος. Η εταιρεία έχει, θεωρητικά, την δυνατότητα να κάνει ειδικές παραγγελίες καλωδίων, σωλήνων και άλλων στοιχείων, αναλόγως με το τι θέλει. Γενικά υπάρχουν κάποια πρότυπα για τη δομή του δικτύου, αλλά υπάρχει και η ελευθερία να προσαρμοστεί η κατασκευή του, όπως το θέλει η εταιρεία και ο πελάτης.

4.5 Πλαίσιο Σχεδιασμού Λειτουργίας & Συντήρησης Υποδομής Δικτύου FTTH

Κάθε σχέδιο δικτύου FTTH διαφέρει και λειτουργεί σε διαφορετικά περιβάλλοντα και συνθήκες, η απαίτηση σχεδιασμού, λειτουργίας και συντήρησης είναι κοινή σε όλα.

Κατά την κατασκευή του δικτύου, ο κατασκευαστής θα πρέπει να εξασφαλίσει την ελάχιστη δυνατή όχληση του κοινού και του περιβάλλοντος περίγυρου. Αυτό είναι πολύ πιθανό να περιλαμβάνεται στις συμβατικές υποχρεώσεις προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι η διαδικασία εγκατάστασης και κατασκευής θα προκαλέσει λίγη ή καθόλου όχληση εντός της περιοχής FTTH. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο μέσω προσεκτικής μελέτης και εκτέλεσης. Αυτό οδηγεί επίσης στην ανάγκη για ανάπτυξη αποτελεσματικών μεθόδων κατασκευής που τελικά θα ωφελήσουν το

επιχειρηματικό σχέδιο FTTH. Ο κακός σχεδιασμός θα φέρει τα αντίθετα αποτελέσματα και εν δυνάμει θα οδηγήσει σε κακή απόδοση κατασκευής και σε αποτυχία το πρόγραμμα κατασκευής.

Παρόλο που οι οπτικές ίνες είναι ένα αξιόπιστο μέσο με αποδεδειγμένα αξιόπιστη λειτουργία για δεκάδες έτη, συνεχίζουν να είναι ευάλωτες σε απρόβλεπτες βλάβες που θα απαιτήσουν κινητοποίηση και γρήγορη και αποτελεσματική επισκευή. Κατά τη διάρκεια τέτοιων συμβάντων είναι κεφαλαιώδους σημασίας η άμεση πρόσβαση στα αρχεία των δικτύων από τους αρμόδιους για την επισκευή. Είναι ζωτικής σημασίας από την έναρξη κατασκευής του δικτύου να ταξινομούνται και να συγκεντρώνονται τα αρχεία και τα έγγραφα προς υποστήριξη της συνεπακόλουθης ανάλυσης του δικτύου. Οι διαδικασίες συντήρησης πρέπει να σχεδιάζονται εκ των προτέρων και να υπάρχουν σχετικές συμβατικές πρόνοιες για την εξασφάλιση ότι το κατάλληλο ανθρώπινο δυναμικό θα είναι διαθέσιμο όταν απαιτηθεί

5. OTDR

5.1 Τι είναι το OTDR

Το OTDR (Optical Time Domain Reflectometer, Όργανο Μέτρησης Ανακλάσεων Οπτικής Ισχύος στο πεδίο του χρόνου) είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται ευρέως για τον έλεγχο ποιότητας εγκατεστημένων ή προς εγκατάσταση οπτικών ινών και τον ευρύτερο χαρακτηρισμό τους, όσον αφορά τις απώλειες που εμφανίζουν κατά το μήκος τους. Βρίσκει το ακριβές μήκος των οπτικών ινών και κάνει χαρτογράφηση του δικτύου, βρίσκοντας που υπάρχουν φρεάτια με οπτικούς συνδέσμους, κατανεμητές κ.λ.π.

Οι απώλειες που ανιχνεύει είναι οι εξής:

- Απώλεια οπτικής ίνας, λόγω κατασκευής
- Απώλεια κολλήσεων
- Απώλειες φυσικών ενώσεων

Οι μέγιστες αποδεκτές απώλειες δίνονται αναλόγως τον κατασκευαστή (της ίνας, του κονέκτορα) και πάντα με βάση την ITU.

Το μειονέκτημα του είναι ότι δεν μπορεί να μας δώσει τη συνολική απώλεια της ίνας, γιατί δεν μπορούμε να μετρήσουμε τα άκρα (αρχικό και τελικό κατανεμητή). Τις απώλειες του πρώτου κατανεμητή δεν μπορεί να τις μετρήσει λόγω dead zone και του τελικού λόγω του ότι η μέτρηση σταματάει μόλις φτάσει στον κατανεμητή.

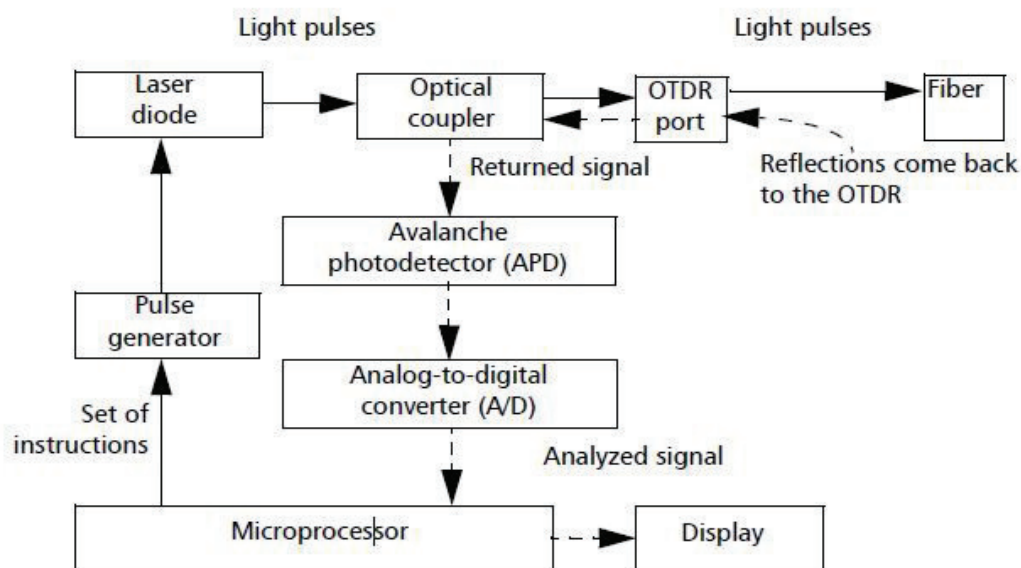
Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιείται και ένα δεύτερο όργανο, ο πομποδέκτης, που η μόνη του ικανότητα είναι να μετράει την συνολική απώλεια της ζεύξης. Εάν δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί πομποδέκτης, στην απώλεια που θα μας δώσει το OTDR, προσθετούμε τις απώλειες των άκρων οι οποίες προέρχονται από το σύστημα κονέκτορα-αντάπτορα και του pigtail, τα οποία δίνονται από τον κατασκευαστή. Αυτός ο τρόπος όμως δεν είναι αξιόπιστος για τη μέτρηση της συνολικής απώλειας,

5.2 Αρχή Λειτουργίας OTDR

Ένα OTDR συνδυάζει μια πηγή laser και έναν ανιχνευτή laser προκειμένου να παρέχει μια εικόνα του εσωτερικού της οπτικής ίνας. Η πηγή στέλνει ένα σήμα στην ίνα όπου και ο ανιχνευτής λαμβάνει το φως το οποίο ανακλάται από τα διάφορα στοιχεία του δικτύου (μούφες, σπασίματα, λυγίσματα κτλ). Αυτό παράγει μια καμπύλη σε μια γραφική παράσταση με βάση το σήμα που λαμβάνεται και ένα πίνακα συμβάντων ο οποίος περιέχει πληροφορίες για κάθε τι που υπάρχει πάνω στο οπτικό δίκτυο. Το σήμα που στέλνεται είναι ένας στενός παλμός ο οποίος μεταφέρει ένα ορισμένο ποσό ενέργειας. Ένας χρονομετρητής υπολογίζει με ακρίβεια τον χρόνο διάδοσης του παλμού ο οποίος στην συνέχεια μετατρέπεται σε απόσταση, γνωρίζοντας τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης ίνας. Καθώς ο παλμός ταξιδεύει κατά μήκος της ίνας, ένα μέρος της ενέργειας επιστρέφει στον ανιχνευτή εξαιτίας της ανάκλασης από τις συνδέσεις και της ίδιας της ίνας. Ανά ένα τακτό χρονικό διάστημα που ορίζεται (παράμετρος pulse), στέλνονται παλμοί μέχρι να ολοκληρωθεί

η συλλογή δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι γίνονται πολλές μετρήσεις διαδοχικά, η μία μετά την άλλη και υπολογίζοντας την μέση τιμή τους, έχουμε μια καλύτερη εικόνα των συμβάντων πάνω στην οπτική ίνα. Μόλις ολοκληρωθεί η συλλογή δεδομένων πραγματοποιείται η επεξεργασία τους προκειμένου να υπολογιστεί η απόσταση, η εξασθένιση και το μέγεθος της ανάκλασης σε κάθε συμβάν όπως επίσης και ο υπολογισμός του συνολικού μήκους, της συνολικής εξασθένισης και το ORL (Optical Return Loss) της οπτικής ίνας. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της χρήσης ενός OTDR είναι ότι απαιτείται μόνο ένα άτομο για να τεκμηριώσει ή να ελέγξει ένα δίκτυο.

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, αφού γίνουν οι απαραίτητες ρυθμίσεις από τον τεχνικό, μια γεννήτρια σχετικά στενών ηλεκτρικών παλμών παράγει τους παλμούς αυτούς ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Οι παλμοί οδηγούν μια 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 ίνα αλλά και λόγω ασυνεχειών (συνδετήρες, κολλήσεις, τέλος μιας ζεύξης) κατά τη διάδοση συγκεκριμένης ποσότητας φωτός θα επιστρέψει στο όργανο μέσω σκέδασης Rayleigh ή ανακλάσεων. Η επιστρεφόμενη δέσμη θα ανιχνευθεί από μία φωτοδίοδο χιονοστιβάδας (Avalanche Photodiode, APD). Έπειτα μετατρέπεται από αναλογικό σε ψηφιακό και επεξεργάζεται από τον μικροεπεξεργαστή. 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 υπολογιστεί από τον χρόνο διάδοσης στον οριζόντιο άξονα.



Σχήμα 5.1: Σχηματικό λειτουργίας OTDR

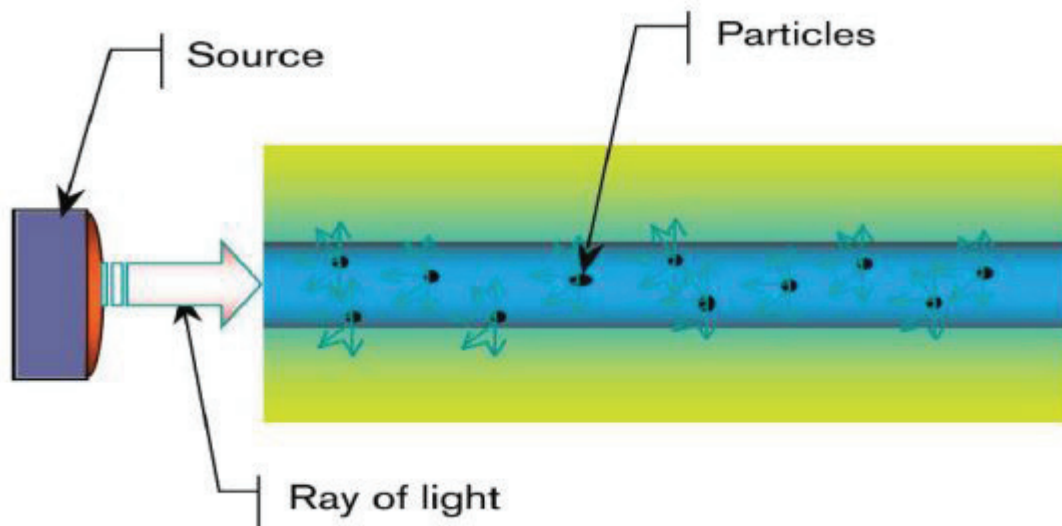
5.3 Χαρακτηριστικά OTDR

5.3.1 Ανάκλαση

Όπως αναφέραμε νωρίτερα το OTDR παρέχει μια εικόνα του δικτύου μετρώντας το ποσοστό του φωτός που επιστρέφεται από τον παλμό που στέλνει.

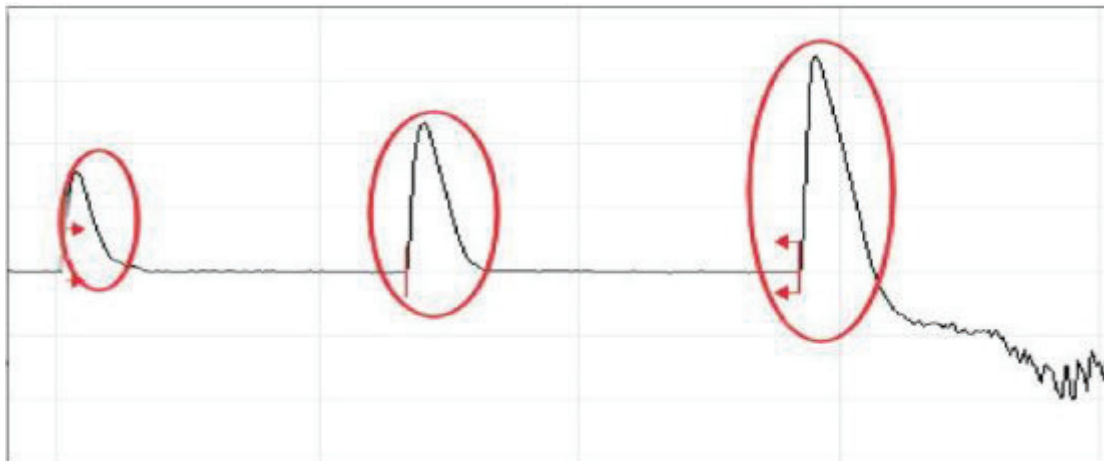
Υπάρχουν δύο είδη οπτικής ανάκλασης: μια συνεχόμενη χαμηλής έντασης που προκαλείται από την ίδια την ίνα και ονομάζεται «Rayleigh backscattering» και μια υψηλής έντασης που δημιουργείται στα σημεία σύνδεσης και ονομάζεται «Fresnel reflection».

Η ανάκλαση «Rayleigh backscattering» χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της εξασθένισης της ίνας σαν συνάρτηση της απόστασης (εκφράζεται σε dB/km) και φαίνεται σαν μια φθίνουσα ευθεία στο γράφημα του OTDR. Αυτό το φαινόμενο προέρχεται από την φυσική ανάκλαση και την εξασθένιση λόγω κάποιων ξένων σωματιδίων που εμπεριέχονται στο γυαλί. Όταν το φως χτυπήσει σε ένα τέτοιο σωματίδιο συμβαίνει ανάκλαση προς διάφορες κατευθύνσεις προκαλώντας εξασθένιση του σήματος. Τα μεγαλύτερα μήκη κύματος εξασθενούν λιγότερο σε σχέση με τα μικρότερα άρα απαιτούν λιγότερη ενέργεια για να ταξιδέψουν την ίδια απόσταση σε μια ίνα.



Σχήμα 5.2: Rayleigh

Το δεύτερο είδος ανάκλασης που χρησιμοποιείται από ένα OTDR (Fresnel) εντοπίζει φυσικά γεγονότα κατά μήκος της ίνας. Όταν το φως χτυπήσει σε ένα τέτοιο σημείο, ένα μεγάλο ποσοστό επιστρέφει πίσω δημιουργώντας την ανάκλαση Fresnel η οποία μπορεί να είναι χιλιάδες φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την Rayleigh. Η ανάκλαση Fresnel διακρίνεται από αιχμές στην κυματομορφή του OTDR. Για παράδειγμα, τέτοιες ανακλάσεις συμβαίνουν σε κοννέκτορες, ατερμάτιστες ή κομμένες ίνες.



Σχήμα 5.3: Ανακλάσεις Fresnel που προκαλούνται από μηχανικές συνδέσεις, ανοιχτούς κοννέκτορες κτλ.

5.3.2 Υπολογισμός απόστασης

Απόσταση: $L = c/n * t/2$

Όπου:

c = η ταχύτητα του φωτός στο κενό

t = ο χρόνος καθυστέρησης του παλμού από τη μετάδοσή του μέχρι τη λήψη του

n = δείκτης διάθλασης.

Το OTDR προσδιορίζει με υψηλή ακρίβεια το μήκος μίας οπτικής ζεύξης. Από την παραπάνω σχέση είναι προφανές ότι η σωστή επιλογή δείκτη διάθλασης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη μέτρηση της απόστασης.

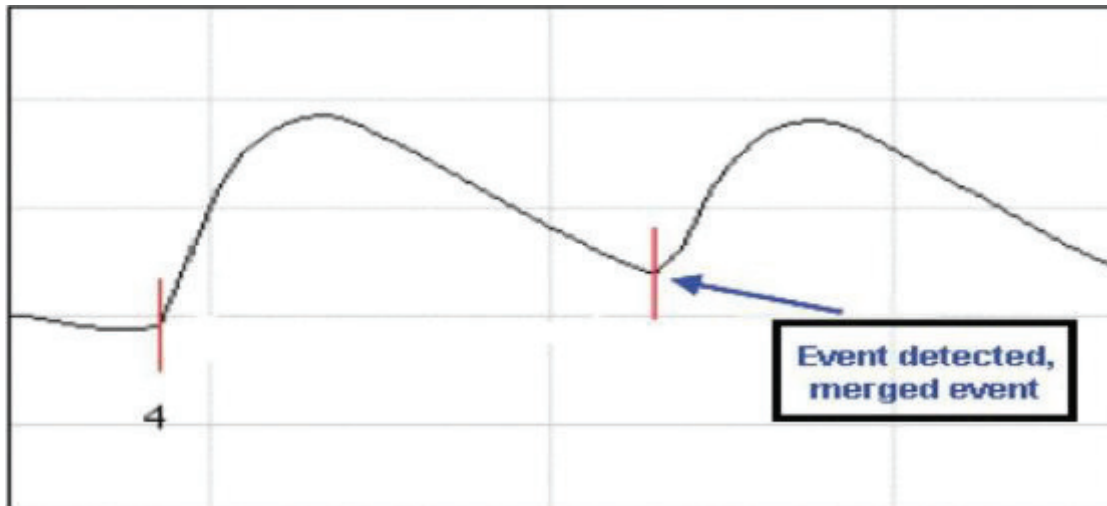
5.3.3 Νεκρή ζώνη

Οι ανακλάσεις Fresnel εισάγουν ένα σημαντικό χαρακτηριστικό το οποίο ονομάζεται «νεκρή ζώνη». Υπάρχουν δυο ειδών νεκρές ζώνες: γεγονόςτος και εξασθένησης.

Και οι δυο δημιουργούνται από τις ανακλάσεις Fresnel και εκφράζονται σε απόσταση (μέτρα) η οποία μεταβάλλεται ανάλογα με την ισχύ αυτών των ανακλάσεων. Σαν νεκρή ζώνη ορίζεται η απόσταση κατά την οποία ο ανιχνευτής του OTDR «τυφλώνεται» προσωρινά από την μεγάλη ποσότητα ανακλώμενου φωτός – σαν να φωτίζεις τα μάτια κάποιου, ο ίδιος τυφλώνεται και δεν βλέπει. Στον κόσμο των OTDR ο χρόνος μεταφράζεται σε απόσταση, άρα περισσότερη ανάκλαση σημαίνει περισσότερο χρόνο για να ανακάμψει ο ανιχνευτής δηλαδή μεγαλύτερη «νεκρή ζώνη».

5.3.3.1 Νεκρή ζώνη γεγονόςτος

Η νεκρή ζώνη γεγονόςτος είναι η ελάχιστη απόσταση που χρειάζεται ένα OTDR να ανιχνεύσει ένα γεγονός μετά από μια ανάκλαση Fresnel. Με άλλα λόγια είναι το ελάχιστο μήκος της ίνας που απαιτείται για δυο συνεχόμενα γεγονότα. Χρησιμοποιώντας το παράδειγμα που αναφέρθηκε παραπάνω, όταν τα μάτια τυφλωθούν από το φως χρειάζονται μερικά δευτερόλεπτα για να αναγνωριστεί ένα άλλο αντικείμενο. Στην περίπτωση του OTDR ένα γεγονός που ακολουθεί ανιχνεύεται αλλά δεν μπορεί να υπολογιστεί η απώλεια του. Το OTDR συγχωνεύει όλα τα επαναλαμβανόμενα γεγονότα σε ένα και επιστρέφει την συνολική ανάκλαση και απώλειά τους.

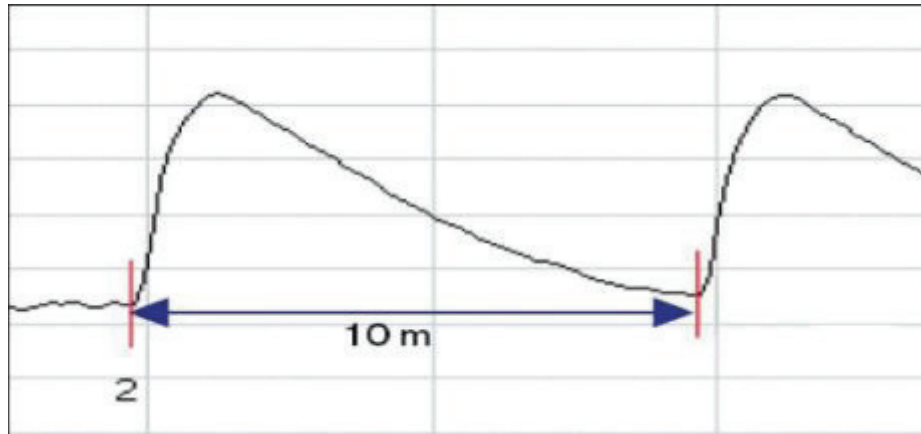


Σχήμα 5.4: Γεγονότα που έχουν συγχωνευτεί εξαιτίας μεγάλης νεκρής ζώνης

Είναι σημαντικό ένα OTDR να διαθέτει την ελάχιστη δυνατή νεκρή ζώνη, έτσι ώστε να μπορεί να εντοπίσει γεγονότα που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Για παράδειγμα, για τις μετρήσεις σε τοπικά δίκτυα απαιτείται ένα OTDR με πολύ μικρή νεκρή ζώνη μια και τα patchcords που χρησιμοποιούνται για τις συνδέσεις είναι πολύ κοντά. Μεγάλη «νεκρή ζώνη» σημαίνει ότι κάποιες συνδέσεις ίσως δεν εντοπιστούν με αποτέλεσμα να είναι πιο δύσκολο για έναν τεχνικό να βρει ένα πρόβλημα.

5.3.3.2 Νεκρή ζώνη εξασθένισης

Η νεκρή ζώνη εξασθένισης είναι η ελάχιστη απόσταση που χρειάζεται ένα OTDR για να μετρήσει την απώλεια ενός γεγονότος που ακολουθεί ένα άλλο. Όπως και τα μάτια (προηγούμενο παράδειγμα) θα επανέλθουν σε φυσιολογική κατάσταση όταν σταματήσεις να φωτίζεις τον άλλον έτσι ώστε να μπορούν να αναγνωρίσουν άλλα αντικείμενα. Όπως φαίνεται στο σχήμα, ο ανιχνευτής του OTDR χρειάζεται αρκετό χρόνο για να εντοπίσει και να μετρήσει την απώλεια ενός γεγονότος που ακολουθεί.



Σχήμα 5.5: Νεκρή ζώνη εξασθένισης

5.3.3.3 Η σημαντικότητα της νεκρής ζώνης

Οι μικρές νεκρές ζώνες επιτρέπουν σε ένα OTDR όχι μόνο να εντοπίσει κοντινά γεγονότα αλλά και να μετρήσει την απώλεια τους. Για παράδειγμα, η απώλεια ενός κοντού patchcord γίνεται γνωστή με αποτέλεσμα αυτό να βοηθάει τους τεχνικούς να έχουν μια ξεκάθαρη εικόνα για το τι συμβαίνει σε ένα δίκτυο. Οι νεκρές ζώνες επηρεάζονται από άλλον ένα παράγοντα που είναι το εύρος του παλμού. Στα τεχνικά χαρακτηριστικά των κατασκευαστών των καρτών, δίδεται το ελάχιστο μήκος νεκρής ζώνης επειδή χρησιμοποιείται ο μικρότερος δυνατός παλμός. Όμως οι νεκρές ζώνες δεν έχουν πάντα το ίδιο σταθερό μήκος αλλά φαρδαίνουν καθώς μεγαλώνει το εύρος του παλμού. Χρησιμοποιώντας το μέγιστο δυνατό εύρος παλμού έχει σαν αποτέλεσμα αρκετά μεγάλο μήκος νεκρής ζώνης.

Εύρος Παλμού	Νεκρή Ζώνη
1 nsec	0.15 m (θεωρητικά)
10 nsec	1.5 m (θεωρητικά)
100 nsec	15 m
1 μsec	150 m
10 μsec	1.5 km
100 μsec	15 km

Πίνακας 5.1: Νεκρή ζώνη ανά παλμό

5.3.4 Δυναμική περιοχή

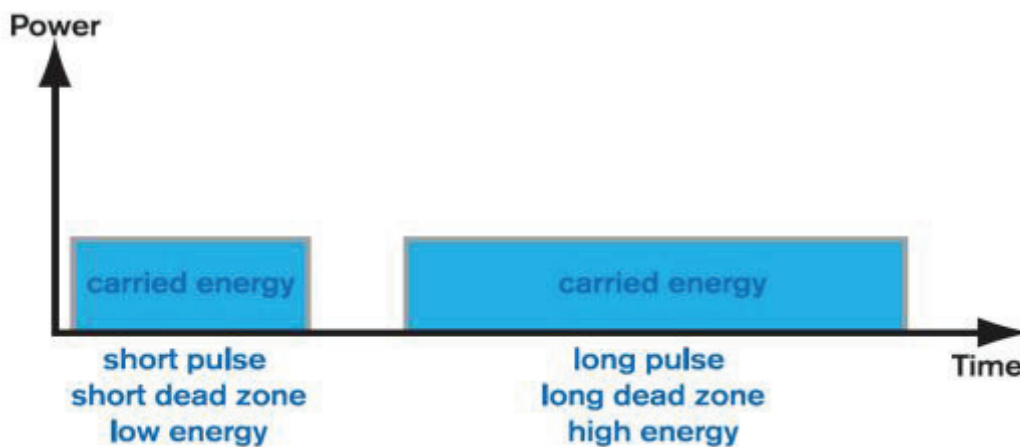
Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των OTDR είναι η δυναμική περιοχή. Αυτή η παράμετρος φανερώνει την μέγιστη οπτική εξασθένιση που μπορεί να μετρήσει ένα OTDR μέχρι ένα συγκεκριμένο επίπεδο θορύβου. Με άλλα λόγια είναι το μέγιστο μήκος της ίνας στο οποίο μπορεί να φτάσει ένας παλμός με το μέγιστο δυνατό εύρος. Άρα μεγάλη δυναμική περιοχή (σε dB) σημαίνει ότι μπορούν να μετρηθούν και μεγάλες αποστάσεις. Στην πραγματικότητα η μέγιστη απόσταση αλλάζει από περίπτωση σε περίπτωση αφού η εξασθένιση κάθε δικτύου είναι διαφορετική.

Συνδετήρες, κολλήσεις και διαχωριστές είναι μερικοί από τους παράγοντες που μειώνουν το μέγιστο μήκος που μπορεί να μετρήσει ένα OTDR. Τις περισσότερες φορές στα τεχνικά χαρακτηριστικά των κατασκευαστών η δυναμική περιοχή δίδεται χρησιμοποιώντας το μέγιστο δυνατό παλμό και παίρνοντας τον μέσο όρο των μετρήσεων που γίνονται για χρονικό διάστημα τριών λεπτών.

Ένας καλός κανόνας είναι να επιλέξουμε ένα OTDR που έχει δυναμική περιοχή 5 με 8 dB μεγαλύτερη από την μέγιστη εξασθένιση που θα μετρηθεί γενικά. Υποθέτοντας ότι η απόσταση που θέλουμε να μετρήσουμε είναι περίπου 100 χλμ, με απώλειες 0,35dB/χλμ, με 50 κολλήσεις, από 0,1 dB απώλεια η κάθε μία, κάνοντας την πράξη, έχουμε 40 dB απώλεια στη ζεύξη. Άρα χρειαζόμαστε μία κάρτα με 45 dB δυναμική περιοχή για σωστά αποτελέσματα.

5.3.5 Μήκος παλμού

Το μήκος παλμού είναι στην πραγματικότητα ο χρόνος όπου το laser είναι σε λειτουργία. Όπως ξέρουμε ο χρόνος στην περίπτωση των OTDR μετατρέπεται σε απόσταση άρα το μήκος παλμού φανερώνει απόσταση. Ένας παλμός μεταφέρει ενέργεια για να δημιουργηθούν οι ανακλάσεις και με αυτό τον τρόπο να μετρηθεί ένα δίκτυο. Ένας μικρός παλμός μεταφέρει ελάχιστη ενέργεια και άρα ταξιδεύει σε μικρότερες αποστάσεις εξαιτίας της απώλειας που υπάρχει κατά μήκος μιας ίνας. (συνδετήρες, κολλήσεις κτλ). Ένας μεγάλος παλμός έχει περισσότερη ενέργεια με αποτέλεσμα να ταξιδεύει σε μεγαλύτερες αποστάσεις. (π.χ. παλμός >1μs είναι για αποστάσεις >40 χλμ)



Σχήμα 5.6: Μήκος του παλμού σε σχέση με τον χρόνο

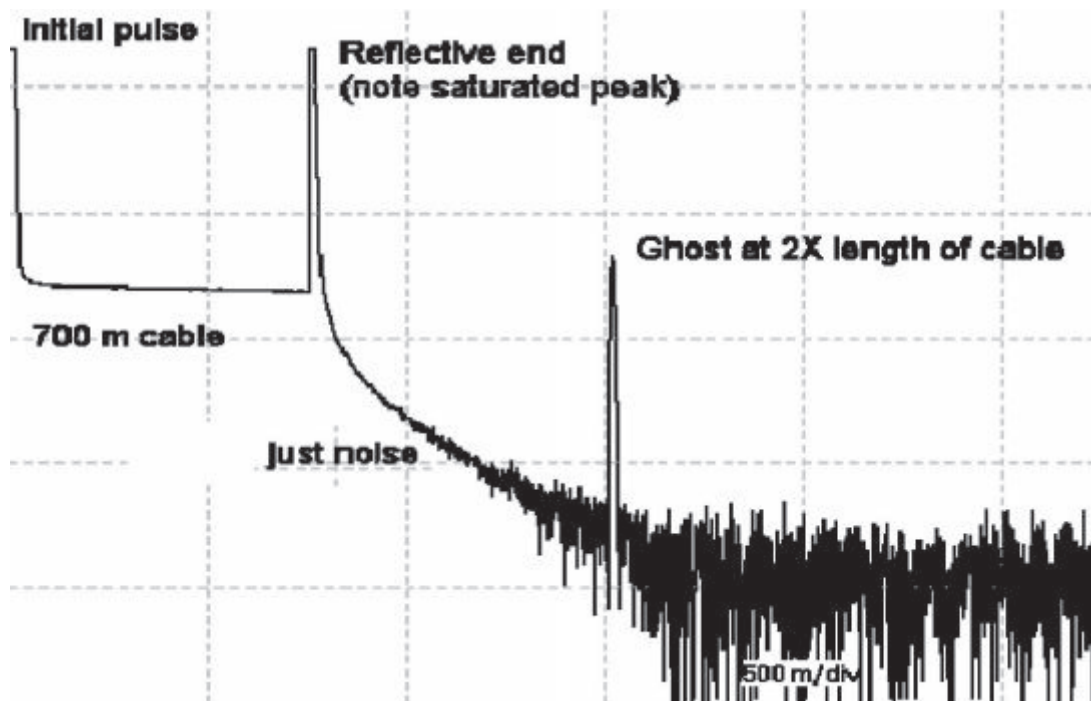
Αν ο παλμός είναι πολύ μικρός (σε χρονική διάρκεια) τότε χάνει την ενέργεια του πριν φτάσει στο τέλος της ίνας με αποτέλεσμα η ανάκλαση να είναι τόσο ασθενής ώστε να χάνεται στον θόρυβο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην μπορεί να μετρηθεί η ίνα από άκρη σε άκρη μιας και το φαινομενικό της μήκος είναι μικρότερο από το πραγματικό. Επίσης όταν η καμπύλη γίνεται πολύ θορυβώδης κοντά στο τέρμα της ίνας το OTDR δεν μπορεί πλέον να αναλύσει σωστά το σήμα και παρουσιάζει λανθασμένες μετρήσεις.

Όταν η καμπύλη γίνεται πολύ θορυβώδης υπάρχουν δύο εύκολοι τρόποι να το αντιμετωπίσουμε. Πρώτα από όλα μπορεί να αυξηθεί ο χρόνος μέτρησης το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα μια σημαντική βελτίωση στο λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR) ενώ παράλληλα διατηρείται η καλή διακριτική ικανότητα του μικρού παλμού. Παρόλα αυτά η αύξηση του χρόνου

μέτρησης έχει και τα όρια της μιας και δεν βελτιώνει το SNR επ' άοριστον. Αν η καμπύλη δεν είναι αρκετά καθαρή τότε εφαρμόζουμε την δεύτερη μέθοδο που είναι η χρήση του αμέσως μεγαλύτερου διαθέσιμου παλμού (περισσότερη ενέργεια). Η νεκρή ζώνη μεγαλώνει καθώς αυξάνεται το εύρος του παλμού.

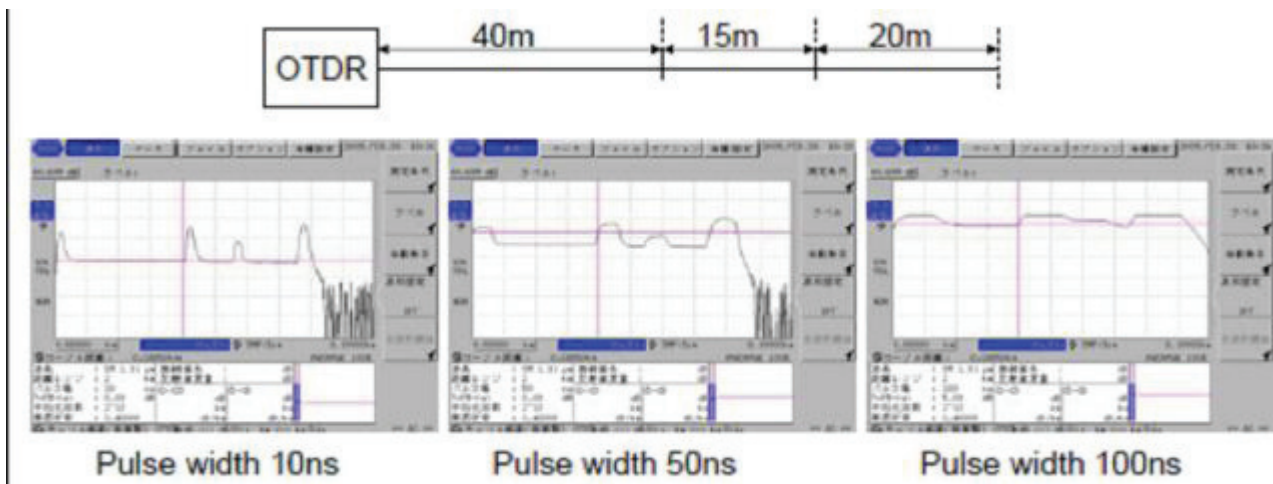
Ένας παλμός με πολύ μεγάλη ισχύ θα φτάσει στο άκρο της ζεύξης θα ανακλαστεί και θα διανύσει δύο ή και τρεις φορές το μήκος της ζεύξης με αποτέλεσμα το ίχνος που θα προκύψει να έχει διπλά ή τριπλά τα γεγονότα (συγκολλήσεις, συνδετήρες κτλ.). Τέτοιες εικόνες είναι γνωστές ως ghost images και μερικές φορές μπορούν να παραπλανήσουν τον τεχνικό που πραγματοποιεί τη μέτρηση όχι μόνο για το μήκος της ζεύξης αλλά και για τις απώλειες που παρουσιάζει.

Στο σχήμα φαίνονται δύο συμβάντα (κορυφές-ανακλάσεις). Το ένα στα 700 μέτρα που είναι και το πραγματικό μήκος της ζεύξης και το άλλο στη διπλάσια απόσταση.



Σχήμα 5.7: Ghost image

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

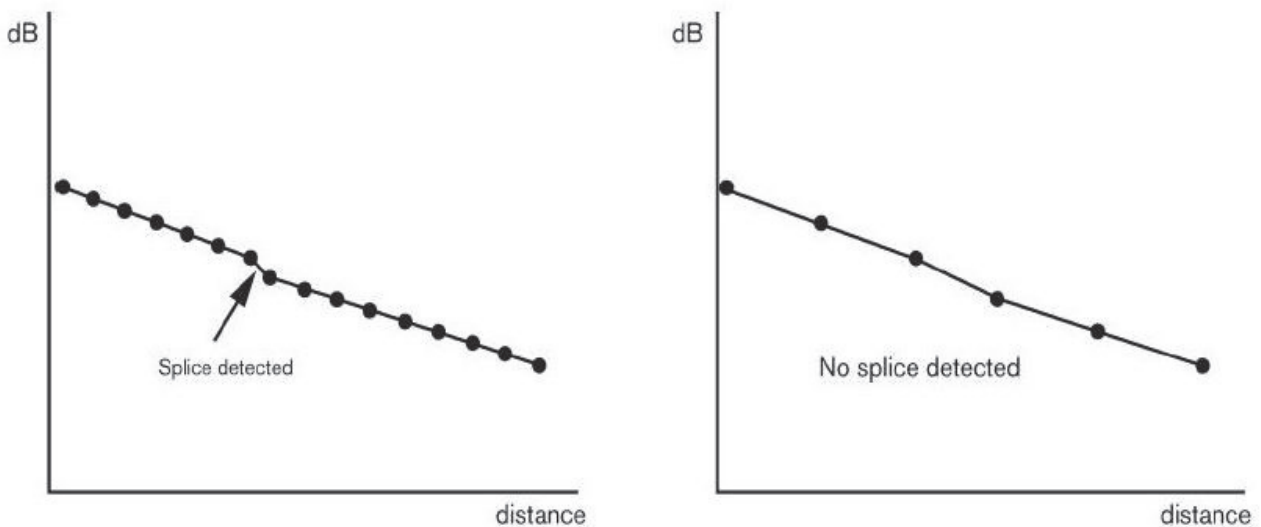


Σχήμα 5.8: Παλμοί διαφορετικής χρονικής διάρκειας

Παρατηρήστε ότι όταν ο παλμός έχει διάρκεια 100 nsec στην ουσία αδυνατεί να ξεχωρίσει τους δύο συνδετήρες που βρίσκονται σε απόσταση 15 μέτρων.

5.3.6 Δειγματοληψία

Η ικανότητα ενός OTDR να υπολογίζει την σωστή απόσταση ενός γεγονότος εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους ανάμεσα στις οποίες είναι η ανάλυση της δειγματοληψίας καθώς και τα σημεία που συμβαίνει η δειγματοληψία. Η ανάλυση της δειγματοληψίας ορίζεται η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο σημείων δειγματοληψίας. Η παράμετρος αυτή είναι πολύ σημαντική γιατί φανερώνει την ακρίβεια με την οποία μετράει τις αποστάσεις ένα OTDR αλλά και την ικανότητα του να βρίσκει λάθη πάνω στο δίκτυο. Ανάλογα με το εύρος του παλμού που χρησιμοποιείται και την απόσταση, η τιμή της ανάλυσης αυτής κυμαίνεται από 4cm έως μερικά μέτρα. Επίσης θα πρέπει να υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός σημείων δειγματοληψίας κατά την διάρκεια μιας μέτρησης έτσι ώστε να διατηρείται η καλύτερη δυνατή ανάλυση.



Σχήμα 5.9: Η ανάλυση όταν χρησιμοποιείται α) δειγματοληψία ανά 5 μέτρα και β) ανά 15 μέτρα.

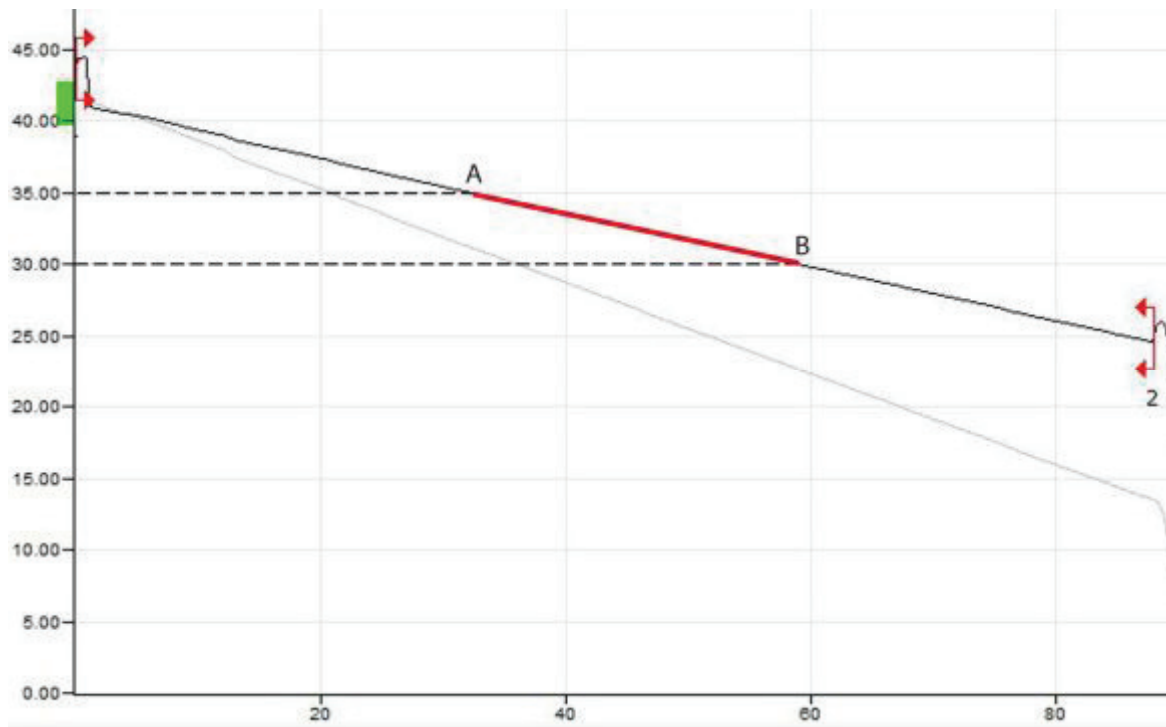
5.3.7 Οθόνη (απεικόνιση αποτελεσμάτων)

Η οθόνη ενός OTDR είναι ένα σύστημα συντεταγμένων όπου στον κατακόρυφο άξονα μετράται η ισχύς του παλμού και στον οριζόντιο η απόσταση – μήκος της ζεύξης. Χονδρικά μπορούμε να πούμε ότι η μορφή του ίχνους που βλέπουμε είναι μια ευθεία γραμμή με αρνητική κλίση (κατηφορική). Αυτό συμβαίνει φυσικά γιατί, όπως έχουμε πει και παραπάνω, η ισχύς του παλμού καθώς αυτός διαδίδεται κατά μήκος της ίνας, ολοένα και μειώνεται.

Προφανώς από τη διαφορά στην ισχύ του παλμού στα σημεία εισόδου και εξόδου μπορούμε να υπολογίσουμε τις απώλειες της ζεύξης, ενώ από την κλίση της $\Delta y/\Delta x$ υπολογίζονται οι απώλειες ανά χιλιόμετρο (dB/Km) οι οποίες φυσικά εξαρτώνται από το μήκος κύματος που χρησιμοποιούμε.

Οι απώλειες, δηλαδή, της ζεύξης ανά διαστήματα, είτε είναι events, είτε τμήματα ιών μετρώνται, προβάλλοντας δύο σημεία του άξονα της απόστασης, πάνω στον άξονα των απωλειών, και βρίσκοντας τη διαφορά.

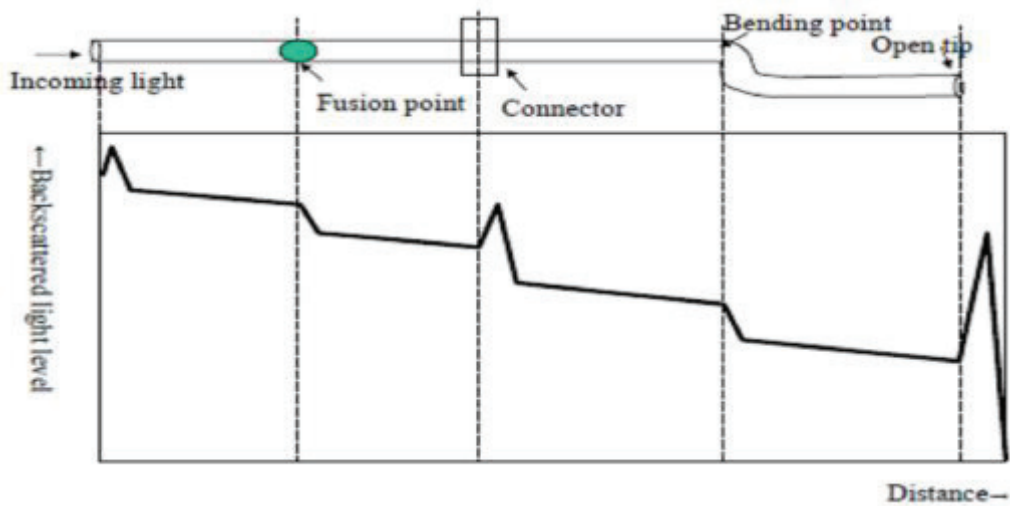
Αν για παράδειγμα, στο σχήμα, θέλουμε να βρούμε την απώλεια του τμήματος A-B, προβάλλονται τα δύο σημεία του στον άξονα των απωλειών, με το σημείο A να βρίσκεται στο σημείο απώλειας των 35 dB και το σημείο B να βρίσκεται στο σημείο απώλειας των 30 dB. Άρα η απώλεια του τμήματος αυτού είναι 5 dB.



Σχήμα 5.10: Μέτρηση απωλειών

Με μια πιο προσεκτική παρατήρηση του ίχνους θα δούμε ότι υπάρχουν σε κάποια σημεία, απότομες πτώσεις της ισχύος ή και μικρές κορυφές. Οι ανωμαλίες αυτές οφείλονται σε ασυνέχειες της ζεύξης δηλαδή σε splices, συνδετήρες ή σε σημεία με απώλειες (τραυματισμοί, καμπυλώσεις). Αναλυτικότερα, κάθε φορά που ο παλμός διέρχεται από σημείο θερμικής συγκόλλησης παρουσιάζει μια μικρή απότομη πτώση της ισχύος του η οποία στο ίχνος φαίνεται σαν μικρό σκαλοπάτι. Βέβαια με τις σύγχρονες συσκευές θερμικής συγκόλλησης είναι δυνατό να επιτύχουμε συγκολλήσεις με πολύ μικρές απώλειες, τόσο μικρές που πολλές φορές δεν ανιχνεύονται από το OTDR.

Αντίθετα από τις θερμικές συγκολλήσεις, οι συνδετήρες παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες οπότε είναι πάντα «ορατοί». Κατά τη διέλευση του παλμού από τον συνδετήρα ένα σημαντικό μέρος της ισχύος του ανακλάται από τη διεπαφή της ένωσης και αυτό δημιουργεί χαρακτηριστική εικόνα στο ίχνος. Η ανακλώμενη ακτινοβολία ανιχνεύεται από το OTDR το οποίο φυσικά δεν μπορεί να ξεχωρίσει την προέλευση της, αν είναι δηλαδή από οπισθοσκέδαση ή ανάκλαση σε κάποια διεπαφή, και ερμηνεύεται σαν μια στιγμιαία αύξηση της ισχύος του παλμού οπότε φαίνεται στο ίχνος σαν μια μικρή κορυφή πριν την απότομη πτώση.



Σχήμα 5.11: Παρουσίαση απωλειών

5.4 Θέτοντας σε λειτουργία το OTDR-Start up

Το μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε είναι της εταιρείας EXFO και το μοντέλο FTB-200.



Σχήμα 5.12: EXFO FTB-200

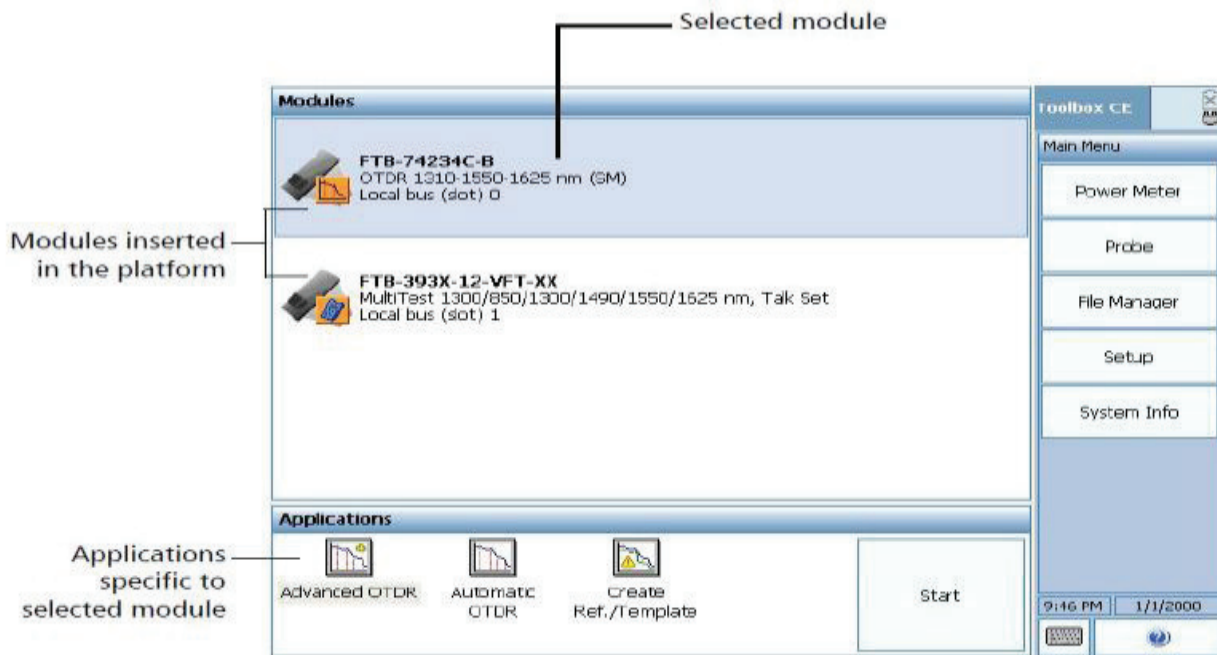
Τα πρώτο βήμα και βασικό, είναι να συνδέσουμε το OTDR με τον κατανεμητή. Αυτό επιτυγχάνεται με το patchcord. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε το πάνω μέρος του OTDR το οποίο έχει υποδεχθεί δύο κάρτες. Σε αυτές τις κάρτες συνδέεται και το patchcord (αριστερά, δίπλα από το κίτρινο αυτοκόλλητο). Και έπειτα συνδέεται στον κατανεμητή μέσω του αντάπτορα σε ένα pigtail.



Σχήμα 5.13: Πάνω μέρος του OTDR

Παρακάτω αναφέρονται οι τυπικές ρυθμίσεις που χρειάζονται να γίνουν για την μέτρηση απωλειών σε ένα οπτικό δίκτυο.

Μόλις ανοίξουμε το OTDR εμφανίζονται στην οθόνη η επιλογή κάρτας, το αρχικό μενού στα δεξιά της οθόνης και κάτω οι διαθέσιμες εφαρμογές.



Σχήμα 5.14: Αρχικό μενού

5.4.1 Κάρτες OTDR (Modules)

Οι κάρτες καθιστούν το OTDR λειτουργικό. Κάθε τύπος κάρτας έχει και διαφορετικές δυνατότητες, οι οποίες είναι η μέγιστη τιμή απώλειας, μήκη κύματος, μετρήσεις για πολύτροπες ή μονότροπες ίνες.

Τύπος κάρτας	Περιγραφή
FTB-200: FTB-7200D-B	<ul style="list-style-type: none"> • Για μονότροπη ίνα. • Μήκη κύματος 1310nm & 1550nm. • 35 db δυναμική περιοχή. • Μέγιστη νεκρή ζώνη το 1 μέτρο, ιδανική για ανίχνευση event σε μικρές αποστάσεις. • Καλύτερη δειγματοληψία.
FTB-200: FTB-7200D-12CD-23B	<ul style="list-style-type: none"> • Για μονότροπη και πολύτροπη ίνα. • Μήκη κύματος 850nm & 1300nm για πολύτροπη ίνα και 1310nm & 1550nm για μονότροπη ίνα. • Δυναμική περιοχή ανά μήκος κύματος: 26 dB (850 nm) & 25 dB (1300 nm) & 35 dB (1310 nm) & 34 dB (1550 nm). • Νεκρή ζώνη το 1 μέτρο, ιδανική για ανίχνευση event σε μικρές αποστάσεις ή 4,5 μέτρα. Εξαρτάται από το μήκος κύματος και αν είναι πολύτροπη ή μονότροπη. • Για διάμετρο πυρήνων 50μm και 62,5 μm πολυτροπων ινών.
FTB-200: FTB-7300D-B	<ul style="list-style-type: none"> • Για μονότροπη ίνα. • Μήκη κύματος 1310nm, 1490nm & 1550nm. • 38 db δυναμική περιοχή. • Ιδανικό για εγκαταστάσεις δικτύων, για δοκιμές σε FTTx και εσωτερικά δίκτυα. • Μέχρι 128.000 σημεία δειγματοληψίας.
FTB-200: FTB-7400B-B	<ul style="list-style-type: none"> • Για μονότροπη ίνα. • 40 db δυναμική περιοχή. • Μέγιστη νεκρή ζώνη τα 3 μέτρα. • Μέχρι 52.000 σημεία δειγματοληψίας.
FTB-200: FTB-74234C-B	<ul style="list-style-type: none"> • Για μονότροπη ίνα. • Μήκη κύματος 1310nm, 1550nm & 1625nm. • 40 db δυναμική περιοχή. • Μέγιστη νεκρή ζώνη τα 3 μέτρα. • Μέχρι 52.000 σημεία δειγματοληψίας. • Μπορεί να κάνει μετρήσεις και για τα τρία μήκη κύματος πολυπλεγμένα.
FTB-200: FTB-7500B-B	<ul style="list-style-type: none"> • Για μονότροπη ίνα. • 45 db δυναμική περιοχή. • Μέγιστη νεκρή ζώνη τα 3 μέτρα. • Μέχρι 52.000 σημεία δειγματοληψίας.

Πίνακας 5.2: Τύποι καρτών OTDR

5.4.2 Applications

5.4.2.1 Automatic OTDR

Η επιλογή automatic ρυθμίζει μόνο του την απόσταση της ίνας, τον παλμό και την διάρκεια εκπομπής. Ο χρήστης του OTDR θα πρέπει να ρυθμίσει τον δείκτη διάθλασης, αν είναι μονότροπη ή πολύτροπη ή ίνα (μέσω κάρτας) και να επιλέξει με ποια μήκη κύματος θα γίνουν οι μετρήσεις.

Η επιλογή αυτή δεν συνιστάται, χρησιμοποιείται κυρίως όταν ο χρήστης δεν έχει τις απαραίτητες γνώσεις ώστε να κάνει τις ρυθμίσεις σωστά. Ο τεχνικός, προφανώς, γνωρίζει κάθε λεπτομέρεια για τις ρυθμίσεις και χρησιμοποιεί την “advanced mode”.

5.4.2.2 Απαραίτητες γνώσεις για την αποδοτική χρήση του OTDR

Συμπερασματικά, καταλήγουμε ότι για να χρησιμοποιηθεί σωστά το OTDR και να βγάλει σωστά αποτελέσματα για την ποιότητα του δικτύου, ο τεχνικός χρησιμοποιεί την εξιδικευμένη επιλογή και πρέπει να έχει τις παρακάτω γνώσεις.

- ✓ Η σμίκρυνση της νεκρής ζώνης επιτυγχάνεται με τη χρήση μικρών παλμών.
- ✓ Η ελαχιστοποίηση του θορύβου επιτυγχάνεται με τη χρήση μεγάλων παλμών.
- ✓ Ο παλμός εξαρτάται από την απόσταση, αν είναι μεγάλη και ο παλμός μικρός, δεν θα καταφέρει να φτάσει στο τέλος της ίνας. Αν πάλι η απόσταση είναι μικρή και βάλουμε μεγάλο παλμό θα δημιουργηθούν τα ghost images.
- ✓ Ο μικρός παλμός μου δίνει και καλύτερη δειγματοληψία.
- ✓ Εάν το δίκτυο έχει πολλούς συνδέσμους (events) χρειάζομαι μεγάλο παλμό για να μην εξασθενήσει από τις πολλές ανακλάσεις.
- ✓ Πόση ώρα θα διαρκέσουν οι μετρήσεις; Αν η απόσταση της ζεύξης είναι μεγάλη, και η διάρκεια της εκπομπής πρέπει να είναι μεγάλη.
- ✓ Όσο πιο μεγάλη είναι η διάρκεια εκπομπής η δειγματοληψία είναι καλύτερη.
- ✓ Το μήκος της απόστασης ρυθμίζεται μεγαλύτερο της πραγματικής (συνήθως το διπλάσιο).

5.4.2.3 Advanced Mode OTDR

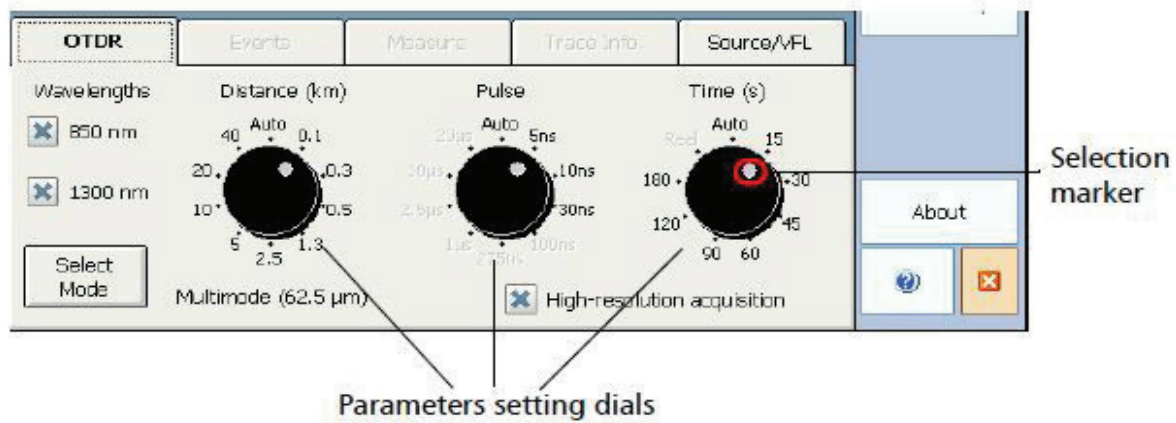
Στην επιλογή αυτή, όλες οι ρυθμίσεις γίνονται χειροκίνητα και ο τεχνικός πρέπει ξέρει τα εξής:

1. να έχει μια εικόνα του δικτύου (τοπολογία, απόσταση, οπτικοί σύνδεσμοι)
2. χαρακτηριστικά της ίνας (δίνονται από τον κατασκευαστή)

Έπειτα κάνει τις εξής ρυθμίσεις:

1. Απόσταση
2. Παλμός
3. Διάρκεια εκπομπής
4. Ρύθμιση δείκτη διάθλασης
5. Επιλογή μονότροπης ή πολύτροπης ίνας

Το συγκεκριμένο μοντέλο, αναλόγως την απόσταση που έχει ρυθμιστεί, δεν αφήνει το περιθώριο να επιλεγεί οποιοσδήποτε παλμός και οποιαδήποτε διάρκεια εκπομπής, αφού είναι ρυθμισμένο έτσι ώστε να αναγνωρίζει ότι οι επιλογές αυτές δεν θα είναι σωστές. Έτσι γίνεται και πιο εύκολη η χρήση του.



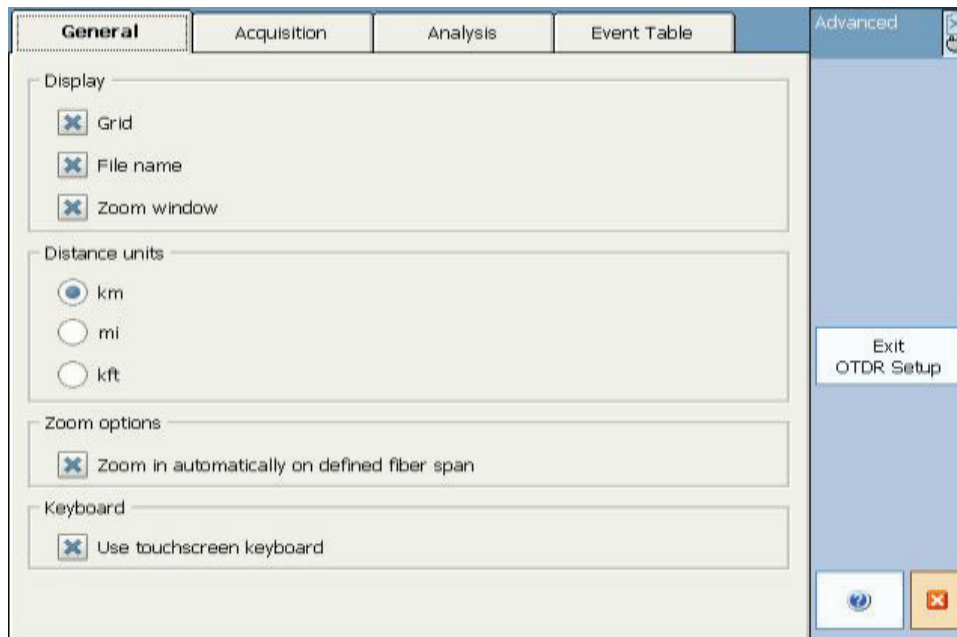
Σχήμα 5.15: Ρυθμίσεις στο OTDR

Όπως βλέπουμε και στο παραπάνω σχήμα, έχει επιλεγθεί απόσταση 0.1 χλμ και οι μεγάλες τιμές για τον παλμό δεν είναι διαθέσιμες.

5.4.3 Ρυθμίσεις του OTDR

5.4.3.1 General Tab

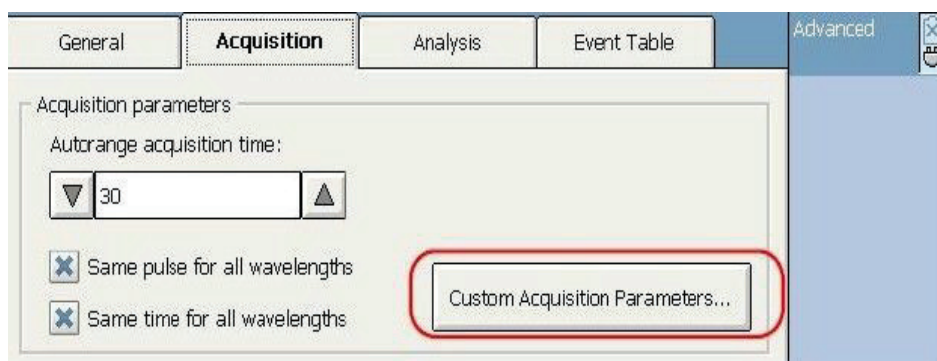
Η ρύθμιση αυτή είναι χρήσιμη για την διευκόλυνση του τεχνικού, για το πώς θα εμφανίζονται τα αποτελέσματα και είναι προαιρετική.



Σχήμα 5.16: General tab

5.4.3.2 Acquisition Tab

Εδώ επιλέγεται, οι ρυθμίσεις που έχουν γίνει για τη μέτρηση της μίας ίνας, να ισχύουν και για τις υπόλοιπες, χωρίς να χρειάζονται να γίνονται ξεχωριστά για κάθε μία ίνα (παλμός, διάρκεια κλπ).



Σχήμα 5.17: Acquisition tab

5.4.3.3 Analysis Tab

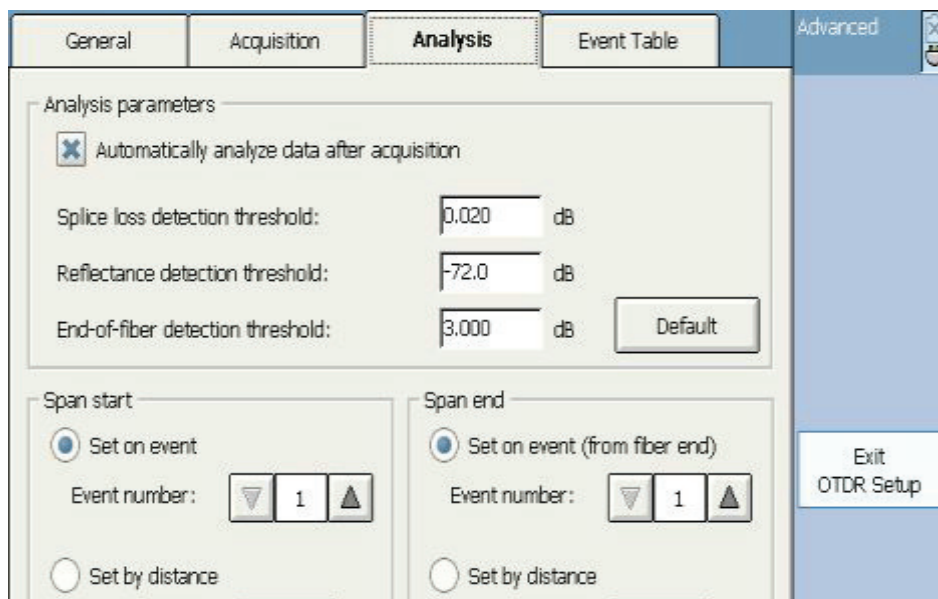
Η ρύθμιση αυτή είναι σημαντική γιατί βοηθά τον τεχνικό να εντοπίζει με μεγαλύτερη ευκολία τα προβλήματα της ίνας. Αυτές οι ρυθμίσεις γίνονται και μετά την μέτρηση.

Η επιλογή «splice loss detection threshold» ορίζει την ελάχιστη τιμή με βάσει την οποία θα ανιχνεύει την απώλεια ενός event. Για παράδειγμα, σύμφωνα με το σχήμα, εάν ένα event έχει απώλεια 0,015, δεν θα εμφανιστεί στα αποτελέσματα.

Η επιλογή «reflectance detection threshold» δείχνει σε ποια σημεία η ίνα παρουσιάζει ανάκλαση μέχρι αυτή που έχουμε ορίσει (π.χ. ανάκλαση -72,5 δεν θα την παρουσιάσει), λόγω του υλικού κατασκευής της ίνας.

Στην επιλογή «End-of-fiber detection threshold» ορίζουμε τα dB στα οποία θα σταματάει η μέτρηση της ίνας, όταν αυτά ξεπεραστούν στο συγκεκριμένο σημείο (π.χ. αν εντοπιστεί ένα γεγονός με απώλεια 3 db και πάνω, η μέτρηση σταματάει).

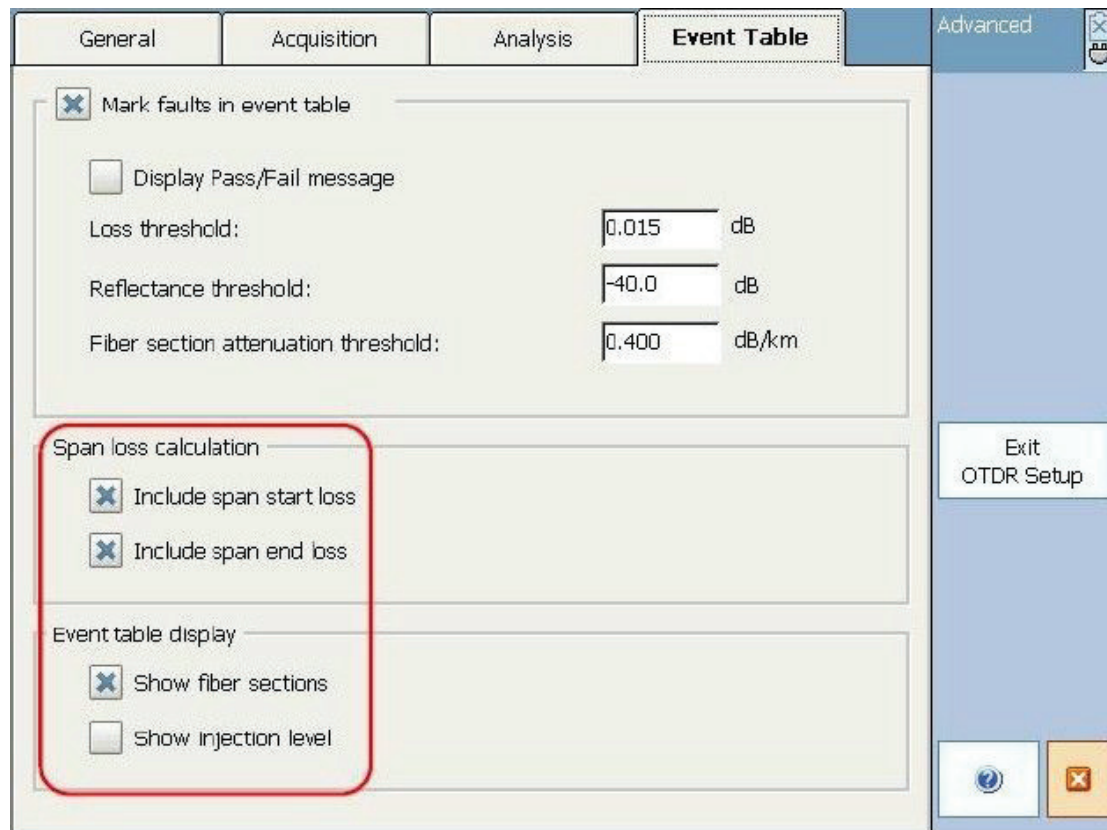
Η επιλογή «span start» ρυθμίζει σε ποιο event ή σε ποια απόσταση θα εμφανίζεται το «span start». Αντίστοιχα με το «span end».



Σχήμα 5.18: Analysis tab

5.4.3.4 Event table Tab

Το OTDR επιτρέπει να τεθούν κάποιες παράμετροι-όρια (threshold) για τις μετρήσεις.



Σχήμα 5.19: Θέτοντας τις τιμές-όρια

TEST	DEFAULT	MINIMUM	MAXIMUM
Απώλεια κολλήσεων και συνδέσμων (dB)	0,015	0,015	5,000
Ανάκλαση (dB)	-45,0	-80,0	0,0
Απλώλεια τμήματος οπτικής ίνας (dB/χλμ)	0,000	0,000	5,000

Πίνακας 5.3: Οι ελάχιστες και οι μέγιστες που μπορούν να ρυθμιστούν

Οι ρυθμίσεις αυτές γίνονται είτε απευθείας από το OTDR ή και μετά τις μετρήσεις. Τιμές μεγαλύτερες από τις ρυθμισμένες σημειώνονται με έτονο χρώμα. Αυτή η ρύθμιση είναι χρήσιμη για την διευκόλυνση του τεχνικού και να εντοπίζετε πιο εύκολα κάποιο προβληματικό event.





5.5 Παρουσίαση δικτύου









Για την παρουσίαση του δικτύου δεν παίζουν ρόλο μόνο οι απώλειες των event μεμονωμένα, αλλά και σαν σύνολο. Εάν για παράδειγμα, όλο το δίκτυο έχει παρουσιάσει καλή εικόνα και έχει αποδεκτές τιμές συνολικής απώλειας, εάν κάποια κόλληση έχει κάποιο πρόβλημα και δεν μπορεί να φτιαχτεί πιο καλά (αλλά δεν ξεπερνά το αποδεκτό όριο της απώλειας της) την αφήνουμε ως έχει.

5.5.1 Events

Ποια είναι τα events που παρουσιάζονται και τι σημαίνουν:

- **Span Start:** Δείχνει την αρχή της ίνας.
- **Span End:** Δείχνει το τέλος της ίνας.
- **Continuous Fiber:** Η ίνα συνεχίζεται. Έχει ρυθμιστεί μικρότερη απόσταση στο OTDR από αυτή της ίνας.
- **End of Analysis:** Δείχνει ότι ο παλμός είναι μικρός για να φτάσει στο τέλος της ίνας.
- **Non-Reflective Event:** Χαρακτηρίζεται ως μία ξαφνική απώλεια. Προκαλείται από ένωση με ίνα με μικρότερο δείκτη διάθλασης ή λύγισμα της ίνας.
- **Reflective Event:** Προκαλείται από απότομη διακοπή του δείκτη διάθλασης (πχ φυσική ένωση).
- **Positive Event:** Χαρακτηρίζεται κέρδος. Προκαλείται από ένωση ίνα με μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης. (αν γίνει η μέτρηση από την αντίθετη κατεύθυνση θα είναι «Non-Reflective Event»).
- **Launch Level:** Δείχνει το επίπεδο του σήματος όταν ξεκίνησε η μέτρηση.
- **Fiber Section:** Κομμάτι ίνας που δεν χαρακτηρίζεται από κάποιο event.
- **Merged Reflective Event:** Ανίχνευση πολλών events σε πολύ μικρή απόσταση. Δεν τα μετράει ένα-ένα ξεχωριστά, αλλά δείχνει ότι είναι πολλά.
- **Echo:** Αυτό συμβαίνει όταν η απόσταση της οπτικής ίνα είναι μικρή και η κάρτα είναι για πιο μεγάλες αποστάσεις και το OTDR «μπουκώνει». Έτσι δημιουργεί έναν φανταστικό παλμό (ghost images).
- **Reflective Event (Possible Echo):** Σε πολύ μικρή απόσταση ένα event προκαλεί ανάκλαση κοντά στην πηγή. Έχει ως αποτέλεσμα να μην ξεκινάει από τη σωστή θέση.

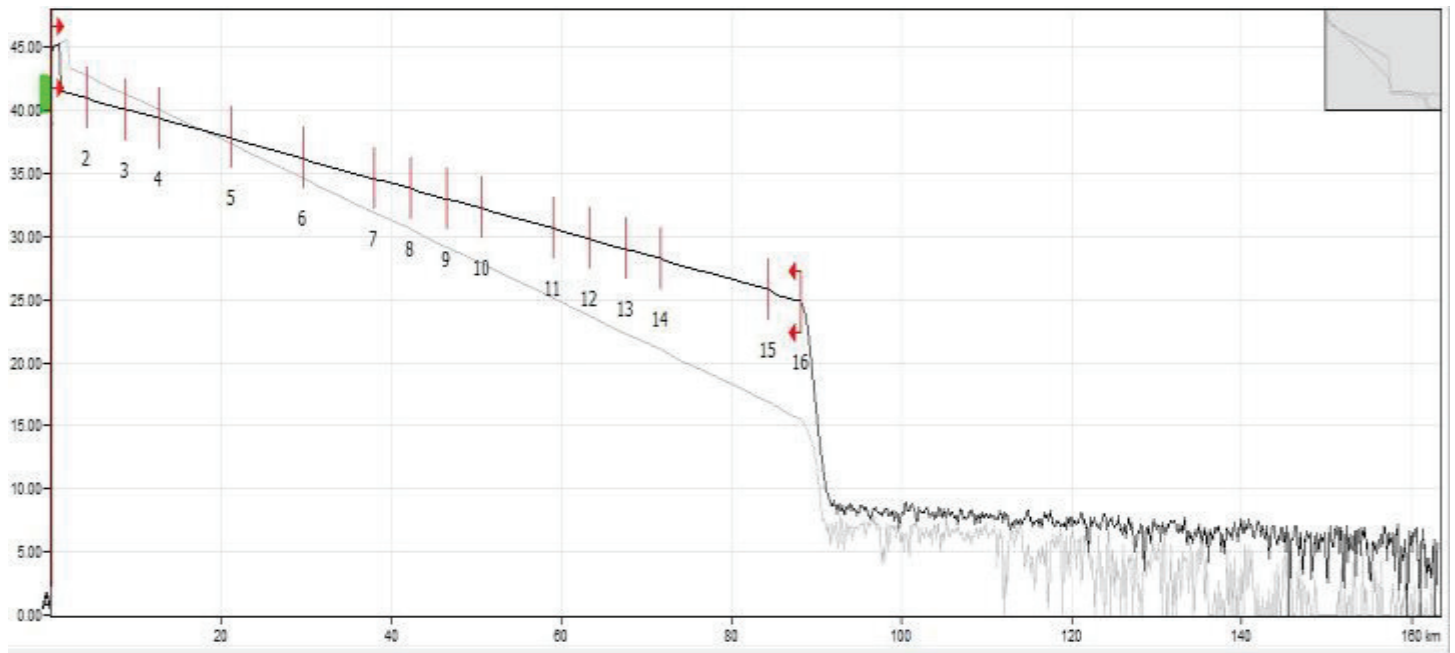
Event	Σύμβολο
Span Start	
Span End	
Continuous Fiber	
End of Analysis	

Non-Reflective Event	
Reflective Event	
Positive Event	
Launch Level	
Fiber Section	
Merged Reflective Event	
Echo	
Reflective Event(Possible Echo)	

Πίνακας 5.4: Κάθε event παρουσιάζεται με ξεχωριστό σύμβολο

5.5.2 Παρουσίαση παραμέτρων

Αφού τελειώσουν οι μετρήσεις, μπορούμε να έχουμε μια συνολική εικόνα του δικτύου, η οποία είναι το γράφημα κάθε ίνας (για κάθε μήκος κύματος που έχουν γίνει οι μετρήσεις) τα events και όλες οι παράμετροι της, αυτές που έχουν δοθεί αρχικά και αυτές που έχουν βρεθεί από τα αποτελέσματα.



Σχήμα 5.20: Ενδεικτικό γράφημα

Type	No.	Loc.	Loss
I	(4.2927)		0.766
L	8	42.2332	0.116
I	(4.2468)		0.777
L	9	46.4800	-0.054
I	(4.2060)		0.760

Σχήμα 5.21: Ενδεικτικά events

Παράμετροι που παρουσιάζονται:

- **Μήκος κύματος:** Το μήκος κύματος που έχει χρησιμοποιηθεί και το είδος των ινών.
- **Μήκος:** Το μήκος της ζεύξης
- **Παλμός:** Το μέγεθος του παλμού που έχει χρησιμοποιηθεί.
- **Διάρκεια εκπομπής:** Πόσο διήρκησε η μέτρηση.
- **Span length:** Το μήκος της ίνας από την αρχή μέχρι το τέλος της.
- **Συνολική απώλεια:** Η συνολική απώλεια της ίνας.
- **Μέση απώλεια:** Μέση απώλεια της ίνας σε συνάρτηση με την απόσταση.
- **Μέση απώλεια κόλλησης:** Η μέση απώλεια όλων των κολλήσεων.
- **Μέγιστη απώλεια κόλλησης:** Η μέγιστη απώλεια που έχει ανιχνευθεί.
- **Συνολική απώλεια επιστροφής (ORL):** Το συνολικό ποσό του φωτός που επιστρέφεται, από ανάκλαση και από οπισθοσκέδαση.

- **Helix factor:** Εάν δεν ρυθμιστεί αυτή η παράμετρος, το OTDR δίνει το μήκος της οπτικής ίνας. Εάν ρυθμιστεί σωστά, μας δίνεται το ακριβές μήκος των καλωδίων του δικτύου. Μέσα στο καλώδιο υπάρχει ένα μεγαλύτερο ποσοστό ίνας, το οποίο δίνεται από τον κατασκευαστή.
- **Δείκτης διάθλασης:** Ρύθμιση του δείκτη διάθλασης (δίνεται από τον κατασκευαστή)
- **Οπισθοσκέδαση (Backscatter):** Αυτή η τιμή αντιπροσωπεύει την ποσότητα της οπισθοσκέδασης σε μια συγκεκριμένη ίνα. Εάν γίνει αυτή η ρύθμιση έχω πιο αξιόπιστη μέτρηση. Έχει σχέση με το υλικό του γυαλιού. (δίνεται από τον κατασκευαστή)
- **Splice Loss Threshold:** Εντοπίζει τα σημεία στα οποία υπάρχει η απώλεια που έχει ρυθμιστεί και άνω.
- **Reflectance Threshold:** Αυτή η ρύθμιση εμφανίζει τα σημεία στα οποία υπάρχει ανάκλαση
- **End-of-fiber Threshold:** Η ρύθμιση αυτής της τιμής δίνει τη δυνατότητα να σταματήσει μια ανάλυση σε μια σημαντική απώλεια.

5.6 Εντοπισμός σφαλμάτων της ίνας

Το VFL (visual fault locator) (στο αναφερθέν μοντέλο OTDR, βρίσκεται σε ορισμένες κάρτες του) βοηθά να εντοπιστεί σε ποιο σημείο η ίνα έχει πρόβλημα (λύγισμα, ελλατωματική σύνδεση, κολλήσεις και άλλες αιτίες απώλειας). Χρησιμοποιείται σε δίκτυα εσωτερικού χώρου και για να διαπιστωθεί εάν η συνδεσμολογία στον κατανεμητή έχει γίνει σωστά.

Από την ειδική θύρα, εκπέμπεται ένα κόκκινο σήμα το οποίο γίνεται ορατό στη θέση βλάβης της ίνας, όταν αυτή συνδεθεί εκεί. Αυτό το σήμα είναι συνεχές είτε αναβοσβήνει (1 Hz).



Σχήμα 5.22: VFL

6. Μετρήσεις με το OTDR

6.1 Μετρήσεις καλών ινών

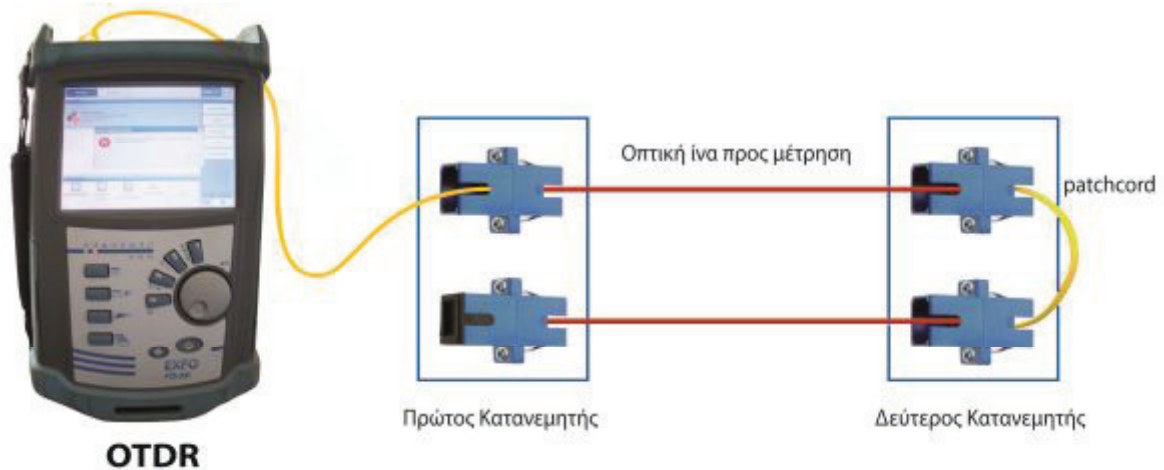
Παρακάτω παρουσιάζονται δύο περιπτώσεις, που η ίνα είναι καλή, δηλαδή, δεν έχει σπασίματα, λυγίσματα ή κάποιου άλλου είδους πρόβλημα. Για αξιόπιστα αποτελέσματα, η μέτρηση, καλό είναι να γίνεται αμφίδρομα.

6.1.1 Μέτρηση καλής ίνας χρησιμοποιώντας βρόχο

Σε αυτήν την περίπτωση, επειδή η αμφίδρομη μέτρηση, δηλαδή από τον έναν κατανεμητή προς τον δεύτερο και από τον δεύτερο στον πρώτο, δεν ήταν δυνατή, η μέτρηση έγινε από τον πρώτο κατανεμητή χρησιμοποιώντας βρόχο, ως εξής:

Από την πλευρά του πρώτου κατανεμητή, το OTDR συνδέθηκε με το patchcord και την μία ίνα προς μέτρηση (μέσω του συστήματος αντάπτορα-κονέκτορα), η ίνα κατέληξε στο σύστημα αντάπτορα-κονέκτορα του δεύτερου κατανεμητή, η οποία μέσω ενός άλλου patchcord συνδέθηκε με μια δεύτερη προς μέτρηση ίνα, μέσω του ίδιου συστήματος, η οποία τερματίζει σε κλειστό από την μία πλευρά, αντάπτορα του πρώτου κατανεμητή.

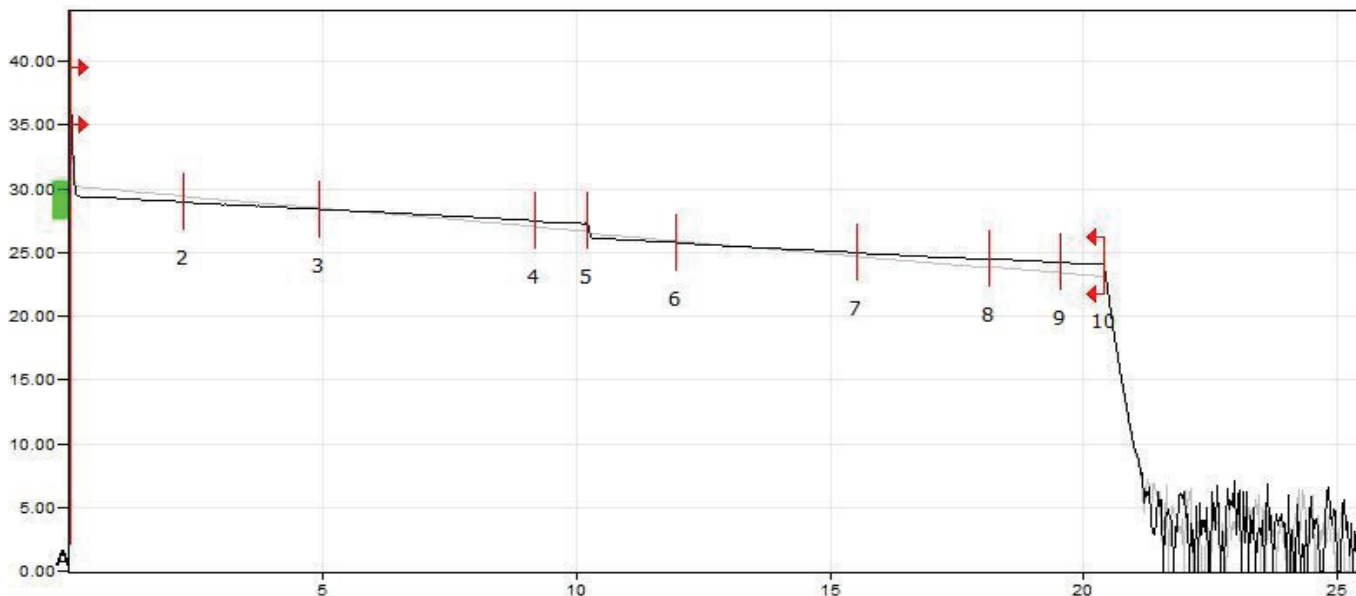
Με αυτό τον τρόπο διαπιστώσαμε ότι το σήμα όταν σταλθεί μπορεί να επιστρέψει.



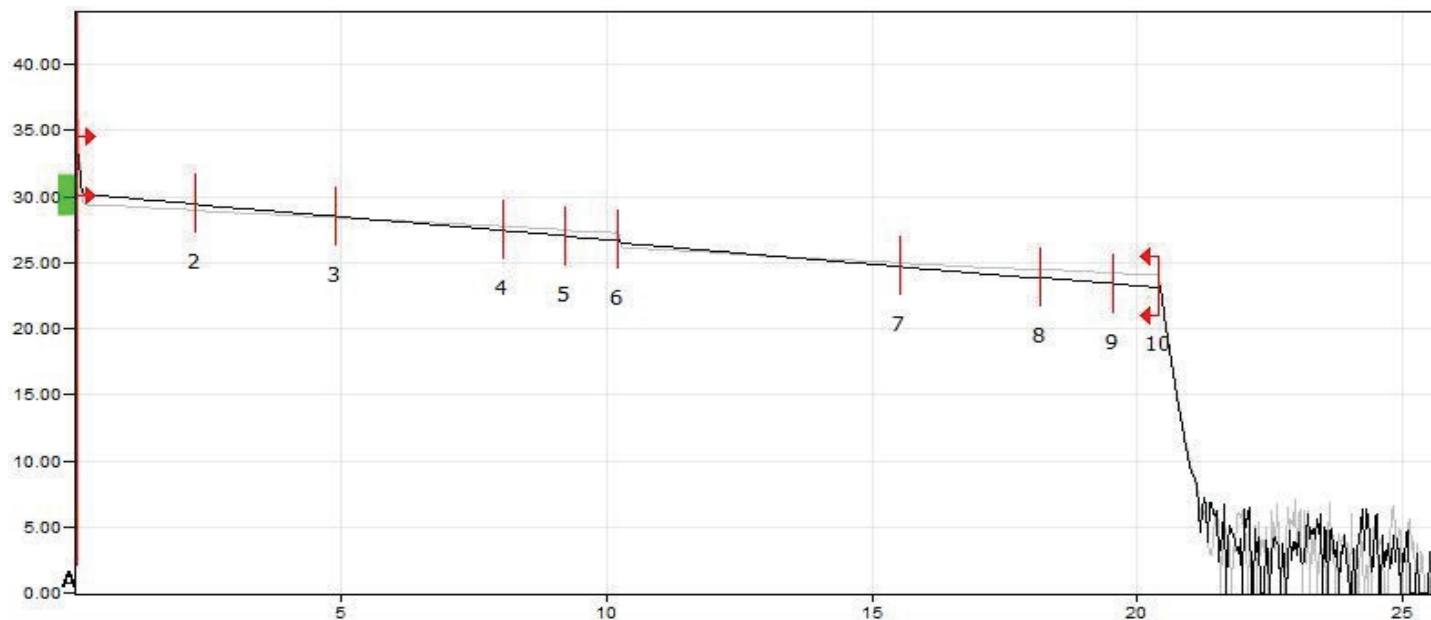
Σχήμα 6.1: Σχηματικό βρόχου

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα της μέτρησης και τα events με τις παρατηρήσεις τους.

Πρώτες παρατηρήσεις



Σχήμα 6.2: Μέτρηση στα 1550 nm μήκος κύματος

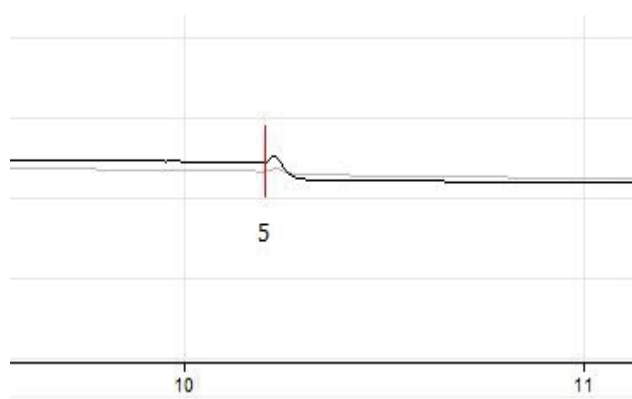


Σχήμα 6.3: Μέτρηση στα 1310 nm μήκος κύματος

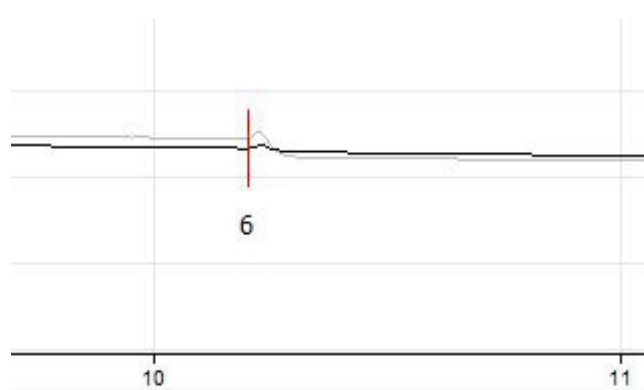
Με μια πρώτη ματιά, αυτό που παρατηρούμε είναι ότι η μέτρηση έχει γίνει σωστά, αφού και στα δύο μήκη κύματος η «ευθεία» γραμμή ξεκινά από το «πράσινο κουτάκι» (ο πρώτος παλμός Fresnel, είναι λόγω της νεκρής ζώνης, για αυτό μας ενδιαφέρει από πού ξεκινά η «ευθεία» γραμμή). Αυτό το κουτάκι συμβολίζει την δυναμική περιοχή της κάρτας που έχει χρησιμοποιηθεί. Εάν η γραμμή ξεκινά εκτός αυτού π.χ. πολύ χαμηλά, η μέτρηση δεν γίνεται σωστά, διότι από την αρχή έχουμε μεγάλη απώλεια και λόγω αυτού, ο παλμός εξασθενεί και δεν φτάνει μέχρι το τέλος της ίνας.

Το μήκος που μετρήθηκε είναι περίπου 20 χλμ. Ξέρουμε όμως ότι έχουμε χρησιμοποιήσει βρόχο, άρα το μήκος της εξεταζόμενης απόστασης, μεταξύ των δύο κατανεμητών, είναι 10 χλμ.

Παρατηρήσεις στο σημείο του βρόχου



Σχήμα 6.4: Ο βρόχος στα 1550 nm



Σχήμα 6.5: Ο βρόχος στα 1310 nm

Στα 10 χλμ. όπου είναι ο βρόχος βλέπουμε έναν πολύ μικρό παλμό Fresnel, λόγω της φυσικής ένωσης των ινών.

Πρέπει να σημειώσουμε, ότι στις μετρήσεις, δεν χρησιμοποιούμε μόνο ένα μήκος κύματος, γιατί δεν θα έχουμε σωστά συμπεράσματα.

Για παράδειγμα, παρατηρούμε ότι στο μήκος κύματος των 1550 nm η απώλεια είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτό των 1310 nm (στα 10 χλμ.).

Αυτό συμβαίνει γιατί στα μεγαλύτερα μήκη κύματος, σε σύγκριση πάντα με τα μικρότερα, εντοπίζεται ένα λυγισμα ή μικρό χτύπημα. Στην περίπτωση αυτή, γνωρίζουμε ότι στα 10 χλμ. έχουμε συνδέσει το patchcord, άρα για να συνδεθεί από τον έναν κονέκτορα στον άλλον, το έχουμε λυγίσει.

Events

Type	No.	Loc.	Loss	Refl.	Att.	Cumul.
↔	1	0.0000	---	>46.9	@30.2dB	0.000
I	(2.2571)		0.779		0.345	0.779
└	2	2.2571	0.071			0.850
I	(2.6477)		0.871		0.329	1.721
└	3	4.9048	0.030			1.752
I	(3.1303)		1.031		0.329	2.782
└	4	8.0351	0.025			2.807
I	(1.1668)		0.377		0.323	3.184
└	5	9.2019	0.069			3.253
I	(0.9983)		0.318		0.319	3.571
└	6	10.2002	0.158	-65.8		3.730
I	(5.3261)		1.802		0.338	5.532
└	7	15.5263	0.046			5.578
I	(2.6477)		0.880		0.332	6.458
└	8	18.1740	-0.073			6.385
I	(1.3915)		0.456		0.328	6.842
└	9	19.5656	0.026			6.867
I	(0.8375)		0.272		0.325	7.139
↔	10	20.4030	---	-57.7		7.139

Σχήμα 6.6: Events τα συνολικής απόστασης στα 1310 nm

Type	No.	Loc.	Loss	Refl.	Att.	Cumul.
↔	1	0.0000	---	>-38.6	@29.5dB	0.000
I	(2.2622)		0.459		0.203	0.459
↵	2	2.2622	0.067			0.526
I	(2.6835)		0.517		0.192	1.043
↵	3	4.9456	0.027			1.070
I	(4.2563)		0.895		0.210	1.965
↵	4	9.2019	0.047			2.013
I	(1.0034)		0.178		0.178	2.191
↵	5	10.2053	1.112	-65.6		3.303
I	(1.7541)		0.368		0.210	3.672
↵	6	11.9594	0.044			3.716
I	(3.5899)		0.732		0.204	4.448
↵	7	15.5493	0.047			4.495
I	(2.6094)		0.510		0.195	5.004
↵	8	18.1587	-0.054			4.950
I	(1.4145)		0.283		0.200	5.233
↵	9	19.5732	0.022			5.255
I	(0.8502)		0.156		0.183	5.411
↵	10	20.4235	---			5.411

Σχήμα 6.7: Events της συνολικής απόστασης στα 1550 nm

Σαν δεδομένο από τον πάροχο έχουμε, στην απόσταση των 10 χιλιομέτρων, ότι ανά 900 μέτρα περίπου, υπάρχουν μούφες (οπτικοί σύνδεσμοι) και είναι στο σύνολο εννέα.

Στην απόσταση αυτή όμως, το OTDR εντοπίζει 3 και 4 events, στα 1550 nm και στα 1310 nm, αντίστοιχα (τα events της έναρξης και του βρόχου δεν τα υπολογίσαμε). Αυτό συμβαίνει γιατί το κάθε μήκος κύματος «βλέπει» διαφορετικά την ίνα.

Γιατί όμως δεν εντοπίστηκαν όλες οι μούφες;

Αν παρατηρήσουμε και τον πίνακα των events, θα δούμε ότι σε αποστάσεις πολύ μεγαλύτερες των 900 μέτρων δεν εντοπίζεται κάποιο event. Αυτό σημαίνει ότι οι κολλήσεις σε ορισμένες μούφες είναι πάρα πολύ καλές. Έχει οριστεί να εντοπίζονται events με απώλεια τουλάχιστον 0,01 dB, άρα οι απώλειες σε μούφες που δεν «φαίνονται», είναι πολύ μικρής τάξεως.

Και πως θα ξέρουμε πόσα dB απώλεια θα έχουμε σε αυτές τις μούφες;

Το 0,01 dB που ορίστηκε, είναι και το ελάχιστο που μπορεί να οριστεί, από το μηχάνημα. Εάν είχαμε την δυνατότητα να ορίζουμε χαμηλότερη απώλεια, για παράδειγμα να εντοπίζει events, στα 0 dB, δεν θα ήταν εύρηστο το μηχάνημα, αφού θα μας έβγαζε events σε όλη την ίνα, αφού όπως ξέρουμε η ίνα, έχει απώλεια από μόνη της λόγω του υλικού κατασκευής.

Άρα, δεν θα γνωρίζουμε το ακριβές ποσό της απώλεια της των συγκεκριμένων μουφών αλλά εφόσον δεν ξεπερνούν τα επιτρεπτά όρια δεν μας πειράζει.

Πως συμπεραίνουμε ότι η ίνα είναι καλή;

Αρχικά γίνεται ταύτιση των events με τις μούφες. Εάν κάθε event σημαίνει και μία μούφα, γνωρίζουμε ότι δεν υπάρχει πρόβλημα σε κάποιο τμήμα της ίνας.

Έπειτα, ελέγχουμε αν οι κολλήσεις είναι στα επιτρεπτά όρια. Η μέγιστη απώλεια ανά κόλληση που δεχόμαστε είναι τα 0,30 dB. Αν μπορεί να γίνει καλύτερη η κόλληση, ξαναγίνεται. Εάν για κάποιο λόγο δεν μπορεί να γίνει καλύτερη η κόλληση, ο μέσος όρος των κολλήσεων δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,1 dB.

Στη συνέχεια, ελέγχουμε και συγκρίνουμε τα events, όλων των μηκών κύματος με τα οποία κάναμε τη μέτρηση. Εάν οι απώλειες τους έχουν μικρή διαφορά μεταξύ τους, δεν υπάρχει πρόβλημα. Εάν η διαφορά τους είναι μεγάλη πρέπει να γίνει έλεγχος της ίνας και να διορθωθεί.

Επίσης, ελέγχουμε την ανάκλαση, η οποία εντοπίζεται στις φυσικές ενώσεις (reflectance). Δεν πρέπει να ξεπερνά τα όρια που δίνει ο κατασκευαστής. Εάν ξεπεραστούν σημαίνει ότι ένα μεγάλο ποσοστό τους φωτός έχει διαφύγει και δεν έχει περάσει στον άλλο κονέκτορα, άρα μεγάλη απώλεια στην μέτρηση.

Τέλος ελέγχουμε το attenuation, τον μέσο όρο δηλαδή, κάθε τμήματος ίνας μεταξύ μουφών. Δεν πρέπει ξεπερνά τα 0,35 dB/χλμ. για τα 1310 nm και τα 0,25 dB/χλμ. για τα 1550 nm.

Παράμετροι που εμφανίζονται

Information	Value	Settings	Value
Date:	10/4/2012	IOR:	1.467700
Time:	9:03:40 μμ GMT+2:00	RBS:	-79.44 dB
Wavelength:	1310 nm (SM-9μm)	Helix factor:	0.00 %
Range:	40.0000 km	Splice loss threshold:	0.0200 dB
Pulse:	275 ns	Reflectance threshold:	-72.0000 dB
Acquisition time:	15 s	End-of-fiber threshold:	5.0000 dB
Span length:	20.4030 km		
Span loss:	7.1390 dB		
Avg. loss:	0.3499 dB/km		
Avg. splice loss:	0.0277 dB		
Max. splice loss:	0.0709 dB		
Span ORL:	<31.08 dB		
High-resolution acq.:	No		

Edit Current Trace Settings...

Σχήμα 6.8: Παράμετροι στα 1310 nm

Information	Value	Settings	Value
Date:	10/4/2012	IOR:	1.467700
Time:	9:03:59 μμ GMT+2:00	RBS:	-81.87 dB
Wavelength:	1550 nm (SM-9μm)	Helix factor:	0.00 %
Range:	40.0000 km	Splice loss threshold:	0.0200 dB
Pulse:	275 ns	Reflectance threshold:	-72.0000 dB
Acquisition time:	16 s	End-of-fiber threshold:	5.0000 dB
Span length:	20.4235 km		
Span loss:	5.4107 dB		
Avg. loss:	0.2649 dB/km		
Avg. splice loss:	0.0286 dB		
Max. splice loss:	0.0668 dB		
Span ORL:	<30.71 dB		
High-resolution acq.:	No		

Edit Current Trace Settings...

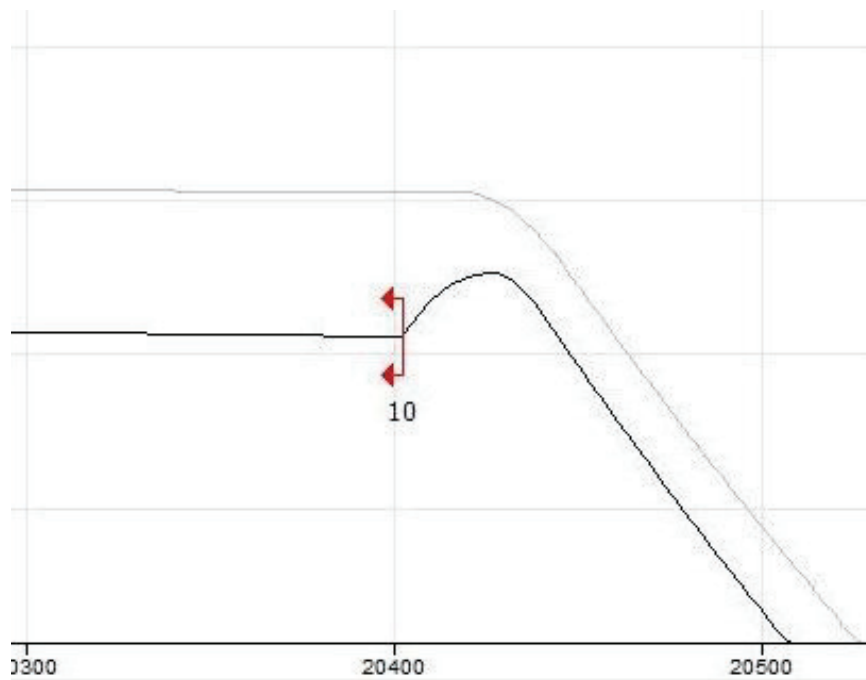
Σχήμα 6.9: Παράμετροι στα 1550 nm

Παραπάνω βλέπουμε τις παραμέτρους της μέτρησης και στα δύο μήκη κύματος, όπως εμφανίζονται στο OTDR. Στα αριστερά, βλέπουμε τις παραμέτρους δεν μπορεί να τις αλλάξει χειροκίνητα ο τεχνικός. Κάποιες από αυτές ρυθμίζονται από την αρχή της μέτρησης και είναι απαραίτητες να γίνουν για την μέτρηση και οι υπόλοιπες έχουν προέλθει από την μέτρηση. Στα δεξιά βρίσκονται οι παράμετροι οι οποίες μπορούν να αλλάξουν και αφού γίνει η μέτρηση. Αυτές οι παράμετροι επηρεάζουν αυτές τις παραμέτρους που βρίσκονται στα αριστερά και έχουν προέλθει από την μέτρηση.

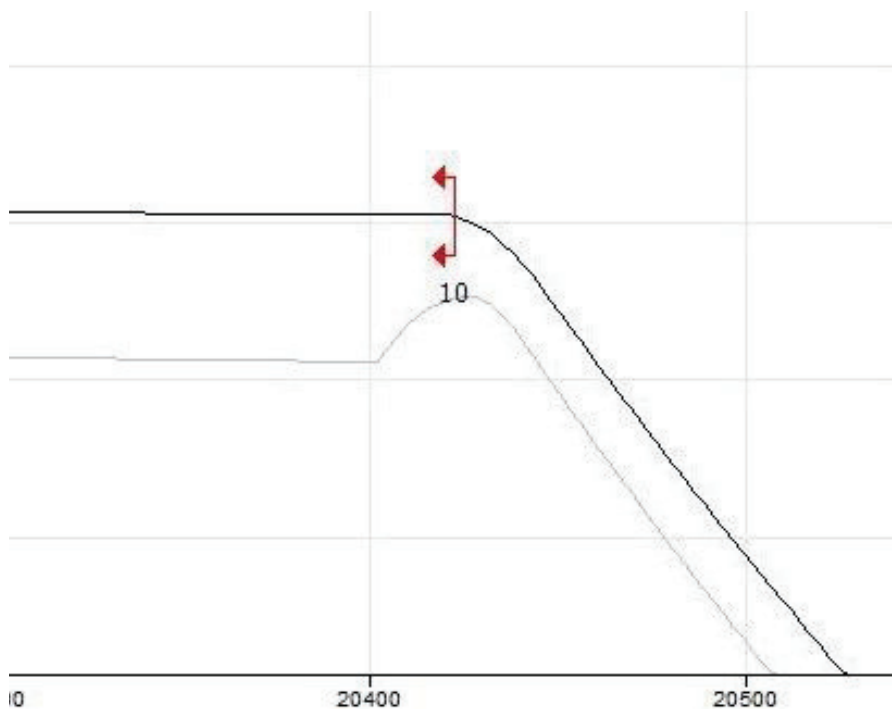
Τέλος μέτρησης της ίνας

Όπως αναφέραμε αρχικά, η δεύτερη ίνα τερματίζει σε κλειστό αντάπτορα και παρατηρούμε ότι ενώ έχουμε βάλει τον ίδιο δείκτη διάθλασης, δεν έχουν την ίδια απόσταση, οι μετρήσεις των δύο

μηκών κύματος, ενώ θα έπρεπε. Αυτό συμβαίνει γιατί στα 1550 nm φαίνεται σαν να υπάρχει χτύπημα και στα 1310 nm βλέπουμε παλμό Fresnel, οπότε στα 1550 nm η μέτρηση σταματάει στο σημείο που πέφτει η «ευθεία» γραμμή ενώ στα 1310 nm σταματά πριν τον παλμό Fresnel, (νωρίτερα από τα 1550 nm) όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα. Το μήκος των 1550 nm είναι πιο ευαίσθητο από αυτό των 1310 nm και για αυτό το εντοπίζει ως χτύπημα. Εάν στα 1550 nm η μέτρηση είχε γίνει με παλμό μικρότερο των 275 ns (μικρότερη ισχύς), θα μειωνόταν η ευαισθησία του και ενδεχομένως θα μπορούσε να «δεν» τον παλμό Fresnel.



Σχήμα 6.10: Τέλος μέτρησης στα 1310 nm



Σχήμα 6.11: Τέλος μέτρησης στα 1550 nm

Προσθήκη events

Όπως είπαμε παραπάνω, το OTDR δεν εντόπισε όλες τις μούφες στη μέτρηση μας. Εάν όμως θέλουμε την μέτρηση με όλα τα σημεία που βρίσκονται οι μούφες μπορούμε να τις προσθέσουμε χειροκίνητα μέσω του προγράμματος. Εφόσον έχουμε την τοπολογία του δικτύου και τα σημεία όπου υπάρχουν μούφες, δεν είναι δύσκολο.

Στην περίπτωση μας όμως, τα μόνα δεδομένα που έχουμε είναι, 9 μούφες ανά 900 μέτρα περίπου, αφού δεν είχαμε τη δυνατότητα να έχουμε την τοπολογία. Να σημειώσουμε ότι δεν έχει οριστεί ο helix factor, για ακριβή αποτελέσματα..

Έτσι ο υπολογισμός των σημείων που πιθανών να βρίσκονται οι μούφες, είναι κατά προσέγγιση.

Τα πιθανά σημεία προστέθηκαν μόνο στην εξεταζόμενη απόσταση, αυτή των 10 χιλιομέτρων, αλλά χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την συνολική απόσταση. Τα βήματα δεν είναι σταθερά, εξαρτώνται από την μέτρηση.

Βήμα πρώτο: Επιλογή του ενός διαγράμματος (1310 Nm).

Βήμα δεύτερο: Παρατηρούμε ότι μεταξύ πρώτου και δεύτερου event η απόσταση είναι 2,2571 χλμ. Αν ξεκινήσουμε από το τέλος, η απόσταση μεταξύ 10⁰⁰ και 9⁰⁰ event είναι 0,8375. Ξέρουμε ότι λόγω του βρόχου το 1^ο και το 10^ο events είναι ο πρώτος κατανεμητής. Άρα η απόσταση πρώτου κατανεμητή και πρώτης μούφας είναι περίπου 0,84 χιλιόμετρα. Δεν έχει σημασία που είναι άλλη ίνα, αφού οι κολλήσεις των ινών στις μούφες γίνονται στα ίδια σημεία (σκάμματα). Προσθέτουμε εκεί το νέο event.

Βήμα τρίτο: Ξεκινάμε πάλι από το τέλος και μεταξύ 9⁰⁰ και 8ου event, η απόσταση είναι 1,3915 χλμ. Μεταξύ του νέου event και του 2ου η απόσταση είναι περίπου τόση. Εάν κανουμε την αφαίρεση, είναι 1,4171. Αυτό σημαίνει ότι το event προστέθηκε σε σωστό σημείο.

Βήμα τέταρτο: Εξετάζουμε τις αποστάσεις μεταξύ 6⁰⁰ (δεύτερου κατανεμητή) και 5⁰⁰ event. Η απόσταση είναι 0,9983 χλμ. Άρα όντως υπάρχει μούφα εκεί.

Βήμα πέμπτο: Εξετάζουμε τις αποστάσεις μεταξύ 5⁰⁰ και 4⁰⁰ even. Η απόσταση είναι 1,1668 χλμ. Άρα όντως υπάρχει μούφα και εκεί.

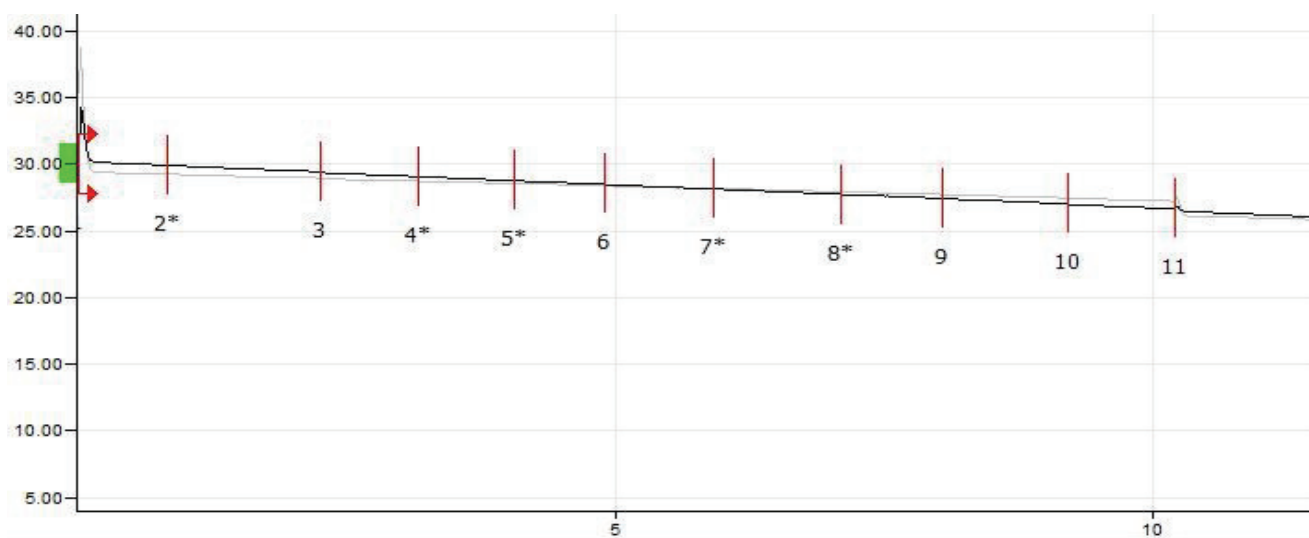
Βήμα έκτο: Μέχρι στιγμής έχουμε εντοπίσει 3 μούφες μέσω του OTDR και προσθέσαμε άλλη μία. Σύνολο 4. Πρέπει να προσθέσουμε άλλες 4 μούφες, αφού ένα event δεν το χρησιμοποιήσαμε ακόμα, το οποίο είναι μούφα.

Βήμα έβδομο: Η απόσταση μεταξύ 2⁰⁰ και 3⁰⁰ event είναι 2,6477 χλμ. Διαιρούμε την απόσταση αυτή με τα 900 μέτρα και έχουμε: $2,6477/0,9=2,94$. Στρογγυλοποιούμε (προς τα πάνω), άρα 3. Αυτό σημαίνει ότι μεταξύ αυτών των δύο events έχουμε 3 τμήματα ινών, άρα προσθέτουμε 2 μούφες, ανά 900 μέτρα.

Βήμα όγδοο: Η απόσταση μεταξύ 3⁰⁰ και 4⁰⁰ event είναι 3,1303 χλμ. Διαιρούμε την απόσταση αυτή με τα 900 μέτρα και έχουμε: $3,1303/0,9=3,47$. Στρογγυλοποιούμε (προς τα κάτω), άρα 3. Αυτό σημαίνει ότι μεταξύ αυτών των δύο events έχουμε 3 τμήματα τμημάτων ινών, άρα προσθέτουμε 2 μούφες, ανά 900 μέτρα περίπου.

Σε αυτό το βήμα θα μπορούσαμε να επιλέξουμε να προσθέσουμε 3 μούφες, με 4 τμήματα ινών, αλλά οι αποστάσεις μεταξύ των μούφων θα ήταν αρκετά μικρότερες των 900 μέτρων και εκτός αυτού ο αριθμός των μούφων θα έβγαινε 10, το οποίο δεν ισχύει.

Παρακάτω παρουσιάζονται το διάγραμμα με τα προστιθέμενα events, τα οποία έχουν τον αστερίσκο και ο πίνακας των όλων events.



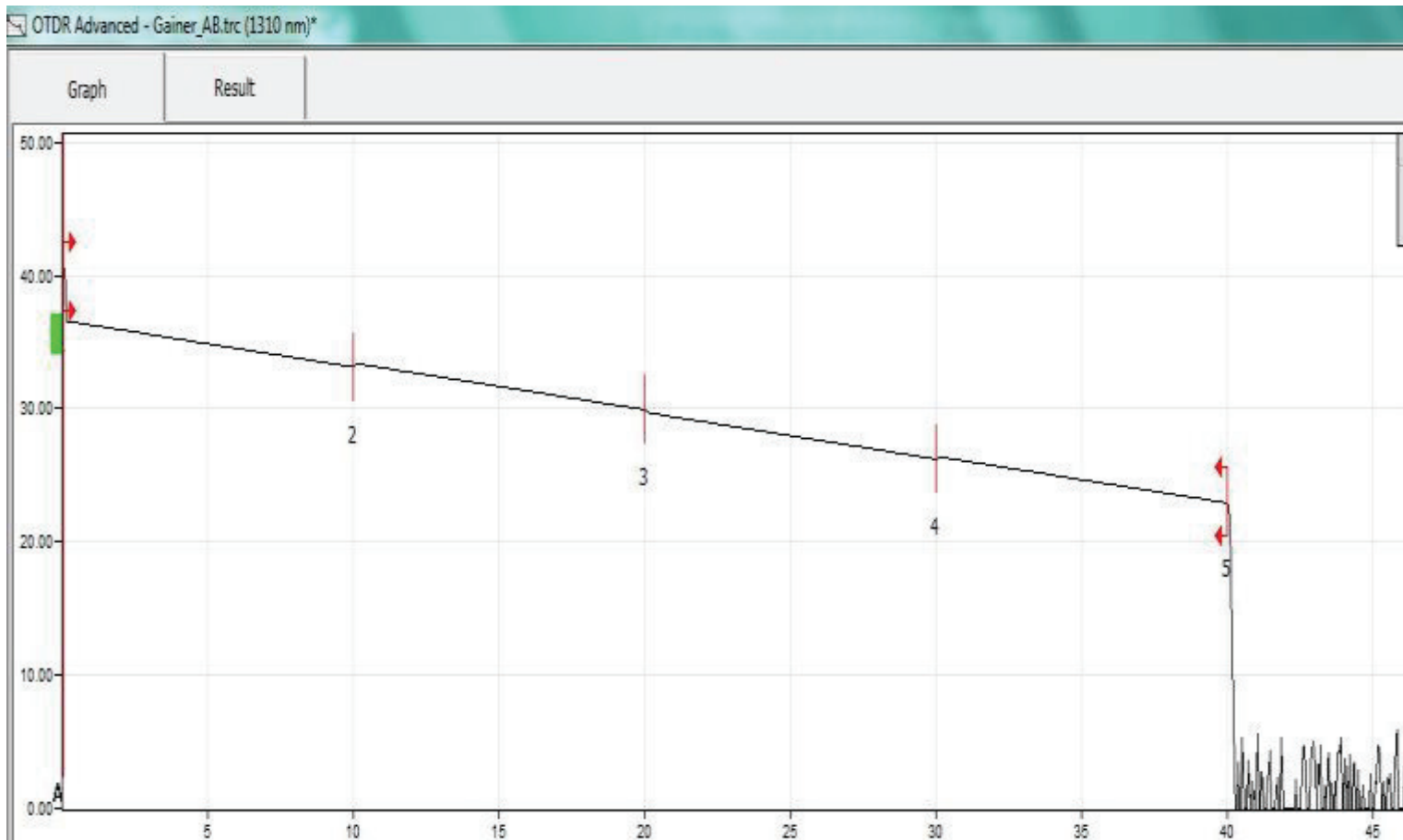
Σχήμα 6.12: Τα νέα events που προστέθηκαν στην απόσταση των 10 χιλιομέτρων

Type	No.	Loc.	Loss
↔	1	0.0000	---
↘	2*	0.8400	0.003
↘	3	2.2571	0.071
↘	4*	3.1252	0.001
↘	5*	4.0520	0.002
↘	6	4.9048	0.036
↘	7*	5.9057	-0.006
↘	8*	7.1057	-0.005
↘	9	8.0351	0.023
↘	10	9.2019	0.069
↘	11	10.2002	0.158

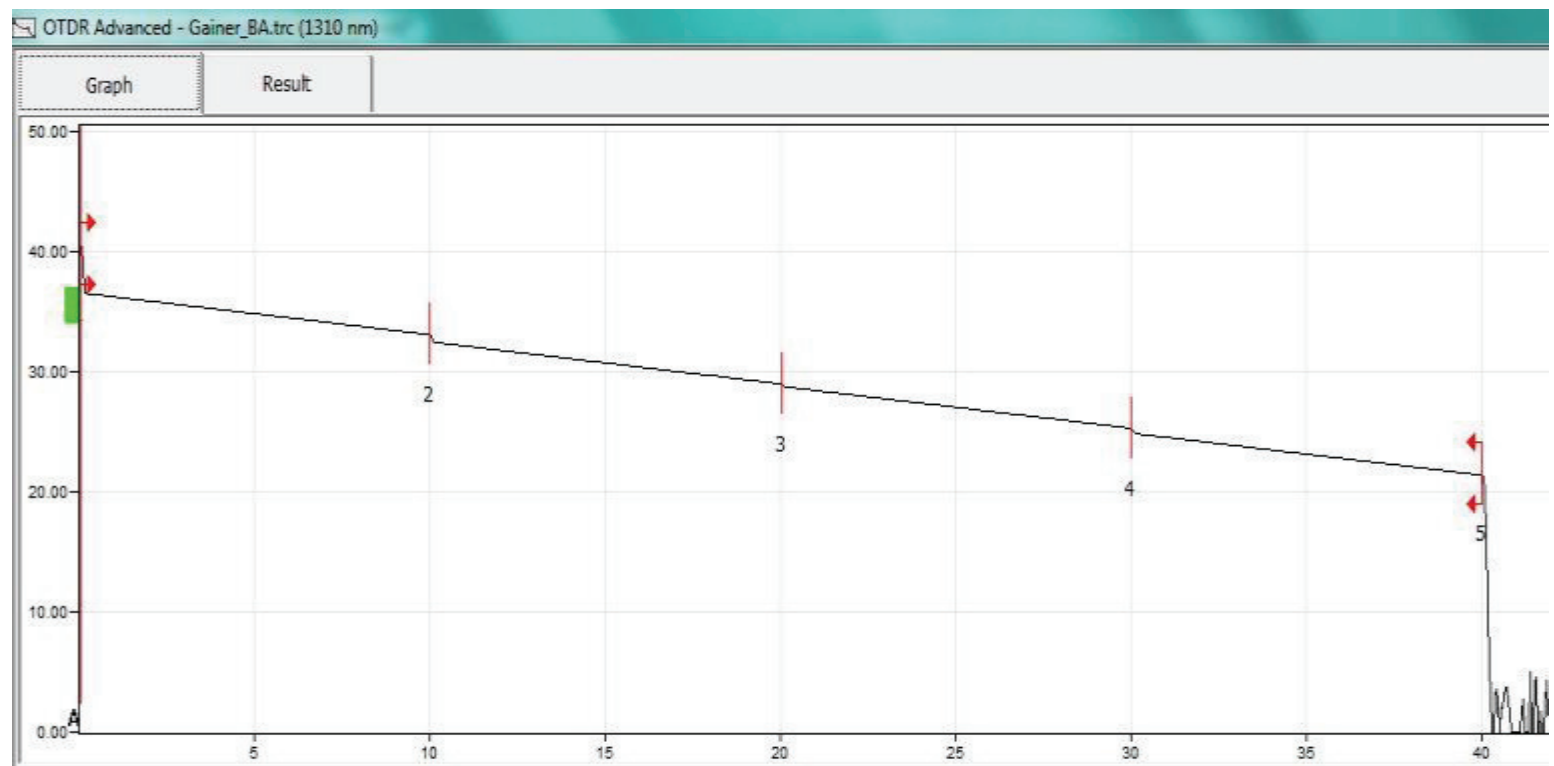
Σχήμα 6.13: Όλα τα events των 10 χιλιομέτρων

6.1.2 Αμφίδρομη μέτρηση

Η αμφίδρομη μέτρηση βγάζει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, αφού γίνεται μέτρηση της ίδιας ίνας, από την μία πλευρά προς την άλλη και αντίστροφα, και δεν προσθέτει τις απώλειες του βρόχου. Το μειονέκτημά της είναι ότι πρέπει να σταλθούν στους καταναμητές δύο τεχνικοί με δύο OTDRs ή να πάει και στους δύο καταναμητές ο ίδιος τεχνικός, όταν όμως οι αποστάσεις είναι μεγάλες, είναι δύσκολο.



Σχήμα 6.14: Μέτρηση από τον A καταναμητή στον B καταναμητή



Σχήμα 6.15: Μέτρηση από τον B κατανεμητή στον A κατανεμητή

Τα events και των δύο διαγραμμάτων πέφτουν στα ίδια σημεία, εφόσον μιλάμε για την ίδια ίνα, με την εξής αντιστοιχία:

A-B: 1^ο event → B-A: 5^ο event

A-B: 2^ο event, με απώλεια -0,305 → B-A: 4^ο event, με απώλεια 0,408

A-B: 3^ο event, με απώλεια 0,200 → B-A: 3^ο event, με απώλεια 0,199

A-B: 4^ο event, με απώλεια -0,205 → B-A: 2^ο event, με απώλεια 0,598

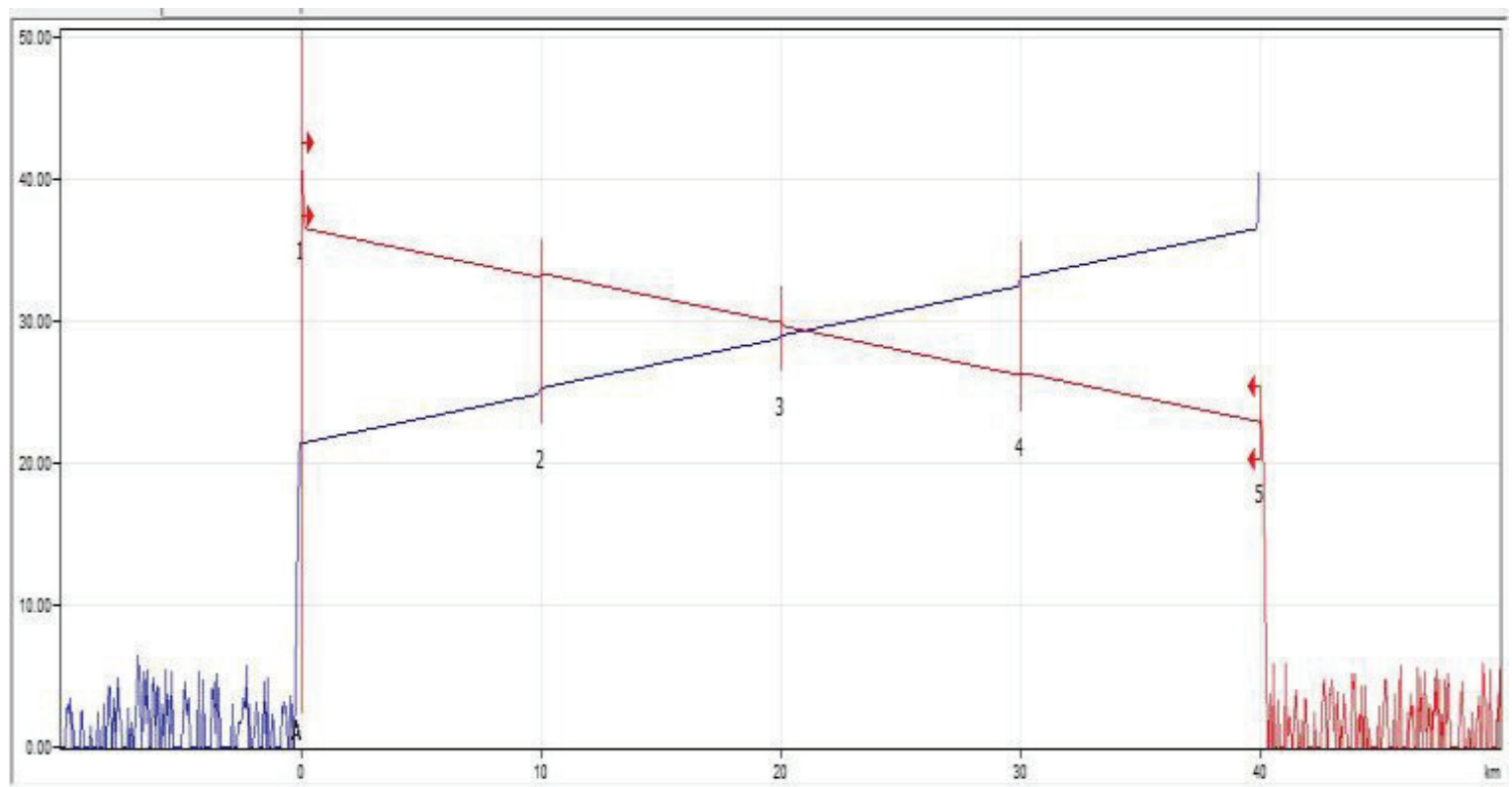
A-B: 5^ο event → B-A: 1^ο event

Παρατηρούμε ότι στην κατεύθυνση A-B στο δεύτερο event υπάρχει ένα «γόνατο» προς τα πάνω, δηλαδή αρνητική απώλεια (θεωρητικά έχω ενίσχυση) και το αντίστοιχο event στην αντίστροφη κατεύθυνση υπάρχει ένα «γόνατο» προς τα κάτω, δηλαδή, θετική απώλεια. Ένας λόγος που οφείλεται αυτό είναι στην κατασκευή των ινών. Όπως έχουμε αναφέρει, η διάμετρος του πυρήνα, στις μονότροπες ίνες, είναι 9 μm, αλλά λόγω του MDF (Mode Field Diameter, μεταβολές που προκαλούνται στο γυαλί λόγω κατασκευής), κάποιες ίνες δεν είναι ακριβώς 9μm, αλλά λίγο πάνω ή λίγο κάτω. Για παράδειγμα εάν κολληθεί μία ίνα των 9,1 μm με αυτή των 8,9 μm, το φως θα περάσει σε πιο στενή ίνα. Ας πάρουμε για παράδειγμα το λάστιχο του νερού, όταν στενέψουμε ξαφνικά το λάστιχο, ενώ περνάει το νερό κανονικά, θα υπάρξει αύξηση πίεσης του νερού σε εκείνο το σημείο. Αντίστοιχα, υπάρχει και στην οπτική ίνα η θεωρητική ενίσχυση. Όταν η μέτρηση γίνει από την άλλη πλευρά, θα έχω απώλεια. Στο παράδειγμα με το λάστιχο, θα έχω εκτόνωση νερού.

Η αμφίδρομη μέτρηση λειτουργεί ως εξής:

Αφού γίνουν οι μετρήσεις ξεχωριστά, στο πρόγραμμα του OTDR στον υπολογιστή, συγχωνεύονται και αυτόματα βγάζει τον μέσο όρο των events, που είναι η σωστή απώλεια της ίνας.

Έχουμε δηλαδή:



Σχήμα 6.16: Αμφίδρομη μέτρηση

Οι τελικές απώλειες, αφού έχουν αντιστοιχηθεί τα events είναι οι παρακάτω:

1^ο event: A' κατανομητής. Μηδενική απώλεια.

2^ο event: $(-0,305+0,408)/2=0,0515$

3^ο event: $(0,200+0,199)/2=0,1995$

4^ο event: $(-0,205+0,598)/2=0,1965$

5^ο event: B' κατανομητής. Μηδενική απώλεια.

Και πράγματι έχουμε:

Type	No.	Loc.	Loss
↔	1	0.0000	---
↘	2	9.9990	-0.305
↗	3	20.0159	0.200
↘	4	30.0150	-0.205
↔	5	39.9987	---

Σχήμα 6.17: Απώλειες ζεύξης A-B

Type	No.	Loc.	Loss
→	1	40.0013	---
↘	2	30.0022	0.598
↘	3	19.9674	0.199
↘	4	9.9863	0.408
↘	5	0.0000	---

Σχήμα 6.18: Απώλειες ζεύξης B-A

Type	No.	Loc.	Att.	Avg. Loss
↘	1	0.0000		---
↘	2	9.9927		0.051
↘	3	19.9917		0.200
↘	4	30.0086		0.197
↘	5	40.0000		---

Σχήμα 6.19: Μέσος όρος των απωλειών αφού έχουν συγχωνευθεί τα events

Στη συνέχεια, γίνονται οι ίδιες παρατηρήσεις όπως και στην περίπτωση του βρόχου.

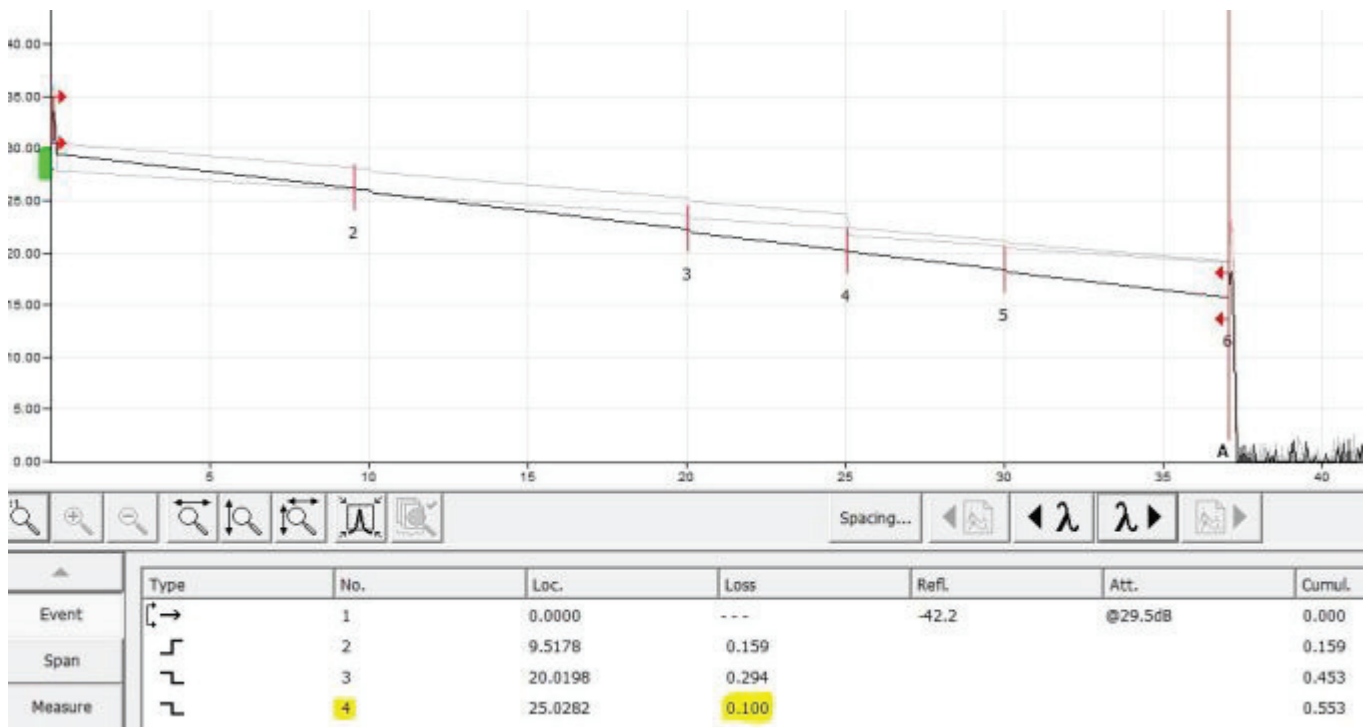
6.2 Μετρήσεις προβληματικών ινών

6.2.1 Κακή διευθέτηση/χτύπημα μικρό στην ίνα

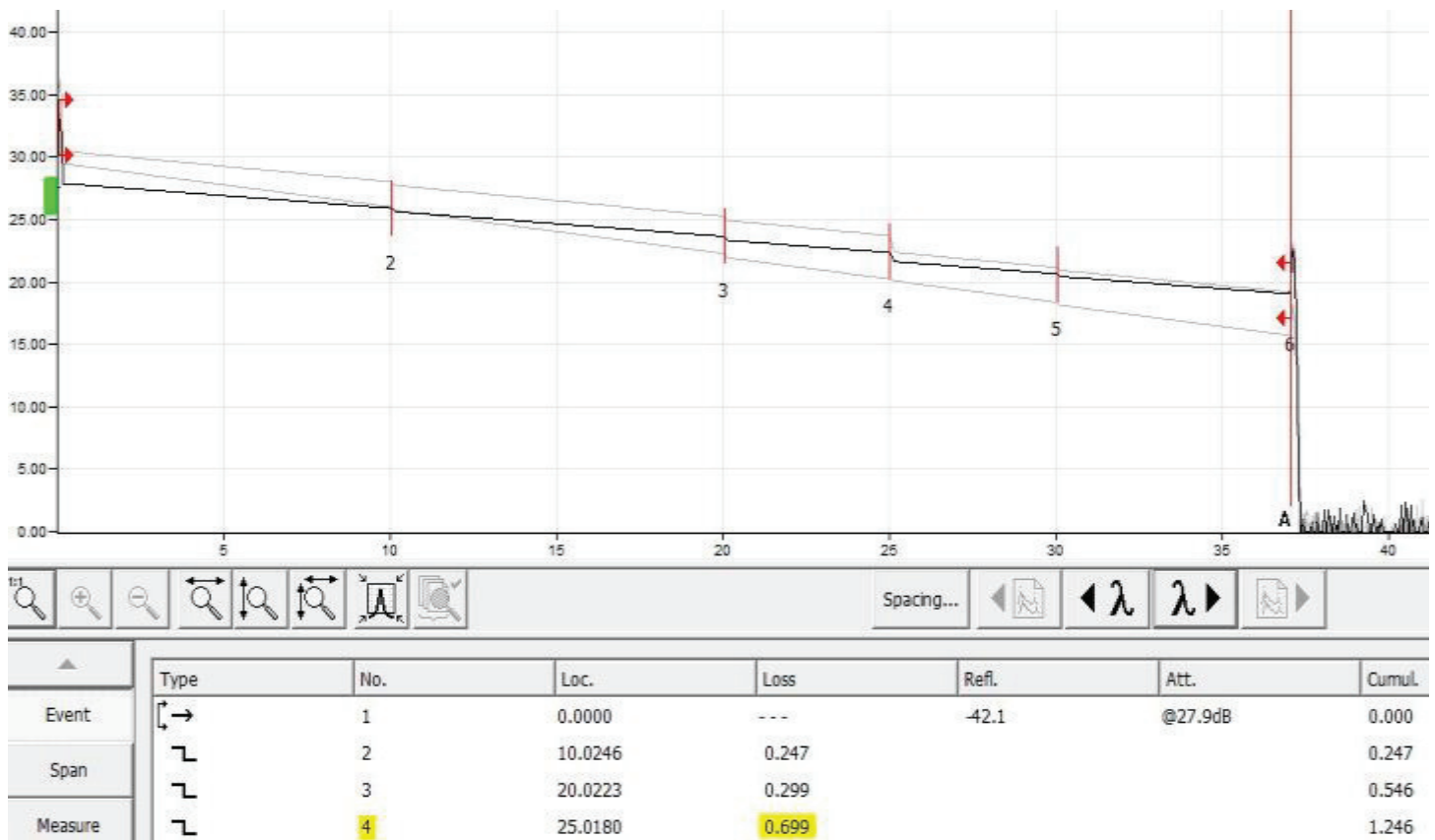
Μια κακή διευθέτηση στην κασέτα της μούφας, δηλαδή, μεγαλύτερο λύγισμα από το επιτρεπτό, ή ένα μικρό χτύπημα στην ίνα, αναγνωρίζεται στα μεγαλύτερα μήκη κύματος, σε σχέση με τα μικρότερα. Αυτό το καταλαβαίνουμε, εάν η διαφορά των απωλειών μεταξύ των μηκών κύματος είναι πολύ μεγάλη (σε μικρές διαφορές, δεν δίνεται σημασία).

Στο παρακάτω σχήμα έχουν γίνει μετρήσεις με τρία μήκη κύματος. Όπως φαίνεται, η μεγαλύτερη απώλεια είναι στα 1625 nm με 1,299 dB, στα 1550 nm με 0,699 dB και στα 1310 nm με 0,100 dB. Έχουν πολύ μεγάλη διαφορά οι απώλειες μεταξύ τους, που σημαίνει ότι υπάρχει πρόβλημα και πρέπει να διορθωθεί.

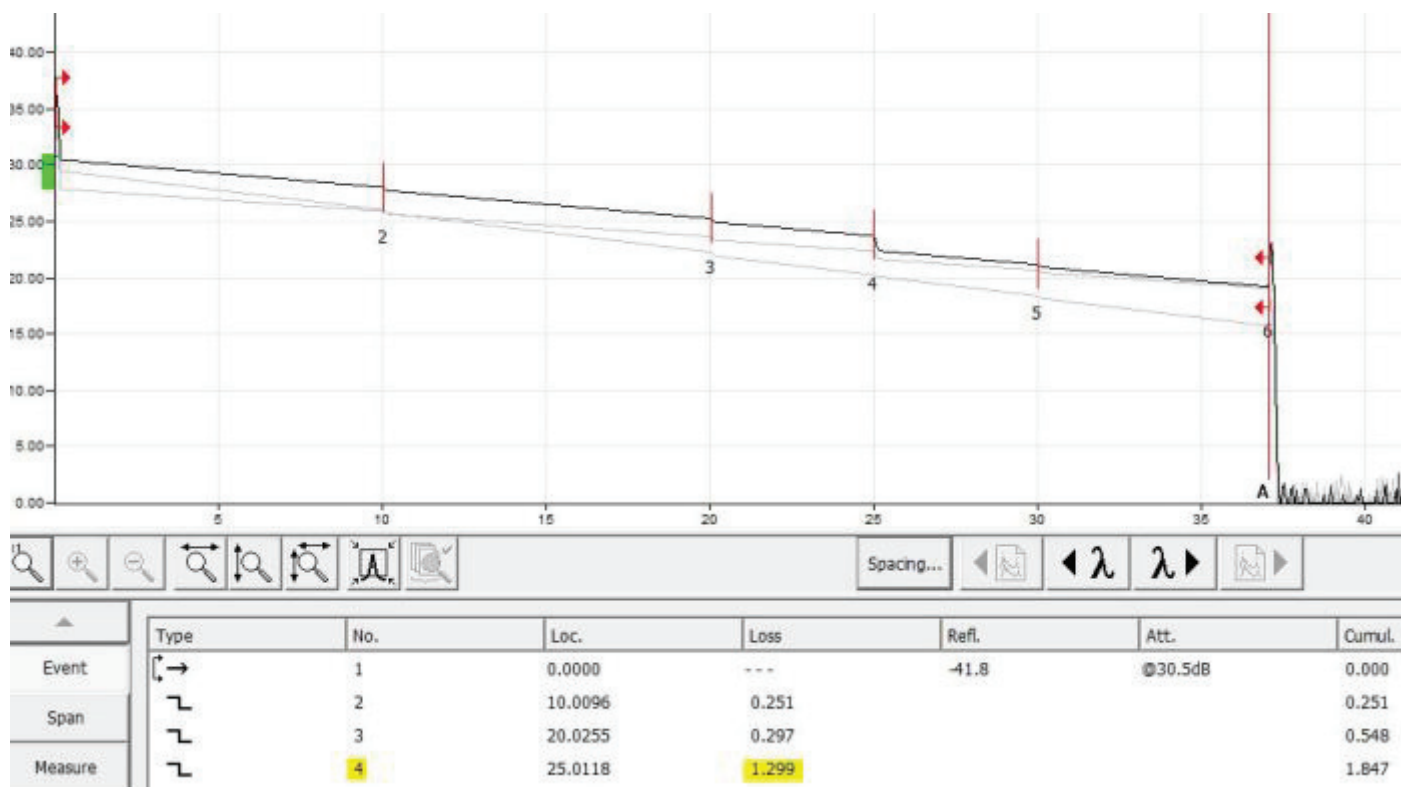
Αυτό φαίνεται και στο σχήμα 6.23 όπου η κλίση στα 1625 nm είναι μεγαλύτερη, στα 1550 nm είναι μικρότερη σε σχέση με τα 1625 nm αλλά μεγαλύτερη από τα 1310 nm και τα 1310 nm η γραμμή είναι σχεδόν ευθεία.



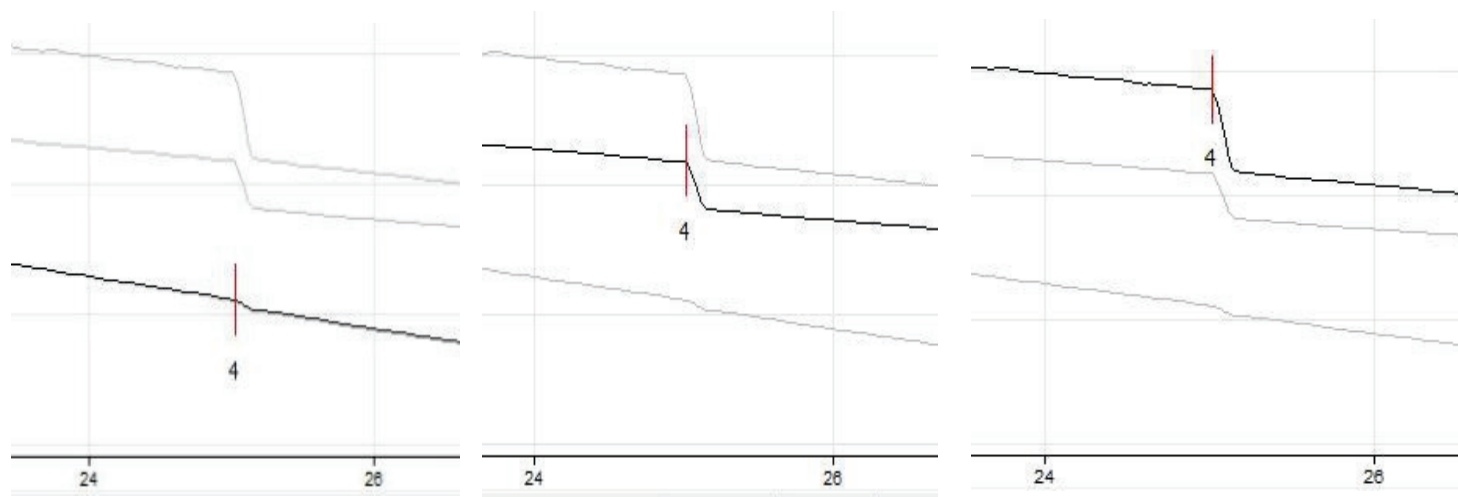
Σχήμα 6.20: Κακή διευθέτηση/ χτύπημα μικρό στα 1310 nm



Σχήμα 6.21: Κακή διευθέτηση/ χτύπημα μικρό στα 1550 nm



Σχήμα 6.22: Κακή διευθέτηση/χτύπημα μικρό στα 1625 nm



Σχήμα 6.23: Κακή διευθέτηση/χτύπημα: 4^ο event και στα τρία μήκη κύματος (1310, 1550, 1625)

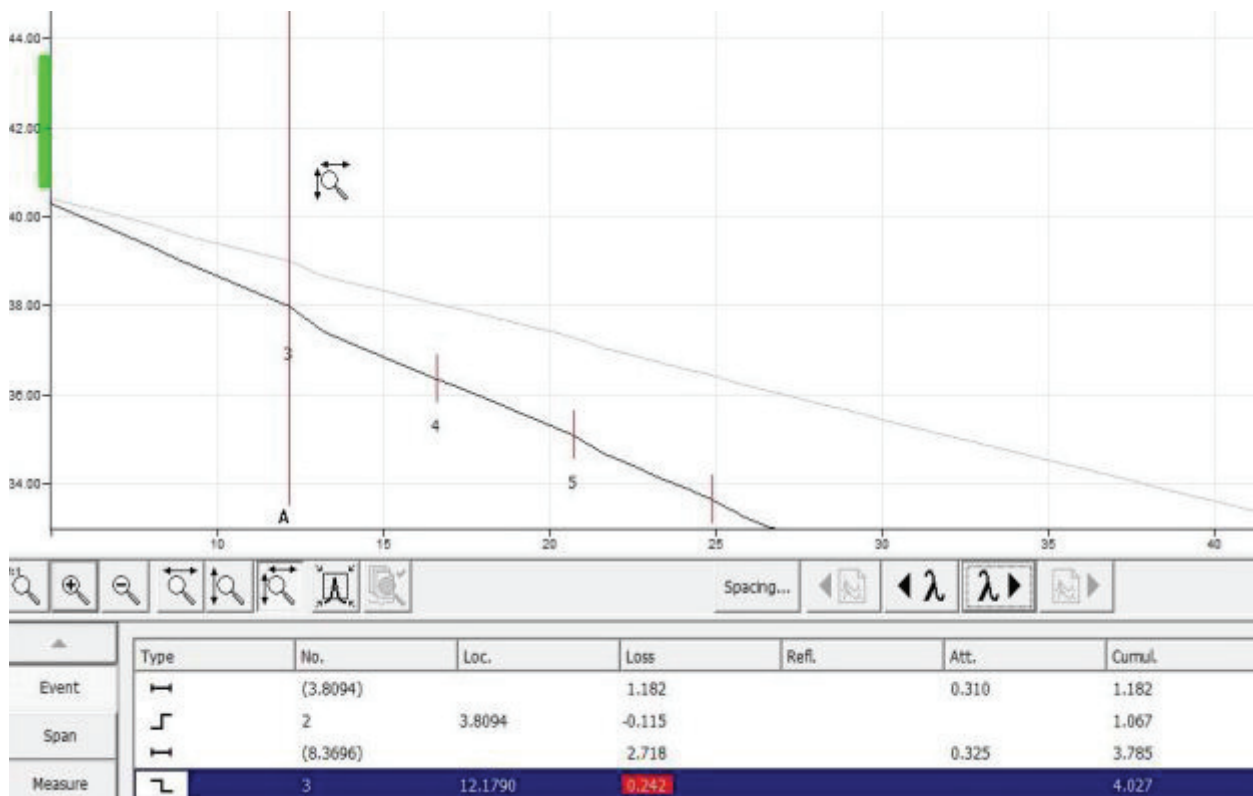
6.2.2 Κακή κόλληση ίνας

Η κακή κόλληση σε μια ίνα αναγνωρίζεται στη σύγκριση των μηκών κύματος. Εάν στα μικρά μήκη κύματος η διαφορά απώλειας είναι μεγάλη σε σχέση με τα πιο μεγάλα μήκη κύματος, η κόλληση πρέπει να ξαναγίνει.

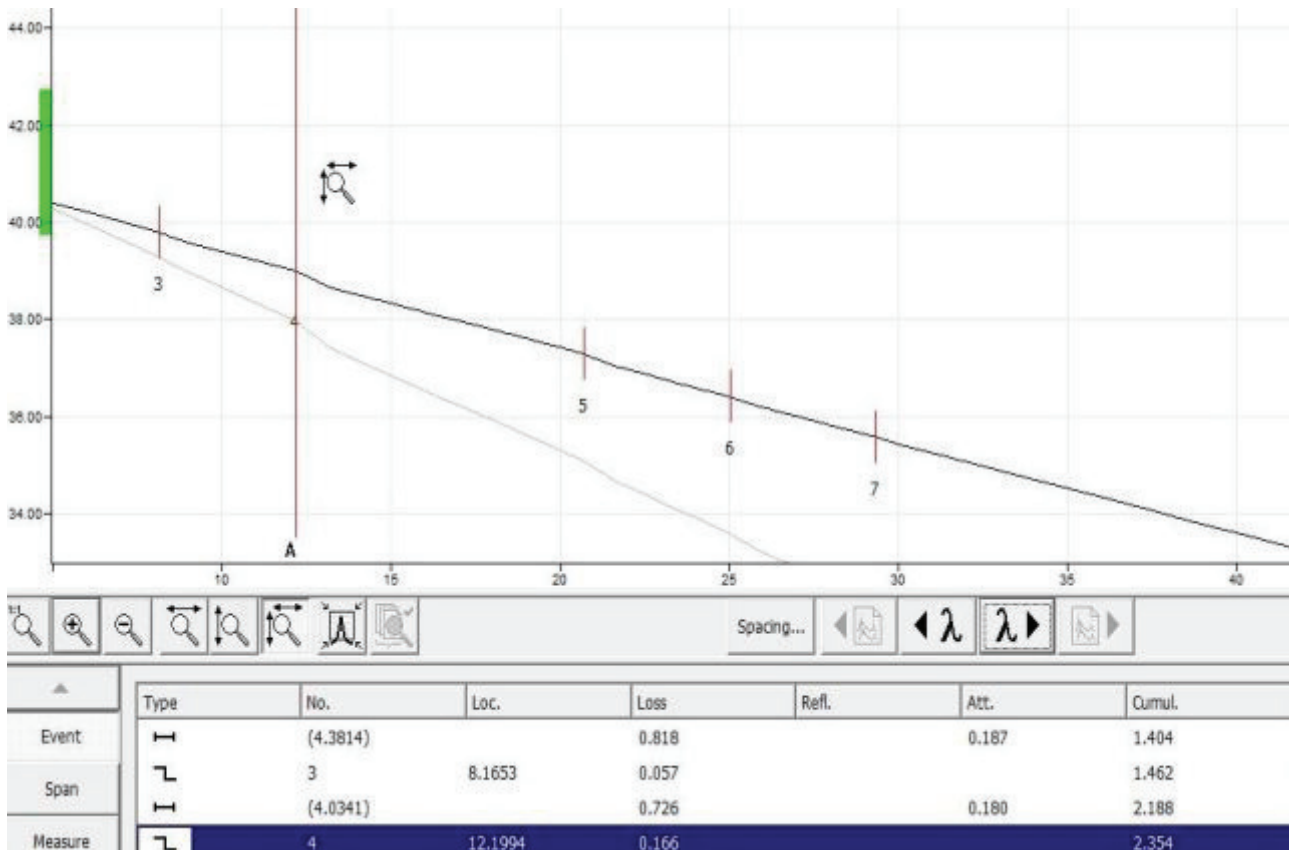
Για παράδειγμα, στην παρακάτω μέτρηση στο ίδιο σημείο, στα 1550 nm η απώλεια είναι 0,166 dB και στα 1310 nm είναι 0,242 dB. Η διαφορά είναι 0,076 db, είναι αρκετά μεγάλη και στα 1310 nm, είναι και κοντά στο επιτρεπτό όριο (0,300 dB).

Η κόλληση σε αυτό το σημείο πρέπει να ξαναγίνει, αν δεν είναι δυνατόν να γίνει καλύτερη, όπως έχουμε αναφέρει, αφήνουμε τη ίνα με την τελευταία καλή κόλληση που έγινε.

Μία κακή κόλληση μπορεί να αποφευχθεί, αφού το μηχάνημα με το οποίο γίνεται η κόλληση, εμφανίζει την απώλεια της κόλλησης. Οπότε εάν η κόλληση έχει μεγάλη απώλεια, ξαναγίνεται.



Σχήμα 6.24: Κακή κόλληση στα 1310 nm

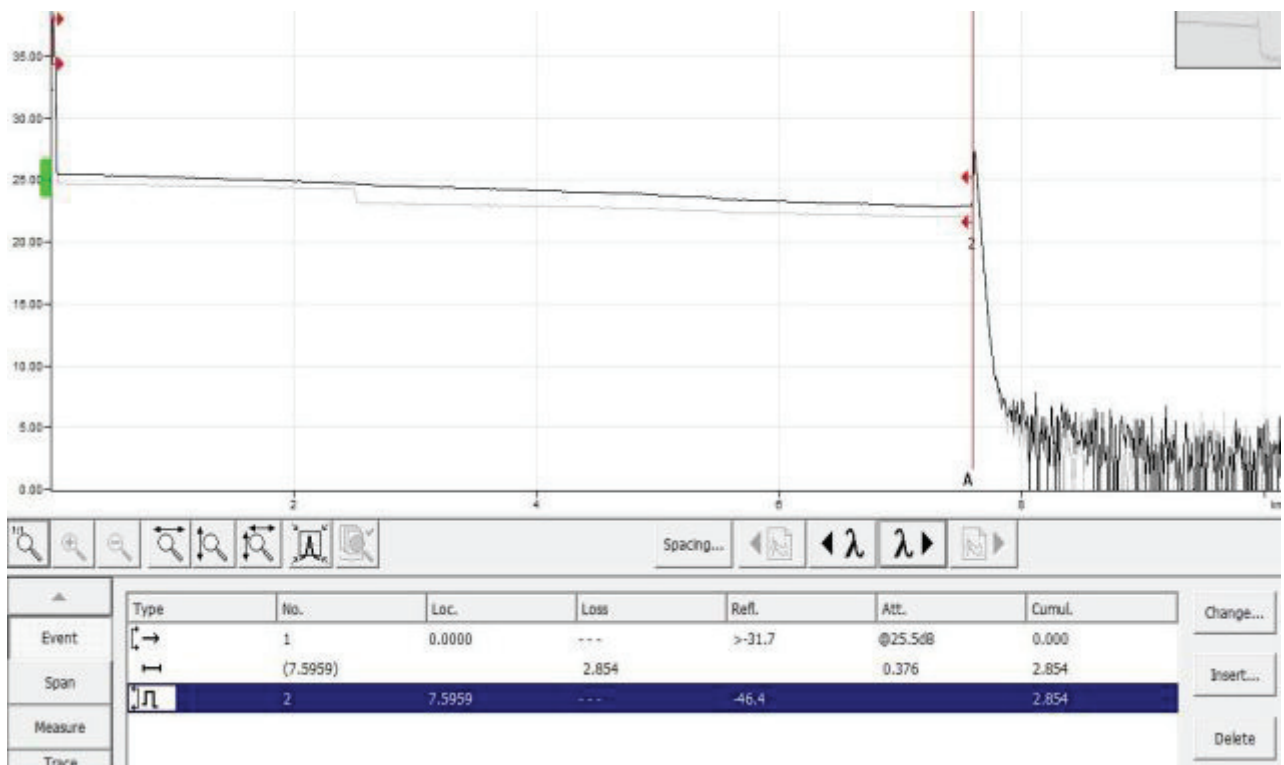


Σχήμα 6.25: Κακή κόλληση στα 1550 nm

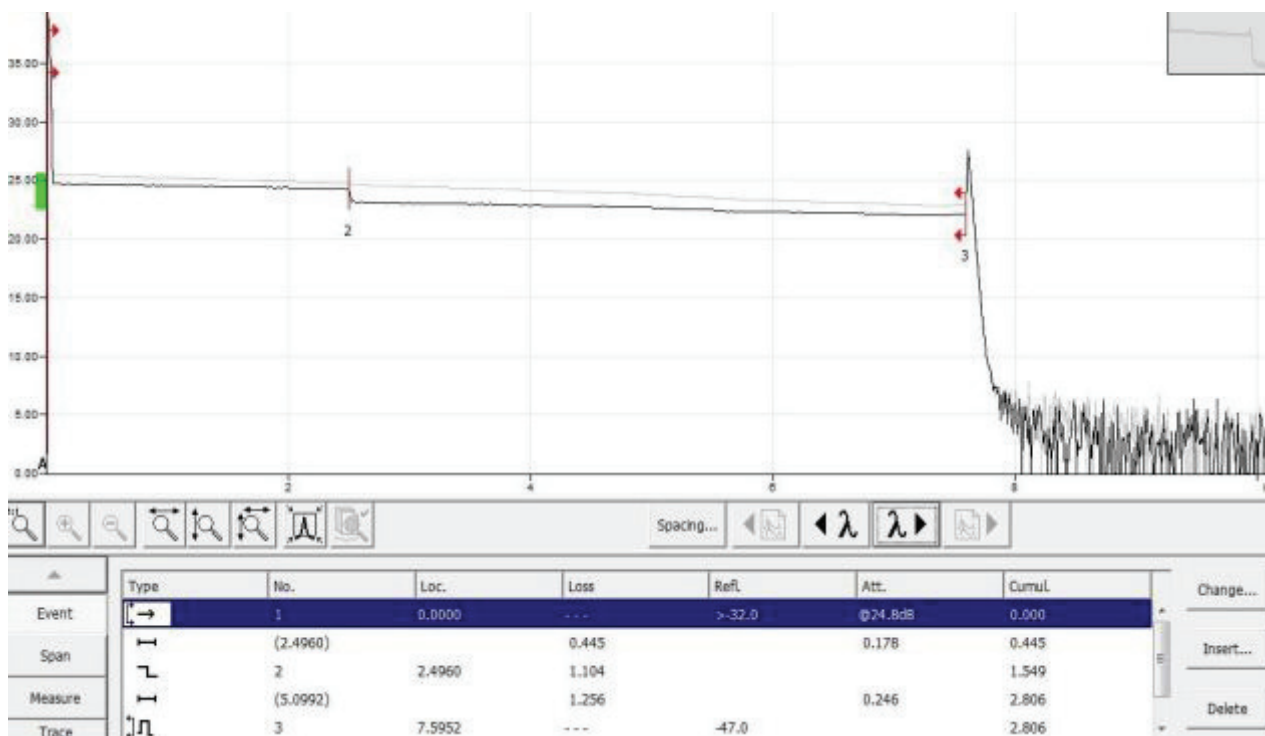
6.2.3 Μεγάλο χτύπημα/Τσάκισμα στην ίνα

Το μεγάλο χτύπημα ή το τσάκισμα στην ίνα φαίνεται στα 1550 nm, με μια απότομη κλίση, σχεδόν κάθετη, στην μέτρηση. Η απώλεια σε αυτό το σημείο είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή στα 1310 nm.

Στα παρακάτω διαγράμματα, διαπιστώνουμε το πρόβλημα στο δεύτερο event στα 1550 nm, όπου έχει εντοπίσει μεγάλη απώλεια (1,104 dB). Αντιθέτως στα 1310 nm δεν έχει εντοπιστεί καν κάποιο event.



Σχήμα 6.26: Μεγάλο χτύπημα/Τσάκισμα στα 1310 nm

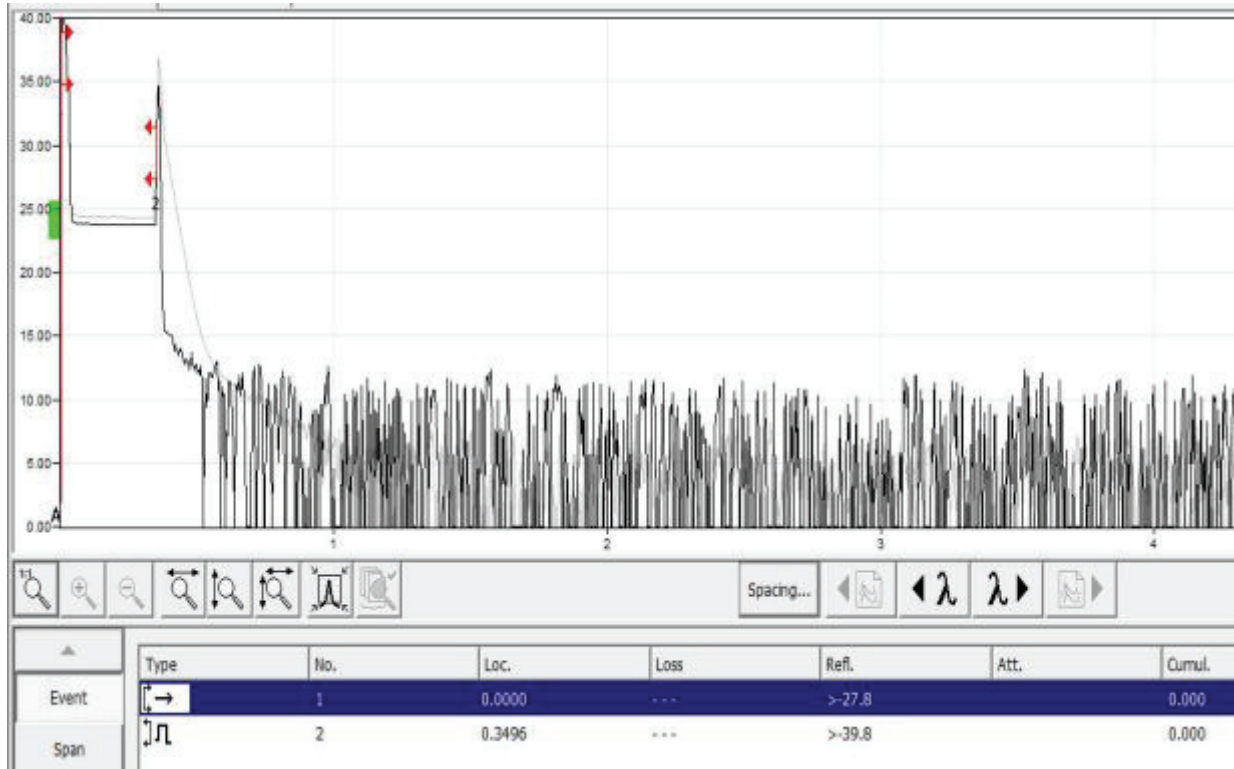


Σχήμα 6.27: Μεγάλο χτύπημα/Τσάκισμα στα 1550 nm

6.2.3 Κομμένη ίνα

Μια κομμένη ίνα την υποδηλώνεται με έναν παλμό Fresnel, αφού το φως της ίνας διαχέεται στον αέρα. Αναγνωρίζουμε την κομμένη ίνα, όταν ξέρουμε ότι στο σημείο που βρίσκεται ο παλμός Fresnel, δεν υπάρχει κάποια φυσική ένωση ή dark fiber σε μούφα.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα η απόσταση που έχει μετρηθεί είναι μόλις 349,6 μέτρα ενώ σύμφωνα με την τοπολογία, μούφα σε αυτό το σημείο δεν υπάρχει.



Σχήμα 6.28: Κομμένη ίνα

7. ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- 1.1. Δομή Οπτικής Ίνας
 - 1.2. Μονότροπη ίνα
 - 1.3. Πολύτροπη ίνα με βηματικό προφίλ δείκτη
 - 1.4. Πολύτροπη ίνα με βαθμιαίο προφίλ δείκτη: Το φως ταξιδεύει πιο αργά στο κέντρο
 - 1.5. Ανάκλαση και διάθλαση φωτός που διαδίδεται από ένα οπτικά αραιό μέσο σε οπτικώς πυκνότερο
 - 1.6. Προσπίπτουσες ακτίνες φωτός από οπτικώς πυκνότερο μέσο σε αραιότερο (π.χ. γυαλί-αέρας)
 - 1.7. Αρχή λειτουργίας οπτικών ινών. Η κυματοδήγηση του φωτεινού σήματος οφείλεται στο φαινόμενο της ολικής ανάκλασης
 - 1.8. Σύζευξη φωτός στην οπτική ίνα
 - 1.9. Σύζευξη φωτός με LED σε οπτική ίνα με χρήση αμφίκυρτου φακού (convex lens). Η θέση και οι διαστάσεις του φακού εφαρμόζονται από το NA της πηγής και της ίνας
 - 1.10. Σκέδαση Rayleigh
 - 1.11. Απώλειες λόγω μικροκάμψης της ίνας (κατασκευαστική ατέλεια)
 - 1.12. Απώλειες λόγω κάμψης της ίνας οφειλόμενη σε εφελκυσμό
-
- 2.1. Βασικό οπτικό σύστημα τηλεπικοινωνιών
 - 2.2. Πομπός
 - 2.3. Laser
 - 2.4. Led
 - 2.5. Δέκτης
 - 2.6. Κάρτα Δικτύου
 - 2.7. Φυσικό Οπτικό Δίκτυο Υποδομών
-
- 3.1. Κύριος Κόμβος
 - 3.2. Κόμβος Διανομής
 - 3.3. Κόμβος Πρόσβασης
 - 3.4. Κόφτης
 - 3.5. SPLICER
 - 3.6. Η κόλληση είναι επιτυχής
 - 3.7. SPLICER protector
 - 3.8. Σφιχτός και χαλαρός σχεδιασμός καλωδίων οπτικών ινών
 - 3.9. Τύποι Φρεατίων
 - 3.10. Σωλήνας HDPE
 - 3.11. Μικροσωλήνας M1/7
 - 3.12. Μικροσωλήνες M2/4 και M2/24 αντίστοιχα
 - 3.13. Μικροσωλήνας M4
 - 3.14. Σύνδεσμοι σωλήνων
 - 3.15. Διακλαδωτήρες
 - 3.16. Τομή χάνδακα X1
 - 3.17. Χάνδακας X1
 - 3.18. Τομή Χάνδακα X2
 - 3.19. Τομή χάνδακα X3
 - 3.20. Μηχάνημα τύπου mini-trencher
 - 3.21. Μέθοδος micro-trencher
 - 3.22. Εναέρια όδευση
 - 3.23. Μούφα σε φρεάτιο
 - 3.24. Εσωτερικό μούφας

- 3.25 *Σύνδεσμος τύπου FC*
- 3.26 *Σύνδεσμος τύπου SC*
- 3.27 *Σύνδεσμος τύπου ST*
- 3.28 *Σύνδεσμος τύπου LC*
- 3.29 *Αντάπτορες και κονέκτορες*
- 3.30 *Ικρίωμα Οπτικής Διανομής και Τερματισμού*
- 3.31 *Οπτικός Κατανεμητής 24 θέσεων*
- 3.32 *Οπτικός Κατανεμητής 192 θέσεων*
- 3.33 *Pigtails*
- 3.34 *FDH*

- 4.1 *Τεχνολογίες FTTx*
- 4.2 *AON*
- 4.3 *Home Run*
- 4.4 *PON*
- 4.5 *Είσοδος σε μονοκατοικία*
- 4.6 *Συνδεσμολογία εξωτερικού ONT*
- 4.7 *Wall socket για εξωτερικό ONT*
- 4.8 *Συνδεσμολογία εσωτερικού ONT*
- 4.9 *Wall socket για εσωτερικό ONT*
- 4.10 *Πρώτη περίπτωση εισόδου σε πολυκατοικία*
- 4.11 *Δεύτερη περίπτωση εισόδου σε πολυκατοικία*
- 4.12 *Εσωτερικό ONT*
- 4.13 *Εξωτερικό ONT*
- 4.14 *MDU ONT*
- 4.15 *Patchcord*
- 4.16 *Εγκατάσταση σε υπάρχουσες οικοδομές*
- 4.17 *Διαδρομή*
- 4.18 *Στοιχεία*
- 4.19 *Διαδρομή*
- 4.20 *Στοιχεία*

- 5.1 *Σχηματικό λειτουργίας OTDR*
- 5.2 *Rayleigh*
- 5.3 *Ανακλάσεις Fresnel που προκαλούνται από μηχανικές συνδέσεις, ανοιχτούς κοννέκτορες κτλ.*
- 5.4 *Γεγονότα που έχουν συγχωνευτεί εξαιτίας μεγάλης νεκρής ζώνης*
- 5.5 *Νεκρή ζώνη εξασθένισης*
- 5.6 *Μήκος του παλμού σε σχέση με τον χρόνο*
- 5.7 *Ghost image*
- 5.8 *Παλμοί διαφορετικής χρονικής διάρκειας*
- 5.9 *Η ανάλυση όταν χρησιμοποιείται α) δειγματοληψία ανά 5 μέτρα και β) ανά 15 μέτρα*
- 5.10 *Μέτρηση απωλειών*
- 5.11 *Παρουσίαση απωλειών*
- 5.12 *EXFO FTB-200*
- 5.13 *Πάνω μέρος του OTDR*
- 5.14 *Αρχικό μενού*
- 5.15 *Ρυθμίσεις στο OTDR*
- 5.16 *General tab*
- 5.17 *Acquisition tab*

- 5.18 Analysis tab
- 5.19 Θέτοντας τις τιμές-όρια
- 5.20 Ενδεικτικό γράφημα
- 5.21 Ενδεικτικά events
- 5.22 VFL

- 6.1 Σχηματικό βρόχου
- 6.2 Μέτρηση στα 1550 nm μήκος κύματος
- 6.3 Μέτρηση στα 1310 nm μήκος κύματος
- 6.4 Ο βρόχος στα 1550 nm
- 6.5 Ο βρόχος στα 1310 nm
- 6.6 Events τα συνολικής απόστασης στα 1310 nm
- 6.7 Events της συνολικής απόστασης στα 1550 nm
- 6.8 Παράμετροι στα 1310 nm
- 6.9 Παράμετροι στα 1550 nm
- 6.10 Τέλος μέτρησης στα 1310 nm
- 6.11 Τέλος μέτρησης στα 1550 nm
- 6.12 Τα νέα events που προστέθηκαν στην απόσταση των 10 χιλιομέτρων
- 6.13 Όλα τα events των 10 χιλιομέτρων
- 6.14 Μέτρηση από τον A κατανεμητή στον B κατανεμητή
- 6.15 Μέτρηση από τον B κατανεμητή στον A κατανεμητή
- 6.16 Αμφίδρομη μέτρηση
- 6.17 Απώλειες ζεύξης A-B
- 6.18 Απώλειες ζεύξης B-A
- 6.19 Μέσος όρος των απωλειών αφού έχουν συγχωνευθεί τα events
- 6.20 Κακή διευθέτηση/χτύπημα μικρό στα 1310 nm
- 6.21 Κακή διευθέτηση/χτύπημα μικρό στα 1550 nm
- 6.22 Κακή διευθέτηση/χτύπημα μικρό στα 1625 nm
- 6.23 Κακή διευθέτηση/χτύπημα: 4^ο event και στα τρία μήκη κύματος
- 6.24 Κακή κόλληση στα 1310 nm
- 6.25 Κακή κόλληση στα 1550 nm
- 6.26 Μεγάλο χτύπημα/Τσάκισμα στα 1310 nm
- 6.27 Μεγάλο χτύπημα/Τσάκισμα στα 1550 nm
- 6.28 Κομμένη ίνα

8. ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

- 1.1 *Χρωματισμοί εξωτερικού περιβλήματος*
- 1.2 *Σύγκριση πολύτροπων και μονότροπων ινών*

- 3.1 *Αντιστοίχιση ινών και χρωμάτων*
- 3.2 *Πεδία εφαρμογής καλυμμάτων*

- 4.1 *Διαφορές τεχνολογιών FTTx*

- 5.1 *Νεκρή ζώνη ανά παλμό*
- 5.2 *Τύποι καρτών OTDR*
- 5.3 *Οι ελάχιστες και οι μέγιστες που μπορούν να ρυθμιστούν*
- 5.4 *Κάθε event παρουσιάζεται με ξεχωριστό σύμβολο*

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ/ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Νικόλαος Δωρόπουλος, Project Manager, «FTTH Υποδομές Οπτικών Ινών μέχρι το Σπίτι»
- [2] Χρήστος Ι. Μπούρας, Καθηγητής, «Ευρυζωνικές Τεχνολογίες»
- [3] Jim Hayes, The FOA, «Οπτικές Ίνες, Ύλη για την πιστοποίηση CFOT»
- [4] Παπαδημητρίου Δημήτριος, Χειμώνας Γεώργιος, «Εφαρμογή συστήματος οπτικών ινών στη μέτρηση βασικών χαρακτηριστικών ηλεκτρικών εκκενώσεων υπό υψηλή τάση»
- [5] Γκότσης Σταύρος, Πουλόπουλος Γιάννης, «Αξιολόγηση Τμήματος Μητροπολιτικού Δικτύου Οπτικών Ινών Πελοποννήσου, Μοντελοποίηση και Προτάσεις για Τυχόν Βελτιώσεις του»
- [6] Κοκιαντώνης Παναγιώτης, «Οπτικά Ευρυζωνικά Δίκτυα»
- [7] Αδαμοπούλου Λαμπρινή, Τσιλιγρήστου Ευανθία, «Οπτικές Ίνες-Τεχνολογίες FTTx»
- [8] Δημήτρης Συβρίδης, Καθηγητής, «Εργαστηριακές ασκήσεις OTDR-FUSION SPLICER», του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
- [9] Σφενδυλάκης Ιωάννης, Βενιαμάκης Ανδρέας, «Σύγχρονα Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα επί Οπτικής Ίνας-Τεχνολογία WDM/Πρωτόκολλο SDH
- [10] Χρήστος Ευθυμίου, MSc Photonics, «Εισαγωγή Στις Οπτικές Επικοινωνίες», του Τ.Ε.Ι Σερρών, τμήμα Πληροφορικής και Επικοινωνιών
- [11] Αλέξανδρος Καλόξυλος-Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Θεόδωρος Καρούνος-Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Παντελής Παπαδόπουλος-ΣΑΤΠΕ, Ιωάννης Σκοπούλης-Πανεπιστήμιο Πατρών και ΕΑΙΤΥ, Κώστας Τρούλος-Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, «FTTx (Fiber to the Home-Fiber to the Building)- Κείμενο Δημοσίας Διαβούλευσης»
- [12] Γ. Δεμερτζής, μέλος πυρήνα ομάδας Ιδ3, «FTTx (Fiber to the Home-Fiber to the Building)»
- [13] Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Κοινωνία της Πληροφορίας», «Ανάπτυξη Υποδομών Δικτύων Τοπικής Πρόσβασης», Τεύχος Προκήρυξης Ανοικτού Διεθνούς Διαγωνισμού για την προμήθεια και εγκατάσταση Ευρυζωνικού Δικτύου Οπτικών Ινών στον Δήμο Ροδίων
- [14] Emirates Telecommunication Corporation-Etisalat, «FTTH design & installation guidelines»
- [15] Suttle, Multi-Dwelling Unit Fiber Deployment
- [16] Ericsson Network Technologies AB 2004, «Ribbonet System Description, Air Blown Fiber»
- [17] Installation and Replacement Options, November 7, 2007, «FTTx ONT Battery Backup»
- [18] Lluís Ròmul Sala Vilar, «FTTH projection manual for singular buildings without ICT»
- [19] EXFO, Compact Modular Platform FTB-200, User Guide
- [20] <http://invenio.lib.auth.gr/record/114887/files/ptuxiaki2.pdf?version=1>
- [21] <http://www.haaslti.com/laser-beam-delivery/fiber-laser-high-power-50mm.html>
- [22] http://anamorfosi.teiser.gr/ekp_yliko/e-notes/Data/commnets/main.htm
- [23] <http://iamsamer.blogspot.com/2011/09/all-about-optical-fibres.html>
- [24] http://www.hellascams.gr/grc/wi_fi_calculators/knowledge_base/Fiber_Optic.html
- [25] http://www.fulgor.com/dynamic/main.php?lang_id=1&cat_id=132&ccat_id=141
- [26] <http://www.thefoa.org/tech/ref/appln/FTTH-PON.html>