

H/Γ
605

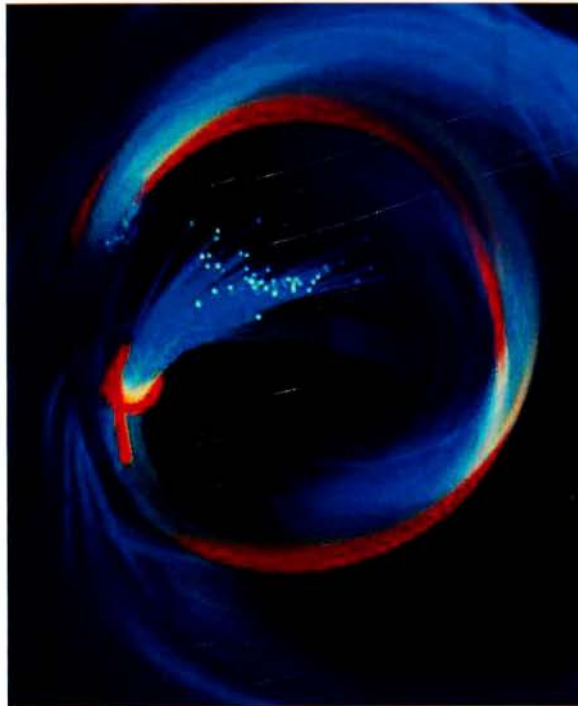
ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΟΠΤΙΚΗ ΙΝΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ»



Εισηγητής : κος Μαράντης

Σπουδαστές :

Αλεξόπουλος Γεώργιος

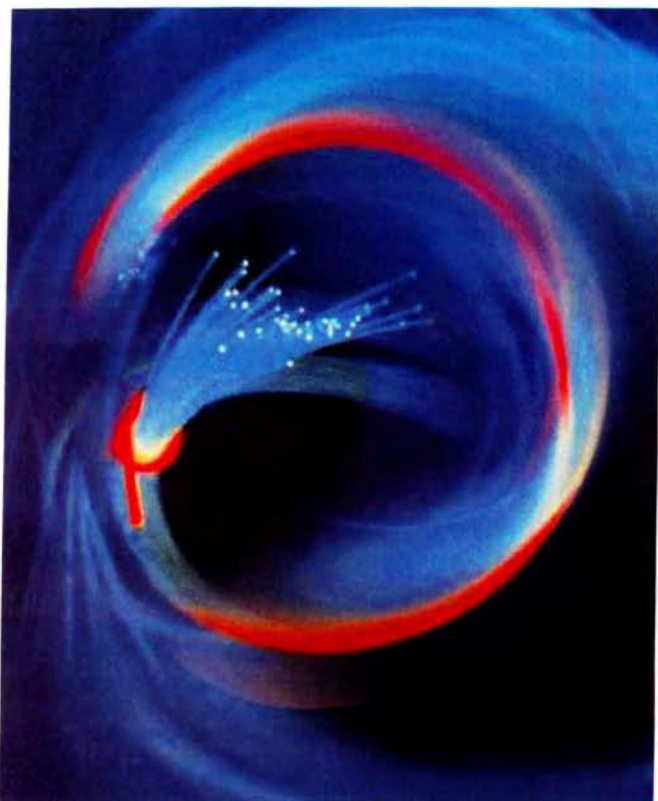
Αλεξόπουλος Ζαφείρης

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2011

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΟΠΤΙΚΗ ΙΝΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ»



Εισηγητής : κος Μαράντης

Σπουδαστές :

Αλεξόπουλος Γεώργιος

Αλεξόπουλος Ζαφείρης

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2011





ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

2.1. Είδη οπτικών ινών

2.2 Διάδοση φωτός στις οπτικές ίνες

2.2.1 Μετάδοση του φωτός μέσω οπτικών ινών

2.3. Καλώδια οπτικών ινών

2.4. Δίκτυα οπτικών ινών

2.5. Χαρακτηριστικά μετάδοσης οπτικών ινών

2.5.1 Εξασθένιση σήματος

2.5.2 Απορρόφηση υλικού

2.5.3 Απώλειες λόγω γραμμικών σκεδάσεων

2.5.3.1. Σκέδαση Rayleigh

2.5.3.2 Σκέδαση Mie

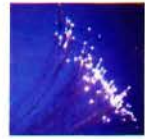
2.5.4 Απώλειες από μικροκάμψεις

2.5.5. Απώλειες λόγω μη γραμμικών σκεδάσεων

2.5.6. Διασπορά

2.5.7 Θόρυβος στις οπτικές επικοινωνίες

2.5.8 Κατασκευή οπτικών ινών



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΟΠΤΙΚΗ ΙΝΑ

3.1. Οπτικοί Πομποί

3.2. Χρήση Laser στις οπτικές επικοινωνίες

3.2.1 Εκπομπή και απορρόφηση ακτινοβολίας

3.2.2 Αρχές λειτουργίας του laser

3.3 Δίοδοι Laser στις οπτικές επικοινωνίες

3.3.1 Lasers Fabry-Perot (FP)

3.3.2 Δίοδοι Laser απλής συχνότητας (SLM lasers)

3.3.2.1. Lasers κατανεμημένης ανάδρασης

3.3.2.2. Laser ημιαγωγού συζευγμένης εξωτερικής κοιλότητας

3.3.2.3. Laser επιφανειακής εκπομπής κατακόρυφης κοιλότητας

3.4 Φωτοδίοδοι Εκπομπής (LED)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

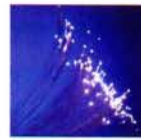
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

4.1. Τεχνολογίες FTTx FTTC/FTTB

4.2. Οι τεχνολογίες FTTC/FTTB και η αρχιτεκτονική τους

4.3. Η τεχνολογία FTTH

4.4. Χρήστες και εφαρμογές



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΣΕ ΠΟΛΕΙΣ ΚΑΙ ΚΤΗΡΙΑ

- 5.1 Βασικές Υποδομές με Σωλήνες**
 - 5.1.1 Συμβατική Υποδομή με Σωλήνες (Σ)
 - 5.1.2 Συστοιχίες μικρο-σωληνώσεων M1 & M2 (Microduct bundles)
 - 5.1.3 Συνδετήρες – Διακλαδωτήρες μικρο-σωληνώσεων
- 5.2 Φρεάτια σε δρόμους (Φ)**
 - 5.2.1 Φρεάτιο Φ1 μεγάλο
 - 5.2.2 Φρεάτιο Φ2 μεσαίο
 - 5.2.3 Φρεάτιο Φ3 μικρό
 - 5.2.4 Καλύμματα
- 5.3 Τάφροι (trenches)**
 - 5.3.1 Μέθοδοι κατασκευής Τάφρου
 - 5.3.1.1 Μέθοδος mini-Trencher (Μικροτάφρου)
 - 5.3.1.2 Μέθοδος Micro Trencher
 - 5.3.2 Τύποι Ταφρών
 - 5.3.2.1 Τάφρος (X1)
 - 5.3.2.2 Τάφρος (X2)
 - 5.3.2.3 Τάφρος (X3)
- 5.4 Δίκτυο Οπτικών Ινών**
 - 5.4.1 Βασικοί Τύποι Οπτικών ίνων
 - 5.4.2 Τύποι καλωδίων Σωλήνων
 - 5.4.2.1 Τύποι καλωδίων για υποδομή με Σωλήνες
 - 5.4.2.2 Τύποι καλωδίων για υποδομή σε Μικροσωλήνες
 - 5.4.3 Μέθοδοι Εγκατάστασης Καλωδίων Σωλήνων
 - 5.4.3.1 Εγκατάσταση καλωδίου με Έλξη
 - 5.4.3.2 Εγκατάσταση καλωδίου με Εμφύσηση
 - 5.4.3.3 Εγκατάσταση καλωδίου με Επίπλευση
- 5.5 Διατάξεις Συγκόλλησης Οπτικών Ινών**
- 5.6 Εξωτερικοί Οικίσκοι**
- 5.7 Οπτικός Κατανεμητής (ODF)**
- 5.8 Είσοδος Οπτικής ίνας στο Σπίτι**
 - 5.8.1 Σημείο Εισόδου στο κτήριο
 - 5.8.1.1 Σημείο Εισόδου σε πολυκατοικία
 - 5.8.1.2 Σημείο Εισόδου σε κτήριο / μονοκατοικία
 - 5.8.2 Εσωτερική Καλωδίωση
- 5.9 Σήμανση**



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΚΑΙ ΕΝΔΟΣΚΟΠΙΟ

6.1 Γενικά

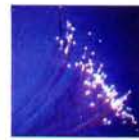
6.2 Εφαρμογές του οπτικού αγωγού στην ιατρική

6.2.1 Ενδοσκόπιο

6.3 Εικονική πραγματικότητα στο χειρουργείο

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Παλαιότερα ο όρος τηλεπικοινωνίες (telecommunications) υπονοούσε τη τεχνολογία επικοινωνιών φωνής. Σήμερα ο όρος χρησιμοποιείται για να δηλώσει τις τεχνολογίες επικοινωνιών τόσο φωνής όσο και δεδομένων. Καθώς τα δίκτυα επεκτείνονται και μεταφέρουν πια κάθε είδος πληροφορίας, ο όρος τηλεπικοινωνίες επεκτάθηκε ώστε να περιλαμβάνει τη μετάδοση φωνής, εικόνας, δεδομένων, πολυμέσων και υψηλής πιστότητας ήχο.

Η σημερινή εποχή αποτελεί μία εποχή ραγδαίων τεχνολογικών εξελίξεων και πολλές από τις τεχνολογικές καινοτομίες που έγιναν πριν από δέκα έτη ήδη βρίσκουν εφαρμογή στην καθημερινή ζωή.

Πολλές από τις καινοτομίες τεχνολογικές συνεισφορές των επικοινωνιών δεδομένων έχουν χρησιμοποιηθεί και στις επικοινωνίες φωνής. Με όμοιο τρόπο, πολλές εξελίξεις της τηλεφωνικής βιομηχανίας έχουν εφαρμοστεί και στη βιομηχανία επικοινωνιών δεδομένων. Σήμερα οι δύο αυτοί κλάδοι έχουν συνδυαστεί και δύσκολα πια μπορούν αν διαχωριστούν.

Η παρακάτω εργασία αναπτύσσει

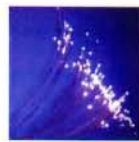


ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μετάδοση δεδομένων λαμβάνει χώρα μεταξύ εκπομπού και δέκτη πάνω από κάποιο μέσο μετάδοσης. Τα μέσα μετάδοσης μπορούν να χαρακτηρισθούν ως κατευθυνόμενα (guided) και μη κατευθυνόμενα (unguided), η δε επικοινωνία και στις δύο περιπτώσεις είναι υπό την μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Στα κατευθυνόμενα μέσα, τα κύματα οδηγούνται κατά μήκος ενός φυσικού μονοπατιού, π.χ. καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους, οπτική ίνα, ομοαξονικό καλώδιο. Τα μη κατευθυνόμενα μέσα παρέχουν τρόπους μετάδοσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων αλλά δεν τα κατευθύνουν. Παραδείγματα τέτοιων μέσων είναι η μετάδοση μέσα στο κενό, στον αέρα, στη θάλασσα.

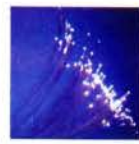
Το μονοπάτι μετάδοσης μεταξύ δύο συσκευών, μέσα από το οποίο μεταδίδονται σήματα κατευθείαν από τον εκπομπό στον δέκτη χωρίς να παρεμβάλλονται ενδιάμεσα άλλες συσκευές εκτός από ενισχυτές ή επαναλήπτες, που χρησιμεύουν στην ενίσχυση του σήματος, ονομάζεται κατευθείαν σύνδεσμος (direct link). Ο όρος αυτός ισχύει τόσο για κατευθυνόμενα όσο και για μη κατευθυνόμενα μέσα. Ένα κατευθυνόμενο μέσο μετάδοσης παρέχει σύνδεση σημείου-προς-σημείο (point-to-point) αν αποτελεί έναν κατευθείαν σύνδεσμο μεταξύ δύο συσκευών, οι οποίες είναι οι μοναδικές συσκευές που μοιράζονται το μέσο. Αν περισσότερες από δύο συσκευές μοιράζονται το μέσο τότε έχουμε σύνδεση πολλαπλών σημείων (multipoint).

Μία μετάδοση μπορεί να είναι μονόδρομη (simplex), αμφίδρομη εναλλασόμενη (half duplex) ή αμφίδρομη ταυτόχρονη (full duplex). Σε μία μονόδρομη μετάδοση τα σήματα μεταδίδονται μόνο προς μία κατεύθυνση, ένας σταθμός είναι ο εκπομπός και ο άλλος ο δέκτης. Στην



αμφίδρομη εναλλασόμενη μετάδοση και οι δύο σταθμοί μπορούν να είναι εκπομποί αλλά κάθε φορά μεταδίδει μόνο ο ένας. Στην αμφίδρομη ταυτόχρονη μετάδοση και οι δύο σταθμοί μπορούν να μεταδίδουν ταυτόχρονα. Στην περίπτωση αυτή το μέσο μετάδοσης μεταφέρει σήματα ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις.

Τα δεδομένα μεταφέρονται πάνω από το μέσο μετάδοσης με την χρήση ηλεκτρικών σημάτων που το κάθε ένα περιέχει μία ζώνη συχνοτήτων, που ονομάζεται spectrum. Το πλάτος του spectrum ονομάζεται απόλυτο εύρος ζώνης (absolute bandwidth). Τα περισσότερα σήματα έχουν άπειρο απόλυτο εύρος ζώνης, το μεγαλύτερο όμως ποσοστό της ενέργειας του σήματος περιέχεται σε μία στενή ζώνη συχνοτήτων που ονομάζεται αποδοτικό εύρος ζώνης ή απλά εύρος ζώνης (effective bandwidth). Υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ του εύρους ζώνης και του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων (ρυθμός μετάδοσης είναι ο ρυθμός σε bits per second με τον οποίο μπορούν να μεταδωθούν δεδομένα). Όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ενός σήματος, τόσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης. Αντίστροφα, όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης ενός συστήματος μετάδοσης τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων για το σύστημα αυτό.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Αν ερμηνεύσουμε τον όρο «οπτικές επικοινωνίες» με την ευρεία έννοια, μπορούμε να ισχυρισθούμε ότι η χρησιμοποίηση του φωτός για επικοινωνίες από απόσταση χρονολογείται ήδη από την αρχαιότητα. Σήματα φωτιάς καθώς και η χρήση καθρεπτών ήταν γνωστά για τη μεταφορά περιορισμένης ποσότητας πληροφορίας ($\text{Bit Rate} < 1\text{b/sec}$).

Στο ίδιο πλαίσιο ανάγεται και η μετάδοση απλών σημάτων χρησιμοποιώντας λάμπες και σημαίες μέχρι και τα τέλη του 18ου αιώνα. Επειδή απαιτείται οπτική επαφή για την επιτυχή μεταφορά τέτοιων σημάτων η εμβέλεια αυτών των απλοϊκών «τηλεπικοινωνιακών συστημάτων» ήταν μάλλον περιορισμένη εκτός κι αν χρησιμοποιούνταν ενδιάμεσοι σταθμοί αναμετάδοσης (αναγεννητές σήματος). Στην περίπτωση αυτή τα κωδικοποιημένα μηνύματα μπορούσαν να μεταδοθούν σε μεγαλύτερες αποστάσεις (~100 km).

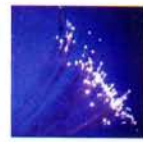
Η ανακάλυψη του τηλεγράφου την δεκαετία του 1830 αποτέλεσε σταθμό στην ιστορία των τηλεπικοινωνιών μια και εισήγαγε τη χρήση του ηλεκτρισμού στις τηλεπικοινωνίες. Δεν πρέπει να μας διαφεύγει ότι και το φως είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα που διέπεται από τις ίδιες βασικές αρχές (εξισώσεις Maxwell). Με τη χρήση μάλιστα και νέων για την εποχή τεχνικών κωδικοποίησης όπως ο κώδικας Morse η ταχύτητα μετάδοσης των bit μπορούσε να αυξηθεί μέχρι και 10 b/sec περίπου, ενώ η χρήση ενδιάμεσων σταθμών αναμετάδοσης επέτρεψε επικοινωνίες σε αποστάσεις μέχρι και 1000 km περίπου. Είναι αξιοσημείωτο ότι το πρώτο υπερατλαντικό καλώδιο ξεκίνησε με



επιτυχία τη λειτουργία του μόλις το 1866. Η εφεύρεση του τηλεφώνου το 1876 ήρθε να σφραγίσει αυτήν την πρόοδο όπου ηλεκτρικά σήματα μεταφέρουν με αναλογικό τρόπο σήματα φωνής. Αυτό αποτέλεσε ουσιαστικά την έναρξη των αναλογικών τηλεπικοινωνιών που κυριάρχησαν ως τεχνολογία για ένα περίπου αιώνα.

Από το 1880 ο Alexander Graham Bell είχε αναφέρει τη μετάδοση φωνής χρησιμοποιώντας ακτίνες ορατού φωτός. Το φωτόφωνο όπως ονομάστηκε από τον ίδιο στηρίζονταν στη διαμόρφωση ακτίνων ηλιακού φωτός με τη βοήθεια διαφράγματος, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για μετάδοση φωνής σε απόσταση περίπου 200 m. Παρόλο που κάποιες, δειλές θα λέγαμε, έρευνες για την ανάπτυξη οπτικών επικοινωνιών συνεχίστηκαν και στα πρώτα χρόνια του 20ου αιώνα, η χρήση του ορατού φάσματος στις επικοινωνίες ήταν περιορισμένη σε ασύρματες ζεύξεις μικρής χωρητικότητας. Τα αίτια για την αδυναμία ανάπτυξης αξιόπιστων οπτικών επικοινωνιών οφείλονταν βασικά σε δύο λόγους: Ο ένας ήταν η έλλειψη τότε κατάλληλων πηγών φωτεινού σήματος. (Τα Lasers ανακαλύφθηκαν μόλις στη δεκαετία του 1960). Ο δεύτερος είναι ότι η διάδοση των φωτεινών σημάτων στην ατμόσφαιρα είναι περιορισμένη για σημεία με οπτική επαφή και επηρεάζεται δραστικά από την κατάσταση της ατμόσφαιρας όπως βροχή, ομίχλη, σκόνες, ανεμοστρόβιλοι κλπ.

Παρ' όλα τα παραπάνω προβλήματα, γνωρίζουμε βέβαια ότι ηλεκτρομαγνητικά κύματα (θυμίζουμε και πάλι ότι το φως είναι και αυτό ηλεκτρομαγνητικό κύμα) μεγαλύτερου μήκους κύματος (π.χ. ραδιοφωνικά, μικροκύματα) αποδείχθηκαν κατάλληλοι φορείς για μεταφορά πληροφορίας στην ατμόσφαιρα. Ο λόγος είναι ότι η διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μεγάλου μήκους κύματος επηρεάζεται λιγότερο από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.



Ανάλογα με το μήκος κύματός τους τα ηλεκτρομαγνητικά αυτά κύματα μπορούν να διαδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις στην ατμόσφαιρα. Η χωρητικότητα όμως των ασύρματων αυτών ζεύξεων είναι και πάλι περιορισμένη και εξαρτάται άμεσα από τη συχνότητά τους. Θεωρητικά είναι καλά τεκμηριωμένο ότι όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα του φέροντος, τόσο μεγαλύτερο γίνεται το διαθέσιμο εύρος ζώνης (bandwidth) και συνεπώς ανάλογα αυξάνει και η χωρητικότητα του τηλεπικοινωνιακού συστήματος (θεώρημα Shannon-Hartley). Για το λόγο αυτόν οι ράδιο-επικοινωνίες αναπτύχθηκαν στις υψηλότερες συχνότητες των VHF και UHF, ενώ αργότερα αναπτύχθηκε και η τεχνολογία των μικροκυματικών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Είναι λοιπόν φανερό ότι η δυνατότητα των επικοινωνιών σε οπτικές συχνότητες μπορεί να προσφέρει μια αύξηση του εύρους ζώνης κατά 10.000 φορές μεγαλύτερη αυτή των μικροκυματικών ζεύξεων.

Ανανεωμένο ενδιαφέρον για τις οπτικές επικοινωνίες ξαναπαρουσιάστηκε στην δεκαετία του 1960 κυρίως με την ανακάλυψη του laser. Το 1966 σχεδόν ταυτόχρονα οι C.Kao, G. Hockham και A. Werts πρότειναν τη χρήση διηλεκτρικών κυματοδηγών (οπτικές ίνες) κατασκευασμένοι από γυαλί για τη μετάδοση του τηλεπικοινωνιακού σήματος ευελπιστώντας με αυτόν το τρόπο να αποφύγουν τις αρνητικές επιδράσεις της ατμόσφαιρας στη διάδοση του οπτικού σήματος. Ο σκοπός αρχικά ήταν η απλή αντικατάσταση των χάλκινων ομοαξονικών καλωδίων. Το πρόβλημα της εξασθένησης όμως του οπτικού σήματος στις αρχικές οπτικές ίνες αποδείχθηκε ιδιαίτερα έντονο, με τις απώλειες του σήματος να είναι γύρω στα 1000 dB/Km, χωρίς να μπορούν καν να συγκριθούν με αυτές στα ομοαξονικά καλώδια (5-10 dB/Km), που υποτίθεται σκόπευαν να αντικαταστήσουν. Αξιοσημείωτο είναι ότι μέσα στα επόμενα δέκα χρόνια, συνεχείς προσπάθειες στην έρευνα



ελάττωσαν τις απώλειες στις οπτικές ίνες σε επίπεδα κάτω του 5 dB/Km, ενώ η ανακάλυψη του laser ημιαγωγού GaAs την ίδια περίοδο έδωσε καινούργια ώθηση και οδήγησε σε σοβαρές και επιτυχημένες προσπάθειες για την ανάπτυξη σύγχρονων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων οπτικών ινών.

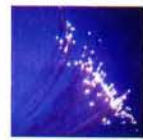
ΠΙΝΑΚΑΣ Ι: ΦΑΣΜΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Ζώνη συχνότητας	Όνομα ζώνης	Συντόμηση	Κύρια εφαρμογή
3Hz – 30Hz	Εξαιρετικά χαμηλή	ELF	Υποβρύχιες Επικοινωνίες
30Hz – 300Hz	Ultra-low	ULF	Υποβρύχιες Επικοινωνίες
300Hz – 3KHz	Infra-low	ILF	Τηλεφωνία βασικής ζώνης
3KHz – 30KHz	Very-low	VLF	Τηλεγραφία
30KHz – 300KHz	low	LF	Τηλεκατεύθυνση και ράδιο
300KHz – 3MHz	Μεσαία	MF	AM εκπομπή
3MHz – 30MHz	High	HF	AM world-wide radio
30MHz – 300MHz	Very High	VHF	FM εκπομπή
300MHz – 3GHz	Ultra High	UHF	TV εκπομπή
3GHz – 30GHz	Super High	SHF	Radar -Δορυφορικές επικο.
30GHz – 300GHz	Extremely high	EHF	Radar -radio astronomy
300GHz – 3THz	Τρομακτικά υψηλή	THF	Έρευνα
3THz – 30THz	Υπέρυθρο	IR	Οπτικές Επικοινωνίες

Πίνακας Ι. : Φάσμα Συχνοτήτων

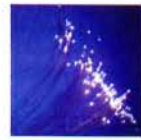
Τα πρώτα ολοκληρωμένα τηλεπικοινωνιακά συστήματα οπτικών ινών λειτούργησαν εμπορικά το 1980 σε μήκος κύματος $\lambda=0.8$ μm πετυχαίνοντας ρυθμό μετάδοσης 45 Mb/s, απαιτώντας επαναλήπτες του σήματος κάθε 10 Km.

Ήταν ήδη γνωστό ότι η απόσταση μεταξύ των επαναληπτών μπορούσε να αυξηθεί αν τα μήκη κύματος λειτουργίας αυτών των συστημάτων μετατοπίζονταν στα $\lambda=1.3$ μm όπου οι απώλειες και η διασπορά του σήματος στις οπτικές ίνες ήταν μικρότερες (κάτω του 1 dB/Km). Η νέα ώθηση στην τεχνολογία δόθηκε με την ανακάλυψη των laser και των φωτοανιχνευτών από ημιαγωγούς InGaAsP που λειτουργούσαν στην επιθυμητή περιοχή των 1.3 μm . Έτσι λοιπόν



δόθηκαν το 1987 σε εμπορική εφαρμογή οπτικά συστήματα στα $\lambda=1.3\mu\text{m}$ με ρυθμούς μετάδοσης τα 1.7Gb/s, απόσταση μεταξύ επαναληπτών περίπου 50 Km και απώλειες στην οπτική ίνα 0.5 dB/Km. Αξίζει να σημειώσουμε ότι οι οπτικές ίνες που χρησιμοποιούνταν στα συστήματα αυτά ήταν μονότροπες (ο όρος θα διευκρινισθεί σε επόμενα κεφάλαια).

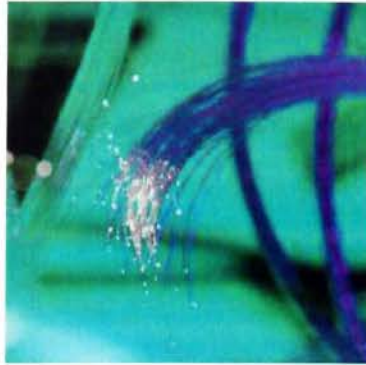
Από το 1979 είχε ανακαλυφθεί ότι οι απώλειες στις οπτικές ίνες ελαχιστοποιούνταν γύρω στα 1.55 μm και έφθαναν μόλις τα 0.2 dB/Km. Δυστυχώς όμως, κυρίως λόγω προβλημάτων αυξημένης διασποράς στις ίνες, καθυστέρησε η εμπορική λειτουργία τέτοιων συστημάτων μέχρι το 1990. Τα συστήματα αυτά επέτρεπαν ρυθμούς μετάδοσης 2.5 Gb/s, αλλά απαιτούσαν ηλεκτρονικούς αναγεννητές κάθε 60-80 Km. Νέα ώθηση στην ανάπτυξη των οπτικών τηλεπικοινωνιών δόθηκε με την αντικατάσταση των ηλεκτρονικών επαναληπτών από πλήρως οπτικούς ενισχυτές. Οι ηλεκτρονικοί επαναλήπτες απαιτούσαν μετατροπή σήματος από οπτικό σε ηλεκτρικό, κατόπιν γινόταν ηλεκτρονική ενίσχυση και αναγέννηση του σήματος και μετά το σήμα μετατρέπονταν πάλι σε οπτικό για να συνεχίσει στην οπτική ίνα. Παράλληλα, αναπτύχθηκε η τεχνική πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing – WDM), όπου έδωσε τη δυνατότητα παράλληλης μετάδοσης περισσότερων του ενός ροών πληροφορίας (bit streams) σε διαφορετικά μήκη κύματος η κάθε μία. Τα πρώτα υποθαλάσσια εμπορικά συστήματα οπτικών ινών WDM έκαναν της εμφάνισή τους από το 1996 με ρυθμό μετάδοσης στα 40 Gb/s. Ενδεικτικά αναφέρουμε το οπτικό καλώδιο TPC-6 που διασχίζει τον Ειρηνικό ωκεανό και λειτουργεί από το 2000 στα 100 Gb/s. Η έρευνα για την ανάπτυξη ακόμη πιο εξελιγμένων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων οπτικών ινών συνεχίζεται με ολοένα και εντονότερους



ρυθμούς με προβλήματα σαν κι αυτό της αντιμετώπισης της αυξημένης διασποράς στην ίνα να δεσπόζουν και να πιέζουν για άμεση λύση. Προς την κατεύθυνση αυτή, ανάμεσα στα άλλα, σύγχρονα πειράματα δείχνουν ότι η χρήση σολιτονίων υπόσχεται πολλά για επικοινωνίες πολύ μεγάλων αποστάσεων (πάνω από 35.000 Km) με πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.



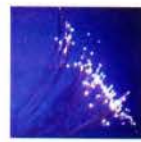
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ



Εικόνα 1. Οπτικές ίνες

Οι οπτικές ίνες φτιάχνονται από γυαλί το οποίο, με τη σειρά του, φτιάχνεται από άμμο — μια φτηνή πρώτη ύλη που είναι διαθέσιμη σε απεριόριστες ποσότητες. Η κατασκευή του γυαλιού ήταν γνωστή στους αρχαίους Αιγυπτίους, αλλά το γυαλί τους έπρεπε να μην είναι παχύτερο από 1 mm, διαφορετικά το φως δεν θα μπορούσε να το διαπεράσει. Γυαλί αρκετά διαφανές ώστε να είναι χρήσιμο για παράθυρα αναπτύχθηκε κατά την Αναγέννηση. Το γυαλί που χρησιμοποιείται για τις σύγχρονες οπτικές ίνες είναι τόσο διαφανές που, αν οι ωκεανοί ήταν γεμάτοι με αυτό αντί για νερό, ο βυθός της θάλασσας θα ήταν τόσο ορατός από την επιφάνεια της όσο είναι το έδαφος από ένα αεροπλάνο σε μια καθαρή μέρα.

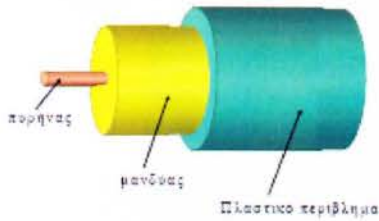
Η οπτική ίνα είναι ουσιαστικά ένας γυάλινος (διηλεκτρικό) κυματοδηγός με κυλινδρική διατομή. Το γυαλί (silica) από το οποίο κατασκευάζεται είναι εξαιρετικά μεγάλης καθαρότητας (συντελεστής διάθλασης $n=1.46$) και περιέχει ορισμένες προσμείξεις ιόντων που έχουν διαχυθεί με ελεγχόμενο τρόπο ώστε να ρυθμιστεί ο δείκτης



διάθλασης της ίνας σε εκείνη τη μορφή που θα μας δώσει τελικά τα επιθυμητά χαρακτηριστικά για την κυματοδήγηση των φωτεινών σημάτων. Αναλύοντας λεπτομερέστερα της δομή της οπτικής ίνας θα δούμε ότι αυτή αποτελείται από διάφορα στρώματα (σχήμα 1). Το κυλινδρικό εσωτερικό στρώμα αποτελεί τον πυρήνα (core). Ο πυρήνας περιβάλλεται από ένα στρώμα που ονομάζεται μανδύας (cladding). Για λόγους προστασίας αλλά και ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων της ίνας ο μανδύας καλύπτεται από προστατευτικό πλαστικό περίβλημα. Το τελικό καλώδιο που συναντάμε στις οπτικές τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων είναι μια συνάθροιση από πολλές οπτικές ίνες (με τη δομή που περιγράψαμε παραπάνω). Μερικά καλώδια μπορούν να περιέχουν και μέχρι 400 περίπου ίνες.

Όσον αφορά τις διαστάσεις των οπτικών ινών, αυτές εκφράζονται από το λόγο των διαμέτρων του πυρήνα προς τη διάμετρο του μανδύα. Έτσι μια οπτική ίνα με μέγεθος 50/125 έχει διάμετρο πυρήνα 50 μm και διάμετρο μανδύα 125 μm .

Μερικά τυποποιημένα μεγέθη οπτικών ινών είναι 9/125, 50/125, 62.5/125, 100/140. Στις οπτικές ίνες που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων, τόσο ο πυρήνας όσο και ο μανδύας είναι κατασκευασμένα συνήθως από συνθετικό γυαλί υψηλής καθαρότητας (SiO_2) στους οποίους έχουν προστεθεί κατάλληλες προσμείξεις ιόντων ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή διαφοροποίηση στον συντελεστή διάθλασής του πυρήνα από αυτό του μανδύα κατά $\Delta n=1\%$ περίπου, που απαιτείται για τη κυματοδήγηση του σήματος. Τυπικές τιμές συντελεστών διάθλασης είναι για τον πυρήνα $n_1=1.47$ και τον μανδύα $n_2=1.46$.

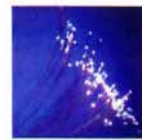


Σχήμα 1. Δομή οπτικής ίνας

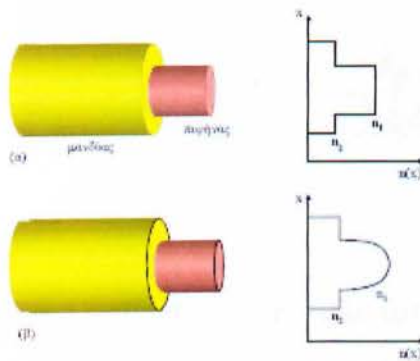
Πιο συνηθισμένες προσμείξεις που χρησιμοποιούνται είναι το γερμάνιο (Ge) και ο φώσφορος (P) που χρησιμοποιούνται κυρίως στον πυρήνα (αυξάνουν το συντελεστή διάθλασης του γυαλιού), και το βόριο (B) και το φθόριο (F) που

2.1. Είδη οπτικών ινών

Το προφίλ του δείκτη διάθλασης της ίνας, καθώς και οι διαστάσεις των διαμέτρων πυρήνα-μανδύα εξαρτώνται από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που θέλουμε να προσδώσουμε στην ίνα. Έτσι διακρίνουμε δύο είδη ινών σχετικά με το προφίλ του δείκτη διάθλασης: Τις οπτικές ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης και τις ίνες διαβαθμισμένου δείκτη διάθλασης (σχήμα 2). Στις ίνες βηματικού δείκτη έχουμε απότομη (βηματική) μεταβολή του δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα προς τον μανδύα, ενώ στις ίνες βαθμωτού δείκτη η μεταβολή αυτή είναι ομαλή. Οι λόγοι για τη διαφοροποίηση αυτή της μεταβολής του δείκτη διάθλασης θα γίνουν κατανοητοί σε επόμενες παραγράφους όπου θα συζητηθούν τα χαρακτηριστικά μετάδοσης των οπτικών ινών. Είδαμε νωρίτερα ότι η μεταφορά της ενέργειας του



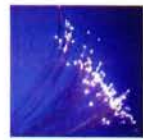
φωτεινού σήματος δια μέσου της ίνας υποστηρίζεται από διάφορους τρόπους διάδοσης. Κάθε τρόπος διάδοσης αντιστοιχεί και σε διαφορετική κατανομή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό της ίνας.



Σχήμα 2. Οπτικές ίνες (α) βηματικού δείκτη διάθλασης και (β) διαβαθμισμένου δείκτη διάθλασης

Αν στην οπτική ίνα υποστηρίζεται ένας τρόπος διάδοσης μιλάμε για μονότροπη οπτική ίνα, αν υποστηρίζονται περισσότεροι για πολύτροπη. Οι πολύτροπες ίνες έχουν κατώτερα χαρακτηριστικά λειτουργίας από τις μονότροπες, υποστηρίζουν μικρότερη ταχύτητα δεδομένων και απαντώνται σε επικοινωνίες μικρών αποστάσεων και εξειδικευμένες εφαρμογές (ενδοσκοπήσεις). Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να βελτιωθούν καταφεύγοντας σε διαβαθμισμένο δείκτη διάθλασης. Οι μονότροπες ίνες είναι αυτές που χρησιμοποιούνται για τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων.

Στο σχ. 3 βλέπουμε ότι στις ίνες διαβαθμισμένου δείκτη ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα μειώνεται σταδιακά από τη μέγιστη τιμή του στο κέντρο του πυρήνα n_1 ως την ελάχιστη τιμή n_2 στην διεπαφή πυρήνα-μανδύα. Οι περισσότερες οπτικές ίνες σχεδιάζονται έτσι ώστε το προφίλ



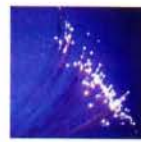
$n(x)$ του δείκτη διάθλασης να ακολουθεί την έκφραση όπου a είναι η ακτίνα του πυρήνα και $\Delta = (n_1 - n_2) / n_1$ η σχετική διαφορά δεικτών διάθλασης πυρήνα-μανδύα.

$$n(x) = \begin{cases} n_1[1 - \Delta(x/a)^2] & x \leq a \\ n_2 = n_1(1 - \Delta) & x \geq a \end{cases}$$

Σχήμα 3.

Η παράμετρος g καθορίζει το προφίλ του δείκτη διάθλασης. Ένα προφίλ βηματικού δείκτη διάθλασης προσεγγίζεται στο όριο μεγάλης τιμής g . Μια ίνα με παραβολικό προφίλ του δείκτη διάθλασης αντιστοιχεί για παράδειγμα σε $g=2$.

Οι πολύτροπες οπτικές ίνες λόγω των περιορισμένων επιδόσεών τους χρησιμοποιούνται σε λιγότερο απαιτητικές εφαρμογές στις οποίες δεν είναι επιθυμητή η μεγάλη οικονομική επένδυση. Έτσι λοιπόν για μείωση του κόστους κατασκευάζονται πολύτροπες οπτικές ίνες και από πλαστικές πρώτες ύλες, με εμφανείς κατώτερες επιδόσεις ως προς την ελάχιστη εξασθένιση (0.15 dB/m στα 650 nm για πλήρως πλαστική ίνα), το εύρος ζώνης και τη μικρή ανοχή στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Τέτοιες οπτικές ίνες έχουν μεγάλη σχετικά διάμετρο πυρήνα (μέχρι 1mm) γεγονός που επιτρέπει την εύκολη σύζευξη φωτός σ' αυτές. Βρίσκουν εκτεταμένη εφαρμογή στη μεταφορά φωτεινών σημάτων στην αυτοκινητοβιομηχανία, σε LAN και δομημένη καλωδίωση κτηρίων. Μάλιστα οι πλαστικές ίνες διαβαθμισμένου δείκτη αποτελούν ιδανική λύση για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ υπολογιστών σε τοπικά δίκτυα. Έχει ήδη επιδειχθεί η μεταφορά



σημάτων 10 Gb/s σε απόσταση 0.5 Km και BER=10⁻¹¹. Γενικότερα συναντούμε διάφορες κατηγορίες συνδυασμών ως προς τα υλικά κατασκευής πυρήνα - μανδύα στις πολύτροπες οπτικές ίνες, που επιγραμματικά συνοψίζονται στον πίνακα 2. Οι οπτικές ίνες γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα (Plastic Clad Silica – PCS) φθίνουν στη χρήση τους και τείνουν σήμερα να αντικατασταθούν από πλήρως πλαστικές ίνες (πλαστικός πυρήνας και μανδύας (Plastic Optical Fiber – POF).

Πίνακας 2. Κατηγορίες πολύτροπων οπτικών ινών

Κατηγορία	Υλικά	προφίλ
A1	Γυάλινος πυρήνας/γυάλινος Μανδύας	Βαθμιαίου δείκτη
A2	Γυάλινος πυρήνας/γυάλινος Μανδύας	Βηματικού δείκτη
A.3	Γυάλινος πυρήνας/πλαστικός Μανδύας	Βηματικού δείκτη
A.4	Πλαστική ίνα	

2.2 Διάδοση φωτός στις οπτικές ίνες

Για να μπορέσει να αντιληφθεί κάποιος το πως οι οπτικές ίνες επιλέχθηκαν και επικράτησαν τελικά, σε σύντομο χρονικό διάστημα, ως η πλέον αποτελεσματική γραμμή μεταφοράς σημάτων στις σύγχρονες τηλεπικοινωνίες, θα πρέπει πρώτα να μελετήσει τα διάφορα φαινόμενα που συνδέονται με τη διάδοση φωτεινού σήματος μέσα σε μια οπτική ίνα. Μια τέτοια μελέτη σίγουρα θα βοηθήσει και στην κατανόηση των τεράστιων δυνατοτήτων αλλά και των περιορισμών και προβλημάτων που παρουσιάζονται στην τεχνολογία των οπτικών ινών.

Η διάδοση του φωτός μέσα σ' ένα μέσο καθορίζεται από τον δείκτη διάθλασης του μέσου n . Αν το φως διαδίδεται στο κενό με τη

$$v = \frac{c}{n}$$

1 -



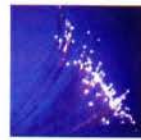
γνωστή ταχύτητα $c=3 \times 10^8$ m/s, τότε σ' ένα υλικό μέσο θα διαδίδεται με ταχύτητα

Πέρα από την ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο μέσο, ο δείκτης διάθλασης n καθορίζει και πληθώρα άλλων φαινομένων που ενδιαφέρουν άμεσα την τεχνολογία των οπτικών επικοινωνιών.

Μπορεί κανείς να μελετήσει τη διάδοση του φωτός σε ένα μέσο από δύο οπτικές γωνίες ανάλογα με την ακρίβεια της μελέτης που επιθυμεί: τη γεωμετρική οπτική και τη φυσική οπτική. Στην πρώτη περίπτωση θεωρεί ότι φωτεινές ακτίνες (γεωμετρικές γραμμές) διαδίδονται στο μέσο. Η θεώρηση αυτή είναι προσεγγιστική, αλλά δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν οι διαστάσεις του χώρου διάδοσης είναι πολύ μεγαλύτερες από το μήκος κύματος λ του φωτεινού σήματος. Το μεγάλο πλεονέκτημα όμως είναι ότι είναι ιδιαίτερα απλή και εποπτική. Η άλλη θεώρηση (φυσική οπτική) είναι αυτή που μας περιγράφει το φως ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα που διαδίδεται σε ένα μέσο, οπότε πρέπει να το μελετήσει κανείς στα πλαίσια της κυματικής. Είναι πιο δύσκολη προσέγγιση, αλλά είναι πιο ακριβής και αντιμετωπίζει με επιτυχία όλα τα προβλήματα της διάδοσης του σήματος ανεξαρτήτως διαστάσεων του μέσου.

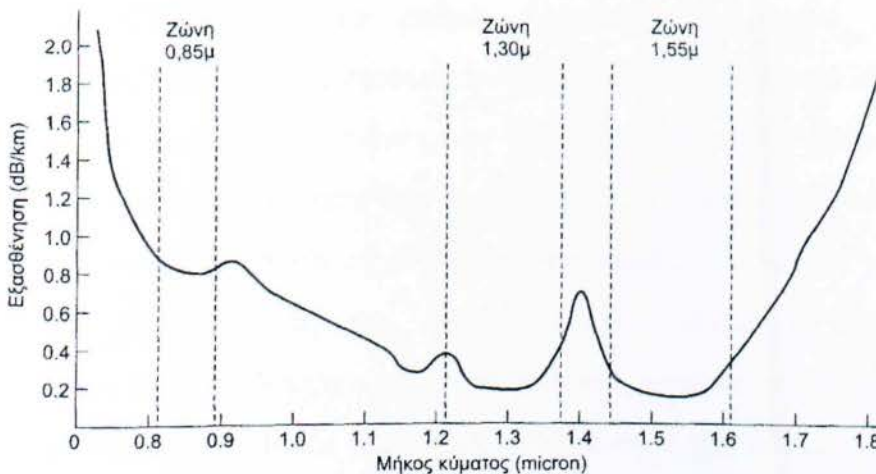
2.2.1 Μετάδοση του φωτός μέσω οπτικών ινών

Η εξασθένιση του φωτός μέσα στις οπτικές ίνες εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός (καθώς και από μερικές φυσικές ιδιότητες του γυαλιού). Για το είδος του γυαλιού που χρησιμοποιείται στις οπτικές ίνες, η εξασθένιση δίνεται στην Εικόνα 2 σε ντεσιμπέλ ανά γραμμικό χιλιόμετρο οπτικής ίνας. Η εξασθένιση σε ντεσιμπέλ δίνεται από τον τύπο



$$\text{Εξασθένηση σε decibel} = 10 \log_{10} \frac{\text{μεταδιδόμενη ενέργεια}}{\text{λαμβανόμενη ενέργεια}}$$

Για παράδειγμα, ένας παράγοντας απώλειας της τάξης του δύο δίνει εξασθένηση $10 \log_{10} 2 = 3 \text{ dB}$. Στην εικόνα φαίνεται το εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος, το οποίο είναι αυτό που χρησιμοποιείται στην πράξη. Το ορατό φως έχει κάπως βραχύτερα μήκη κύματος, από 0,4 έως 0,7 micron (το 1 micron είναι 10^{-6} μέτρα). Οι πραγματικοί πιστοί του μετρικού συστήματος θα αναφέρονταν σε αυτά τα μήκη κύματος ως 400 nm μέχρι 700 nm, εμείς όμως θα ακολουθήσουμε την παραδοσιακή ορολογία.



Εικόνα 2-6. Εξασθένηση του φωτός μέσα σε οπτικές ίνες στην υπέρυθρη περιοχή.

Εικόνα 2.



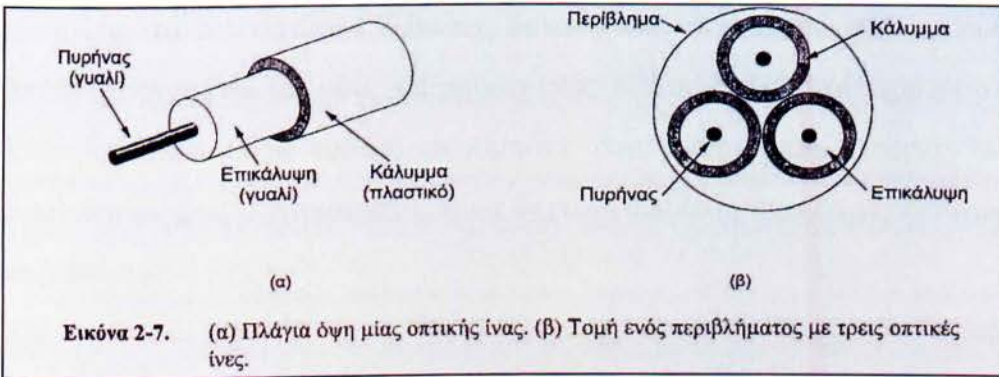
Στις οπτικές επικοινωνίες χρησιμοποιούνται τρεις ζώνες μηκών κύματος. Τα κέντρα τους είναι στα 0,85, 1,30, και 1,55 micron, αντίστοιχα. Οι δύο τελευταίες ζώνες έχουν καλές ιδιότητες εξασθένησης (απώλειες κάτω από 5 τοις εκατό ανά χιλιόμετρο). Η ζώνη των 0,85 micron έχει υψηλότερη εξασθένηση, αλλά σε αυτό το μήκος κύματος και τα λέιζερ και τα ηλεκτρονικά μπορούν να κατασκευαστούν από το ίδιο υλικό (αρσενικούχο γάλλιο). Και οι τρεις ζώνες έχουν εύρος από 25.000 έως 30.000 GHz.

Οι παλμοί φωτός που στέλνονται μέσω μιας οπτικής ίνας εκτείνονται κατά πλάτος καθώς διαδίδονται. Αυτή η επέκταση ονομάζεται χρωματική διασπορά (chromatic dispersion), και το μέγεθος της εξαρτάται από το μήκος κύματος. Ένας τρόπος για να αποφευχθεί η αλληλοεπικάλυψη των παλμών λόγω της επέκτασης τους είναι να αυξήσουμε την απόσταση μεταξύ τους, αλλά αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο αν ελαττώσουμε το ρυθμό παραγωγής σημάτων. Έχει ανακαλυφθεί ότι αν δημιουργήσουμε τους παλμούς με ένα ειδικό σχήμα το οποίο σχετίζεται με το αντίστροφο του υπερβολικού συνημίτονου όλα σχεδόν τα αποτελέσματα της διασποράς θα αλληλοακυρώνονται, έτσι είναι δυνατή η αποστολή παλμών για χιλιάδες χιλιόμετρα χωρίς σημαντική παραμόρφωση του σχήματος τους. Αυτοί οι παλμοί ονομάζονται solitons. Υπάρχει σημαντικός όγκος έρευνας που στοχεύει στο να μεταφέρει τα solitons από το εργαστήριο στον έξω κόσμο.

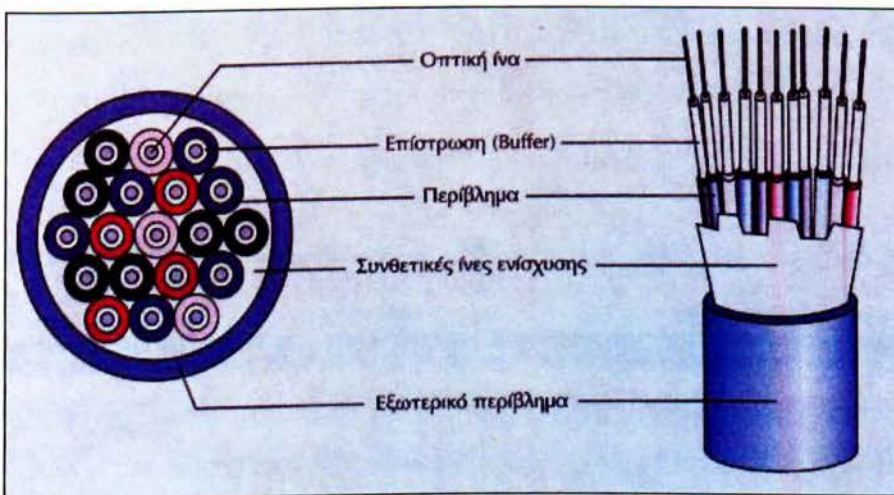


2.3. Καλώδια οπτικών ινών

Τα καλώδια οπτικών ινών είναι παρόμοια με τα ομοαξονικά καλώδια, με εξαίρεση το πλέγμα. Η Εικόνα 3(α) δείχνει μια οπτική ίνα όπως φαίνεται από το πλάι. Στο κέντρο βρίσκεται ένας γυάλινος πυρήνας μέσω του οποίου διαδίδεται το φως. Στις πολύτροπες ίνες ο πυρήνας έχει συνήθως διάμετρο 50 micron, δηλαδή έχει περίπου το πάχος μιας ανθρώπινης τρίχας. Στις μονότροπες ίνες ο πυρήνας έχει διάμετρο 8 έως 10 micron.



Εικόνα 3.



Εικόνα 4. Καλώδιο οπτικών ινών (Loose Buffer)

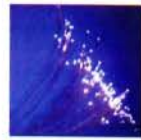


Ο πυρήνας περικλείεται από μια γυάλινη επικάλυψη η οποία έχει χαμηλότερη δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα, έτσι ώστε όλο το φως να παραμένει στον πυρήνα. Στη συνέχεια υπάρχει ένα λεπτό πλαστικό κάλυμμα, για προστασία της επικάλυψης. Οι οπτικές ίνες συνήθως ομαδοποιούνται σε δέσμες οι οποίες προστατεύονται από ένα εξωτερικό περίβλημα. Η εικόνα 2(β) δείχνει ένα περίβλημα με τρεις ίνες.

Τα χερσαία περιβλήματα οπτικών ινών τοποθετούνται συνήθως στο έδαφος σε βάθος ενός μέτρου από την επιφάνεια, όπου καμιά φορά δέχονται επιθέσεις από εκσκαφείς ή αρουραίους. Τα περιβλήματα των οπτικών ινών που διατρέχουν τον ωκεανό κοντά στην ακτή θάβονται σε τάφρους με χρήση ενός είδους θαλάσσιου αρότρου. Στα βαθύτερα νερά απλώς ακουμπάνε στο βυθό, όπου μπορεί να σκαλώσουν στις μηχανότρατες ή να δεχτούν επίθεση από τα γιγαντιαία καλαμάρια.

Οι οπτικές ίνες μπορούν να διασυνδεθούν με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Καταρχήν, μπορεί να τερματίζονται με συζευκτήρες και να συνδέονται σε υποδοχές οπτικών ινών. Οι συζευκτήρες χάνουν γύρω στο 10 με 20 τοις εκατό του φωτός, αλλά διευκολύνουν την αναδιευθέτηση των συστημάτων.

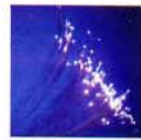
Δεύτερον, μπορούν να συγκολληθούν μηχανικά. Τα εξαρτήματα μηχανικής συγκόλλησης απλώς τοποθετούν τα δύο προσεκτικά κομμένα άκρα το ένα δίπλα στο άλλο μέσα σε ένα ειδικό κάλυμμα, και τα σφίγγουν στη σωστή θέση. Μπορούμε να βελτιώσουμε την ευθυγράμμιση στέλνοντας φως μέσω της ένωσης και κάνοντας μετά λεπτομερείς ρυθμίσεις έτσι ώστε να μεγιστοποιήσουμε το σήμα. Οι μηχανικές συγκολλήσεις γίνονται σε 5 περίπου λεπτά από εκπαιδευμένο προσωπικό, και οδηγούν σε απώλεια φωτός 10%.



Τρίτον, δύο τμήματα οπτικής ίνας μπορούν να τηχθούν (να λιώσουν) έτσι ώστε να σχηματίσουν μια συμπαγή σύνδεση. Η συγκόλληση τήξης είναι σχεδόν το ίδιο καλή με μια μονοκόμματη οπτική ίνα, αλλά ακόμη και εδώ υπάρχει ένα μικρό ποσοστό εξασθένησης.

Και στα τρία είδη συγκολλήσεων μπορεί να έχουμε ανακλάσεις στο σημείο συγκόλλησης, και η ανακλώμενη ενέργεια μπορεί να παρεμβάλλεται στο σήμα.

Για τη σηματοδοσία χρησιμοποιούνται συνήθως δύο είδη πηγών φωτός, τα LED (Φωτοεκπέμπουσες Δίοδοι, Light Emitting Diodes) και τα λέιζερ ημιαγωγών. Οι ιδιότητες τους διαφέρουν, όπως φαίνεται στην εικόνα 4. Μπορούμε να συντονίσουμε τις πηγές αυτές στο κατάλληλο μήκος κύματος χρησιμοποιώντας ιντερφερόμετρα Fabry-Perot ή Mach-Zehnder ανάμεσα στην πηγή και στην οπτική ίνα. Τα ιντερφερόμετρα Fabry-Perot είναι απλές αντηχούσες κοιλότητες που αποτελούνται από δύο παράλληλους καθρέπτες. Το φως προσπίπτει κάθετα στους καθρέπτες. Το μήκος της κοιλότητας επιλέγει μόνο τα μήκη κύματος που χωρούν μέσα του έναν ακέραιο αριθμό φορών. Τα ιντερφερόμετρα Mach-Zehnder διαχωρίζουν το φως σε δύο ακτίνες. Οι δύο αυτές ακτίνες ταξιδεύουν κατά ελαφρώς διαφορετικές αποστάσεις. Στο τέλος συνδυάζονται ξανά και έχουν την ίδια φάση μόνο για ορισμένα μήκη κύματος.



Ιδιότητα	LED	Λείζερ ημιαγωγών
Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων	Χαμηλός	Υψηλός
Τύπος οπτικής ίνας	Πολύτροπη	Πολύτροπη ή μονότροπη
Απόσταση	Μικρή	Μεγάλη
Διάρκεια ζωής	Μεγάλη ζωή	Μικρή ζωή
Ευαισθησία στη θερμοκρασία	Μικρή	Σημαντική
Κόστος	Χαμηλό	Υψηλό

Σύγκριση των λείζερ ημιαγωγών και των LED ως πηγών φωτός.

Εικόνα 4.

Το άκρο λήψης μιας οπτικής ίνας αποτελείται από μια φωτοδίοδο, η οποία παράγει έναν ηλεκτρικό παλμό όταν πέφτει πάνω της φως. Ο τυπικός χρόνος απόκρισης μιας φωτοδίοδου είναι 1 nsec, γεγονός που περιορίζει τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στο 1 Gbps περίπου. Ο θερμικός θόρυβος είναι άλλο ένα ζήτημα, έτσι ένας παλμός φωτός πρέπει να περιέχει αρκετή ενέργεια προκειμένου να ανιχνευθεί. Αν κάνουμε τους παλμούς αρκετά ισχυρούς, μπορούμε να μειώσουμε στο επιθυμητό επίπεδο το ποσοστό σφαλμάτων.

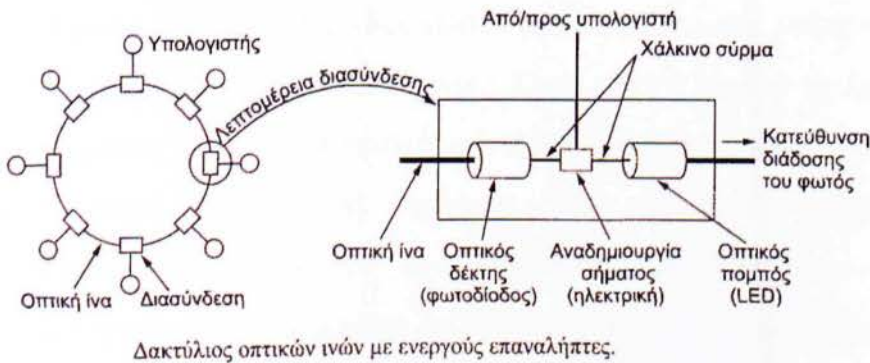
2.4. Δίκτυα οπτικών ινών

Οι οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για LAN και για μεταδόσεις σε μεγάλες αποστάσεις, αν και η σύνδεση με αυτές είναι πιο περίπλοκη από τη σύνδεση σε ένα δίκτυο Ethernet. Ένας τρόπος παράκαμψης του προβλήματος αυτού είναι να κατανοήσουμε ότι ένα δίκτυο δακτυλίου είναι στην πραγματικότητα μια απλή συλλογή



γραμμών από σημείο σε σημείο, όπως φαίνεται στην εικόνα 5. Η διασύνδεση δικτύου κάθε υπολογιστή μεταβιβάζει τη ροή των παλμών φωτός στην επόμενη γραμμή, λειτουργώντας και σαν διασταύρωση η οποία επιτρέπει στον υπολογιστή να στέλνει και να δέχεται μηνύματα.

Χρησιμοποιούνται δύο είδη διασυνδέσεων. Η παθητική διασύνδεση αποτελείται από δύο διασταυρώσεις που έχουν τηχθεί με την κύρια ίνα. Η μία διασταύρωση έχει ένα LED ή μια δίοδο λέιζερ στο άκρο της (για μετάδοση) και η άλλη έχει μια φωτοδίοδο (για λήψη). Η ίδια η σύνδεση είναι εντελώς παθητική, οπότε είναι εξαιρετικά αξιόπιστη αφού ένα χαλασμένο LED ή φωτοδίοδος δεν καταστρέφει το δακτύλιο. Απλώς βγάζει τον υπολογιστή εκτός επικοινωνίας.



Εικόνα 5.

Το άλλο είδος διασύνδεσης, το οποίο φαίνεται στην εικόνα 5, είναι ο ενεργός επαναλήπτης (active repeater). Το εισερχόμενο φως μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα, αναδημιουργείται με την πλήρη του ισχύ αν είχε εξασθενήσει, και αναμεταδίδεται ως φως. Η διασύνδεση με τον υπολογιστή είναι ένα απλό χάλκινο σύρμα που συνδέεται με το τμήμα αναδημιουργίας σήματος. Τώρα πια χρησιμοποιούνται επίσης και



καθαρά οπτικοί επαναλήπτες. Οι συσκευές αυτές δεν απαιτούν μετατροπές του σήματος από οπτικό σε ηλεκτρικό και ξανά σε οπτικό, γεγονός που σημαίνει ότι μπορούν να λειτουργούν σε εξαιρετικά υψηλό εύρος ζώνης.

Αν αποτύχει ένας ενεργός επαναλήπτης, ο δακτύλιος σπάει και το δίκτυο καταρρέει. Από την άλλη πλευρά, αφού το σήμα αναδημιουργείται σε κάθε διασύνδεση, κάθε σύνδεση από υπολογιστή σε υπολογιστή μπορεί να έχει μήκος χιλιομέτρων, χωρίς ουσιαστικό όριο ως προς το συνολικό μέγεθος του δακτυλίου. Οι παθητικές διασυνδέσεις χάνουν φως σε κάθε διασταύρωση, έτσι το πλήθος των υπολογιστών και το συνολικό μήκος του δακτυλίου περιορίζονται κατά πολύ.

Η τοπολογία δακτυλίου δεν είναι ο μοναδικός τρόπος κατασκευής ενός δικτύου με τη χρήση οπτικών ινών. Είναι επίσης δυνατό να έχουμε εκπομπή μέσω υλικού χρησιμοποιώντας τη δομή παθητικού αστέρα (passive star). Σε αυτή τη σχεδίαση, κάθε διασύνδεση δικτύου χρησιμοποιεί μια οπτική ίνα που εκτείνεται από τον πομπό της διασύνδεσης μέχρι έναν κύλινδρο από πυρίτιο, με όλες τις εισερχόμενες ίνες να τήκονται στο ένα άκρο του κυλίνδρου. Παρόμοια, οι ίνες που τήκονται στο άλλο άκρο του κυλίνδρου εκτείνονται μέχρι κάθε έναν από τους δέκτες των διασυνδέσεων. Όποτε μια διασύνδεση εκπέμπει έναν παλμό φωτός, αυτή διαχέεται μέσα στον παθητικό αστέρα φωτίζοντας όλους τους δέκτες, πετυχαίνοντας έτσι μετάδοση με εκπομπή. Ουσιαστικά, ο παθητικός αστέρας συνδυάζει όλα τα εισερχόμενα σήματα και μεταδίδει το συγχωνευμένο αποτέλεσμα σε όλες τις γραμμές. Αφού η εισερχόμενη ενέργεια διαιρείται ανάμεσα σε όλες τις εξερχόμενες γραμμές, το πλήθος των κόμβων του δικτύου περιορίζεται από την ευαισθησία των φωτοδιόδων.



2.5. Χαρακτηριστικά μετάδοσης οπτικών ινών

Τα πιο σημαντικά τεχνικά χαρακτηριστικά στοιχεία μετάδοσης μιας οπτικής ίνας είναι

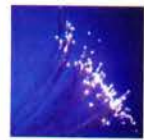
- η εξασθένιση (απώλειες) του σήματος και
- η διασπορά.

Η εξασθένιση του σήματος καθορίζει άμεσα τη μέγιστη απόσταση της τηλεπικοινωνιακής ζεύξης που επιτρέπει η χρήση της οπτικής ίνας, ενώ η διασπορά το μέγιστο ρυθμό πληροφορίας (bit rate) που μπορεί να διακινήσει, ήτοι το μέγιστο χρήσιμο εύρος ζώνης (bandwidth) της ίνας.

2.5.1 Εξασθένιση σήματος

Είναι από τους πλέον σημαντικούς παράγοντες που οδήγησαν στην ευρεία αποδοχή των οπτικών ινών ως γραμμές μεταφοράς πληροφορίας στις τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις και, κατά μέγα μέρος, καθορίζει την μέγιστη απόσταση στην οποία απαιτείται αναγέννηση και ενίσχυση του σήματος. Το ιδιαίτερο τεχνολογικό ενδιαφέρον των οπτικών ινών στις τηλεπικοινωνίες ουσιαστικά ξεκίνησε όταν οι συνολικές απώλειες έπεσαν κάτω του 5 dB/Km, που είναι αυτές που συναντάμε συνήθως στους μεταλλικούς αγωγούς. Η εξασθένιση της ισχύος του σήματος στο εσωτερικό της ίνας δίνεται από τη σχέση:

$$(dP/dz) - (-\alpha P)$$



όπου α είναι ο συντελεστής εξασθένισης και P η οπτική ισχύς του σήματος. Η λύση της παραπάνω διαφορικής εξίσωσης πρώτης τάξης είναι

$$P_0 - P_1 e^{-\alpha L}$$

όπου P_1 η οπτική ισχύς εισόδου στην ίνα και P_0 η ισχύς εξόδου και L το μήκος της. Συνήθως στις τηλεπικοινωνίες οπτικών ινών οι απώλειες εκφράζονται σε dB/Km και ο συντελεστής εξασθένισης γράφεται εναλλακτικά

$$\alpha(\text{dB}) = (-10/L) \log_{10} P_0 / P_1$$

Διάφοροι μηχανισμοί είναι υπεύθυνοι για την εξασθένιση του σήματος στην οπτική ίνα και οφείλονται στην απορρόφηση του υλικού της ίνας, σε σκεδάσεις στο εσωτερικό της ίνας (διακρίνουμε γραμμικές και μη γραμμικές σκεδάσεις), απώλειες από μικροκάμψεις, στη σύζευξη των τρόπων διάδοσης η οποία μπορεί να οδηγήσει σε τρόπους που διαρρέουν από την ίνα (μη κυματοδηγούμενοι). Τέλος, απώλειες έχουμε και στα σημεία συνενώσεων δύο οπτικών ινών (splices), στους συνδετήρες (connectors), στους διακλαδωτές και συγκεντρωτές οπτικών ινών.

2.5.2 Απορρόφηση υλικού

Η απορρόφηση οπτικής ισχύος από το υλικό της ίνας είναι ένας μηχανισμός απώλειας σήματος που σχετίζεται με τη σύνθεση του υλικού της ίνας και την τεχνική παραγωγής της. Η οπτική ισχύς που



απορροφάται οδηγεί σε θέρμανση της ίνας. Η απορρόφηση του φωτός μπορεί να είναι ενδογενής (intrinsic) ή εξωγενής (extrinsic).

2.5.3 Απώλειες λόγω γραμμικών σκεδάσεων

Οι μηχανισμοί γραμμικής σκέδασης του φωτεινού σήματος προκαλούν τη μεταφορά μέρους ή όλης της οπτικής ισχύος ενός τρόπου διάδοσης σε άλλον τρόπο διάδοσης. Η μεταφορά αυτή της ισχύος γίνεται με τρόπο γραμμικό, υπό την έννοια ότι η μεταφορά είναι ανάλογη της ισχύος του τρόπου διάδοσης και ότι δεν έχουμε αλλαγή συχνότητας κατά την σκέδαση. Η διαδικασία αυτή συνήθως οδηγεί σε εξασθένιση σήματος διότι ο τρόπος διάδοσης στον οποίο μεταφέρεται η οπτική ισχύς με την σκέδαση μπορεί να μην ανήκει στους καθοδηγούμενους από την ίνα τρόπους διάδοσης και να διαρρέει στο εξωτερικό της (leaky or radiated mode). Τα φαινόμενα γραμμικής σκέδασης οφείλονται στις ατελείς φυσικές ιδιότητες της οπτικής ίνας και διακρίνονται σε δύο κύριους τύπους:

- σκέδαση Rayleigh και
- Mie.

2.5.3.1. Σκέδαση Rayleigh

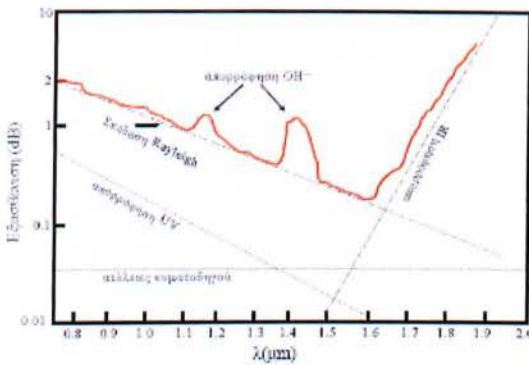
Αποτελεί έναν από τους πλέον σημαντικούς μηχανισμούς εξασθένισης σήματος και οφείλεται στη σκέδαση του φωτός από ανομοιογένειες του υλικού που έχουν διαστάσεις πολύ μικρότερες του μήκους κύματος της ακτινοβολίας και είναι τυχαία διασπαρμένες. Αυτές οι ανομοιογένειες εμφανίζονται σαν διαταραχές του δείκτη διάθλασης και οφείλονται σε διακυμάνσεις στην πυκνότητα και τη σύνθεση του



υλικού, οι οποίες «παγώνουν» στο γυαλί, καθώς αυτό κρυώνει κατά την παραγωγή του. Διακυμάνσεις στην σύνθεση του υλικού μπορούν να αντιμετωπισθούν κάπως βελτιώνοντας τη διαδικασία παραγωγής, αλλά διαταραχές του δείκτη διάθλασης, λόγω παγωμένων ανομοιογενειών στην πυκνότητα του υλικού, πάντα υπάρχουν και δεν μπορούν να εξαλειφθούν τελείως. Η σκέδαση Rayleigh λαμβάνει χώρα προς όλες τις κατευθύνσεις και η έντασή της μπορεί να γραφεί ως $\gamma_R=C/\lambda^4$, όπου C σταθερά, και είναι της τάξης του 0.12-0.16 dB/Km για $\lambda=1.55\mu\text{m}$ (σχήμα 4).

2.5.3.2 Σκέδαση Mie

Πρόκειται για γραμμική σκέδαση του φωτεινού σήματος από ανομοιογένειες του υλικού οι οποίες έχουν διαστάσεις της τάξης του μήκους κύματος του κυματοδηγούμενου σήματος. Οι ανομοιογένειες αυτές ουσιαστικά οφείλονται σε ατέλειες του κυματοδηγού (σχήμα 4) όπως ανωμαλίες στην ενδοεπιφάνεια πυρήνα-μανδύα, τυχαίες διακυμάνσεις της ακτίνας του πυρήνα, ανομοιογένειες του δείκτη διάθλασης, τάσεις και μικροφουσαλίδες στο υλικό του γυαλιού. Η σκέδαση Mie λαμβάνει κυρίως χώρα στην κατεύθυνση προώθησης (forward scattering). Βελτιώνοντας τις τεχνικές παραγωγής της ίνας μπορούμε να ελαττώσουμε και την επίπτωση της σκέδασης Mie.



Σχήμα 4. Φάσμα απορρόφησης οπτικής ισχύος σε οπτική ίνα

2.5.4 Απώλειες από μικροκάμψεις

Μια άλλη πηγή απώλειας σκέδασης οφείλεται στις κάμψεις της οπτικής ίνας. Το γεγονός γίνεται πιο κατανοητό στη γλώσσα της γεωμετρικής οπτικής των φωτεινών ακτίνων. Η συνθήκη ολικής ανάκλασης (γωνία πρόσπτωσης στην ενδοεπιφάνεια πυρήνα μανδύα μεγαλύτερη της κρίσιμης γωνίας) μπορεί να πάψει να ισχύει όταν η ακτίνα προσκρούσει την ενδοεπιφάνεια στην περιοχή κάμψης (λύγισμα) της ίνας πέρα από ένα όριο καμπυλότητας. Στην περίπτωση αυτή η γωνία πρόσπτωσης γίνεται μικρότερη της κρίσιμης γωνίας και η φωτεινή ακτίνα διαφεύγει έξω της ίνας. Η απώλεια λόγω κάμψης δίνεται από τη σχέση

$$A - C_1 e^{-C_2 R}$$

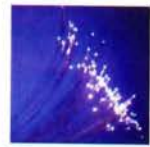


όπου R είναι η ακτίνα της κάμψης και $C1$ και $C2$ σταθερές. Τυπικά οι απώλειες λόγω κάμψης είναι αμελητέες για ακτίνα κάμψης $R > 5\text{mm}$.

Επειδή οι περισσότερες κάμψεις υπερβαίνουν τα $R=5\text{mm}$ οι απώλειες αυτές είναι πρακτικά αγνοήσιμες. Σημαντική όμως απώλεια σήματος έχουμε κυρίως όταν η ίνα βρίσκεται σε καλωδιακή μορφή, στοιβαγμένη με άλλες ίνες και πιεζόμενη σε τραχεία και μη ομαλή επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή έχουμε μικροκάμψεις της ίνας με ακτίνα καμπυλότητας μικρότερη του παραπάνω ορίου, που οδηγούν σε απώλεια σήματος. Οι απώλειες αυτές ονομάζονται απώλειες μικροκάμψης και προκαλούν απώλειες τόσο στις πολύτροπες όσο και στις μονότροπες ίνες. Αν δεν λάβουμε μέτρα για τη μείωσή τους μπορούν να οδηγήσουν σε υπερβολικά μεγάλες απώλειες μέχρι και 100dB/Km , πράγμα που σημαίνει ότι σε τέτοια περίπτωση το εν λόγω καλώδιο οπτικής ίνας πρέπει να αντικατασταθεί. Στις μονότροπες ίνες μπορούμε να περιορίσουμε τις απώλειες σχεδιάζοντας έτσι την ίνα (να έχει αριθμό $V < 2.405$) ώστε η ενέργεια του τρόπου μετάδοσης να περιορίζεται κυρίως μέσα στον πυρήνα.

2.5.5. Απώλειες λόγω μη γραμμικών σκεδάσεων

Οι οπτικές ίνες δεν συμπεριφέρονται πάντα σαν απόλυτα γραμμικά κανάλια, με την έννοια ότι η ισχύς εξόδου του σήματος να είναι ανάλογη της ισχύος εισόδου στην ίνα. Όταν η οπτική ισχύς στην ίνα ανέλθει σε μεγάλα επίπεδα, διάφορα μη γραμμικά φαινόμενα λαμβάνουν χώρα, που όταν συνδυάζονται με σκέδαση, οδηγούν σε μεγάλες απώλειες σήματος. Αυτές οι μη γραμμικές σκεδάσεις προκαλούν τη μεταφορά ισχύος στην κατεύθυνση προώθησης ή στην ανάστροφη κατεύθυνση του ίδιου ή διαφορετικού τρόπου διάδοσης σε



διαφορετική όμως συχνότητα. Η ένταση των μη γραμμικών φαινομένων εξαρτάται δραστικά από την οπτική ισχύ του σήματος εισόδου και λαμβάνουν χώρα μόνο πάνω από κάποιο κατώφλι επιπέδου ισχύος. Οι πιο σημαντικές μη γραμμικές σκεδάσεις είναι η εξαναγκασμένη σκέδαση Raman και η εξαναγκασμένη σκέδαση Brillouin. Παρατηρούνται σε υψηλά επίπεδα ισχύος σήματος και σε οπτικές ίνες μεγάλων αποστάσεων. Συνεισφέρουν στην εξασθένηση σήματος σε ένα μήκος κύματος αλλά ταυτόχρονα μπορούν να δώσουν ενίσχυση σήματος σε άλλο μήκος κύματος. Έτσι λοιπόν μπορούν να αξιοποιηθούν σε οπτικούς ενισχυτές στα σύγχρονα δίκτυα οπτικών ινών.

2.5.6. Διασπορά

Οι διάφοροι μηχανισμοί διασποράς στην οπτική ίνα έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα τη διεύρυνση του πλάτους των φωτεινών παλμών καθώς αυτοί ταξιδεύουν στην ίνα. Παρατηρούμαι τα εξής είδη διασποράς :

- χρωματική διασπορά
- διασπορά των τρόπων διάδοσης
- διασπορά των τρόπων πόλωσης

2.5.7 Θόρυβος στις οπτικές επικοινωνίες

Το πρόβλημα του θορύβου στις οπτικές επικοινωνίες είναι σημαντικά υποδεέστερο από ότι στις ηλεκτρονικές. Αυτό οφείλεται κατά μέγα μέρος στο ότι τα φωτόνια δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους όπως τα ηλεκτρόνια. Η οπτική γραμμή μεταφοράς είναι απαλλαγμένη από προβλήματα ηλεκτρονικών παρεμβολών, γείωσης ή άλλων



παρασιτικών ηλεκτρικών σημάτων που θα χειροτέρευαν το λόγο σήματος-προς-θόρυβο (SNR). Γενικά μπορούμε να κατατάξουμε δύο κατηγορίες θορύβου στα οπτικά συστήματα τηλεπικοινωνιών:

- τον προσθετικό θόρυβο και
- τον πολλαπλασιαστικό.

Στον προσθετικό θόρυβο ανήκουν εκείνες οι συνιστώσες του θορύβου που παραμένουν και όταν ακόμα το σύστημα δεν ανταλλάσσει μηνύματα μεταξύ πομπού και δέκτη. Τυπικό τέτοιο παράδειγμα είναι ο θερμικός θόρυβος, οποίος οφείλεται στη τυχαία, «θερμική» κίνηση των ηλεκτρονίων στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα του πομπού και του δέκτη. Φυσικά, απουσιάζει πλήρως από τα οπτικά δομικά στοιχεία του δικτύου. Στον πολλαπλασιαστικό θόρυβο ανήκουν εκείνες οι περιπτώσεις θορύβου οι οποίες παύουν να υπάρχουν όταν σταματήσει η ανταλλαγή σημάτων πληροφορίας μεταξύ πομπού και δέκτη. Σε μια οπτική ίνα οι δύο κύριες συνιστώσες του πολλαπλασιαστικού θορύβου είναι ο θόρυβος των τρόπων διάδοσης και ο θόρυβος διαμοιρασμού των τρόπων διάδοσης.

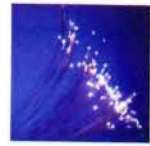
Θόρυβος των τρόπων διάδοσης: Συναντάται στη διεθνή βιβλιογραφία με τον όρο modal noise ή speckle noise. Παρατηρείται κυρίως σε πολύτροπες ίνες που τροφοδοτούνται από οπτικές πηγές πολύ στενού φασματικού εύρους (σύμφωνες πηγές), όπως π.χ. lasers στενής ζώνης. Καθώς η φωτεινή ενέργεια μεταδίδεται από διάφορους τρόπους διάδοσης στην ίνα, αυτοί συμβάλλουν μεταξύ τους και το αποτέλεσμα είναι σε μια κάθετη διατομή της ίνας το διάγραμμα συμβολής των τρόπων να φαίνεται με τη μορφή διάσπαρτων κηλίδων (speckles).

Οποιαδήποτε, μικρή μεταβολή μιας παραμέτρου της γραμμής ζεύξης, όπως πίεση στην ίνα, κάμψη, θερμοκρασία, τρύλλισμα συχνότητας του laser, ασυνέχειες σε συνδετήρες κλπ, θα μεταβάλλει τις



συνθήκες συμβολής των τρόπων διάδοσης. Αμεσο αποτέλεσμα είναι η μεταβολή του διαγράμματος των κηλίδων, ήτοι της κατανομής της φωτεινής ενέργειας στη διατομή της ίνας. Αυτή η τυχαία μεταβολή ανιχνεύεται από τον δέκτη ως θόρυβος. Είναι φυσικό να αναμένει κανείς ότι σε συχνότητες της τάξης των THz και για μεγάλες αποστάσεις θα υπάρχουν πάντα τέτοιες μικροσκοπικές αλλαγές που θα μεταβάλλονται χρονικά, δίνοντας γένεση στον θόρυβο κηλίδας.

Μπορούμε να αντιμετωπίσουμε τον θόρυβο των τρόπων διάδοσης χρησιμοποιώντας μονότροπη οπτική ίνα. Όταν η χρήση πολύτροπων ινών είναι αναπόφευκτη, μια λύση είναι η χρήση φωτεινής πηγής μεγάλου εύρους φάσματος εκπομπής (ασύμφωνη πηγή), όπως LED, ώστε να υποβαθμιστεί το διάγραμμα συμβολής (κηλίδων) των τρόπων διάδοσης. Τέλος πρέπει να ληφθεί μέριμνα για την εξάλειψη, κατά το δυνατό, των όποιων διαταραχών κατά μήκος της οπτικής ίνας Θόρυβος διαμοιρασμού των τρόπων: Είναι η κύρια πηγή οπτικού θορύβου σε μονότροπες οπτικές ίνες που οδηγούνται από φωτεινές πηγές που ακτινοβολούν σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Λόγω της διασποράς υλικού οι διάφορες αυτές χρωματικές συνιστώσες φθάνουν με χρονικές καθυστερήσεις στο άλλο άκρο του δέκτη με αποτέλεσμα, όπως είδαμε, τη διασπορά του παλμού. Οποιοσδήποτε τυχαίες μεταβολές παραμέτρων κατά μήκος της διαδρομής της ίνας που μεταβάλλουν χρονικά τις διαφορές άφιξης των φασματικών συνιστωσών, οδηγούν σε εμφάνιση θορύβου. Θεραπεία από το είδος αυτό του θορύβου είναι η χρήση φωτεινών πηγών με μεγαλύτερο δυνατό βαθμό μονοχρωματικότητας (στενό εύρος ζώνης).



2.5.8 Κατασκευή οπτικών ινών

Η κατασκευή των οπτικών ινών περιλαμβάνει σήμερα πολύ προχωρημένη τεχνολογία, όπου η όλη διαδικασία παραγωγής γίνεται αυτόματα και πλήρως ελεγχόμενα από συστήματα υπολογιστών. Μικροσκοπικές μεταβολές στην ακτίνα του πυρήνα, στο προφίλ του δείκτη διάθλασης, μικρο-ανωμαλίες στην ενδοεπιφάνεια πυρήνα-μανδύα, μπορούν να έχουν καταλυτικές επιπτώσεις στην αποδοτική λειτουργία της οπτικής ίνας. Η ακρίβεια της κατασκευής και του ελέγχου της είναι εκπληκτική, αρκεί να λάβει κανείς υπόψη ότι η διάμετρος μιας οπτικής ίνας δεν ξεπερνά τα 125 μm , ενώ του πυρήνα μονότροπης ίνας τα 12 μm .

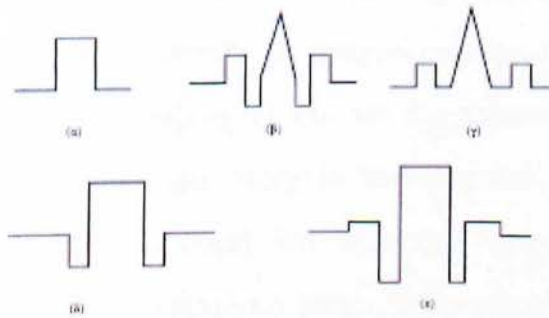
Στην πρώτη φάση της κατασκευής της ίνας πρέπει να αποφασιστεί πρώτα το προφίλ του δείκτη διάθλασης που θα υιοθετηθεί. Υπάρχουν διάφορα τέτοια προφίλ σε χρήση για ίνες βηματικού και διαβαθμισμένου δείκτη, ίνες μετατοπισμένης διασποράς κλπ. Στο σχήμα 5 δείχνονται μερικά τέτοια που χρησιμοποιούνται. Η διαμόρφωση του κατάλληλου προφίλ του δείκτη διάθλασης γίνεται με την έγχυση προσμείξεων στο υλικό του πυριτίου με ελεγχόμενο τρόπο.

Προσμείξεις όπως GeO_2 , P_2O_5 χρησιμοποιούνται κυρίως στον πυρήνα και αυξάνουν τον δείκτη διάθλασης. Προσμείξεις όπως F_2 και B_2O_3 ελαττώνουν τον δείκτη διάθλασης του γυαλιού και χρησιμοποιούνται κυρίως στον μανδύα.

Η κατασκευή των οπτικών ινών από silica που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες εκτυλίσσεται σε δύο στάδια: στο πρώτο δημιουργείται μια κυλινδρική προμορφή (preform) με το προφίλ του δείκτη διάθλασης που έχει ήδη αποφασισθεί. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές από τη βιομηχανία για την κατασκευή της



κυλινδρικής προμορφής. Οι πλέον συνηθισμένες είναι οι χημική εναπόθεση τροποποιημένων ατμών (Modified Chemical Vapour Deposition—MCVD), η εξωτερική εναπόθεση ατμών (Outside Vapour Deposition—OVD) και η αξονική εναπόθεση ατμών (Vapour Axial Deposition—VAD). Στο δεύτερο στάδιο η προμορφή μετασχηματίζεται σε οπτική ίνα με διατάξεις εφελκυσμού, αφού έχει πρώτα θερμανθεί κατάλληλα σε κλίβανο.



Σχήμα 5. Μερικά προφίλ δείκτη διάθλασης του πυρήνα της ίνας: (α) απλή ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης, (β) και (γ) ίνες μηδενικής διασποράς στα 1.55μm, (δ) και (ε) ίνες μη μηδενικής, επίπεδης διασποράς για λειτουργία στα 1.3-1.6 μm σε ζεύξεις WDM.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΟΠΤΙΚΗ ΙΝΑ

3.1. Οπτικοί Πομποί

Ο οπτικός πομπός συχνά αναφέρεται ως το ενεργό δομικό στοιχείο σε μια τηλεπικοινωνιακή ζεύξη οπτικών ινών. Η κύρια λειτουργία του είναι να μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε κατάλληλα διαμορφωμένη οπτική, με αποτελεσματικό μάλιστα τρόπο ώστε αυτή να μπορεί να συζευχθεί και να διοχετευτεί για μετάδοση στην οπτική ίνα. Το κυριότερο στοιχείο του οπτικού πομπού είναι η οπτική πηγή, της οποίας η δομή και οι αρχές λειτουργίας θα μας απασχολήσουν εκτενώς στο κεφάλαιο αυτό. Είναι γεγονός ότι υπάρχουν πολλά είδη φωτεινών πηγών που εκπέμπουν φωτεινά σήματα με διάφορα χαρακτηριστικά, όπως το ηλιακό φως, το φως ενός λαμπτήρα πυρακτώσεως ή το φως που εκπέμπεται από διεγερμένα τμήματα της ύλης (λαμπτήρες αερίων, φθορισμός κλπ.). Το χαρακτηριστικό τέτοιων φωτεινών σημάτων είναι το ευρύ φάσμα των συχνοτήτων τους, ανεξάρτητα από το αν αυτό είναι γραμμικό ή συνεχές φάσμα.

Οι οπτικές τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις έθεσαν σοβαρή υποψηφιότητα για την αντικατάσταση των χάλκινων ζεύξεων μόνο όταν ανακαλύφθηκαν κατάλληλες μονοχρωματικές οπτικές πηγές, και έκτοτε γνώρισαν ραγδαία και θεαματική ανάπτυξη. Στην πράξη βέβαια δεν υπάρχουν απόλυτα μονοχρωματικές πηγές. Υπάρχουν όμως πηγές που εκπέμπουν φως σε μια πολύ στενή περιοχή του φάσματος.



Για να αποτελέσει μια οπτική πηγή στοιχείο ενός οπτικού πομπού σε μια τηλεπικοινωνιακή ζεύξη οπτικών ινών θα πρέπει να πληροί τις παρακάτω προδιαγραφές:

1. Να εκπέμπει φως πολύ στενού φασματικού εύρους (πρακτικά μονοχρωματική), ώστε να ελαχιστοποιούνται τα προβλήματα διασποράς στην οπτική ίνα.

2. Να διατηρεί σταθερή οπτική ισχύ στην έξοδο, η οποία να μην επηρεάζεται από εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος (π.χ. θερμοκρασία) και να μην παρουσιάζει ολισθήσεις συχνότητας.

3. Να έχει μέγεθος και σχήμα κατάλληλο (π.χ. συμπαγής και μικρού μεγέθους) ώστε να είναι εφικτή η έγχυση φωτός στην οπτική ίνα.

4. Η οπτική έξοδος να μπορεί να διαμορφωθεί με ακρίβεια από κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα που αντιπροσωπεύει τα προς μετάδοση δεδομένα.

5. Να είναι δυνατή η διαμόρφωση του οπτικού σήματος σε ευρεία περιοχή συχνοτήτων (από ακουστικές μέχρι συχνότητες στην περιοχή των GHz).

6. Θα πρέπει να παρέχει αρκετή οπτική ισχύ ώστε να καλύπτονται οι απώλειες κατά τη διάδοση του σήματος στην οπτική ίνα ή στους συνδέσμους και στις συνενώσεις, και να μένει αρκετή ισχύς που θα οδηγήσει τον φωτοανιχνευτή του δέκτη.

7. Να είναι σχετικά φθηνή, αξιόπιστη και με μεγάλο χρόνο ζωής.

Η τεχνολογία ημιαγωγών έκανε εφικτό να κατασκευασθούν οπτικές πηγές με τις προδιαγραφές που αναφέρθηκαν παραπάνω, παρέχοντας τελικά προς χρήση δύο διαφορετικούς τύπους τέτοιων πηγών.



Στον πρώτο τύπο εντάσσονται πηγές που εκπέμπουν ένα συνεχές οπτικό σήμα – continuous wave (CW).

Παραδείγματα CW οπτικών πηγών είναι τα laser συνεχούς εκπομπής και φωτοдиодοι (Light Emitting Diodes – LED). Όταν οι φωτεινές αυτές πηγές χρησιμοποιηθούν σε οπτικούς πομπούς στις τηλεπικοινωνίες, τότε απαραίτητα θα πρέπει να συνοδεύονται από εξαρτήματα (modulators) που θα διαμορφώνουν εξωτερικά την οπτική ισχύ. Αυτό ενδεχομένως να προσθέτει στην περιπλοκότητα του οπτικού πομπού.

Ο δεύτερος τύπος πηγών εκπέμπει κατευθείαν διαμορφωμένο φωτεινό σήμα, χωρίς τη χρήση εξωτερικού διαμορφωτή. Η οπτική πηγή λαμβάνει ως είσοδο ένα ηλεκτρικό σήμα από παλμούς δεδομένων που άμεσα διαμορφώνουν την οπτική έξοδο. Με τη συνδρομή της τεχνολογίας των ημιαγωγών μπορούν να κατασκευασθούν lasers και LEDs που να ανήκουν σ' αυτήν την κατηγορία οπτικών πηγών.

Η μεγάλη ώθηση στις οπτικές τηλεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων οφείλεται κυρίως στις εκπληκτικές ιδιότητες της διόδου laser. Αν και οι αρχές λειτουργίας των laser ημιαγωγών ήταν γνωστές από τις αρχές της δεκαετίας του 1960, η εμπορική τους χρήση στις τηλεπικοινωνίες ξεκινά μόλις μετά το 1970, όταν κατασκευάστηκαν laser ημιαγωγών που λειτουργούσαν χωρίς διακοπές σε θερμοκρασία δωματίου. Σήμερα η τεχνολογία ημιαγωγών έχει προχωρήσει σε τέτοιο βαθμό που είναι εφικτή η κατασκευή laser συντονιζόμενα στα επιθυμητά μήκη κύματος της περιοχής των 1.55 μm , έχοντας διαστάσεις μερικών μικρών του μέτρου (μm) ώστε να μπορούν να ολοκληρωθούν κατά εκατοντάδες σ' ένα μόνο chip ή να ενσωματωθούν εύκολα σε κατάλληλα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Τέλος, αναφέρετε ότι οι προχωρημένες αυτές τεχνολογικά διατάξεις προσφέρονται σε πολύ



μικρό σχετικά κόστος, αρκεί να αναλογισθεί κανείς, για σύγκριση, τις διόδους laser που χρησιμοποιούνται ως οπτικοί αναγνώστες των δίσκων CD που είναι φθηνότερες και πιο άφθονες και από τις βελόνες του φωνογράφου.

3.2. Χρήση Laser στις οπτικές επικοινωνίες

Οι προδιαγραφές των Laser είναι πιο αυστηρές σε σχέση με αυτές των LEDs, μια και το laser είναι μια διάταξη που ενισχύει το φως. Αυτό άλλωστε δηλώνει και το όνομά του που είναι το ακρωνύμιο της φράσης Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – LASER.

Πρακτικά, το laser είναι ένας οπτικός ταλαντωτής στο εσωτερικό του οποίου σχηματίζονται στάσιμα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με άμεσο αποτέλεσμα, την έξοδο υψηλά σύμφωνης μονοχρωματικής ακτινοβολίας.

Από την άλλη μεριά η LED παρέχει οπτική εκπομπή χωρίς μηχανισμούς ενίσχυσης και ασύμφωνη οπτική έξοδο.

3.2.1 Εκπομπή και απορρόφηση ακτινοβολίας

Η αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη λαμβάνει χώρα κατά διακριτά πακέτα ενέργειας που καλούνται κβάντα ενέργειας ή φωτόνια. Η κβαντομηχανική, η θεωρία που περιγράφει τα φαινόμενα του μικρόκοσμου, εισηγείται ότι τα άτομα υπάρχουν μόνο σε συγκεκριμένες ενεργειακές καταστάσεις, ενώ απορροφούν ή εκπέμπουν φωτόνια μεταβαίνοντας από μια ενεργειακή κατάσταση σε άλλη, έτσι ώστε να έχουμε διατήρηση της συνολικής ενέργειας. Η συχνότητα f του



εκπεμπόμενου (απορροφούμενου) φωτονίου είναι όπου $h=6.626 \times 10^{-34}$ Js η σταθερά του Planck και E_1, E_2 οι ενεργειακές στάθμες της μετάπτωσης (σχ.6.)



Σχήμα 6. Ενεργειακό διάγραμμα απορρόφησης και αυθόρμητης εκπομπής ακτινοβολίας από άτομο δύο ενεργειακών καταστάσεων.

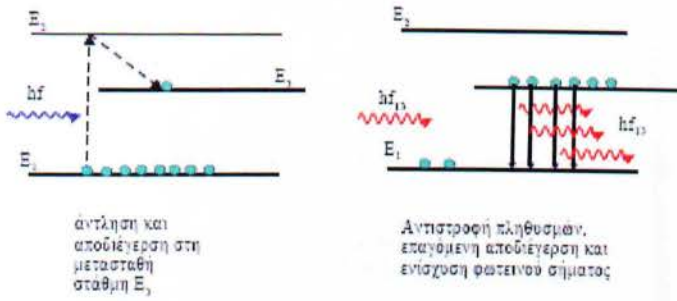
Η απορρόφηση του φωτονίου οδηγεί το ηλεκτρόνιο από τη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση E_1 στη διεγερμένη E_2 . Επειδή η φύση αρέσκεται στο να βρίσκεται σε χαμηλότερες, κατά το δυνατό, ενεργειακές καταστάσεις, το ηλεκτρόνιο παραμένει στην E_2 για κάποιον, συνήθως σύντομο, χρόνο τ_2 και μεταπίπτει αυθόρμητα στη θεμελιώδη κατάσταση E_1 εκπέμποντας φωτόνιο συχνότητας f (ίσης με αυτό που απορροφήθηκε αρχικά) προς τυχαία κατεύθυνση και διαφορετική φάση. Το φαινόμενο αυτό καλείται αυθόρμητη εκπομπή ακτινοβολίας. Τα φωτόνια της αυθόρμητης εκπομπής ονομάζονται ασύμφωνα φωτόνια με την έννοια ότι εκπέμπονται προς διάφορες κατευθύνσεις με διαφορετικές φάσεις.



3.2.2 Αρχές λειτουργίας του laser

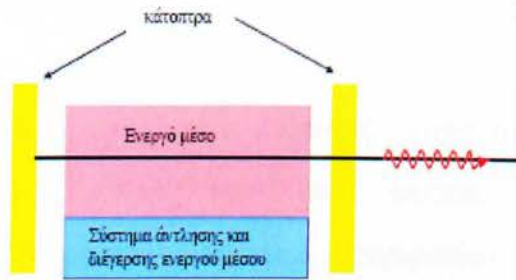
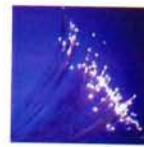
Για να κατασκευάσουμε laser χρειαζόμαστε υλικό μέσο με τρεις τουλάχιστον ενεργειακές καταστάσεις: πέρα από τη θεμελιώδη E_1 , τη διεγερμένη E_2 και μια ενεργειακή κατάσταση E_3 τέτοια ώστε $E_1 < E_3 < E_2$. Οπως βλέπουμε στο σχ. 7 στην E_3 αποδιεγείρονται τα ηλεκτρόνια από τη στάθμη E_2 . Τα ηλεκτρόνια έχουν στην E_3 μέσο χρόνο παραμονής $\tau_3 \gg \tau_2$. Η στάθμη E_3 ονομάζεται μετασταθής. Στην περίπτωση που έχουμε ένα φωτεινό σήμα άντλησης με συχνότητα 2ν $h\nu = E_2 - E_1$, ηλεκτρόνια διεγείρονται στην στάθμη E_2 απορροφώντας φωτόνια ενέργειας $h\nu$ και αποδιεγείρονται σε σύντομο χρόνο τ_2 στη στάθμη E_3 , όπου και παραμένουν για αρκετά μεγάλο χρόνο τ_3 . Ελέγχοντας κατάλληλα τις συνθήκες διέγερσης, και επιλέγοντας κατάλληλα ενεργειακές στάθμες με αντίστοιχα τ_2, τ_3 είναι δυνατό σε κάποια στιγμή να πετύχουμε μεγαλύτερο πληθυσμό διεγερμένων ηλεκτρονίων στην στάθμη E_3 από ότι στη θεμελιώδη E_1 .

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αντιστροφή πληθυσμών και είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη λειτουργία του laser. Όταν επιτευχθεί αντιστροφή πληθυσμών, με την είσοδο ενός φωτονίου στο μέσο με συχνότητα ν $h\nu = E_2 - E_1$ είναι πολύ μεγάλη η πιθανότητα να προκληθεί αποδιέγερση όλων των ηλεκτρονίων στη στάθμη E_3 και επαναφορά τους στην θεμελιώδη κατάσταση E_1 εκπέμποντας ισάριθμο πλήθος φωτονίων με συχνότητα ν $h\nu = E_2 - E_1$.



Σχήμα 7. Σχηματικό διάγραμμα ενεργειακών σταθμών και αρχή λειτουργίας του laser.

Η αποδιέγερση αυτή ονομάζεται επαγόμενη ή εξαναγκασμένη αποδιέγερση. Το ενδιαφέρον τώρα είναι ότι εκεί που είχαμε ένα φωτόνιο με συχνότητα f_{13} να έχουμε τώρα πολύ περισσότερα πανομοιότυπα φωτόνια. Ουσιαστικά πρόκειται για ενίσχυση (οπτική απολαβή) του φωτεινού σήματος f_{13} . Τα εκπεμπόμενα φωτόνια έχουν όλα την ίδια κατεύθυνση και φάση με το αρχικό που προκάλεσε την αποδιέγερση, γι' αυτό και ονομάζονται σύμφωνα και όλο τα παραπάνω αποτελούν την αρχή λειτουργίας του laser. Το υλικό μέσο που παρέχει τις ενεργειακές στάθμες για τη λειτουργία του laser ονομάζεται ενεργό μέσο και μπορεί να είναι κάποιο αέριο (π.χ. Ne, He κλπ) του οποίου τα άτομα έχουν ενεργειακές στάθμες με τις ιδιότητες που περιγράψαμε, η κάποιο στερεό όπως ρουμπίνι (Al_2O_3), ημιαγωγός κλπ. Στις τηλεπικοινωνίες κάνουμε χρήση laser ημιαγωγών λόγω των εκπληκτικών τους ιδιοτήτων.



Σχήμα 8. Διάγραμμα βαθμίδων του laser.

Για την τεχνολογική ολοκλήρωση του laser είναι απαραίτητη η τοποθέτηση δύο κατόπτρων (σχ. 8) στα άκρα του ενεργού μέσου ώστε τα φωτόνια f_{13} που εκπέμπονται να διαγράψουν περισσότερες διαδρομές μέσα στο ενεργό μέσο μετά από πολλαπλές ανακλάσεις στα τοιχώματα των κατόπτρων, και να αυξηθεί έτσι η πιθανότητα για επαγόμενη αποδιέγερση. Ο μηχανισμός αυτός είναι ένας μηχανισμός ανάδρασης για την ενίσχυση της απόδοσης του laser. Η προσθήκη του μηχανισμού της οπτικής αυτής ανάδρασης είναι που δικαιολογεί και τον χαρακτηρισμό του laser και ως οπτικό ταλαντωτή και οδηγεί άμεσα σε βελτίωση της οπτικής απολαβής του laser. Η οπτική κοιλότητα που σχηματίζουν τα δύο κάτοπτρα ονομάζεται συχνά κοιλότητα Fabry-Perot (FP). Το επί πλέον κέρδος που έχουμε με την παρουσία των δύο παράλληλων κατόπτρων είναι ότι λόγω των πολλαπλών ανακλάσεων των φωτονίων πάνω τους μόνο εκείνα τα φωτόνια που εκπέμπονται κατά μήκος του άξονα του laser εξέρχονται και αποτελούν μέρος της δέσμης φωτός που εκπέμπει το laser. Όλα τα υπόλοιπα προσκρούουν τελικά στα τοιχώματα της συσκευής και απορροφώνται (χάνονται). Αυτό εξηγεί και την υψηλή κατευθυντικότητα της φωτεινής δέσμης του laser.



3.3 Δίοδοι Laser στις οπτικές επικοινωνίες

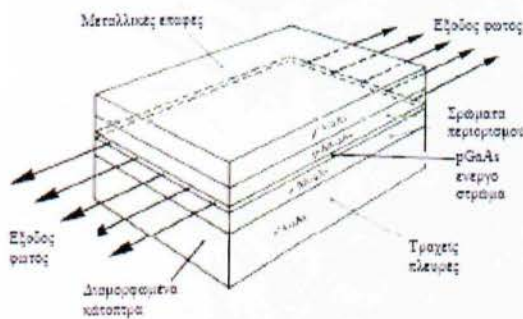
Στο laser διόδου ή laser έγχυσης (injection laser) η εξαναγκασμένη εκπομπή φωτός από τους φορείς έγχυσης που επανασυνδέονται υποβοηθείται με την παρουσία της οπτικής κοιλότητας (Fabry-Perot) στα άκρα του ημιαγωγικού κρυστάλλου, η οποία ουσιαστικά παρέχει έναν μηχανισμό ανάδρασης των φωτονίων. Αυτό προσδίνει στα laser διόδου μια σειρά από πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες πηγές φωτός (π.χ. LED), που αξιοποιούνται στις οπτικές τηλεπικοινωνίες όπως:

- Υψηλή ισχύ ακτινοβολίας λόγω του φαινομένου της ενίσχυσης της εξαναγκασμένης εκπομπής. Η οπτική ισχύς είναι της τάξης των mW.
- Στενό εύρος ζώνης εκπομπής (1-10 nm), ελαχιστοποιώντας έτσι την επίδραση της διασποράς υλικού.
- Δυνατότητες διαμόρφωσης που σήμερα φθάνουν τα 40 GHz σε εμπορικές διατάξεις.
- Εκπομπή σύμφωνου φωτός που μπορεί να αξιοποιηθεί σε οπτικά τηλεπικοινωνιακά συστήματα σύμφωνης ανίχνευσης.
- Εκπομπή σε στενό κώνο φωτός με μεγάλη κατευθυντικότητα δέσμης μικρού εύρους διατομής, γεγονός που διευκολύνει τη σύζευξη του φωτός στις οπτικές ίνες με χρήση φακών.

Τα laser ημιαγωγών είναι δίοδοι με υλικό κατασκευής $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{AsyP}_{1-y}$ (x, y υποδηλώνουν ποσοστιαία στοιχειομετρική αναλογία) που αναπτύσσεται με τη μορφή λεπτών στρωμάτων και με ελεγχόμενο τρόπο επάνω σε υπόστρωμα InP.



Εναλλακτικά συναντούμε και την ανάπτυξη AlxGa1-xAs σε υπόστρωμα GaAs (σχ. 9). Το ενεργό στρώμα έχει συνήθως πάχος της τάξης του 0.1 μm , ενώ η ετεροεπαφή p-n πολώνεται ορθά μέσω των μεταλλικών επαφών. Τα laser τέτοιου είδους ονομάζονται laser ημιαγωγών ευρείας επιφάνειας επειδή το ρεύμα εγχύνεται σ' όλη την περιοχή του εύρους του chip του laser. Η επιφάνεια αυτή είναι αρκετά μεγάλη και έχει διαστάσεις της τάξης των 100 μm x 100 μm περίπου.

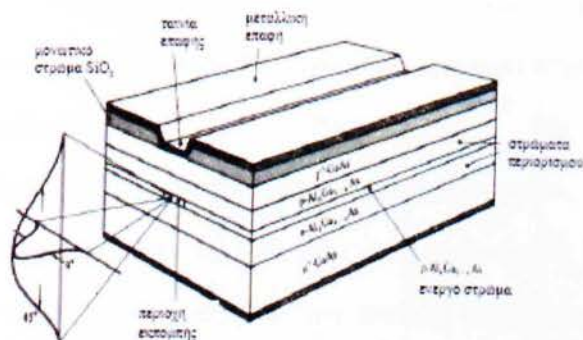


Σχήμα 9. Σχηματική αναπαράσταση laser διόδου διπλής ετεροδομής.

Όπως είδαμε παραπάνω, το ενεργό στρώμα λειτουργεί σαν επίπεδος κυματοδηγός, θα υποστηρίξει έναν συγκεκριμένο αριθμό τρόπων μετάδοσης. Οι τρόποι αυτοί μετάδοσης ονομάζονται εγκάρσιοι τρόποι επειδή οφείλονται στον περιορισμό του φωτός κατά την εγκάρσια διάσταση του κυματοδηγού. Ο κάθε ένας τους έχει διαφορετικό μήκος κύματος, αντιστοιχεί σε διαφορετική κατάσταση εγκάρσιου συντονισμού στον κυματοδηγό και δεν πρέπει να συγχέονται με τους τρόπους διάδοσης στην οπτική ίνα, που μπορούν να αντιστοιχούν και στο ίδιο μήκος κύματος. Λόγω της λεπτότητας του ενεργού στρώματος, συνήθως ένας μόνο εγκάρσιος τρόπος υποστηρίζεται.



Τα lasers ευρείας επιφάνειας δεν χρησιμοποιούνται συχνά στις οπτικές επικοινωνίες λόγω της διάχυσης του φωτός στην μεγάλης έκτασης διαμήκη διάσταση της διάταξης, καθώς και του υψηλού ρεύματος κατωφλίου που έχουν.



Σχήμα 10. Διάγραμμα laser ημιαγωγού με γεωμετρία στενής λωρίδας.

Μια απλή λύση στο πρόβλημα είναι ο περιορισμός της έγχυσης του ρεύματος σε μία στενή λωρίδα (σχ. 10). Τα laser αυτά ονομάζονται laser ημιαγωγών με γεωμετρία λωρίδας.

Στα laser ημιαγωγού έχουμε έναρξη έναυσης (lasing) όταν το ρεύμα άντλησης (έγχυσης) I γίνει μεγαλύτερο μιας τιμής ρεύματος κατωφλίου I_{th} . Η τιμή του I_{th} εξαρτάται από τη θερμοκρασία, γεγονός που επηρεάζει άμεσα την απόδοση του laser. Το ρεύμα κατωφλίου μάλιστα αυξάνεται εκθετικά με τη θερμοκρασία σύμφωνα με τη σχέση

$$I_a(T_a) = I_0 e^{T/T_0}$$

όπου I_0 είναι σταθερά και T_0 μια χαρακτηριστική θερμοκρασία που ουσιαστικά περιγράφει την ποιότητα των υλικών της διάταξης σε σχέση με την ευαισθησία τους στην θερμοκρασία. Για laser InGaAsP η $T_0 \sim 50-70$ K, ενώ για laser GaAs υπερβαίνει τους 120 K. Έτσι λοιπόν αν



Θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε σε μια τηλεπικοινωνιακή διάταξη οπτικό πομπό με laser InGaAsP, πρέπει, λόγω της ευαισθησίας του στη θερμοκρασία, να ελέγχουμε συχνά τη θερμοκρασία μέσω ενός ενσωματωμένου θερμοηλεκτρικού ψύκτη. Τα laser InGaAsP ουσιαστικά δεν ακτινοβολούν σε θερμοκρασίες πάνω από 100 0C.

Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη λειτουργική αποτελεσματικότητα (efficiency) ενός laser ημιαγωγού, ώστε να είναι επιτυχής, για παράδειγμα, η επιλογή των διατάξεων που θα κάνουμε σ' ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Για τον σκοπό αυτό είναι χρήσιμο να ορίσουμε ορισμένες παραμέτρους λειτουργίας του laser. Μια τέτοια παράμετρος είναι η διαφορική εξωτερική κβαντική απόδοση n_D , η οποία ορίζεται ως ο λόγος της αύξησης του ρυθμού εκπομπής φωτονίων για δεδομένη αύξηση στον αριθμό των εγχυόμενων ηλεκτρονίων. Δίνεται από τη σχέση

$$n_D = (2e / hf)(dP_e / dI)$$

όπου P_e είναι η οπτική ισχύς που ακτινοβολείται από τη διάταξη, I το ρεύμα έγχυσης, e το φορτίο του ηλεκτρονίου και f η συχνότητα ακτινοβολίας. Πρακτικά μπορούμε να πούμε ότι ο συντελεστής n_D μας δίνει το μέτρο του ρυθμού μεταβολής της εξωτερικής ισχύος της οπτικής εκπομπής με το ρεύμα λειτουργίας του laser. Μας δίνει ουσιαστικά την κλίση της καμπύλης στην περιοχή λειτουργίας του laser για τη συγκεκριμένη διάταξη.



Εναλλακτικά ορίζουμε τον συντελεστή εσωτερικής κβαντικής απόδοσης n_i που ορίζεται ως εξής

$$n_i = \frac{\text{αριθμός φωτονίων που παράγεται στην οπτική κοιλότητα}}{\text{αριθμός ηλεκτρονίων έγχυσης}}$$

Οι δύο παραπάνω συντελεστές σχετίζονται μεταξύ τους με τη σχέση

$$n_D = n_i ((1 - (2\alpha L / \ln G))^{-1})$$

όπου L είναι το μήκος της οπτικής κοιλότητας, α ο συντελεστής απωλειών μέσα στην οπτική κοιλότητα και

$$G = (n - 1)^2 / (n + 1)^2$$

με n το δείκτη διάθλασης του ενεργού μέσου. Θεωρήσαμε ίσες τις ανακλαστικότητες στα δύο άκρα της οπτικής κοιλότητας. Από τη παραπάνω σχέση βλέπουμε ότι γενικά είναι $D < n_i$, μια και $G < 1$.

Μια άλλη παράμετρος χαρακτηρισμού λειτουργίας του laser ημιαγωγού είναι ο συντελεστής συνολικής απόδοσης ή συντελεστής εξωτερικής κβαντικής απόδοσης που δίνεται από

$$n_\tau = \frac{\text{αριθμός εκπεμπόμενων φωτονίων}}{\text{αριθμός εγχυόμενων ηλεκτρονίων}} = \frac{2e P_i}{hf I}$$



Οι συντελεστές D_n και T_n συνδέονται με τη σχέση

$$n_r = n_D (1 - (I_{th} / I))$$

με I το ρεύμα έγχυσης και I_{th} το ρεύμα κατωφλίου για την έναρξη της έναυσης (lasing).

3.3.1 Lasers Fabry-Perot (FP)

Για τη λειτουργία ενός lasers είδαμε ότι πέρα από την οπτική απολαβή είναι απαραίτητη η παρουσία και ενός μηχανισμού οπτικής ανάδρασης που τελικά μετατρέπει τον ενισχυτή φωτός σε οπτικό ταλαντωτή. Στα lasers η οπτική ανάδραση παρέχεται αν τοποθετήσουμε το ενεργό μέσο σε μια οπτική κοιλότητα που σχηματίζεται από δύο παράλληλα κάτοπτρα, από τα οποία το ένα είναι ημιαδιαπερατό για την έξοδο του σύμφωνου φωτός. Η οπτική αυτή κοιλότητα ονομάζεται κοιλότητα Fabry – Perot. Στην περίπτωση των lasers ημιαγωγών τα πράγματα είναι πιο απλά, αφού δεν απαιτείται η προσθήκη εξωτερικών κατόπτρων, παρά δύο από τις απέναντι πλευρές του ημιαγωγικού υλικού διαμορφώνονται κατάλληλα ώστε να λειτουργούν ως κάτοπτρα (σχ. 11).

Με τον περιορισμό του φωτός στην οπτική κοιλότητα, παρατηρούνται φαινόμενα συντονισμού κατά τη διαμήκη διάσταση της διάταξης και το laser ημιαγωγού Fabry- Perot εκπέμπει φως στους διάφορους διαμήκεις τρόπους μετάδοσης της κοιλότητας συντονισμού. Ο τρόπος μετάδοσης που βρίσκεται πιο κοντά στη μέγιστη απολαβή είναι και ο επικρατέστερος και ονομάζεται βασικός τρόπος μετάδοσης (σχ. 11). Lasers που εκπέμπουν σε πολλούς τρόπους ονομάζονται πολύτροπα laser ημιαγωγών και συνεισφέρουν στη διασπορά υλικού

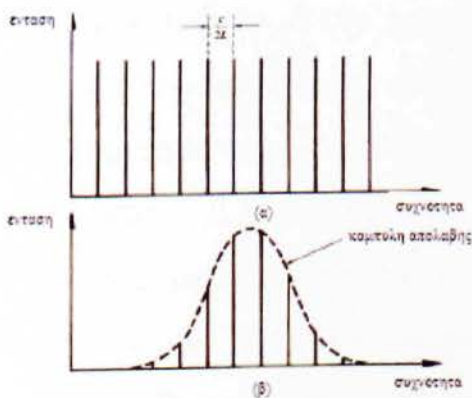


κατά τη διάδοση στην οπτική ίνα. Αν είναι L το πλάτος της κοιλότητας και n ο δείκτης

διάθλασης του ενεργού μέσου, οι διάφοροι διαμήκεις τρόποι εκπομπής του laser αντιστοιχούν σε μήκη κύματος λ που ικανοποιούν τη συνθήκη συντονισμού

$$L = m \left(\frac{\lambda}{2n} \right)$$

όπου ο ακέραιος $m=1,2,3,\dots$ εκφράζει την τάξη συντονισμού.



Σχήμα 11. (α) τρόποι μετάδοσης στην κοιλότητα του laser και (β) διαμήκεις τρόποι στην έξοδο του laser

Η απόσταση συχνοτήτων ανάμεσα σε δύο γειτονικούς τρόπους είναι $\Delta f = c/2nL$. Το φασματικό εύρος αυτών των laser είναι γύρω στα 2-4 nm και είναι αποδεκτό για οπτικά συστήματα τηλεπικοινωνιών που λειτουργούν γύρω στα 1.3 μm και έχουν ρυθμούς μετάδοσης που δεν υπερβαίνουν τα 2.5 Gb/s. Αυτά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συστήματα γύρω στα 1.55 μm για τις συνηθισμένες οπτικές ίνες. Μια



λύση στο πρόβλημα είναι ο σχεδιασμός laser ημιαγωγών που εκπέμπουν φως σε έναν μόνο απλό διαμήκη τρόπο μετάδοσης (Single Longitudinal Mode—SLM—lasers), δηλ. να χρησιμοποιηθούν μονοχρωματικά lasers. Η βασική ιδέα είναι να εισάγουμε απώλειες στην κοιλότητα που θα είναι διαφορετικές για κάθε τρόπο. Ο τρόπος με την μικρότερη απώλεια που θα φθάσει πρώτος το επίπεδο κατωφλίου για lasing θα είναι ο βασικός τρόπος μετάδοσης.

3.3.2 Δίοδοι Laser απλής συχνότητας (SLM lasers)

Για να επιτευχθεί η κατασκευή ενός μονότροπου laser θα πρέπει να τροποποιήσουμε τη βασική δομή του laser Fabry Perot με τις δύο ανακλαστικές επιφάνειες που μελετήσαμε προηγουμένως, έτσι ώστε να καταστεί δυνατό το φιλτράρισμα των πλευρικών τρόπων και να παραμείνει μόνο ο βασικός.

Υπάρχουν δύο διαφορετικές τεχνολογικές προσεγγίσεις για την επίτευξη του στόχου μας: να συζευχθεί η ενεργός περιοχή με μια συντονισμένη δομή που να βρίσκεται μέσα σ' αυτήν ή έξω από αυτήν. Στην πρώτη περίπτωση αναφερόμαστε στα lasers κατανεμημένης ανάδρασης και στην δεύτερη στα lasers ημιαγωγού συζευγμένης εξωτερικής κοιλότητας.

3.3.2.1. Lasers κατανεμημένης ανάδρασης

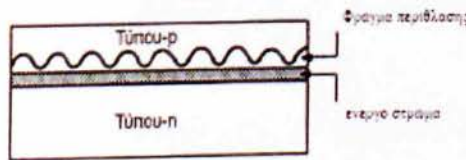
Στα laser κατανεμημένης ανάδρασης (Distributed FeedBack lasers – DFB) η οπτική ανάδραση δεν εντοπίζεται στις ανακλαστικές επιφάνειες στις πλευρές της ενεργού περιοχής, αλλά κατανέμεται σ' όλο το μήκος της κοιλότητας. Ο συνηθέστερος τρόπος



με τον οποίο υλοποιείται αυτό είναι μέσω της ενσωμάτωσης ενός φράγματος περίθλασης στη διάταξη του laser που οδηγεί σε μια περιοδική μεταβολή του δείκτη διάθλασης για τους τρόπους μετάδοσης (σχ. 12). Η ανάδραση που επιθυμούμε οφείλεται στην περίθλαση Bragg: κάθε προσπίπτον οπτικό κύμα στην περιοχή του φράγματος υπόκειται σε μια σειρά από ανακλάσεις (λόγω της περιοδικής ασυνέχειας του δείκτη διάθλασης). Η συνεισφορά κάθε ενός από αυτά τα ανακλώμενα κύματα στο τελικό σήμα που θα διαδοθεί μέσα από τη διάταξη της κοιλότητας προστίθεται σε φάση (ενίσχυση) μόνο για εκείνο το μήκος κύματος λ για το οποίο ικανοποιείται η συνθήκη Bragg:

$$\Lambda = m(\lambda / 2n)$$

όπου Λ είναι η περίοδος του φράγματος (μήκος επανάληψης της αυλάκωσης) που ονομάζεται και σταθερά φράγματος, n είναι ο μέσος δείκτης διάθλασης και $m=1,2,3 \dots$ ακέραιος που παριστάνει τη τάξη της περίθλασης Bragg.



Σχήμα 12. Σχηματική δομή DBF laser

Η συνθήκη Bragg ικανοποιείται ουσιαστικά από πλήθος κυμάτων για κάθε τιμή του m , όπως βλέπουμε στην παραπάνω σχέση. Παρ' όλα αυτά όμως το ισχυρότερο κύμα που διαδίδεται προκύπτει από την περίθλαση Bragg πρώτης τάξης με $m=1$. Έτσι λοιπόν αυτό το μήκος κύματος θα φθάσει πρώτο το κατώφλι έναυσης και θα ενισχυθεί

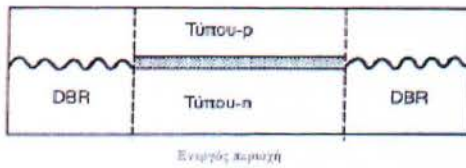


επιλεκτικά σε βάρος των άλλων μηκών κύματος. Με κατάλληλο σχεδιασμό της διάταξης μπορούμε έτσι να καταστείουμε πλήρως όλους τους άλλους διαμήκεις τρόπους και να έχουμε ένα μονοχρωματικό (SLM) laser που να λειτουργεί σε μήκος κύματος διπλάσιο περίπου από την σταθερά του φράγματος Λ . Στα DFB laser που περιγράψαμε αξίζει να τονίσουμε ότι το φράγμα περίθλασης τοποθετείται μέσα στην ενεργή περιοχή της οπτικής κοιλότητας.

Η αρχή της κατανεμημένη ανάδρασης μπορεί να εφαρμοσθεί και με διαφορετική υλοποίηση τεχνολογικά: το φράγμα περίθλασης να τοποθετηθεί εξωτερικά της ενεργού περιοχής. Το laser τότε που προκύπτει ονομάζεται DBR laser (Distributed Bragg Reflector) ή laser κατανεμημένης ανάκλασης Bragg (σχ.13). Το πλεονέκτημα που προκύπτει είναι ότι τώρα έχει αποδεσμευτεί η ενεργός περιοχή από την περιοχή επιλογής μήκους κύματος (φράγμα περίθλασης). Αυτό μας επιτρέπει να μπορούμε να ελέγχουμε και τις δύο περιοχές ανεξάρτητα τη μια από την άλλη. Για παράδειγμα, μεταβάλλοντας τον προφίλ του δείκτη διάθλασης του φράγματος μπορούμε να συντονίζουμε το laser σε διαφορετικά μήκη κύματος (αλλάζοντας το Λ μεταβάλλουμε το λ στην σχέση του Bragg).

Τα DFB lasers είναι σαφώς πιο περίπλοκα από τα FP lasers. Η κατασκευή τους απαιτεί προηγμένη τεχνολογία ολογραφικών τεχνικών μοριακής επίταξης ή λιθογραφικών τεχνικών με χρήση δεσμών ηλεκτρονίων που «γράφουν» πάνω σε κατάλληλο υλικό υποστρώματος το επιθυμητό σχέδιο για το φράγμα περίθλασης.

Το αποτέλεσμα φυσικά είναι το αυξημένο κόστος. Παρ' όλα αυτά τα DFB lasers είναι αυτά που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στα συστήματα οπτικών τηλεπικοινωνιών υψηλών ταχυτήτων. Τα FP lasers χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα μικρής απόστασης (π.χ. LAN).



Σχήμα. 13. Σχηματική δομή DBR laser

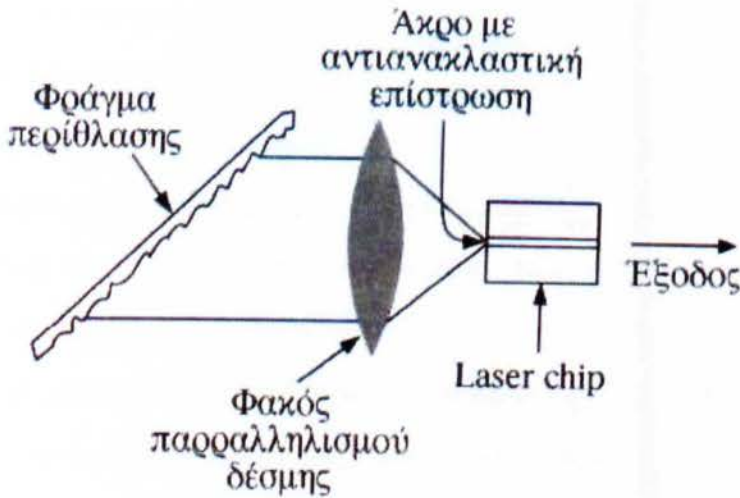
3.3.2.2. Laser ημιαγωγού συζευγμένης εξωτερικής κοιλότητας

Η καταστολή των ανεπιθύμητων διαμηκών τρόπων του laser μπορεί επίσης να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας μια επί πλέον εξωτερική κοιλότητα συντονισμού πέρα από την κοιλότητα στην οποία βρίσκεται το ενεργό μέσο.

Όπως η κύρια αρχική κοιλότητα έχει κάποια μήκη κύματος συντονισμού, έτσι και η εξωτερική κοιλότητα έχει και αυτή τα δικά της μήκη κύματος συντονισμού. Το τελικό αποτέλεσμα της παρουσίας της εξωτερικής κοιλότητας είναι το laser να μπορεί να ταλαντώνεται μόνο σε εκείνα τα μήκη κύματος τα οποία είναι κοινά μήκη κύματος συντονισμού και για τις δύο κοιλότητες. Με κατάλληλο σχεδιασμό των δύο κοιλότητων (αρχικής και εξωτερική) μπορούμε να επιτύχουμε ένα μόνο μήκος κύματος να ικανοποιεί αυτήν την συνθήκη για κοινό συντονισμό των δύο κοιλότητων. Το αποτέλεσμα είναι να έχουμε ένα laser απλής συχνότητας (SLM). Για τη δεύτερη κοιλότητα αντί για μια ακόμη κοιλότητα FP μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα φράγμα περίθλασης όπως στο σχ. 14. Τέτοιο laser ονομάζεται laser με εξωτερική κοιλότητα φράγματος. Τα μήκη κύματος τα οποία περιθλώνται από το φράγμα πίσω στην κοιλότητα της ενεργού περιοχής εξαρτώνται από τη σταθερά του φράγματος και τη γωνία του φράγματος



περίθλασης σε σχέση με τον άξονα του laser. Περιστροφή του φράγματος μπορεί να οδηγήσει διαφορετικά μήκη κύματος στην ενεργό περιοχή για ενίσχυση και lasing, γεγονός που επιτρέπει την κατασκευή συντονιζόμενων laser.



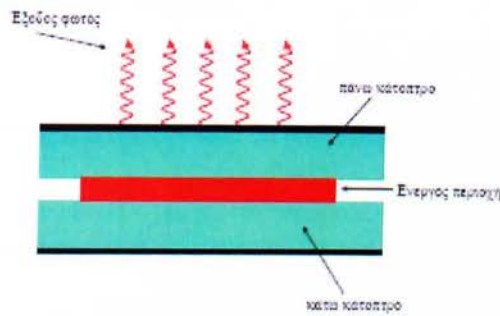
Σχήμα 14. laser ημιαγωγού συζευγμένης εξωτερικής κοιλότητας με φράγμα περίθλασης.

Αυτός είναι βέβαια ένας σχετικά αργός τρόπος συντονισμού, μια και η περιστροφή του φράγματος πρέπει να γίνει μηχανικά. Το πλεονέκτημα όμως είναι ότι μπορούμε να επιτύχουμε συντονισμό σε αρκετά μεγάλο εύρος ζώνης γύρω στα 100 nm. Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται για όργανα μέτρησης, αλλά όχι για τηλεπικοινωνιακά συστήματα υψηλών ταχυτήτων. Τεχνολογίες που επιτρέπουν την κατασκευή συντονιζόμενων laser με υψηλότερες ταχύτητες έχουν κατασκευασθεί.



3.3.2.3. Laser επιφανειακής εκπομπής κατακόρυφης κοιλότητας

Πρόκειται για άλλη μια κατηγορία laser ημιαγωγών που επιτυγχάνουν λειτουργία σε ένα μόνο διαμήκη τρόπο (SLM) με κάπως διαφορετικό τρόπο από αυτούς που συναντήσαμε παραπάνω. Στα πολύτροπα laser είδαμε ότι η απόσταση συχνοτήτων ανάμεσα σε δύο γειτονικούς τρόπους είναι $\Delta f = c/2nL$, όπου L είναι το μήκος της κοιλότητας. Αν καταφέρουμε να κάνουμε το L πολύ μικρό, το Δf γίνεται πολύ μεγάλο, και με κατάλληλο σχεδιασμό μπορούμε να πετύχουμε ένα μόνο τρόπο με συγκεκριμένη συχνότητα να βρίσκεται στην περιοχή της καμπύλης απολαβής. Έτσι λοιπόν κατασκευάζοντας ένα πολύ λεπτό ενεργό στρώμα ($\sim 1\mu\text{m}$) μπορούμε να πετύχουμε SLM laser (σχ. 15). Το ενεργό στρώμα αναπτύσσεται με τεχνικές μοριακής επίταξης πάνω σε κατάλληλο υπόστρωμα ημιαγωγού, ενώ δύο κάτοπτρα υψηλής ανακλαστικότητας αναπτύσσονται και αυτά με επίταξη πάνω και κάτω από το ενεργό στρώμα. Αυτό οδηγεί στο σχηματισμό κατακόρυφης κοιλότητας με το φως του laser να εξέρχεται κατακόρυφα από μια από τις δύο αυτές επιφάνειες. Για το λόγο αυτόν το laser λέγεται Laser επιφανειακής εκπομπής κατακόρυφης κοιλότητας (Vertical Cavity Surface Emitting Laser – VCSEL). Τα άλλα laser που συναντήσαμε προηγουμένως ονομάζονταν ως προς τον τρόπο εκπομπής τους πλευρικά εκπεμπόμενα laser (edge emitting lasers).



Σχήμα 15. VCSEL laser

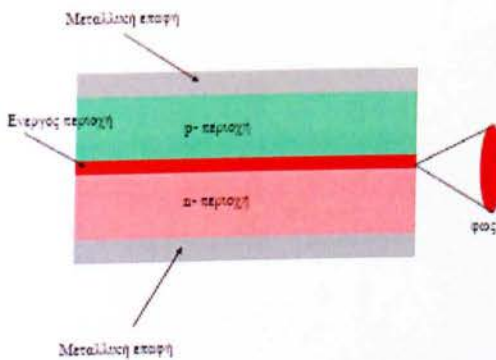
Λόγω του μικρού μήκους της οπτικής κοιλότητας, τα δύο κάτοπτρα που απαιτούνται πρέπει να έχουν πολύ υψηλή ανακλαστικότητα (>99.5 %), γεγονός που είναι δύσκολο να επιτευχθεί στην πράξη. Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα στην κατασκευή των VCSEL laser είναι η μεγάλη ωμική αντίσταση που συναντά το ρεύμα έγχυσης με αποτέλεσμα υπερθέρμανση της διάταξης. Παρ' όλο που τα VCSEL laser προτάθηκαν πειραματικά από το 1979, μέχρι πρόσφατα εμπορικά ήταν διαθέσιμα μόνο στην περιοχή λειτουργίας των 850nm.

Μόλις πρόσφατα επιστήμονες ανακοίνωσαν τη δυνατότητα εμπορικής παραγωγής VCSEL laser στα 1280 nm χρησιμοποιώντας οικείες τεχνικές επίταξης ατμών οργανικού-μετάλλου. VCSEL lasers στα 1500nm έχουν επιδειχθεί πειραματικά από το 1997 αλλά δεν έχουν εισέλθει ακόμα στη φάση της εμπορικής παραγωγής.

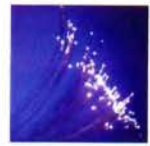


3.4 Φωτοдиодοι Εκπομπής (LED)

Τα laser είναι σχετικά ακριβές διατάξεις και είναι ασύμφορη η χρήση τους σε διάφορες εφαρμογές όπου η ταχύτητα δεδομένων είναι χαμηλή και η απόσταση μικρή. Αυτή είναι η περίπτωση των πολλών τοπικών δικτύων ή των δικτύων πρόσβασης. Μια φθηνή εναλλακτική λύση σε τέτοιες περιπτώσεις είναι η φωτοδιόδος (LED). Η φωτοδιόδος είναι ουσιαστικά μια επαφή pn ορθά πολωμένη, όπου η επανασύνδεση των εγχυμένων φορέων μειοψηφίας, ήτοι ηλεκτρόνια στην p περιοχή και οπές στην n περιοχή, με τη διαδικασία της αυθόρμητης εκπομπής παράγει φως. Επειδή η αυθόρμητη εκπομπή λαμβάνει χώρα σ' όλο το δυνατό εύρος εκπομπής (αντιστοιχεί στη διαφορά ενέργειας μιας οποιασδήποτε κατάστασης στη ζώνη αγωγιμότητας με μια οποιαδήποτε κατάσταση στη ζώνη σθένους) η οπτική έξοδος από μια LED έχει ευρύ φάσμα σε αντίθεση με το laser. Τα ημιαγωγικά υλικά από τα οποία συνήθως κατασκευάζονται οι LED είναι Si και Ge στα οποία κυριαρχεί η αυθόρμητη εκπομπή σε σχέση με την εξαναγκασμένη των lasers. Η τυπική δομή μιας LED φαίνεται στο σχ.16.



Σχήμα 16. Τυπική δομή μιας LED



Στη σύγχρονη τεχνολογία σήμερα περίπλοκες τεχνικές νόθευσης (doping) της ημιαγωγικής διάταξης χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν την ταχύτητα διαμόρφωσης και να μειώσουν το εύρος του φάσματος εκπομπής της LED.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

4.1. Τεχνολογίες *FTTx FTTC/FTTB*

Η τεχνολογία *FTTx* είναι:

- Η τεχνολογία που κάνει χρήση οπτικής ίνας μέχρι ένα ορισμένο σημείο του δικτύου πρόσβασης καλείται *FTTx* (Fiber To The x).
- Το σημείο “x” μπορεί να είναι η γειτονιά ή το κράσπεδο του πεζοδρομίου οπότε έχουμε αντίστοιχα *FTTN* (Fiber To The Neighborhood) και *FTTC* (Fiber To The Curb), το κτίριο οπότε έχουμε την περίπτωση *FTTB* (Fiber To The Building), ή το σπίτι με το *FTTH* (Fiber To The Home).
- Όλα τα *FTTx* δίκτυα βασίζονται στις αρχές των *PONs* (Passive Optical Networks). Το *PON* είναι ένας από τους τρόπου κατανομής των πόρων σε περίπτωση που οι χρήστες δεν χρησιμοποιούν μεγάλο όγκο δεδομένων.

4.2. Οι τεχνολογίες *FTTC/FTTB* και η αρχιτεκτονική τους

- Η *FTTC* αρχιτεκτονική αποτελείται από οπτική ίνα στο δίκτυο πρόσβασης μέχρι την μονάδα τερματισμού της οπτικής ίνας, που τοπολογικά βρίσκεται στο κράσπεδο του πεζοδρομίου (*FTTC*) ή



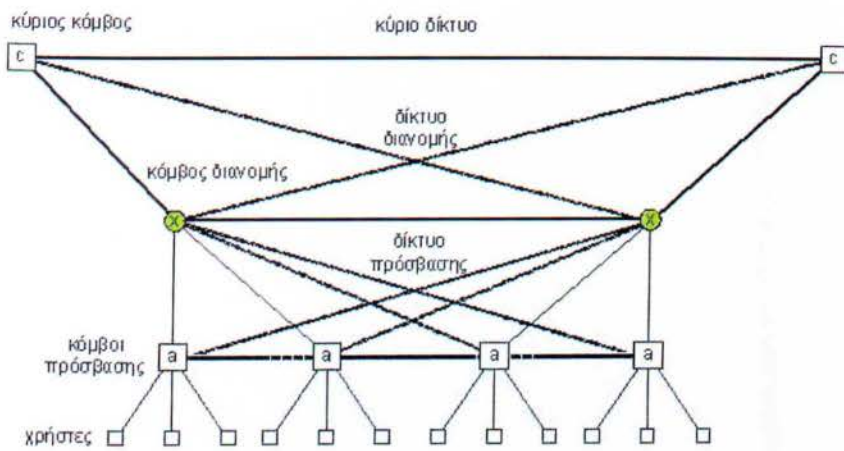
μέχρι ένα συγκεκριμένο κτίριο (FTTB) εξυπηρετώντας μερικές δεκάδες συνδρομητές.

- Το τελευταίο τμήμα μέχρι τη συσκευή του χρήστη έχει τυπικά μήκος περίπου 300 μέτρα και αποτελείται από ομοαξονικό καλώδιο ή δισύρματη τηλεφωνική γραμμή.
- Κάθε χρήστης συνδέεται με το δικό του καλώδιο μέχρι τη μονάδα τερματισμού της οπτικής ίνας, δημιουργώντας μια τοπολογία αστεριού

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΟΥ FTTC

Προς το παρόν οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση ευρυζωνικού δικτύου κορμού και διανομής, καθώς είναι ουσιαστικά η μόνη τεχνολογία που μπορεί να υποστηρίξει τη συγκέντρωση ευρυζωνικών συνδέσεων πρόσβασης και να μεταφέρει τις μεγάλες ποσότητες δεδομένων με υψηλό ρυθμό που απαιτεί η παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών από κεντρικά σημεία διανομής προς τους συνδρομητές. Για το λόγο αυτό είναι κοινή περίπτωση ο συνδυασμός υποδομών οπτικών ινών με άλλες ευρυζωνικές τεχνολογίες, όπου η υποδομή οπτικών ινών δημιουργείται και φτάνει μέχρι τις γειτονιές ή τα κτίρια των συνδρομητών και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται οι υπόλοιπες τεχνολογίες ευρυζωνικής πρόσβασης για να δημιουργηθεί το δίκτυο πρόσβασης που φτάνει μέχρι το χώρο του χρήστη.

Όσον αφορά την αρχιτεκτονική ενός δικτύου οπτικών ινών, σημειώνεται ότι αποτελείται από τρεις βασικές λογικές μονάδες: το δίκτυο κορμού, το δίκτυο διανομής και το δίκτυο πρόσβασης. Η λογική αυτή παρουσιάζεται καλύτερα στα σχήματα που ακολουθούν:



Σχήμα 17. Δίκτυο Οπτικών Ινών Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.

Το δίκτυο κορμού αποτελείται από έναν αριθμό κόμβων οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους. Σημειώνεται ότι υπάρχει σύνδεση μεταξύ των κύριων κόμβων οι οποίοι βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Το δίκτυο διανομής, παρέχει συνδέσεις σημείου-πολλαπλών σημείων μεταξύ των κυρίων κόμβων και των κόμβων πρόσβασης. Στους κόμβους διανομής μπορεί να τοποθετηθεί ενεργός ή παθητικός εξοπλισμός για το διαχωρισμό του σήματος, οπότε λέμε ότι χρησιμοποιούμε Ενεργό Οπτικό Δίκτυο (AON, Active Optical Network) ή Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (PON, Passive Optical Network) αντίστοιχα. Τέλος, το δίκτυο πρόσβασης, που καταλήγει στις Οπτικές Μονάδες Δικτύου, αποτελεί τον οπτικό τερματισμό του σήματος. Από εκεί κι έπειτα το σήμα γίνεται ηλεκτρικό και μεταφέρεται μέσω χάλκινου καλωδίου στον συνδρομητή. Κάθε ΟΜΔ επικοινωνεί με 20 περίπου χρήστες. Αν αυτό το κομμάτι αναδιαταχθεί έτσι ώστε κάθε ΟΜΔ να επικοινωνεί με έναν χρήστη και μεταφερθεί η ΟΜΔ στο χώρο του



χρήστη, θα έχει επιτευχθεί η τεχνολογία Οπτική Ίνα Στο Σπίτι (FTTH). Μέχρι τότε μπορούν να χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες ADSL/VDSL2 στο τελευταίο κομμάτι του δικτύου.

4.3. Η τεχνολογία FTTH

- Η τεχνολογία FTTH (Fiber To The Home) χρησιμοποιεί οπτική ίνα μέχρι το σπίτι. Μπορεί να συνδυαστεί είτε με παθητικό τερματισμό της οπτικής ίνας οπότε έχουμε ένα PON δίκτυο, είτε με ενεργητικό τερματισμό της ίνας.
- Στην τελευταία περίπτωση είναι πιθανό τα σήματα να μεταφέρονται με διαφορετικό μέσο μέχρι την τερματική συσκευή. Τέλος είναι πιθανό οι ενεργοί τερματισμοί της ίνας να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία τοπολογίας αστεριού μέχρι το τερματικό.

4.4. Χρήστες και εφαρμογές

Με βάση τις τυπικές εφαρμογές της τεχνολογίας αυτής, οι κατηγορίες χρηστών περιλαμβάνουν:

- Οικιακούς χρήστες
- Επιχειρήσεις μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους
- Δημόσιους φορείς με μικρές απαιτήσεις όπως Α΄βαθμια εκπαίδευση, Κέντρα Υγείας και πολιτιστικούς φορείς



Από τις τοπολογίες που περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, η πρώτη (AON, με οπτικό δακτυλίου) ενδείκνυται για τη συγκέντρωση κίνησης από μικρότερες περιοχές (γειτονιές), ενώ αυτή της τοπολογίας δένδρου (PON) ενδείκνυται για τη διείσδυση της οπτικής ίνας σε κτήρια (FTTB, FTTH). Θα μπορούσε ακόμη να προταθεί συνδυασμός τοπολογίας δένδρου και δακτυλίου. Η τοπολογία πρέπει να επιλεγεί με βάση:

- την πυκνότητα του πληθυσμού ή την επιθυμητή διείσδυση
- τις απαιτήσεις εύρους ζώνης
- την κατηγορία των πελατών που το συγκεκριμένο τμήμα δικτύου εξυπηρετεί (business or residential)
- την υπάρχουσα υποδομή

Οι συνδέσεις / υπηρεσίες που μπορούν να προσφέρουν τα δίκτυα FTTx εξαρτώνται από τη σύνθεση των OLT & ONU και μπορούν γενικά να περιλαμβάνουν:

- Τηλεφωνία, ISDN
- Ψηφιακές μισθωμένες γραμμές $n \times 64$ kb/s, 2Mb/s ή και περισσότερο, ανάλογα με την ταχύτητα μετάδοσης που χρησιμοποιείται (π.χ. 155 ή 622 Mb/s στην περίπτωση δακτυλίων SDH)
- Συνδέσεις IP & ATM και υπηρεσίες που βασίζονται σ' αυτές
- Συνδέσεις VDSL και υπηρεσίες που βασίζονται σ' αυτές
- Υπηρεσίες Video Broadcast
- Υπηρεσίες Video on Demand



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ FTTx ΓΙΑ ΤΟΝ ΟΤΕ

Η τεχνολογία FTTx παρουσιάζει τις ίδιες ιδιαιτερότητες με την τεχνολογία ΕΤΤΗ, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με την εγκατάσταση των οπτικών ινών. Η μόνη διαφορά έγκειται στον ενεργό εξοπλισμό που οδηγεί σε διαφοροποίηση του κόστους της κάθε λύσης.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΣΕ ΠΟΛΕΙΣ ΚΑΙ ΚΤΗΡΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό περιέχεται μια γενική ανάλυση των διαθέσιμων Επιλογών Ανάπτυξης Υποδομών δικτύου οπτικών ινών σε πόλεις. Κάθε επιλογή προσφέρει χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα καθώς και περιορισμούς. Οι επιλογές ανάπτυξης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά.

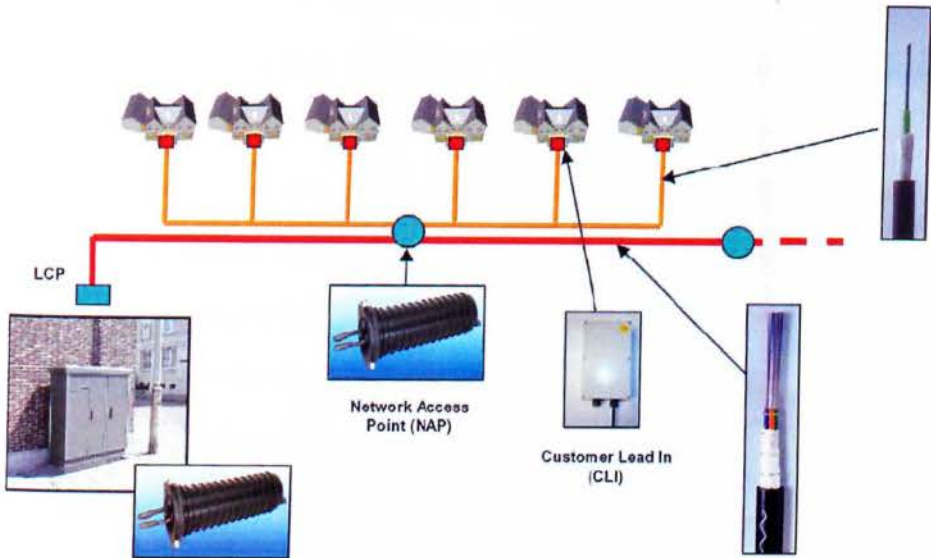
5.1 Βασικές Υποδομές με Σωλήνες

5.1.1 Συμβατική Υποδομή με Σωλήνες (Σ)

Αυτή είναι η πιο συμβατική μέθοδος υπόγειας εγκατάστασης καλωδίου και συμπεριλαμβάνει τη δημιουργία ενός δικτύου σωλήνων που επιτρέπει την εκ των υστέρων εγκατάσταση καλωδίων με τεχνικές έλξης, εμφύσησης ή επίπλευσης. Αυτή μπορεί να 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. Όπως και στη μέθοδο άμεσου ενταφιασμού (παρακάτω) πρέπει να ληφθούν υπόψη τα υπόλοιπα ενταφιασμένα δίκτυα κοινής ωφελείας. Η αποτελεσματικότητα της εγκατάστασης καλωδίου σε σωλήνες



εξαρτάται έντονα από την ποιότητα της τοποθέτησης του σωλήνα, ανεξάρτητα από την μέθοδο εγκατάστασης.

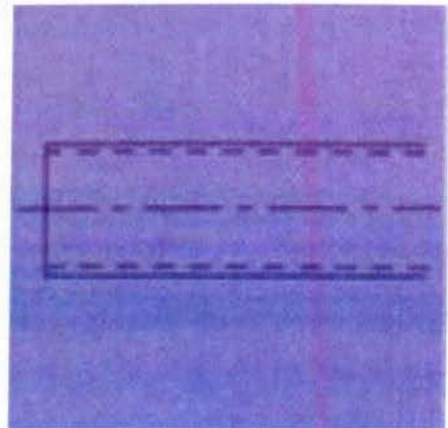


Σχήμα18. Συμβατική Υποδομή με Σωλήνες

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. Τα καλώδια εγκαθίστανται στους σωλήνες με έλξη, εμφύσηση ή επίπλευση. Εάν πρόκειται να τραβηχτούν, τότε ο σωλήνας είτε πρέπει να έχει προ-εγκατεστημένου 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 και να αντέχουν τουλάχιστον στην πίεση που θα εφαρμοσθεί για το σκοπό αυτό. Οι σωλήνες HDPE θα έχουν εξωτερική διάμετρο 40mm ή 50mm και εσωτερική διάμετρο 32mm ή 44mm αντίστοιχα σε διάταξη μονών σωληνώσεων ή συστοιχιών περισσότερων της μιάς 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 υπο-σωληνώσεων 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 και κίτρινου χρώματος αντίστοιχα).



Σχήμα 19. Τυπικό δείγμα Σωλήνα HDPE

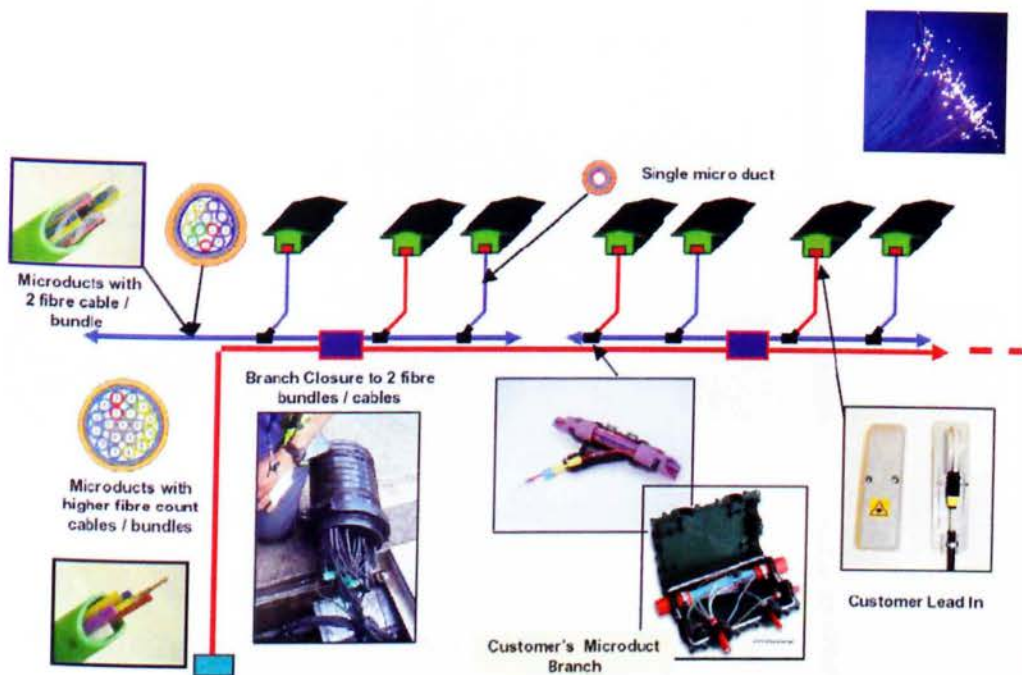


Οι σωλήνες δεν θα διακόπτονται εκτός όπου προβλέπεται από την μελέτη και συντρέχει ιδιαίτερος λόγος (συγκόλληση ινών, έλξη καλωδίων, εισαγωγή υπο-σωλήνων και συστημάτων μικρο-σωληνώσεων). Οι σωλήνες πρέπει να συμμορφώνονται στις οδηγίες για προστασία του περιβάλλοντος ISO GUIDE 64.2 (Guide for the inclusion 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

5.1.2 Συστοιχίες μικρο-σωληνώσεων M1 & M2 (Microduct bundles)

Συστοιχίες μικρο-σωληνώσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστηματικά, ιδιαίτερα στο μέρος του δικτύου που προσδιορίζεται να ικανοποιήσει άμεσα ή μελλοντικά αυξημένη πυκνότητα συνδέσεων μεταξύ κύριων κόμβων, κόμβων διανομής και πρόσβασης αλλά και στις τελικές συνδέσεις προς μεμονωμένους χρήστες. Η επιλογή αυτή χρησιμοποιεί πεπιεσμένο αέρα για τη γρήγορη εμφύσηση μονάδων οπτικών ινών και καλωδίων μικρής διαμέτρου μέσω δικτύου σωλήνων προς τους τελικούς χρήστες / κτίρια.



Σχήμα 20. Συμβατική Υποδομή με Συστοιχίες Μικροσωληνώσεων

Επίσης, μπορεί να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των συνδέσμων καλωδίων οπτικών ινών (Κ.Ο.Ι.) και των αντίστοιχων συγκολλήσεων με την εμφύσηση τμημάτων οπτικής ίνας μεγάλου μήκους στο δίκτυο σωλήνων (οι οποίοι σωλήνες συνδέονται εύκολα μέσω πρεσαριστών συνδέσμων). Η επιλογή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με υποδομή σωλήνα, άμεσου ενταφιασμού ή εναέρια και οι σωλήνες μπορούν να τοποθετηθούν σε κατασκευές σχεδιασμένες για οποιαδήποτε από αυτές τις μεθόδους. Οι μικροσωλήνες διαστασιολογούνται σύμφωνα με τον κύριο σωλήνα υποδοχής και τα καλώδια που θα εγκατασταθούν. Σε αντίθεση με τη συμβατική σωληνώση, η μικροσωληνώση πρέπει να ταιριάζει με τα καλώδια οπτικών ινών που θα χρησιμοποιηθούν για να εξασφαλιστεί η συμβατότητα κατά την εγκατάσταση. Οι μικροσωλήνες μπορεί να προσφέρονται ως ανεξάρτητοι ελεύθερης τοποθέτησης σε σωλήνα, σε συστοιχίες ή για άμεσο ενταφιασμό. Υπάρχουν και άλλες παραλλαγές για επίτοιχη τοποθέτηση (σήραγγες) ή δομές στύλων για εναέριους κλάδους.



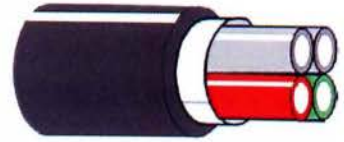
Sub divided Sub-duct



Post Installed Microduct



Protected Microduct



Σχήμα 21. Τυπικά δείγματα Μικροσωλήνων

Οι συστοιχίες μικρο-σωληνώσεων θα έχουν απαραίτητα προδιαγραφές για εξωτερική χρήση και θα είναι τοποθετημένες εντός προστατευτικών σωλήνων εξωτερικής διαμέτρου περίπου 40mm και προδιαγραφών για άμεσο ενταφιασμό (Direct Bury into Ground DB). Το εξωτερικό τους περίβλημα να επιτρέπει την ολίσθησή τους εντός σωληνώσεων ή υπο-σωληνώσεων ή παράλληλα με υπο-σωληνώσεις και άλλες συστοιχίες μικρο-σωληνώσεων εντός της αυτής σωλήνωσης. Προδιαγράφονται οι πιο κάτω τύποι συστημάτων:

- (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



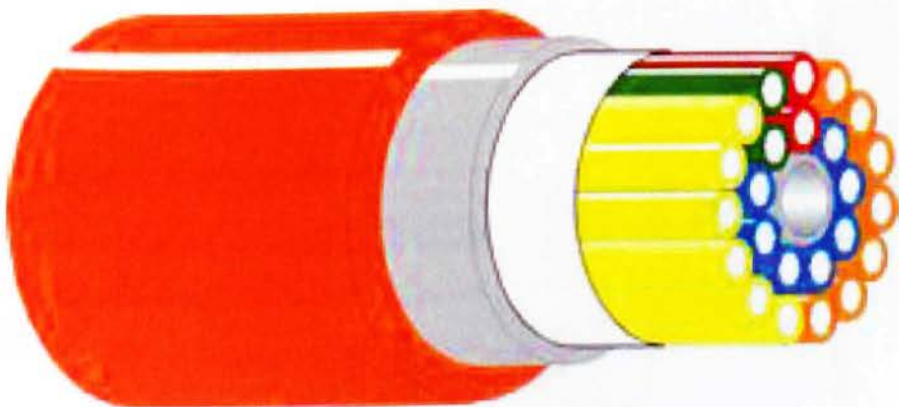
εξωτερική διάσταση της έτοιμης προς ενταφιασμό δέσμης είναι 40mm για 7 μικροσωλήνες.

- (M2) Συστοιχία μικροσωληνώσεων (microduct) με σωληνίσκους (microtubes) για την υλοποίηση του Δικτύου Συγκέντρωσης. Σε κάθε σωληνίσκο θα μπορεί να εμφυσηθεί, 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 οι M2/12, M2/19, M2/24. Οι διαστάσεις των σωληνίσκων θα πρέπει να είναι ίδιες και θα χρησιμοποιούν τους ίδιους συνδέσμους για όλες τις κατηγορίες που περιγράφονται πιο κάτω:

ο M2/24: η συστοιχία θα περιέχει τουλάχιστο 24 σωληνίσκους.

ο M2/19: η συστοιχία θα περιέχει τουλάχιστο 19 σωληνίσκους.

ο M2/12: η συστοιχία θα περιέχει τουλάχιστο 12 σωληνίσκους

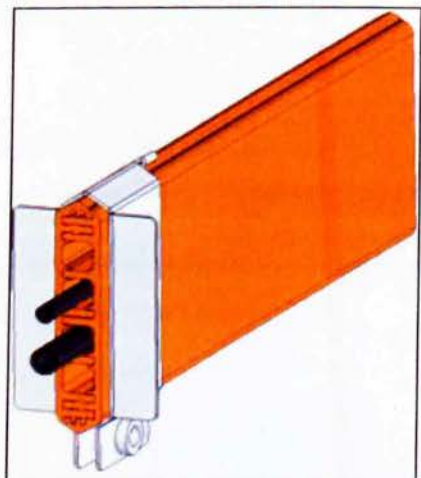
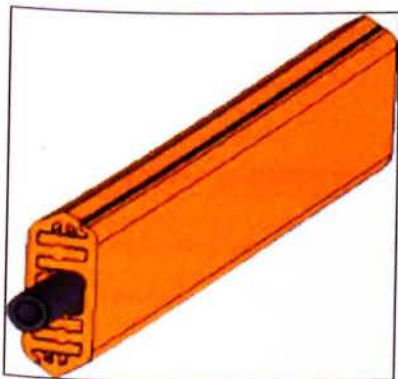


Σχήμα 22. Τυπικό δείγμα Σωλήνα Άμεσου Ενταφιασμού (DB)



- (M3) Τα πολυσωλήνια 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 πολυσωληνίου 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 άστατες καιρικές συνθήκες και στη θερμοκρασία. Ο αγωγός είναι ένα διμερές, λεπτού προφίλ σύστημα αγωγών από PVC που "κουμπώνει" γύρω από το καλώδιο ινών και έπειτα τοποθετημένος σε μια λεπτή τομή στην υποδομή. Ο αγωγός τύπου M4 αποτελείται από 1-4 αυλακώσεις διαστάσεων από 25mm – 55mm. 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 23. Τυπικό δείγμα Σωλήνα Άμεσου Ενταφιασμού (M4)



5.1.3 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 και 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



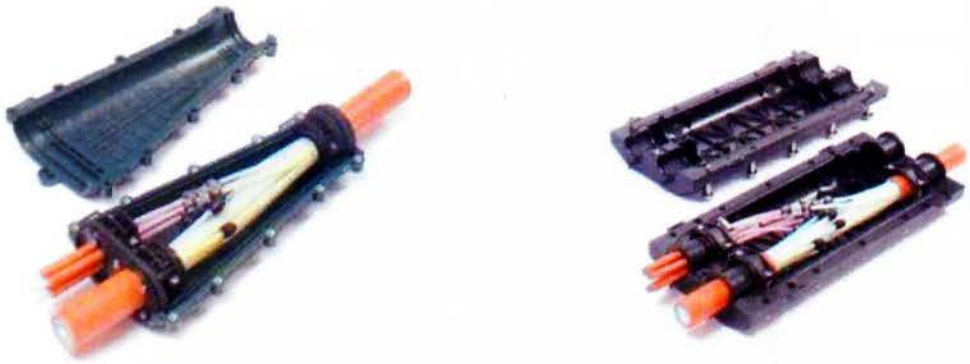
Straight Tube Connector



End Tube Connector

Σχήμα 24. Τυπικό δείγμα συνδετήρων μικροσωληνώσεων

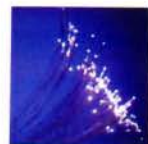
Για την ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων χώρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν διακλαδωτήρες τύπου << H >>, << Y >> θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα τρόπου οργάνωσης και στήριξής τους εντός των φρεατίων.



Σχήμα 25. Τυπικό δείγμα διακλαδωτήρων μικροσωληνώσεων

5.2 Φρεάτια σε δρόμους (Φ)

Απαιτείται η τοποθέτηση φρεατίων πρόσβασης κατάλληλου μεγέθους σε τακτά διαστήματα κατά μήκος της διαδρομής του σωλήνα. 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 περισσιών μήκους (σε κουλούρες) καλωδίου για σύνδεση και συντήρηση, των αναρτήρων και φορέων καλωδίου, καθώς και την αποθήκευση των συνδέσμων Κ.Ο.Ι. δηλαδή των κιβωτίων συγκόλλησης καλωδίου. Τα φρεάτια μπορεί να κατασκευάζονται επί τόπου ή να είναι προκατασκευασμένα για την ελαχιστοποίηση του κατασκευαστικού κόστους και της αναστάτωσης του χώρου τοποθέτησης. 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 καλυμάτων φρεατίων και κλειδαριών ασφαλείας κατά της παραβίασης.

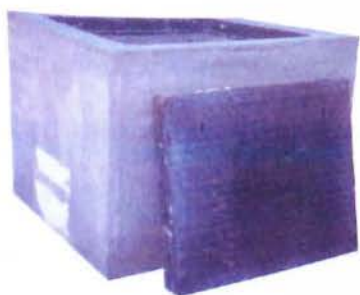
Υπάρχουν διαθέσιμοι τέσσερις βασικοί τύποι u934 Φρεατίων:

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

Υπάρχουν διάφορα μεγέθη και σχήματα για όλους τους τύπους και οι περισσότεροι τύποι από πλαστικό διατίθενται σε σταθερά μεγέθη και αρθρωτή επέκταση.

Παρακάτω φαίνονται ενδεικτικά διάφορες μορφές φρεατίων

(α): Από Σκυρόδεμα (β): HDPE (γ) : Πολυκαρβονικά



(α): Από Σκυρόδεμα



(β): HDPE



(γ) : Πολυκαρβονικά



Σχήμα 26. Τυπικό δείγμα Φρεατίων



Η επιλογή του τύπου του φρεατίου βασίζεται στα ακόλουθα κριτήρια:

- Που θα εγκατασταθεί; (κυρίως λόγοι ασφαλείας)
- Ποιο είναι το μέγιστο φορτίο που πρέπει να αντέχει;
- Πόσος χώρος απαιτείται;
- Ποιοι είναι οι τοπικοί κανονισμοί;
- Θα τοποθετηθεί υπογείως ή στην επιφάνεια του εδάφους;

Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει κίνδυνος καταστροφής ορισμένες φορές είναι προτιμότερο να τοποθετηθεί το φρεάτιο πλήρως υπογείως. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί φρεάτιο με κάλυμα με μηχανισμό ασφαλείας. Υπάρχουν διαθέσιμοι αρκετοί τύποι για όλους τους τύπους θυρίδων χειρός.

Τα φρεάτια μπορείμ να λειτουργούν ως ευθείς για τη μεταξύ τους σύνδεση διαδοχικών τμημάτων καλωδίου και ίνας, ή να λειτουργούν ως διακλαδωτικοί σύνδεσμοι προς μικρότερους ακραίους κλάδους. Στα φρεάτια θα τοποθετούνται οι σύνδεσμοι Κ.Ο.Ι. Τα κύρια ζητήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στα φρεάτια κατά τον σχεδιασμό 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 φρεατίων μπορεί να πραγματοποιείται ανά 500m για μεσαίας πυκνότητας περιοχές και ανά 250m σε υψηλής πυκνότητας περιοχές. Ενδεικτικά χαρακτηριστικά παρατίθενται στη συνέχεια:

5.2.1 Φρεάτιο Φ1 μεγάλο

Χαρακτηριστικά του φρεατίου Φ1 θα είναι:



- 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

5.2.2 Φρεάτιο Φ2 μεσαίο

Χαρακτηριστικά του φρεατίου Φ2 θα είναι:

- Μέσο μήκος φρεατίου (εσωτερικά): 600mm
- Μέσο πλάτος φρεατίου (εσωτερικά) 600mm
- Μέσο βάθος φρεατίου 650mm ε 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

5.2.3 Φρεάτιο Φ3 μικρό

Χαρακτηριστικά του φρεατίου Φ3 θα είναι:

- 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)
- Περιμετρική κάλυψη με σκυρόδεμα πάχους τουλάχιστον 150mm με οπλισμό 2#T377



5.2.4 Καλύμματα

Τα καλύμματα των φρεατίων πρέπει να υπερκαλύπτουν τις προδιαγραφές D 400 για αντοχή πάνω από 40 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 υποσωλήνων 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. Το φορτίο που πρέπει να αντέχει η θυρίδα χειρός ταξινομείται στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο: EN 124. Στο πρότυπο αυτό περιγράφονται επίσης όλες οι απαιτούμενες δόκιμες.

5.3 Τάφροι (trenches)

Ο ακριβής καθορισμός του τύπου της τάφρου 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 η αποφυγή κατασκευής νέων εγκαταστάσεων άνωθεν υφισταμένων υπογείων εγκαταστάσεων που βρίσκονται σε μεγαλύτερο βάθος (γεγονός που προκαλεί προβλήματα στην προσπέλαση των υφισταμένων εγκαταστάσεων για εκτέλεση εργασιών συντήρησης ή επέκτασης αλλά και εκθέτει τις νέες τάφρους σε κινδύνους από την εκτέλεση των



ανωτέρω εργασιών που οπωσδήποτε κάποτε θα απαιτηθούν) και οι ελάχιστες οριζόντιες αποστάσεις για λειτουργικούς λόγους και για αποφυγή βλαβών από επεμβάσεις σε παρακείμενα δίκτυα.

5.3.1 Μέθοδοι κατασκευής Τάφρου

5.3.1.1 Μέθοδος mini-Trencher (Μικροτάφρου)

Η μικροτάφρος είναι τομή ανοικτού τύπου στην άκρη του δρόμου (ασφαλτικό οδόστρωμα) ή σε πεζοδρόμια, διατομής βάθους μέχρι 400 mm και πλάτους $\leq 150\text{mm}$ σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία και με τις συστάσεις ITU-T L.48 και L.35 (CCITT outside plant technologies for public networks). Η τομή κατασκευάζεται με την χρήση μηχανημάτων τύπου trencher. Το, συγκεκριμένου τύπου, μηχάνημα διάνοιξης μικροτάφρου 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 δυνατο χρόνο.



Σχήμα 27. Τυπικό μηχάνημα για κατασκευή μικροτάφρου (mini Trencher)



Μετά τη διάνοιξη και τον καθαρισμό της τάφρου θα πρέπει να τοποθετηθούν οι κατάλληλες σωληνώσεις με τη σειρά που εμφανίζονται στο σχεδιασμό, εξασφαλίζοντας τη συγκεκριμένη χωροθέτηση τους καθ' όλο το μήκος της. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στην αποφυγή μετακινήσεων και παραμορφώσεων των σωληνώσεων ώστε να διατηρείται πάντοτε η καθ' ύψος και πλάτος χωροθέτησης των (δηλαδή η τήρηση και σταθερότητα της προβλεπόμενης διατομής της μικροτάφρου) καθ' όλο το μήκος της τάφρου. Δυνατή προς το σκοπό αυτό είναι η χρήση, ανά μικρές αποστάσεις (το πολύ 2 μ.) πλαστικών πλαισίων σταθεροποίησης των σωλήνων στην προβλεπόμενη θέση.

Η τοποθέτηση των σωλήνων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- Ταυτόχρονου ενταφιάσου 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 X μέτρα και κατόπιν ενταφιάζονται οι σωλήνες.



Σχήμα 28.: Τυπική εγκατάσταση σωλήνα για τάφρο τύπου *mini Trencher*



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 επί μέρους τμήματα, μήκους το πολύ 500μ. Θα γίνεται αποκατάσταση της τομής την ίδια ημέρα και θα παραδίδεται στην κυκλοφορία μετά την πλήρη αποκατάσταση των υλικών στην ονομαστική τους αντοχή, ώστε να κρατηθεί η όχληση σε χαμηλά επίπεδα.

Μετά την τοποθέτηση των σωλήνων γίνεται η πλήρωση του χαντακιού ως εξής σύμφωνα με τη οδηγία ITU-T η οποία αναφέρει:

- Η πρώτη στρώση θα είναι από σκυρόδεμα των 200Kg/m³
- Στην συνέχεια θα τοποθετηθεί ταινία σήμανσης η ενδεικτικό πλέγμα κατασκευασένομ σύμφωνα με το EN 12613
- Η τελευταία στρώση θα περιλαμβάνει την αποκατάσταση του ασφαλτικού της επιφάνειας στην αρχική της μορφή.

Επισημαίνεται ότι η ανάγκη μηχανικής προστασίας από τους κινδύνους λόγω εκτέλεσεως χωματουργικών εργασιών σε παρακείμενες θέσεις ή δίκτυα ενδεχομένως επιβάλλει να εξασφαλισθεί αυξημένη (ως προς τις προβλέψεις της ανωτέρω οδηγίας) μηχανική προστασία των σωλήνων με κατασκευή υποστρώματος και πλευρικών επικαλύψεων από σκυρόδεμα. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις είναι δυνατό να προταχθεί η εξασφάλιση μελλοντικής δυνατότητας επέμβασης στην υποδομή (σωλήνωση) π.χ. για παρεμβολή νέου φρεατίου σε θέση που αρχικά δεν προβλεπόταν ή δεν κρίθηκε σκόπιμη η κατασκευή του. Στις τελευταίες αυτές περιπτώσεις είναι δυνατή η χρήση ισχνού σκυροδέματος εγκιβωτισμού των σωλήνων σε τμήματα της διαδρομής. Στις



περιπτώσεις όπου η τελική επιφάνεια παρουσιάζει ιδιαιτερότητες (κυβόλιθοι, πλάκες πεζοδρομίου, κ.λ.π.) τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της τάφρου θα προσαρμόζονται ανάλογα για την ορθή και έντεχνη αποκατάσταση της τελικής επιφάνειας.

5.3.1.2 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 και δεν επηρεάζει το οδόστρωμα. Το σύστημα ένθετης οπτικής καλωδίωσης απαιτεί μόνο μια λεπτή περικοπή με τροχό. Οι τομές στις σκληρές επιφάνειες, όπως η άσφαλτος ή το σκυρόδεμα, εφαρμόζονται με ένα απλό κόφτη πλακών και είναι 1,5 cm φάρδος και 10 ή 12 cm βάθος. Στις μαλακές επιφάνειες, οι τομές εφαρμόζονται με μια μικρή μηχανή. Ιδανικά, οι τομές 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 αόρατες.



Σχήμα 29. Τυπικό μηχάνημα για τάφρο τύπου *micro Trencher*

Το σύστημα κάθετης ένθετης οπτικής καλωδίωσης σχεδιάζεται έτσι ώστε τα καλώδια οπτικών ινών να προστατεύονται μέσα στον τραχύ κάθετο αγωγό, ο οποίος είναι ανθεκτικός στις συντριβές και ικανός να αντισταθεί στις άστατες καιρικές συνθήκες και στη θερμοκρασία. Ο αγωγός είναι "zippered" κλειστός πάνω από το καλώδιο και έπειτα τοποθετημένος σε μια λεπτή τομή στην υποδομή.



Σχήμα 30. Τυπική εγκατάσταση σωλήνα για τάφρο τύπου *micro Trencher*

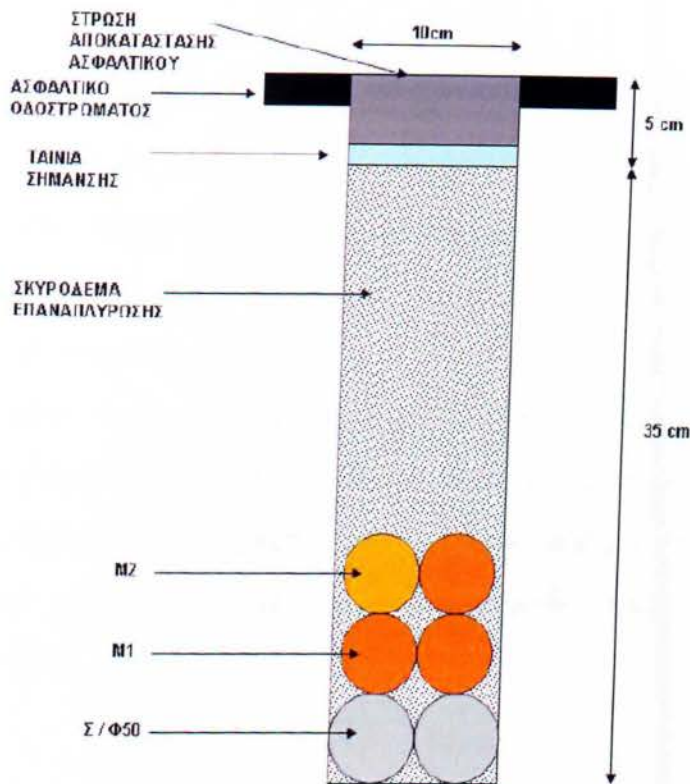


5.3.2 Τύποι Ταφρών

Επισημαίνεται ότι η κατασκευή και η διατομή των τάφρων εξαρτάται από την αρχιτεκτονική του δικτύου και στη συνέχεια από τη μελέτη. Οι κατωτέρω τύποι αναφέρονται ενδεικτικά.

5.3.2.1 Τάφρος (X1)

Η τάφρος 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 τις προδιαγραφές ITU-T L.48 και L.35 (CCITT outside plant technologies for public networks). Μετά τη διάνοιξη και τον καθαρισμό της τάφρου θα τοποθετηθούν 6 σωλήνες οι οποίοι θα είναι δυο κενοί $\Phi 50$ για εφεδρεία, 3 μικρό σωλήνες τύπου M1/7 και 1 μικροσωλήνα τύπου M2/24 εξασφαλίζοντας τη συγκεκριμένη χωροθέτηση τους καθ' όλο το μήκος της τάφρου. Στο σχήμα 4 φαίνεται η τυπική μορφή σε τομή. 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.



Σχήμα 31. Τυπική τομή Τάφρου XI

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

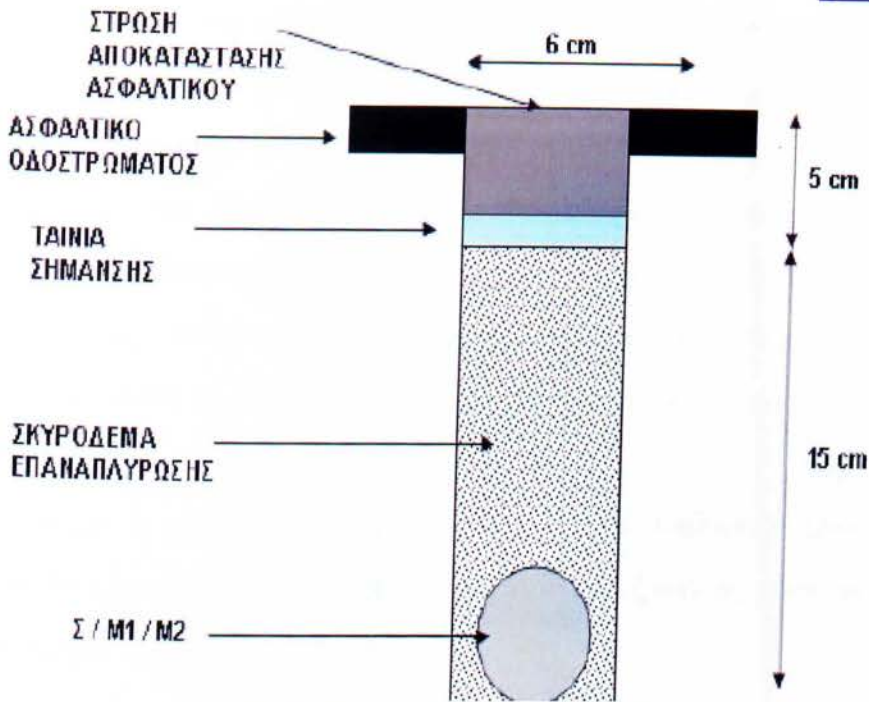
- Η πρώτη στρώση θα είναι από σκυρόδεμα των 200Kg/m³ σε ύψος περίπου 350 mm.
- Στην συνέχεια θα τοποθετηθεί ταινία σήμανσης ή ενδεικτικό πλέγμα κατασκευασμένο σύμφωνα με το EN 12613.
- Η τελευταία στρώση θα περιλαμβάνει την αποκατάσταση του ασφαλτικού της επιφανείας στην αρχική της μορφή σε ύψος τουλάχιστο 50mm.



Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε περιπτώσεις όπου απαιτείται παράλληλη εκσκαφή, αλλά και σε περίπτωση εκσκαφής κάθετης στην πορεία της τάφρου σε μεγαλύτερο βάθος που θα προκαλέσει κρέμασμα των σωλήνων να μπορεί να προβλεφθεί πλήρης εγκιβωτισμός των σωλήνων με υπόστρωμα σκυροδέματος κάτω από τους σωλήνες, αλλά και πλευρικός εγκιβωτισμός. Σκυρόδεμα αρκετά υδαρό και με λεπτόκοκκα υλικά θα ήταν ενδεδειγμένο για τον πλήρη εγκιβωτισμό της διατομής. Ακόμη η χρήση πλαισίων στήριξης των σωλήνων ανά 2 μ. περίπου, θα εξασφάλιζε την χωροθέτηση των σωλήνων σε κάθε διατομή και τον πλήρη εγκιβωτισμό τους.

5.3.2.2 Τάφρος (X2)

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



Σχήμα 32. Τυπική τομή Τάφρου X2

Στην πιο πάνω εικόνα εμφανίζεται μία τυπική τομή του μικροχάνδακα X2. Μετά τη διάνοιξη και τον καθαρισμό του 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.

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

- Η πρώτη στρώση θα είναι από σκυρόδεμα των 200Kg/m³ σε ύψος περίπου 150 mm.
- Στην συνέχεια θα τοποθετηθεί ταινία σήμανσης ή ενδεικτικό πλέγμα κατασκευασμένοι σύμφωνα με το EN 12613.
- Η τελευταία στρώση θα περιλαμβάνει την αποκατάσταση της επιφάνειας στην αρχική της μορφή, λαμβάνοντας ιδιαίτερη μέριμνα για την αποφυγή ασυνεχειών της επιφάνειας.

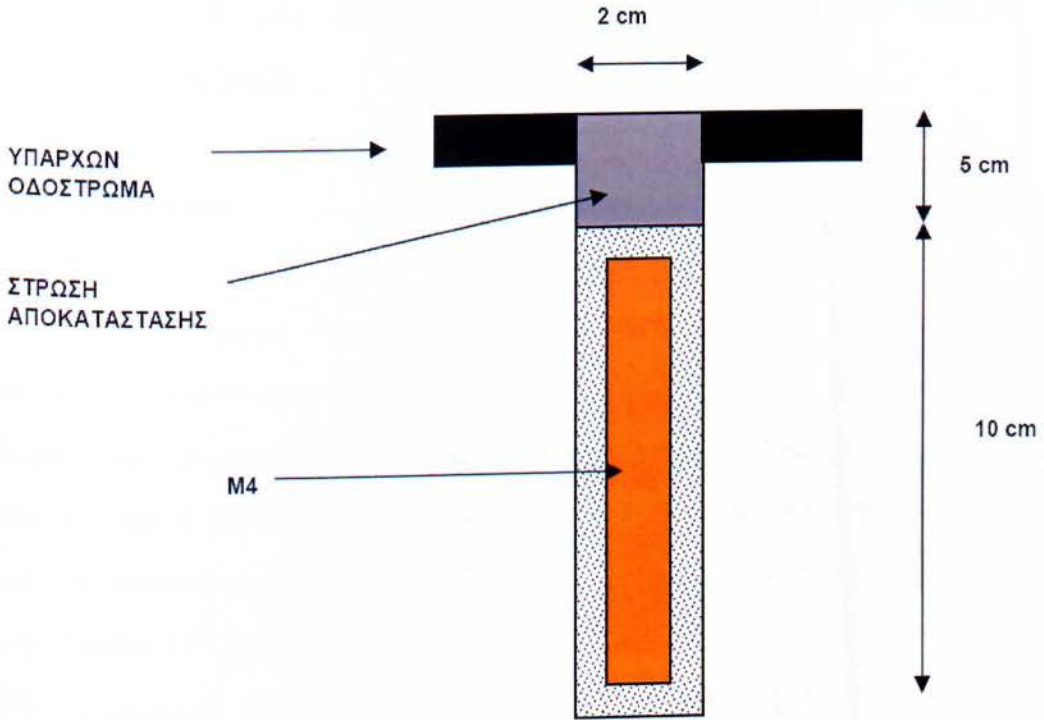


Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε περιπτώσεις όπου απαιτείται παράλληλη εκσκαφή, αλλά και σε περίπτωση εκσκαφής κάθετης στην πορεία της τάφρου σε μεγαλύτερο βάθος που θα προκαλέσει κρέμασμα των σωλήνων να μπορεί να προβλεφθεί πλήρης εγκιβωτισμός των σωλήνων με υπόστρωμα σκυροδέματος κάτω από τους σωλήνες, αλλά και πλευρικός εγκιβωτισμός. Σκυρόδεμα αρκετά υδαρό και με λεπτόκοκκα υλικά θα ήταν ενδεδειγμένο για τον πλήρη εγκιβωτισμό της διατομής.

Ακόμη η χρήση πλαισίων στήριξης των σωλήνων ανά 2 μ. περίπου, θα εξασφάλιζε την χωροθέτηση των σωλήνων σε κάθε διατομή και τον πλήρη εγκιβωτισμό τους.

5.3.2.3 Τάφρος (X3)

Η τάφρος X3 ή μικροτάφρος θα χρησιμοποιηθεί για την εξυπηρέτηση χρηστών. Κατασκευάζεται σε δρόμους, πεζοδρόμια, ρεϊθρα, προαύλιους χώρους, διατομής βάρους τουλάχιστον 150 mm και πλάτους 15-20 mm. Οι προδιαγραφές βάση προτύπου είναι υπό εξέλιξη. Θα γίνει ή χρήση των αντιστοίχων κοπτικών εργαλείων που περιγράφονται στις ανωτέρω προδιαγραφές ITU-T.



Σχήμα 33. Τυπική τομή τάφρου X3

Στην πιο πάνω εικόνα εμφανίζεται ίαμ τυπική τομή της τάφρου X3. 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 η οποία περιλαμβάνει την αποκατάσταση της επιφάνειας στην αρχική της μορφή, λαμβάνοντας ιδιαίτερη μέριμνα για την αποφυγή ασυνεχειών της επιφάνειας.

5.4 Δίκτυο Οπτικών Ινών

5.4.1 Βασικοί Τύποι Οπτικών ίνων

Ο Τύπος του Υφισταμένου Δικτύου Ινών αποτελείται από μονότροπες ίνες και αυτό μας συνδέει πίσω στον Κόμβο Πρόσβασης (ή POP [Point Of Presence - Σηείομ Παρουσίας]) στον εξοπλισμό εξυπηρέτησης. Θα απαιτηθεί μια ζεύξη σύνδεσης ίνας στην περιοχή του



δικτύου FTTH από ένα στρατηγικό σημείο στο δίκτυο (σημείο συγκέντρωσης ίνας).

Μονότροπη ίνα

Η μονότροπη ίνα προσφέρει τη μικρότερη οπτική απώλεια (καλύτερη απόσταση) και τη μεγαλύτερη ικανότητα ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. Εφόσον είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη ίνα, ειδικά στα πιο παλιά δίκτυα, είναι πιθανό να είναι η ίδια και συνεπώς συμβατή με την υφιστάμενη βάση ίνας. Συνεπώς οποιαδήποτε σύνδεση σε ένα νέο δίκτυο FTTH θα είναι διάφανη (χωρίς πρόσθετο ενεργό εξοπλισμό) και ομοιόμορφη (κοινές πρακτικές, εργαλεία και συντήρηση).

Προσφέρει επίσης τη μεγαλύτερη προοπτική περαιτέρω αναβάθμισης, με τη χρήση ενεργού εξοπλισμού υψηλότερου επιπέδου που θα εκμεταλλεύεται την τεράστια ικανότητα του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. Η επιλογή μονότροπης ίνας είναι χαμηλότερου κόστους αλλά επιβαρύνεται με μεγαλύτερο κόστος εξοπλισμού συγκριτικά με τα συστήματα πολύτροπων ινών. Για το μέλλον, οι μεγάλης κλίμακας αναπτύξεις δικτύων FTTH ενδέχεται να μειώσει τα κόστη εξοπλισμού μονότροπου τύπου λόγω αυξημένου όγκου.

Πολύτροπη ίνα

Η πολύτροπη ίνα είναι μια γενικά αποδεκτή λύση για εσωτερικά δίκτυα κτιρίων και πανεπιστημιακά δίκτυα δεδομένων. Έχει μικρότερα κόστη εξοπλισμού και σύνδεσης αλλά μεγαλύτερα κόστη ίνας συγκριτικά με τη μονότροπη ίνα. Παρέχει μικρότερη ικανότητα ρυθμού μετάδοσης δεδομένων συγκριτικά με τη μονότροπη ίνα, παρόλο που



νεώτεροι τύποι ίνας προσφέρουν μεγαλύτερη ικανότητα ρυθμού μετάδοσης δεδομένων για δίκτυα μικρών αποστάσεων. Μια παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη για τη χρήση πολύτροπης ίνας είναι η σύνδεση στην υφιστάμενη βάση ίνας, η οποία είναι μονότροπη ίνα. Αυτό θα απαιτήσει κάποιον τύπο ενδιάμεσου ενεργού εξοπλισμού. Οι πολύτροπες ίνες μπορούν να εγκατασταθούν επιτυχώς σε κτίρια διαμερισμάτων ή πολυκατοικίες με τη χρήση ενός τοπικού ενεργού κόμβου (στο υπόγειο).

5.4.2 Τύποι καλωδίων Σωλήνων

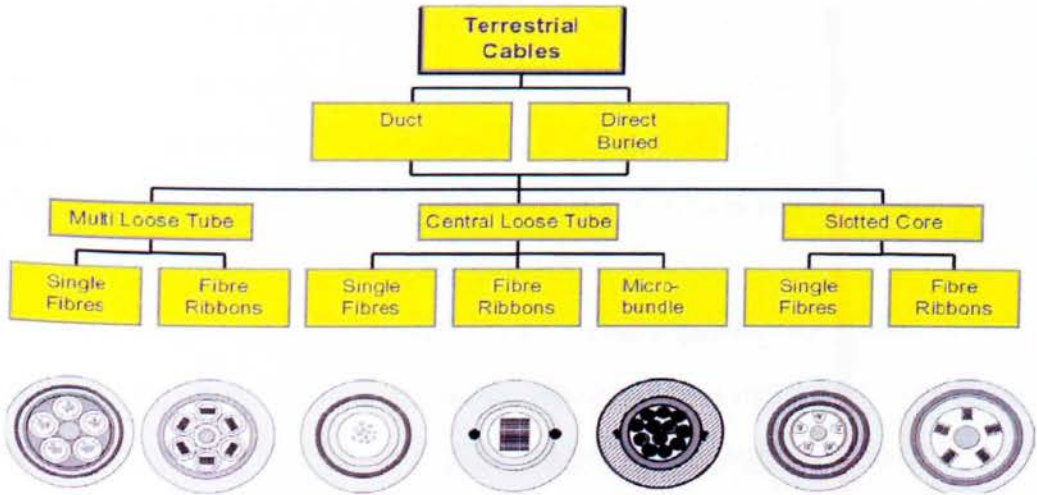
5.4.2.1 Τύποι καλωδίων για υποδομή με Σωλήνες

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία καλωδίων για χρήση σε δίκτυο σωλήνων. Εάν προβλέπεται εναλλακτικώς ή σε θέσεις όπου παρουσιάζονται δυσκολίες να έλκονται με τη χρήση βαρούλκου, θα πρέπει να είναι ανθεκτικότερα από τις εκδόσεις εμφύσησης, καθώς η εφαρμοζόμενη δύναμη εφελκυσμού μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη.

Τα καλώδια εμφύσησης πρέπει να είναι σχετικά ελαφρά και άκαμπτα προς υποβοήθηση της διαδικασίας εμφύσησης. Η ύπαρξη του σωλήνα προσφέρει μεγάλο βαθμό προστασίας σύνθλιψης, με εξαίρεση τα σημεία εισόδου του καλωδίου στα φρεάτια. Τα καλώδια για τοποθέτηση εντός σωλήνα συνήθως είναι με περίβλημα μη μεταλλικό (για να μην υπάρχει ανάγκη γείωσης, για αντικεραυνική προστασία και/ή για περιβαλλοντικούς λόγους). Ωστόσο, μπορεί να περιέχουν μεταλλικά στοιχεία για μεγαλύτερη αντοχή (π.χ. κεντρικά χαλύβδινα στελέχη αντοχής), για απομακρυσμένη ανίχνευση από το έδαφος (π.χ. στοιχεία χαλκού) ή για αυξημένη προστασία από υγρασία (διαμήκης μανδύας αλουμινίου).



Το περιβάλλον των σωλήνων γενικά είναι φιλικό αλλά τα καλώδια σχεδιάζονται να αντέχουν σε ενδεχόμενο μακροχρόνιο πλημμύρισμα με νερό και σποραδικό πάγωμα.



Σχήμα 34. Κατηγορίες καλωδίων για χρήση σε σωλήνες

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία σχεδίων καλωδίου, όλα όμως βασίζονται σε μικρό αριθμό στοιχείων. Το πρώτο και πιο συνηθισμένο ‘δομικό στοιχείο’ είναι ο θάλαμος ελεύθερης τοποθέτησης (σωληνίσκος χαλαρής δομής), που αποτελείται από ένα πλαστικό θάλαμο που περιέχει τον απαιτούμενο αριθμό ινών (4 ή 12) μαζί με ένα συστατικό πλήρωσης του θαλάμου (επίστρωση) που προστατεύει τις ίνες και τις βοηθά να κινούνται εντός του θαλάμου καθώς το καλώδιο διαστέλλεται και συστέλλεται λόγω των περιβαλλοντικών και μηχανικών συνθηκών.

Άλλα δομικά στοιχεία είναι πολλές ίνες σε μορφή ταινίας ή εντός λεπτού εύκολα απογυμνούμενου θαλάμου επικάλυψης. Οι ίνες μπορεί επίσης να είναι συγκεντρωμένες σε στενές σχισμές χαραγμένες σε ένα κεντρικό στοιχείο καλωδίου.



Τυπικά, οι θάλαμοι (που περιέχουν ξεχωριστές ίνες ή πολλαπλές ταινίες) διατάσσονται σε διάταξη SZ γύρω από ένα κεντρικό στοιχείο καλωδίου που αποτελείται από ένα ενισχυτικό στέλεχος με πλαστικό περίβλημα κεντρικό στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης). Μπορεί επίσης να περιλαμβάνονται και υλικά αντίστασης στην απορρόφηση νερού όπως αδιάβροχες ταινίες και νήματα ή Jelly για την αποτροπή διείσδυσης υγρασίας στο καλώδιο είτε περιφερειακά είτε κατά μήκος, με εξωτερικό περίβλημα πολυαιθυλενίου (ή εναλλακτικών υλικών) για προστασία από το εξωτερικό περιβάλλον.

Οι ίνες, οι ταινίες ή οι δέσμες μπορεί επίσης να εσωκλείονται εντός ενός μεγάλου κεντρικού θαλάμου. Αυτό στη συνέχεια περιβάλλεται από εξωτερικό περίβλημα μαζί με ενισχυτικά στοιχεία.

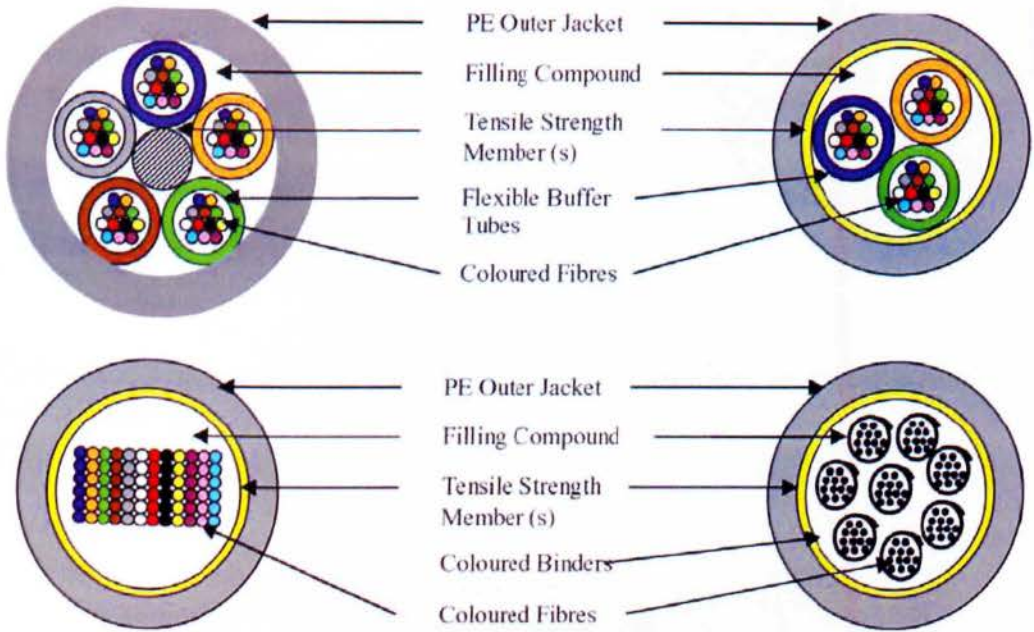
5.4.2.2 Τύποι καλωδίων για υποδομή σε μικροσωλήνες

Τα καλώδια μικροσωλήνων μπορεί να είναι καλώδια μικροσωλήνων (π.χ. διαμέτρου 6mm 72 ινών για χρήση σε μικροσωλήνα 10/8) ή πολύ μικρά καλώδια μονάδων οπτικών ινών εμφύσησης που περιέχουν έως 12 ίνες εντός 1 έως 3mm (π.χ. 4 ίνες x 1mm διάμετρος για χρήση σε σωλήνες 5/3.5mm). Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται σε αυτούς τους σωλήνες είναι μικρά ελαφριά που τυπικά απαιτούν το σωλήνα για προστασία. Με άλλα λόγια, ο σωλήνας και το καλώδιο συμπεριφέρονται μαζί ως σύστημα. Τα καλώδια εγκαθίστανται με εμφύσηση. Και οι δύο τύποι καλωδίου φέρουν ειδικά εξωτερικά περιβλήματα για να υποβοηθήσουν την εμφύσηση.

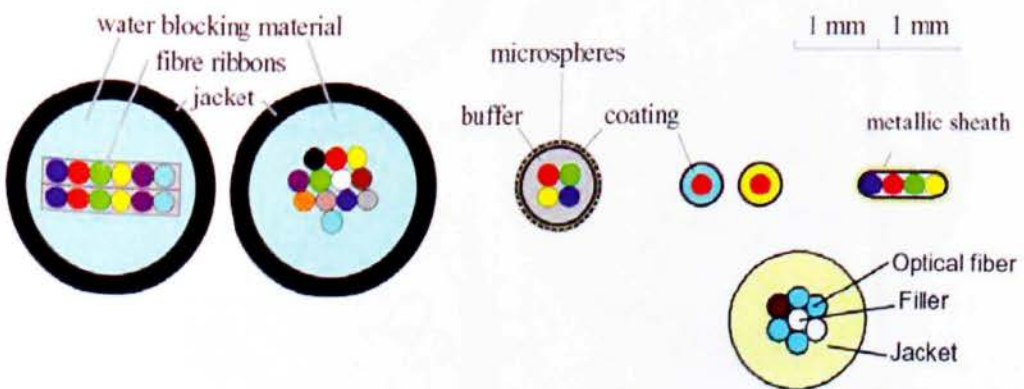
Το μέγεθος του μικροσωλήνα επιλέγεται για να ταιριάζει με το καλώδιο και τον απαιτούμενο αριθμό ινών. Παρακάτω αναγράφονται



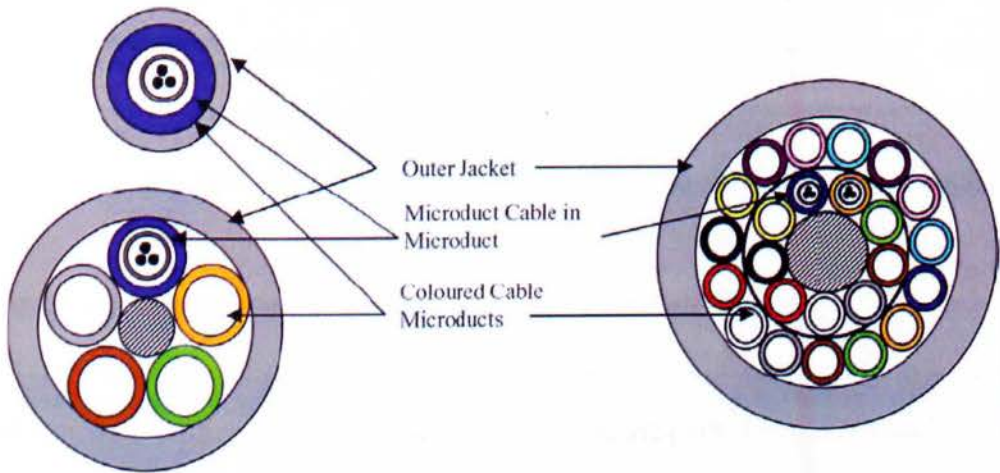
τυπικοί συνδυασμοί μεγέθους καλωδίου και μεγέθους σωλήνα.
Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα μεγέθη και συνδυασμοί.



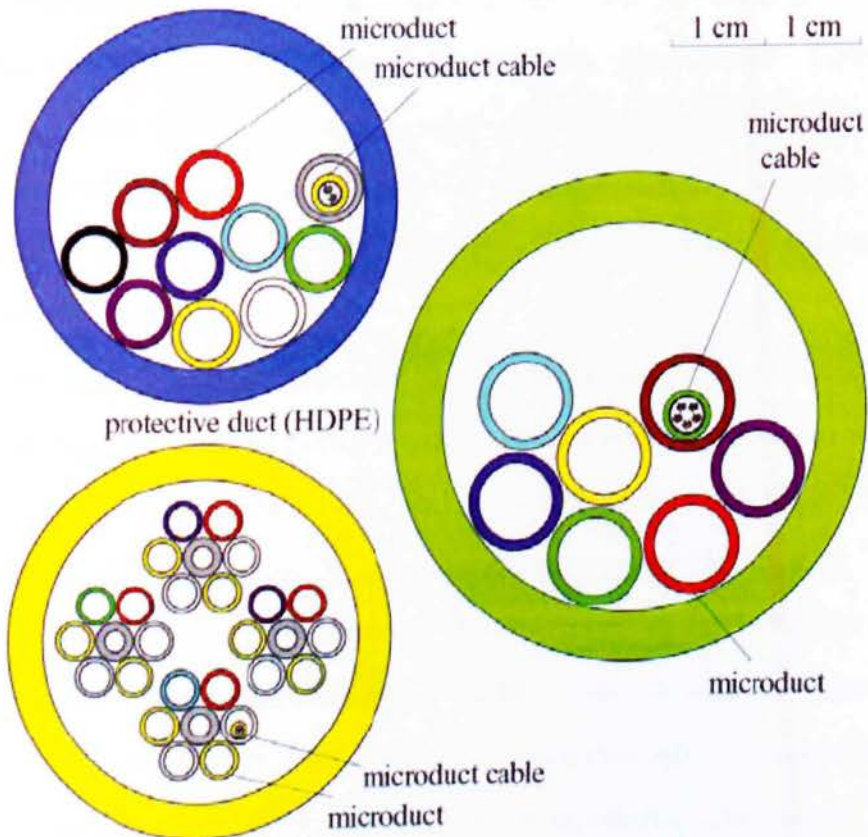
Σχήμα 35. Καλώδια μικροσωλήνων οπτικών ινών



Σχήμα 36. Μονάδες οπτικής ίνας



Σχήμα 37. Μικροσωλήνας προστατευόμενου καλωδίου με ενσωματωμένο σφιχτό εξωτερικό σωλήνα



Σχήμα 38. Προστατευόμενοι μικροσωλήνες, ελεύθερης τοποθέτησης



Η απόσταση εμφύσησης που επιτυγχάνεται εξαρτάται από το μικροσωλήνα, το καλώδιο και τον εξοπλισμό εγκατάστασης που χρησιμοποιείται καθώς και από τη δυσκολία της διαδρομής (ειδικά η ύπαρξη γωνιών και κατακόρυφων αποκλίσεων στη διαδρομή). Καθώς η οπτική ίνα καταλήγει στον τελευταίο κλάδο προς το σπίτι, μπορεί να είναι εφικτή η χρησιμοποίηση ακόμη μικρότερων σωλήνων (π.χ. εξωτερικής διαμέτρου 4mm / εσωτερικής διαμέτρου 2.5mm ή εξωτερικής διαμέτρου 3mm / εσωτερικής διαμέτρου 2.1mm), καθώς η απόσταση εμφύσησης μπορεί να είναι σχετικά μικρή.

5.4.3 Μέθοδοι Εγκατάστασης Καλωδίων Σωλήνων

5.4.3.1 Εγκατάσταση καλωδίου με Έλξη

Οι παρακάτω πληροφορίες αποτελούν ένα περίγραμμα των απαιτούμενων παραμέτρων εγκατάστασης και εξοπλισμού. Πρέπει επίσης να γίνει αναφορά στην προδιαγραφή IEC (International Electrotechnical Commission) 60794-1-1. Παράρτημα C 'Guide to the installation of optical fibre cables' (Οδηγός εγκατάστασης καλωδίων οπτικών ινών).

Για να τραβηχτούν καλώδια εντός σωλήνα, πρέπει είτε να υπάρχει προεγκατεστημένος οδηγός έλξης ή αυτός πρέπει να εγκατασταθεί πριν από την έλξη του καλωδίου. Το καλώδιο για την έλξη του τηλεπικοινωνιακού καλωδίου και ο σχετικός μηχανισμός πρέπει να διαθέτει στροφέα, που επιτρέπει στο καλώδιο να περιστρέφεται ελεύθερα κατά την εγκατάσταση, καθώς και ασφάλεια έναντι υπέρβασης της προβλεπόμενης δύναμης εφελκυσμού, ονομαστικής αντοχής μικρότερης ή ίσης της αντοχής εφελκυσμού του καλωδίου. Για να υπάρχει δυνατότητα εγκατάστασης μεγάλων μηκών καλωδίου, το



καλώδιο οπτικών ινών θα πρέπει να έχει επαρκή ονομαστική αντοχή για το πρόσθετο απαιτούμενο φορτίο έλξης ή να υπάρχουν ενδιάμεσα σημεία πρόσβασης στο καλώδιο κατά την εγκατάσταση, από 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 υπερβαίνουν. Το φορτίο εφελκυσμού αντιπροσωπεύει τη μέγιστη δύναμη εφελκυσμού 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 με την προϋπόθεση να μην αντιβαίνει η χρήση τους (ανάλογα με το είδος του λιπαντικού) στις προδιαγραφές των καλωδίων και των σωλήνων. 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 υπάρξει 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.



5.4.3.2 Εγκατάσταση καλωδίου με Εμφύσηση

Παραδοσιακά, τα καλώδια εγκαθίστανται στους σωλήνες με έλξη. Προσφάτως, ειδικά με την ανάπτυξη ελαφρών μη μεταλλικών τύπων καλωδίου, ένα σημαντικό ποσοστό καλωδίων εγκαθίστανται με εμφύσηση. Αυτή μπορεί να είναι γρηγορότερη από την έλξη και μπορεί να επιτρέψει την εγκατάσταση μεγαλύτερων συνεχόμενων μηκών. Εάν εγκατασταθούν εφεδρικοί σωλήνες, υπάρχει στη συνέχεια δυνατότητα εγκατάστασης αντίστοιχων καλωδίων όταν αυξηθεί η ζήτηση ('έγκαιρα').

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.

5.4.3.3 Εγκατάσταση καλωδίου με Επίπλευση

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα περισσότερα υπόγεια καλώδια εξωτερικής τοποθέτησης εκτίθενται σε νερό για μεγάλο μέρος της ζωής τους, η επίπλευση είναι μιμ 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

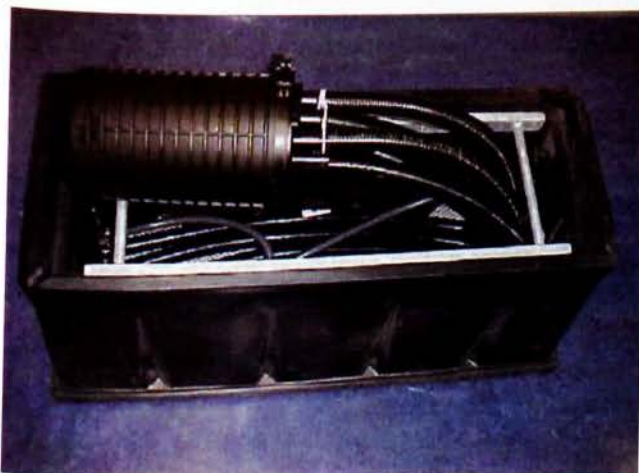


εσωτερικής διαμέτρου του σωλήνα. Εντούτοις έχουν επιτευχθεί καλά αποτελέσματα και σε μεγαλύτερους βαθμούς πλήρωσης, π.χ. καλώδιο 38 mm έχει περαστεί με επίπλευση για πάνω από 1.9 km σε σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου 41 mm (βαθμός πλήρωσης 93%). Επιτρέπει την ασφαλή αφαίρεση των καλωδίων από το σωλήνα (float out), καθιστώντας έτσι εφικτή την επαναχρησιμοποίηση αυτών των καλωδίων. Συγκριτικά η αφαίρεση καλωδίου με φύσημα (blow out) είναι μια επικίνδυνη διαδικασία.

5.5 Διατάξεις Συγκόλλησης Οπτικών Ινών

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

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 διευθέτηση των διερχομένων θαλάμων ή ταινιών του καλωδίου - τροφοδότη.



Σχήμα 39. Διατάξεις συγκόλλησης Ινών



Η βασική δομή μπορεί να απαρτίζεται από ένα πλαστικό περίβλημα, υδατοστεγές (συμμορφούμενο στο πρότυπο IP68) και θα συμπεριλαμβάνει σύστημα εισαγωγής, σφράγισης και στεγανότητας κατά την είσοδο 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 στο παρόν έργο (σύνδεσμοι- «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 μικροσωλήνωση μικρο-καλωδίου.

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.

5.6 Εξωτερικοί Οικίσκοι

Οι εξωτερικοί οικίσκοι ή καμπίνες είναι μεταλλικοί ή πλαστικοί χώροι στέγασης τοποθετημένα υπέργεια συνήθως σε πεζοδρόμια. Τα ερμάρια συνήθως τοποθετούνται για σχετικά εύκολη και γρήγορη πρόσβαση στα κυκλώματα οπτικών ινών. Συγκριτικά με τα φρεάτια που θα εγκατασταθούν οι σύνδεσμοι μπορούν να δεχτούν μεγαλύτερο αριθμό ινών και μπορούν να προσφέρουν ευελιξία τύπου οπτικού καταναμητή (ODF). Αυτά συχνά χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση διατάξεων διαχωριστών (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 40. Εξωτερικοί Οικίσκοι

Το Ερμάριο Δρόμου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως σημείο διανομής σωλήνα και/ή καλωδίου οπτικών ινών στην περιοχή πρόσβασης. Το Ερμάριο Δρόμου αποτελείται από 3 μέρη: Βάση, τμήμα Διαχείρισης Σωλήνα και τμήμα Διαχείρισης Συγκόλλησης. Οι Σωλήνες, τα Δομικά Καλώδια και τα Καλώδια Οπτικής Ίνας μπορούν να στερεωθούν σε ράγα τοποθέτησης. Το διαμέρισμα διαχείρισης σωλήνα χρησιμοποιείται για τη σύνδεση, διαμοίραση και αποθήκευση σωλήνων και καλωδίων. Το ίδιο διαμέρισμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σημείο πρόσβασης για εμφύσηση (επίσης εμφύσηση ενδιάμεσου σημείου) Μονάδων Ινών, σωλήνων ή Καλωδίων Οπτικών Ινών.

Από το τμήμα διαχείρισης σωλήνα οι σωλήνες και τα καλώδια οδηγούνται στο τμήμα διαχείρισης συγκόλλησης (Κιβώτιο, Κουτί Τερματισμού). Στο τμήμα διαχείρισης συγκόλλησης μπορούν να συγκολληθούν οι ίνες των διάφορων τύπων καλωδίων. Αυτή η κατασκευή επιτρέπει την εύκολη και χωρίς σφάλματα σύνδεση των διάφορων τύπων καλωδίων.



Σχήμα 41. Εξωτερικό κιβώτιο διανομής

5.7 Οπτικός Κατανομητής (ODF)

Ο οπτικός κατανομητής (ODF) είναι το σημείο διασύνδεσης μεταξύ των καλωδίων της εξωτερικής εγκατάστασης (εξωτερικό δίκτυο) και του ενεργού εξοπλισμού μετάδοσης. Τυπικά αυτά είναι κάπως μεγάλα σε μέγεθος και συγκεντρώνουν αρκετές εκατοντάδες έως αρκετές χιλιάδες οπτικές ίνες.

Γενικά τα εξωτερικά καλώδια τερματίζονται εντός ενός ODF με τη χρήση τυπικού οπτικού συνδετήρα. Αυτό κανονικά προβλέπει τη συγκόλληση ενός προσαρμογέα απόληξης οπτικής ίνας με συνδετήρα (καλωδιοουράς) στην απόληξη κάθε οπτικής ίνας. Στις περισσότερες



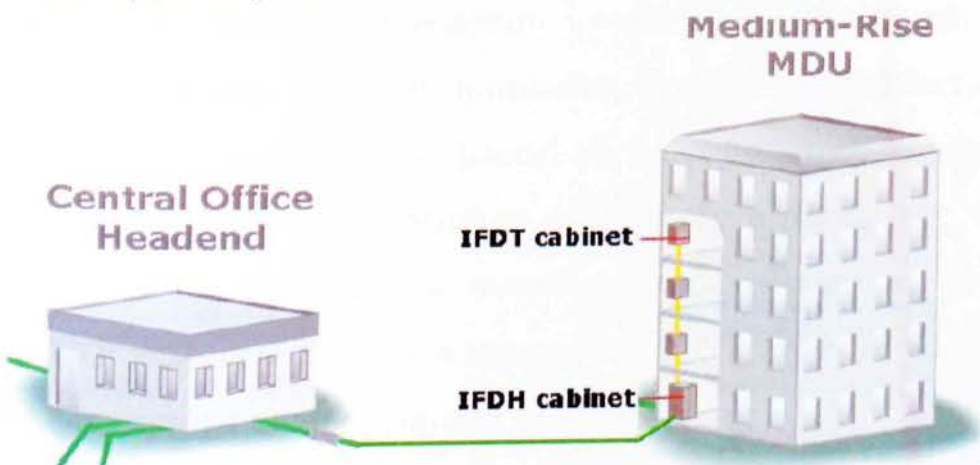
περιπτώσεις, το ODF προσφέρει ευέλικτη σύνδεση μεταξύ των θυρών ενεργού εξοπλισμού και των συνδετήρων των οπτικών ινών πεδίου. Οι ίνες αναγνωρίζονται και αποθηκεύονται τυπικά σε φυσικά διαχωρισμένα ερμάρια ή ράφια για απλοποίηση της συντήρησης και προστασία του κυκλώματος οπτικών ινών ή για την αποφυγή ακούσιας επέμβασης σε ευαίσθητα κυκλώματα ινών.

5.8 Είσοδος Οπτικής ίνας στο Σπίτι

Για την ανάπτυξη οπτικής υποδομής σε χρήστες (FTTH) τα οποία αποτελούνται κυρίως από κτήρια πολυκατοικιών και λιγότερο από μονοκατοικίες, απαιτείται ο σχεδιασμός να γίνει ανάλογα με την γεωγραφική περιοχή, τον πληθυσμό αλλά και τον τύπο των κτηρίων.

Σαν γενική παραδοχή, η υποδομή FTTH αφορά το τμήμα εισόδου στο κτήριο και η πρόσβαση στο/α διαμερίσματα μέχρι το σημείο αναμονής στο εσωτερικό του χρήστη. Τέλος έχουμε την οπτική σύνδεση του χρήστη από τον τελευταίο κόμβο πρόσβασης μέχρι το τερματικό σημείο του διαμερίσματος.

Η βασική μορφή ανάπτυξης της υποδομής για οπτική καλωδίωση στο χρήστη (σε κτήρια πολυκατοικιών) φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 42. Γενική μορφή διάταξης κάθετης εγκατάστασης οπτικής υποδομής



Η παραπάνω διάταξη περιλαμβάνει τα παρακάτω:

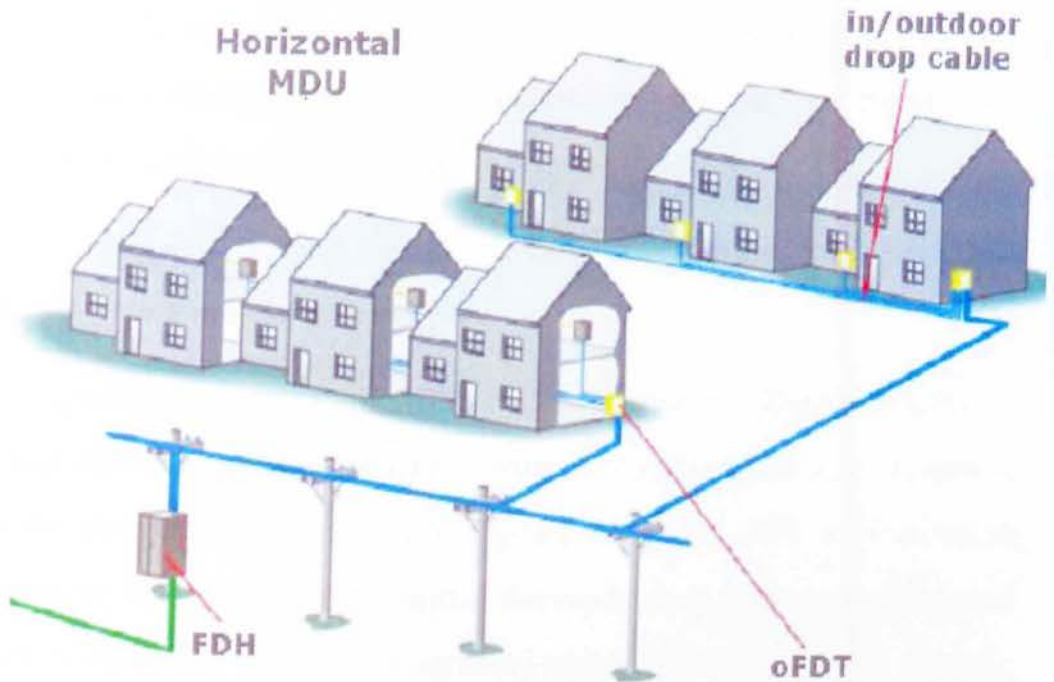
- Το Κόμβο πρόσβασης (Καμπίνα εξωτερική ή εσωτερική)
- Καμπίνα διακλάδωσης Ισογείου
- Κατανεμητής Ορόφου

Στα συγκροτήματα κατοικιών, η εσωτερική καλωδίωση αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα της Υποδομής FTTH. Το παραπάνω διάγραμμα αναφέρεται στην εσωτερική καλωδίωση ενός κτιρίου με ανάπτυξη μικροσωλήνα ή συμβατικό καλώδιο. Οι μικροσωλήνες αναπτύσσονται σε ανοδικούς κλάδους προς κάθε όροφο από ένα ισόγειο σημείο εισόδου. Οι σωλήνες δρομολογούνται οριζόντια προς κάθε διαμέρισμα ή δωμάτιο χρησιμοποιώντας κατά περίπτωση διατάξεις διαχωρισμού για τη διανομή των σωλήνων. Η εσωτερική μικροσωλήνωση κατατάσσεται σε κατηγορία εσωτερικής ανάπτυξης από το ισόγειο σημείο εισόδου (δηλαδή χαμηλής εκπομπής καπνού και μηδενικής εκπομπής αλογόνου). Οι μικροσωλήνες στερεώνονται ανά τακτά διαστήματα σε οριζόντια θέση. Οι μονάδες ή τα καλώδια ινών εγκαθίστανται στους μικροσωλήνες από έξω, στη συνέχεια στον ανοδικό κλάδο και τέλος εντός των διαμερισμάτων μέσω οριζοντίων ακραίων κλάδων μικροσωλήνα. Παρόμοια προσέγγιση μπορεί να υιοθετηθεί και για συμβατικό καλώδιο. Όταν χρησιμοποιείται Ενεργός Κόμβος διανομής στο ισόγειο της πολυκατοικίας μπορεί να θεωρηθεί ότι χρησιμοποιεί πολύτροπη ίνα αντί για μονότροπη ίνα. Αυτός ο τύπος ίνας έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε επαγγελματικούς χώρους για τοπικά δίκτυα. Οι πολύτροπες ίνες είναι προτιμητέες καθώς έχουν χαμηλότερο κόστος συγκριτικά με τα συστήματα πολύτροπης ίνας.

Η βασική μορφή ανάπτυξης της υποδομής για οπτική καλωδίωση στο χρήστη (σε μεμονωμένες κατοικίες) φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



(η εναέρια διαδρομή είναι ενδεικτική και δεν αποτελεί προτεινόμενη μέθοδο εγκατάστασης).



Σχήμα 43. Γενική μορφή διάταξης οριζόντιας εγκατάστασης οπτικής υποδομής

Η παραπάνω διάταξη περιλαμβάνει τα παρακάτω:

- Το Κόμβο πρόσβασης (Καμπίνα εξωτερική ή εσωτερική)
- Το κιβώτιο σύνδεσης

Στα κτίρια κατοικιών, ο ακραίος κλάδος γενικά θα τερματίζεται στην κατασκευή του σπιτιού και θα δρομολογείται εξωτερικά σε ένα κουτί τερματισμού. Αυτό με τη σειρά του δρομολογεί την ίνα σε μια Μονάδα Τερματισμού (η οποία μπορεί να αποτελεί τμήμα της Μονάδας Οπτικού Δικτύου (Optical Network Unit – ONU)). Εάν η μονάδα αυτή βρίσκεται εντός του κτιρίου, θα πρέπει οι ίνες να διατρέξουν το τοίχωμα



του κτιρίου μέσω κατάλληλης διάταξης εισόδου καλωδίου (CLI) και στη συνέχεια να δρομολογηθούν εντός του κτιρίου προς την ONU.

Εάν η ONU είναι τοποθετημένη εξωτερικά εντός κουτιού, ο ακραίος κλάδος απλά τερματίζεται με παρόμοιο τρόπο σε μια τροφοδοσία δικτύου u954 κοινής ωφελείας. Και στις δύο περιπτώσεις, η απαίτηση εσωτερικής οπτικής καλωδίωσης είναι μικρή ή δεν υπάρχει, παρά μόνον εάν ζητηθεί από τον ιδιοκτήτη του σπιτιού/συνδρομητή.

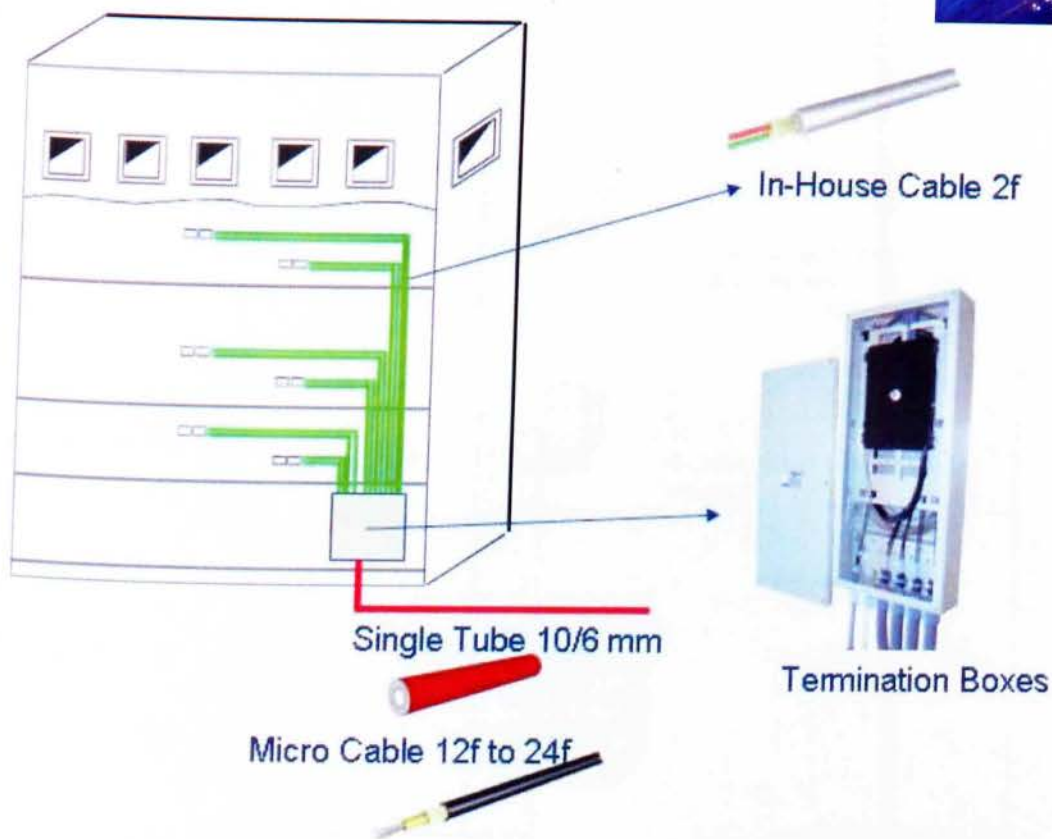
5.8.1 Σημείο Εισόδου στο κτήριο

Ανάλογα με τον τύπο της οικίας υπάρχουν και διάφοροι μέθοδοι για την είσοδο του καλωδίου στο κτήριο. Αυτό εξαρτάται κυρίως από το που θα βρίσκεται το τελευταίο σημείο διανομής. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θεωρούμε ότι το σημείο διανομής βρίσκεται στο εξωτερικό μέρος του κτηρίου (σε κάποιο οικίσκο) και συνδέεται η οικία ή αριθμός κατοικιών.

5.8.1.1 Σημείο Εισόδου σε πολυκατοικία

Περίπτωση 1:

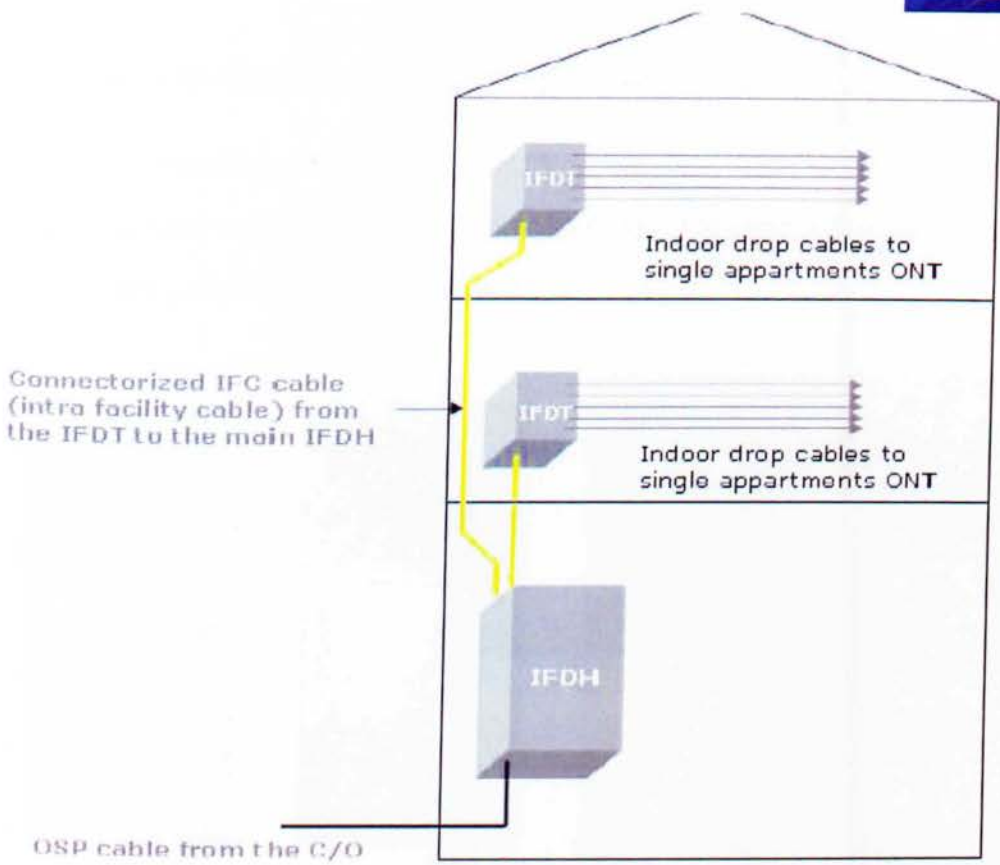
Σε περίπτωση πολυκατοικίας τοποθετούμε ανάλογα με τον αριθμό των διαμερισμάτων εσωτερικό κεντρικό κουτί διανομής και από εκεί σε κάθε διαμέρισμα χωριστά εγκαθιστούμε εσωτερική καλωδίωση μέχρι το σημείο τερματισμού



Σχήμα 44. Σημείο εισόδου σε πολυκατοικία (περίπτωση 1)

Περίπτωση 2:

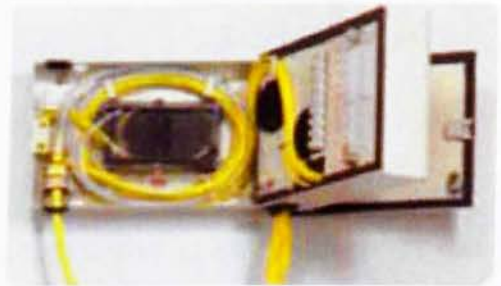
Η περίπτωση 2 αφορά πολυκατοικία στην οποία τοποθετούνται στο ισόγειο το γενικό πίνακα διανομής και σε κάθε όροφο το τερματικό κουτί διακλάδωσης ανάλογα με τον αριθμό των διαμερισμάτων ανά όροφο τοποθετούμε ανάλογα με τον αριθμό των διαμερισμάτων εσωτερικό κουτί διανομής ανά όροφο και από εκεί σε κάθε διαμέρισμα χωριστά εγκαθιστούμε εσωτερική καλωδίωση



Σχήμα 45. Σημείο εισόδου σε πολυκατοικία (περίπτωση 2)



(α) : IFDH



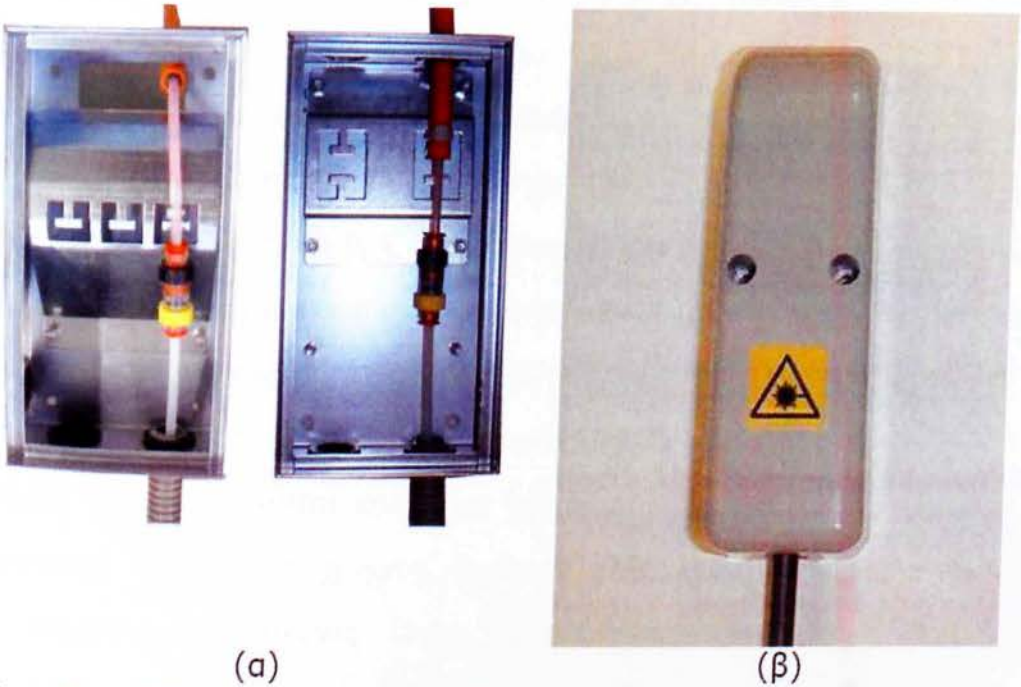
(β): IFDT

Σχήμα 46. Ενδεικτικά κουτιά διανομής και διακλάδωσης σε πολυκατοικία (περίπτωση 2)



5.8.1.2 Σημείο Εισόδου σε κτήριο / μονοκατοικία

Σε περίπτωση μονοκατοικίας τοποθετούμαι κουτί εισόδου καλωδίου είτε εξωτερικό είτε εσωτερικό και εγκαθιστούμε εσωτερική καλωδίωση μέχρι το σημείο τερματισμού



Σχήμα 47. (α) Εξωτερικού Κουτιού Εισόδου Καλωδίου, όπου φαίνεται η αλλαγή του σωλήνα (έχει αφαιρεθεί το κάλυμμα) – (β) Παράδειγμα Εισόδου Καλωδίου με πέρασμα ινών υπό γωνία 90ο από Τοίχο Κτιρίου

5.8.2 Εσωτερική Καλωδίωση

Τα καλώδια εσωτερικού χώρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν από την είσοδο του κτιρίου και μπορεί να διατρέχουν μικρές διαδρομές εντός ενός σπιτιού ή μεγάλες διαδρομές εντός ενός κτιρίου. Αυτά μπορεί να είναι καλώδια μονής ίνας, πιθανώς με προ-εγκατεστημένους συνδετήρες, έως σχέδια πολλών ινών σε διατάξεις διατεταγμένης τοποθέτησης ή ελεύθερης τοποθέτησης σε σωλήνα, όπως περιγράφεται



παρακάτω. 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 (για παράδειγμα IEC60332-1 και IEC 60332-3 κατηγορία C) και εκπομπή καπνού (IEC61034-2). Τα υλικά μπορεί να χαρακτηρίζονται αναφορικά με την περιεκτικότητά τους σε αλογόνο σύμφωνα με το IEC60754-1 και αναφορικά με την αγωγιμότητα και το pH σύμφωνα με το IEC60754-2.

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. Τυπικές απαιτήσεις απόδοσης καλωδίου δίνονται στη σειρά προδιαγραφών IEC60794-2.

- Ο πιο απλός τύπος καλωδίου είναι η συνδετική χορδή (patchcord) ή καλωδιοουρά (tail cable). Αυτή αποτελείται από μια ίνα διαμέτρου 250 μικρών 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 έσωμ των συνδετήρων. Αυτή πορείμ να εφαρμοστεί σε διατεταγμένη τοποθέτηση για βέλτιστη ανθεκτικότητα. ή σε ημιδιατεταγμένη στρώση για διευκόλυνση της απογύμνωσης (για παράδειγμα όπου πρέπει να απογυμνωθεί 1m ή περισσότερο για διευκόλυνση αποθήκευσης στην κασέτα). 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.

Οι ίνες μπορεί επίσης να βρίσκονται εντός θαλάμων ελεύθερης τοποθέτησης, είτε ενός κεντρικού θαλάμου 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.

5.9 Σήμανση

Οι σωληνώσεις, τα φρεάτια, οι κατανεμητές, οι διακλαδώσεις και οι καλωδιώσεις που αναφέρονται σε κτιριακές εγκαταστάσεις ή εγκαταστάσεις εισαγωγής, για την εύκολη αναγνώρισή τους κατά τους ελέγχους, τις δοκιμές, τις επισκευές ή τις τροποποιήσεις της εγκατάστασης, θα πρέπει να έχουν συγκεκριμένη σήμανση.

- Ειδικότερα, οι υπόγειες σωληνώσεις, θα σημαίνονται με ανιχνεύσιμη προειδοποιητική ταινία τοποθετημένη σε απόσταση 100 mm πάνω από το σωλήνα και η διαδρομή των υπόγειων γραμμών πρέπει να αποτυπώνεται σε σχέδιο, κατά τρόπο που να είναι δυνατός ο εντοπισμός τους χωρίς να υπάρχει η ανάγκη δοκιμαστικών εκσκαφών, σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50174-3, όπως εκάστοτε ισχύει.



- Οι οδεύσεις πρέπει να έχουν σήμανση, ειδικά αν σε ένα χώρο εμφανίζεται πάνω από μία οδευση, σύμφωνα με τα Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 50174-1 και ISO/IEC 14763-1 όπως εκάστοτε ισχύουν.
- Η κεντρική εγκατάσταση πρέπει να συμπεριλαμβάνει εγγραφές ή/και σχεδιαγράμματα που να περιλαμβάνουν την ταυτότητα της κάθε οδευσης που συνδέεται, μαζί με άλλες πληροφορίες σχετικά με την οδευση, πχ τον τύπο της, το χώρο που η κάθε οδευση εμφανίζεται, τα σημεία της γείωσης κλπ ΕΛΟΤ EN 50174-1, IEC60617 και ISO/IEC 14763-1 όπως εκάστοτε ισχύουν. Όλα τα καλώδια πρέπει να έχουν σήμανσητουλάχιστον στις δύο άκρες τους.

Το σύστημα διαχείρισης των καλωδιώσεων πρέπει να συμπεριλαμβάνει κάθε ταυτότητα των καλωδίων, όπως και κάθε άλλη πληροφορία σχετική, πχ ο τύπος του καλωδίου, το μήκος του, την ημερομηνία εγκατάστασης, το χαρακτηριστικό του σημείου τερματισμού, τις οδεύσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί και τις σχετικές γειώσεις.

Για καλώδια οπτικών ινών που περιέχουν πολλές ίνες πρέπει να σημαίνεται η κάθε οπτική ίνα χρησιμοποιώντας το χρωματοκώδικα που ορίζεται στο Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50174-1 (όπως εκάστοτε ισχύει) με ξεχωριστή ταμπέλα. Οι προτερματισμένες οπτικές ίνες (pig tale) πρέπει να διαθέτουν σήμανση σύμφωνα με τα Πρότυπα της σειράς IEC 61300-3, όπως εκάστοτε ισχύουν.

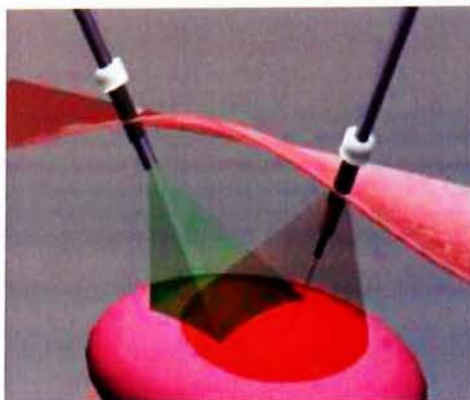


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΚΑΙ ΕΝΔΟΣΚΟΠΙΟ

6.1. Γενικά

Ο καρκίνος του παχέος εντέρου είναι η δεύτερη θανατηφόρα μορφή καρκίνου στις ΗΠΑ, μετά τον καρκίνο των πνευμόνων. Πρώτο μέτρο πρόληψης είναι βέβαια η σωστή διατροφή με έμφαση στην πρόσληψη φυτικών ινών και τροφής με λίγα λιπαρά. Δεύτερο μέτρο είναι η τακτή διερεύνηση-ανίχνευση παρουσίας προκαρκινικών όγκων. Οι όγκοι αυτοί είναι πολύποδες και αδενώματα και συνιστάται η αφαίρεσή τους πριν εξελιχθούν σε κακοήθειες. Τα ενδοσκόπια κατασκευάστηκαν για να βοηθήσουν την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων. Είναι λεπτά και εύκαμπτα για να μπορούν να προωθούνται σε στενές διόδους. Έχουν ενσωματωμένες οπτικές ίνες και video camera για να φωτίζεται και να εμφανίζεται σε εξωτερική οθόνη η περιοχή από όπου περνούν. Είναι επίσης εξοπλισμένα με μικροσκοπικά χειρουργικά εργαλεία. Με τα ενδοσκόπια ο γιατρός μπορεί να δει το εσωτερικό οργάνων, να διαγνώσει τυχόν ύπαρξη επικίνδυνων μορφωμάτων και να προβεί σε επέμβαση αφαίρεσής τους επί τόπου.



ΣΧΗΜΑ 48



Πολλές ειδικότητες ιατρικής χρησιμοποιούν ενδοσκόπια. Για το παχύ έντερο υπάρχει το σιγμοειδοσκόπιο και το ορθοσκόπιο, για την κοιλιακή χώρα υπάρχει το λαπαροσκόπιο ή περιτοναιοσκόπιο με το οποίο γίνονται εξετάσεις γυναικολογικής φύσης και εξετάσεις σχετικές με την ουροδόχο κύστη, όπως και επεμβάσεις κήλης (κοιλιοκήλη, ομφαλοκήλη, κυστεοκήλη) και στομάχου. Τέτοιου είδους επεμβάσεις παρουσιάζουν παρόμοιο ποσοστό επιτυχίας με τις κλασικές της «ανοιχτής» χειρουργικής με σημαντικά χαμηλότερο ποσοστό επιπλοκών. Τα αρθροσκόπια έχουν ευρύ πεδίο εφαρμογών σε επεμβάσεις στο γόνατο, τον αστράγαλο (ποδοκνημική άρθρωση), τον ώμο και γενικότερα σε προβληματικές αρθρώσεις. Η επέμβαση με τη βοήθεια ενδοσκοπίου συνεπάγεται συντομότερη παραμονή του ασθενούς στην κλινική και ταχύτερη ανάρρωση. Ουσιαστικά δεν δημιουργείται άνοιγμα στο δέρμα κατά την επέμβαση, παρά μόνο οπές, που επουλώνονται εύκολα. Η οπτική, η επιστήμη που σχετίζεται με το ορατό φως, είναι το θεωρητικό εργαλείο για τη λειτουργία του ενδοσκοπίου.

6.2. Εφαρμογές του οπτικού αγωγού στην ιατρική

Ο ίκτερος προκαλείται από πλεόνασμα χολερυθρίνης (απόβλητο της αποδόμησης ερυθρών αιμοσφαιρίων) στο αίμα. Κατά τη θεραπεία του ικτέρου, τα νεογνά τυλίγονται με ειδικό φωτεινό κάλυμμα-ύφασμα πλεγμένο με οπτικές ίνες. Το φως δρα ως καταλύτης της χημικής διάσπασης της χολερυθρίνης, ώστε να αποβληθεί ευκολότερα από τον οργανισμό. Όμως η κλασική μέθοδος απαιτεί μακρόχρονη έκθεση του γυμνού νεογέννητου σε φως μεγάλης έντασης στις θερμοκοιτίδες. Το



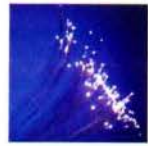
ύφασμα των οπτικών ινών επιτρέπει το "τυλιγμένο", με έντονο φως, νεογέννητο να φύγει για το σπίτι και να εξακολουθεί να θεραπεύεται, ενώ παράλληλα οι γονείς του το φροντίζουν. Όταν ο οπτικός αγωγός μεταφέρει μόνο φως, οι οπτικές του ίνες δεν χρειάζεται να διατηρούν αυστηρή διάταξη και παραλληλία. Όταν ο οπτικός αγωγός μεταφέρει εικόνες, οι οπτικές του ίνες πρέπει να διατηρούν τη μεταξύ τους διάταξη, όμως είναι δυνατόν, ενώ ξεκινά ως χοντρό «καλώδιο» να διαχωρίζεται στη συνέχεια σε μικρότερα (ώστε να αυξηθεί η ευλυγισία του κατά μήκος της διαδρομής) και να επανενώνεται στο τέλος για την αναπαραγωγή της εικόνας.

6.2.1 Ενδοσκόπιο

Με το ενδοσκόπιο ο γιατρός μπορεί να δει (με δυνατότητα και να επέμβει) το εσωτερικό κοιλότητων του σώματος. Το βασικό του εξάρτημα είναι ένας οπτικός αγωγός. Επειδή οι κοιλότητες του σώματος είναι σκοτεινές, απαιτείται κατ' αρχήν να οδηγηθεί φως, μέσω των οπτικών ινών, στο εσωτερικό τους. Συνήθως χρησιμοποιείται λυχνία αερίου ξένου που εκπέμπει φως μεγάλης έντασης. Ο «μισός» οπτικός αγωγός καταλαμβάνεται από τις οπτικές ίνες που οδηγούν το φως μέσα στην κοιλότητα και ο υπόλοιπος από τις οπτικές ίνες που μεταφέρουν την εικόνα του εσωτερικού της κοιλότητας στην ειδική οθόνη της αίθουσας της επέμβασης. Όταν ο «δρόμος» που θα διανύσει το ενδοσκόπιο είναι σχετικά σύντομος και ευθύς (όπως με το αρθροσκόπιο και το λαπαροσκόπιο) επιλέγεται τύπος με φακούς που παρεμβάλλονται στην πορεία εξόδου της εικόνας, για να την ενισχύσουν, όπως στο τηλεσκόπιο. Όταν αντίθετα, ο «δρόμος» του ενδοσκοπίου είναι



ελικοειδής (όπως του κολονοσκοπίου), υπάρχουν δύο επιλογές για τη μεταφορά της εικόνας. Όταν ο οπτικός αγωγός έχει μεγάλο μήκος συνήθως έχει προσαρμοσμένη στο άκρο του μία μικροσκοπική κάμερα λήψης, εμβαδού λίγων τετραγωνικών χιλιοστομέτρων (άμεση ή τοπική λήψη εικόνας). Το ολοκληρωμένο ηλεκτρονικό κύκλωμα είναι παρεμφερές με αυτό των κλασικών συσκευών τηλεοπτικής λήψης (video camera) του εμπορίου. Πρόκειται για συσκευή εξοπλισμένη με τετράγωνο μικρό πλέγμα με χιλιάδες ηλεκτρονικούς αισθητήρες φωτός (συσκευή CCD – charge coupled device) που ανιχνεύουν και αποθηκεύουν την ένταση του φωτός κάθε σημείου του φωτεινού αντικειμένου που «βλέπουν». Σε αυτήν την περίπτωση, οι οπτικές ίνες για τη μεταφορά στην έξοδο της εσωτερικής εικόνας, έχουν αντικατασταθεί από ηλεκτρικά καλώδια. Η ηλεκτρική σήμα η εικόνα παρουσιάζεται σε δέκτη τηλεόρασης ή/και αποθηκεύεται σε μαγνητοοπτική συσκευή εγγραφής (video recorder). Η δεύτερη επιλογή είναι ο κλασικός «διπλός» οπτικός αγωγός, δηλαδή ένα μέρος των οπτικών ινών είναι επιφορτισμένο να φωτίσει την εσωτερική κοιλότητα και οι υπόλοιπες ίνες, αυστηρά διατεταγμένες, «οδηγούν» την εικόνα έξω από το σώμα. Στις απλές ιατρικές διαδικασίες, στην έξοδο του οπτικού αγωγού προσαρμόζεται προσοφθάλμιος φακός (όπως στο μικροσκόπιο), όπου ο εξεταστής παρατηρεί την εικόνα. Σε διαδικασίες πιο πολύπλοκες ή σε επεμβάσεις, στην έξοδο του οπτικού αγωγού προσαρμόζεται CCD camera και η εικόνα μεταφέρεται στην οθόνη τηλεοπτικού δέκτη, τον οποίο μπορεί να παρατηρεί όλη η ιατρική ομάδα και σε πραγματικό χρόνο (on line) να αποφασίζουν τα επόμενα βήματα της επέμβασης. Το μέρος του ενδοσκοπίου που περνά μέσα στο ανθρώπινο σώμα (οισοφάγος, έντερο, κοιλιά) έχει διάμετρο 0,3 ως 15,0 mm περίπου, αναλόγως του τύπου του. Το μήκος του μπορεί να φτάνει το 1,5 μέτρο.



Τα υλικά του είναι κατάλληλα για συνεχείς αποστειρώσεις και τα πρόσθετα – βοηθητικά εξαρτήματα – εργαλεία είναι συνήθως μίας χρήσης, για λόγους υγιεινής. Στα ενδοσκόπια που η εικόνα μεταφέρεται με οπτικές ίνες, η διάμετρος και το πλήθος των ινών θέτει το όριο στη λεπτομέρεια της εικόνας που είναι δυνατόν να γίνει διακριτή, δηλαδή στη διακριτική ικανότητα της συσκευής. Όμως σύγχρονα ενδοσκόπια περιέχουν πλέον δεκάδες χιλιάδες οπτικές ίνες διαμέτρου μικρομέτρων (εκατοστά της ανθρώπινης τρίχας), δίνοντας διακριτική ικανότητα της τάξης δέκατων του χιλιοστού. Πιο λεπτές ίνες δεν θα βοηθούσαν, επειδή υπάρχει περιορισμός και από το μήκος κύματος του χρησιμοποιούμενου φωτός.

Το ενδοσκόπιο είναι όμως και χειρουργικό εργαλείο, επομένως εκτός από την οπτική διάταξη είναι εξοπλισμένο και με μηχανικά εξαρτήματα. Π.χ. επειδή τα όργανα του ανθρωπίνου σώματος στέκονται, από τη φύση τους, συνωστισμένα, χωρίς ελεύθερο πεδίο γύρω τους για να δράσει ο χειρουργός, υπάρχει ειδικό σωληνάκι εμφύσησης αδρανούς CO₂, που φουσκώνει την περιοχή και διαχωρίζονται οι επιφάνειες των γειτονικών οργάνων μεταξύ τους. Άλλο σωληνάκι χρησιμοποιείται για την έγχυση ύδατος για ξέπλυμα περιοχής, όπως επίσης για την αναρρόφηση περίσσειας υγρών και απόβλητων.



ΣΧΗΜΑ 49

Το ενδοσκόπιο είναι δυνατόν να εμπεριέχει λεπτή χειρουργική λαβίδα για εξέταση-διερεύνηση του είδους των ιστών που φωτίζονται,



όπως και μικροσκοπικό νυστέρι για αφαίρεση δειγμάτων ιστών που πρέπει να εξεταστούν στο εργαστήριο. Μικρός βρόχος μπορεί να τυλιχθεί στο «λαιμό» ογκιδίου που κρίνεται σκόπιμο να αφαιρεθεί, ενώ ο βρόχος διαπερνάται με κατάλληλο ηλεκτρικό ρεύμα που τον θερμαίνει για τον ταυτόχρονο καυτηριασμό του πληγωμένου ιστού (βοηθά στο σφράγισμα των αιμοφόρων αγγείων και τον περιορισμό της τοπικής αιμορραγίας). Το ενδοσκόπιο μπορεί να εμπεριέχει και ειδικό μηχανισμό εκτόξευσης μικροσκοπικών συρραπτικών ελασμάτων ή άλλης διάταξης για συρραφή χειρουργικών τομών. Στην κεφαλή του ενδοσκοπίου είναι εγκατεστημένη διάταξη πιλοτηρίου, από όπου ο χειριστής μπορεί, αφενός να γυρνά το άκρο και να φωτίζει όλη η γύρω περιοχή, αφετέρου να επεμβαίνει χειρουργικά με όλους τους τρόπους που αναφέρθηκαν, κατά περίπτωση. Στη λαπαροσκοπική χειρουργική η επέμβαση γίνεται μέσω γειτονικών οπών στην κοιλιακή χώρα. Σε απλή επέμβαση διανοίγονται τρεις ή τέσσερις τομές του ενός εκατοστού, από όπου εισέρχονται αντίστοιχα τρία ή τέσσερα εργαλεία, ένα εκ των οποίων είναι το (απλό και κοντό) ενδοσκόπιο. Τα υπόλοιπα εργαλεία είναι καθαρά χειρουργικά. Το μεγάλο πλεονέκτημα της λαπαροσκοπικής έναντι της ανοιχτής χειρουργικής είναι οι σημαντικά μικρότερες τομές, για τις οποίες πολλές φορές είναι αρκετή μόνο τοπική αναισθησία. Η κολονοσκόπηση που πλέον συνιστάται να γίνεται κάθε λίγα χρόνια (για ενήλικες υψηλού κινδύνου), εξακολουθεί να είναι άβολη, αλλά είναι πια μία ταχεία εξέταση και γίνεται σε εξωτερικά ιατρεία, έχοντας χορηγήσει μόνο ένα ηρεμιστικό στον εξεταζόμενο.

Αυτό σημαίνει ότι αυξάνει σημαντικά ο αριθμός των έγκαιρα διαγνωσμένων καρκίνων (επομένως και θεραπεύσιμων) του παχέος εντέρου. Μειονέκτημα της λαπαροσκοπικής μεθόδου είναι τα πολύ στενά όρια δράσης για τον χειρουργό, αφενός το μικρό και (μόνο)



διδιάστατο οπτικό πεδίο, αφετέρου η απαίτηση λεπτεπίλεπτων χειρισμών, χωρίς την αίσθηση της αφής, που σημαίνει ότι ο χειρουργός μόνο εγκεφαλικά μπορεί να εκτιμήσει τη δύναμη που θα απαιτηθεί να εφαρμόσει σε κάποιο στάδιο της διαδικασίας.

6.3. Εικονική πραγματικότητα στο χειρουργείο

Τα μειονεκτήματα της ενδοσκοπικής (και λαπαροσκοπικής) μεθόδου που αναφέρθηκαν και αφορούν στο περιορισμένο πεδίο δράσης του χειρουργού, δράση που βασίζεται σε μη φυσιολογική σχέση και συνεργασία όρασης (στην οθόνη) και τηλε-χειρισμών, έρχεται να αντιμετωπίσει μία νέα τεχνική, που προσφέρει στον χειρουργό καλύτερη εικόνα του εσωτερικού του σώματος του ασθενή και βελτιωμένη αίσθηση αφής κατά την επέμβαση. Η εικονική πραγματικότητα εκμεταλλεύεται την τεχνολογία των υπολογιστών και δημιουργεί την εντύπωση ότι ο χρήστης βλέπει και χειρίζεται αληθινά αντικείμενα. Συχνά το αντικείμενο προβάλλεται στο οπτικό πεδίο του χρήστη με τη βοήθεια ειδικών γυαλιών που επιτρέπουν τρισδιάστατη όραση. Ταυτόχρονα συσκευές ρομπότ, όπως γάντια με ενσωματωμένους ειδικούς αισθητήρες, αναπαράγουν στον φορέα τους την αίσθηση του χειρισμού του αντικειμένου. Μέσω αυτής της τεχνολογίας ο χειρουργός στέκεται μακριά από τον ασθενή, έχει την αίσθηση ότι εκτελεί αληθινή επέμβαση, ενώ στην πραγματικότητα οι κινήσεις του μεταφέρονται ηλεκτρονικά σε ρομπότ που τις πραγματοποιεί στον ασθενή με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Με τη βοήθεια και των ειδικών γυαλιών ο γιατρός έχει κάθε στιγμή στην οθόνη του την τρισδιάστατη εικόνα της «δουλειάς» που κάνει συγχρόνως ο ίδιος και το απομακρυσμένο



ρομπότ. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται φυσικά και για την εκπαίδευση των νέων χειρουργών (ή και παλαιότερων σε νέες τεχνικές). Δίνει μοναδική ευκαιρία εξάσκησης μειώνοντας τη χρήση πειραματόζωων. Είναι επίσης ένα μέσον για δοκιμές με στόχο τη βελτιστοποίηση χειρουργικών μεθόδων, πχ. αφαίρεσης ενός συγκεκριμένου όγκου.



ΣΧΗΜΑ 50



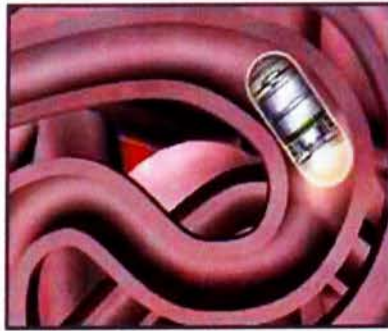
ΣΧΗΜΑ 51

Επειδή η χρήση υπολογιστών έχει απεριόριστες δυνατότητες, ασφαλώς η χειρουργική εικονικής πραγματικότητας βελτιώνεται συνεχώς και ένα παράδειγμα είναι η αξιοποίηση πληροφοριών από κλασικά απεικονιστικά συστήματα, όπως η αξονική και η μαγνητική τομογραφία. Επεξεργασμένες ψηφιακές εικόνες από αυτά τα συστήματα περνούν στον υπολογιστή της εικονικής πραγματικότητας και επικάθονται στο οπτικό πεδίο την ώρα της επέμβασης για να χρησιμεύσουν ως ανατομικός οδηγός-χάρτης.

Ο χειριστής χειρουργεί, ελέγχει, επεμβαίνει, διορθώνει, καθόλη τη διάρκεια της επέμβασης καθισμένος σε άλλη αίθουσα, άλλο νοσοκομείο, άλλη πόλη (!!), με τρόπο παρόμοιο όπως αν ήταν πάνω από



τον ασθενή. Η ηλεκτρονική επικοινωνία γίνεται μέσω τηλεφωνικών γραμμών ή δικτύου, ενσύρματο ή ασύρματο. Γενικότερη μορφή αυτής της επικοινωνίας είναι η Τηλεϊατρική, που καλύπτει από θέματα συμβουλής (γιατρών κεντρικής εξοπλισμένης μονάδας προς γιατρό απομακρυσμένου τοπικού ιατρείου), μέχρι καθεαυτή χειρουργική πράξη σε μάχιμη μονάδα του στρατού ή στο ... διαστημικό σταθμό (με συμμετοχή του Laser) !!!



ΣΧΗΜΑ 52



ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Τα καλώδια οπτικών ινών παρουσιάζουν ίδιες μηχανικές ιδιότητες με τα ομοαξονικά, αλλά είναι ελαφρότερα σε βάρος, μικρότερα σε διάμετρο και οι αποστάσεις μεταξύ των επαναληπτών είναι μεγαλύτερες.

Ένα από τα βασικότερα μειονεκτήματα, που παρουσιάζουν οι οπτικές ίνες, είναι η δυσκολία υλοποίησης συνδέσεων, επειδή απαιτείται υψηλή προσαρμογή και ευθυγράμμιση της φωτεινής πηγής, για να μην υπάρχει διασπορά και να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες.

Η πρόοδος της τεχνολογίας, που έχει σημειωθεί τα τελευταία χρόνια στην περιοχή των οπτικών ινών, αντιμετώπισε με επιτυχία την παραπάνω δυσκολία, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η χρήση τους και για συνδέσεις σημείου προς πολλά σημεία.

Οι δίοδοι Laser & Led μαζί με τις οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις οπτικές επικοινωνίες, πάνω στις οποίες στηρίζεται η ανάπτυξη της τεχνολογίας της επικοινωνίας.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης & Διασύνδεσης Δικτύων, 2003, Χρήστος Ι. Μπούρας
- Δίκτυα Υπολογιστών, 2006, Andrew S. Tanenbaum
- <http://www.techteam.gr/index.php?act=kb&article=263>
- http://egnatia.ee.auth.gr/~aalexioy/fiber_op.htm
- http://3lyk-kalam.mes.sch.gr/opt_fiber_gr.htm

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ