

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ &  
ΔΙΚΤΥΩΝ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΤΗΛΕ-  
ΟΡΓ. ΔΙΑΧΕΙΡΑΤΟΥ  
19

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**"Εφαρμογή της παλμο-κωδικής  
διαμόρφωσης (PCM) στην μετάδοση  
φωνής στο τηλεφωνικό δίκτυο"**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΦΟΥΖΑΣ ΑΓΓΕΛΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΛΟΥΒΡΟΣ ΣΠΥΡΟΣ,  
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
ΤΕΣΥΔ**

**ΝΑΥΠΑΚΤΟΣ 2009**

**Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή**

**Ναύπακτος,**

**ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**

- 1. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή**
  
- 2. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή**
  
- 3. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή**

# Ευχαριστίες

Η παρούσα διατριβή αποτέλεσε τη διπλωματική μου εργασία στο πλαίσιο των σπουδών μου στο τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων του ΤΕΙ Μεσολογγίου. Αντικείμενο της ήταν η εφαρμογή της παλμο-κωδικής διαμόρφωσης (PCM) στην μετάδοση φωνής στο τηλεφωνικό δίκτυο.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή μου, Κύριο Σπύρο Λούβρο, Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων που με εμπιστεύτηκε και μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Νιώθω επίσης την υποχρέωση να ευχαριστήσω τον Κύριο Αλέξανδρο Μαγουλά, Υπεύθυνο Έργου Δικτύων στον ΟΤΕ Κορίνθου καθώς και τον Κύριο Παναγιώτη Βαρθάλη, Προϊστάμενο Τηλεπ. Διαμερίσματος Κορινθίας και Αργολίδας που με τις γνώσεις τους στάθηκαν αρωγοί στο πέρας της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

Ο συγγραφέας,  
Φούζας Άγγελος  
Οκτώβριος 2009

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται η θεωρία της Παλμοκωδικής Διαμόρφωσης δηλαδή τη Δειγματοληψία, τη Κβάντιση και τη Κωδικοποίηση καθώς και η μελέτη του πλαισίου TDMA 32 timeslots.

Κατόπιν, στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη θεωρία μετάδοσης των οπτικών ινών, στα είδη των οπτικών ινών, στις μονότροπες και πολύτροπες ίνες και στα χαρακτηριστικά μεγέθη των οπτικών ινών την εξασθένιση και την διασπορά .

Στην συνέχεια, στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο δίκτυο πρόσβασης του GSM δικτύου. Γίνεται αναφορά στη διασύνδεση BSC με το MSC καθώς και αναλύονται διάφορες θεμελιώδεις τοπολογίες όπως η τοπολογία αστέρα, η τοπολογία δακτυλίου, η τοπολογία δέντρου και η τοπολογία αλυσίδων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα είδη των καλωδίων των οπτικών ινών, την κατάταξη των καλωδίων ανάλογα με την χρήση τους , στα εξαρτήματα συνενώσεως και τερματισμού και σε διάφορα είδη συνδέσμων που χρησιμοποιούνται στο οπτικό δίκτυο.

Στο τελευταίο πλέον κεφάλαιο παρατίθενται πραγματικές μετρήσεις 12 ινών της ζεύξης : “ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΟΙ 36 ΙΝΩΝ Κ.Δ.Ε ΝΕΜΕΑΣ-ΚΑΛΛΙΑΝΟΙ, ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΟΙ 24 ΙΝΩΝ ΟΥΡΑ , Α/Κ ΚΑΣΤΡΑΚΙΟΥ ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ ” , πληροφορίες για την λειτουργία του OTDR καθώς και εικόνες κατά την συγκόλληση 2 οπτικών ινών.

## **ABSTRACT**

In the present diplomatic work in the first chapter is initially described theory of PCM that is to say the Sampling, the Quantization and the Coding as well as the study of frame TDMA 32 timeslots.

Then, in the second chapter becomes report in the theory of transmission of optical fibres, in the types of optical fibres, in the single-mode fibres and multimode fibres and in characteristic sizes of optical fibres the Attenuation and the Dispersion.

In third chapter becomes report in the GSM Network Planning in connection BSC to MSC. Also described Fundamental topologies like chain topology, star topology, ring topology and the tree topology.

In the fourth chapter becomes report in the types of cables of optical fibres, the classification of cables depending on their use, in the elements of conjunction and in various goods of contacts that are used in the optical network.

In the last chapter becomes report in real measurements optical network : “ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΟΙ 36 ΙΝΩΝ Κ.Δ.Ε ΝΕΜΕΑΣ-ΚΑΛΛΙΑΝΟΙ, ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΟΙ 24 ΙΝΩΝ ΟΥΡΑ , ΚΑΣΤΡΑΚΙ ” , information’s for OTDR and pictures from splicing two optical fibres.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## Κεφάλαιο 1 ΘΕΩΡΙΑ PCM

1.1	Εισαγωγή .....	8
1.2	Βασικές Αρχές .....	9
1.2.1	Δειγματοληψία.....	9
1.2.2	Κβάντιση .....	10
1.2.3	Κωδικοποίηση .....	10
1.2.4	Συγχρονισμός.....	11
1.2.5	Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου .....	12
1.3	Δειγματοληψία.....	12
1.3.1	Θεώρημα δειγματοληψίας .....	12
1.3.2	Δειγματοληψία στην πράξη.....	15
1.3.3	Δειγματοληψία φωνής .....	15
1.4	Κβάντιση και Κωδικοποίηση .....	16
1.4.1	Ομοιόμορφη – ανομοιόμορφη κβάντιση .....	16
1.4.2	Καθορισμός αριθμού σταθμών κβάντισης .....	17
1.4.3	Παράδειγμα ομοιόμορφης κβάντισης.....	18
1.4.4	Ανομοιόμορφη κβάντιση.....	19
1.4.5	Θόρυβος ανενεργών καναλιών .....	22
1.4.6	Θόρυβος διαφωνίας (Crosstalk) .....	23
1.5	Δομή πλαισίου 2 Mbit .....	25
1.5.1	Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου .....	25
1.5.2	Δομή πλαισίου 2 Mbit/s.....	27
1.5.3	Σηματοδοσία.....	28
1.5.4	Συγχρονισμός.....	30
1.6	Κώδικες γραμμής.....	32
1.6.1	Δυαδικοί κώδικες NRZ και RZ .....	33
1.6.2	AMI .....	33
1.6.3	HDB3.....	34
1.6.4	CMI.....	35

## Κεφάλαιο 2 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

2.1	Εισαγωγή .....	36
2.2	Η δομή της οπτικής ίνας .....	388
2.2.1	Είδη οπτικών ινών .....	39
2.3	Τρόποι Μετάδοσης .....	42
2.4	Πολύτροπες ίνες .....	43
2.5	Μονότροπες ίνες.....	45
2.6	Χαρακτηριστικά μεγέθη οπτικών ινών.....	46
2.6.1	Εξασθένηση .....	46
2.6.2	Διασπορά .....	51

### **Κεφάλαιο 3 ACCESS NETWORK TOPOLOGIES**

3.1	Εισαγωγή .....	54
3.2	Θεμελιώδεις Τοπολογίες .....	57
3.2.1	Τοπολογία αλυσίδων.....	57
3.2.2	Τοπολογία αστέρα.....	57
3.2.3	Τοπολογία δακτυλίου.....	58
3.2.2	Τοπολογία δέντρου.....	58
3.3	Δίκτυο Αναφοράς.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

### **Κεφάλαιο 4 ΚΑΛΩΔΙΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΕΝΩΣΕΩΣ ΚΑΙ ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΥ**

4.1	Εισαγωγή .....	64
4.1.1	Καλώδια χαλαρής δομής .....	64
4.1.2	Καλώδια σφικτής δομής .....	69
4.1.3	Καλώδια ινο-ταινίας.....	70
4.1.4	Υλικά καλωδίων .....	71
4.1.5	Κατάταξη των καλωδίων ανάλογα με το είδος της εφαρμογής .....	73
4.1.6	Εναλλακτικά συστήματα καλωδίωσης.....	73
4.2	Εξαρτήματα συνενώσεως και τερματισμού .....	76

### **Κεφάλαιο 5 OTDR & ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ**

5.1	Εισαγωγή .....	89
5.2	Αρχή Λειτουργίας του OTDR .....	90
5.3	ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΜΕ SPLICER SUMITOMO SUMIOFCAS TYPE 37 .....	95
5.4	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ 12 ΙΝΩΝ ΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ “ΚΔΕ ΝΕΜΕΑΣ-ΚΑΣΤΡΑΚΙ ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ” ΜΕ OTDR.....	106
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	118
	ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....	119

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΘΕΩΡΙΑ PCM

### 1.1 Εισαγωγή

Η παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM, Pulse Code Modulation) είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακή μορφή με σκοπό το χειρισμό του από ψηφιακά συστήματα μετάδοσης και πολυπλεξίας.

Η ιδέα του PCM γεννήθηκε το 1937 από τον A.H. Reeves. Η πρακτική εφαρμογή όμως των πρώτων συστημάτων PCM έγινε με την ανάπτυξη των ημιαγωγών με τα πρώτα συστήματα να μπαίνουν σε χρήση το 1962 από την AT&T στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Η γρήγορη ανάπτυξη των υπολογιστών τις τελευταίες δεκαετίες έφερε επανάσταση σε όλους τους τομείς της σύγχρονης κοινωνίας και κατά συνέπεια και στις τηλεπικοινωνίες. Το πρώτο βήμα σε αυτή την κατεύθυνση ήταν η δημιουργία τηλεφωνικών κέντρων ελεγχόμενων από υπολογιστή με αναλογικά συστήματα μεταγωγής.

Το επόμενο προφανές βήμα ήταν η δημιουργία κέντρων όπου και οι μεταγωγές γίνονται ψηφιακά με αποτέλεσμα την δημιουργία τηλεφωνικών κέντρων πολύ πιο οικονομικών και με περισσότερες δυνατότητες από τα αναλογικά. Για να γίνει όμως η ψηφιακή διαχείριση των σημάτων φωνής πρέπει αυτά πριν απ' όλα να γίνουν ψηφιακά. Η τεχνική που χρησιμοποιείται είναι το PCM.

Ο πρώτος όμως τομέας που χρησιμοποιήθηκαν συστήματα PCM σε μεγάλο βαθμό και κατέχουν σήμερα κυρίαρχη θέση, είναι τα συστήματα μετάδοσης μεταξύ κέντρων είτε στην ίδια περιοχή, είτε σε εθνικό ή διεθνές επίπεδο με την ανάπτυξη συστημάτων μετάδοσης με όλων των ειδών τους φορείς όπως δισύρματη γραμμή, ομοαξονικό καλώδιο, P/H ζεύξεις ή οπτικές ίνες.

Οι εφαρμογές αυτές έχουν πολύ μεγάλο εύρος και το PCM έχει γίνει αναπόσπαστο μέρος των τηλεπικοινωνιών τις τελευταίες δεκαετίες, βάση για την τυποποίηση κάθε νέου συστήματος.

Παράλληλα με την χρήση του PCM αναπτύχθηκε και ένας νέος τρόπος πολυπλεξίας σε αντικατάσταση του αναλογικού FDM (Frequency Division Multiplexing : Πολυπλεξία με διαίρεση συχνοτήτων). Είναι τα TDM (Time Division Multiplexing : Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου) συστήματα στα οποία το κάθε ψηφιακό σήμα καταλαμβάνει συγκεκριμένες μόνο χρονικές στιγμές και μοιράζεται το ίδιο μέσο μετάδοσης με άλλα σήματα που επίσης καταλαμβάνουν κάποιο χρονικό διάστημα. Με αυτό τον τρόπο γίνεται η αποδοτικότερη αξιοποίηση των φορέων.

Τα πλεονεκτήματα του PCM και των TDM συστημάτων πολυπλεξίας σε σχέση με τα αναλογικά συστήματα είναι :

- Καλύτερη ποιότητα με την χρήση αναμεταδοτών – αναγεννητών, ανεξάρτητα της συνολικής απόστασης. Αυτό γίνεται διότι σε κάθε αναγεννητή PCM, ενισχύεται κάθε φορά μόνο το ωφέλιμο σήμα αφού πρώτα απομονώνεται από τον θόρυβο. Με αυτό τον τρόπο, κάθε παραμόρφωση έχει εξαλειφθεί μετά από κάθε αναγεννητικό σταθμό.



- Δυνατότητα χρήσης μεθόδων ψηφιακής επεξεργασίας σήματος όπως η χρησιμοποίηση κωδικών αναγνώρισης ή διόρθωσης σφάλματος.
- Δυνατότητα εύκολου χειρισμού ποικιλίας ψηφιακών σημάτων από οποιοδήποτε σύστημα κι αν προέρχονται.
- Μικρός θερμικός θόρυβος, μικρή ευαισθησία σε εξωτερικές επιδράσεις και ποιότητα πληροφορίας ανεξάρτητη από την στάθμη λήψης.
- Απλή κυκλωματική δομή με όμοιες μονάδες για όλα τα κανάλια.
- Χρήση της συνεχώς αναπτυσσόμενης τεχνολογίας VLSI με αποτέλεσμα συστήματα οικονομικότερα, μικρότερα σε διαστάσεις και περισσότερα αξιόπιστα και σταθερά.
- Απλή συντήρηση χωρίς πολλές ρυθμίσεις.

Μειονέκτημα του PCM ως προς τα αναλογικά συστήματα είναι η αθροιστική αύξηση του Jitter και η παραμόρφωση φάσης, ενώ πλέον εισέρχονται οι έννοιες του συγχρονισμού και του ρολογιού.

## 1.2 Βασικές Αρχές

Η λογική πίσω από την ψηφιοποίηση ενός αναλογικού σήματος είναι η επιλογή συγκεκριμένων χρονικών στιγμιότυπων και η αντιστοίχιση κάθε ενός από αυτά σε μια σειρά από δυαδικά ψηφία τα οποία σχηματίζουν κωδική λέξη συγκεκριμένου μήκους.

Η διαδικασία που ακολουθείται για την ψηφιοποίηση ενός αναλογικού σήματος αποτελείται από τρία βασικά βήματα : Δειγματοληψία, κβάντιση και κωδικοποίηση. Οι δύο τελευταίες ενέργειες μπορούν να ονομαστούν συνολικά αναλογοψηφιακή μετατροπή (Analog/Digital ή πιο σύντομα A/D conversion).

### 1.2.1 Δειγματοληψία

Το αναλογικό σήμα κατ' αρχήν δειγματοληπτείται, δηλαδή παίρνονται από αυτό στιγμιαία δείγματα σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Η στάθμη του κάθε δείγματος είναι η ίδια με την αντίστοιχη στιγμιαία στάθμη του αναλογικού σήματος και η διάρκειά του είναι χρονικά πολύ μικρή ώστε να θεωρείται στιγμιαίο και ότι έχει μια και μόνη τιμή.

Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι ότι για να κωδικοποιηθεί ένα σήμα δεν πρέπει να είναι συνεχούς, αλλά διακριτού χρόνου ώστε κάθε χρονική στιγμή να αντιστοιχεί σε μια κωδική λέξη.

Έτσι το αρχικό σήμα μετατρέπεται σε μια σειρά από παλμούς για τους οποίους ισχύουν τα εξής :

- Απέχουν μεταξύ τους συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
- Το πλάτος τους έχει την τιμή του αναλογικού σήματος από το οποίο προήλθαν.
- Κάθε παλμός έχει σταθερό πλάτος σε όλη την διάρκειά του.
- Περιέχουν όλη την απαραίτητη πληροφορία για την αναπαραγωγή του αρχικού αναλογικού σήματος.

Η διαδικασία αυτή ονομάζεται *Διαμόρφωση Παλμών κατά Πλάτος* (PAM, Pulse Amplitude Modulation).

### 1.2.2 Κβάντιση

Οι παλμοί που έχουν προκύψει στο προηγούμενο στάδιο έχουν την στιγμιαία τιμή του αναλογικού σήματος τη στιγμή της δειγματοληψίας. Οι δυνατές τιμές έτσι είναι άπειρες. Το επόμενο στάδιο είναι η μετατροπή του πλάτους των παλμών ώστε οι δυνατές τιμές να είναι περιορισμένες.

Ανάλογα με τον σχεδιασμό του συστήματος, υπάρχει ένας συγκεκριμένος αριθμός τιμών που είναι αποδεκτές. Η διαδικασία της κβάντισης έχει σκοπό μετά την σύγκριση κάθε παλμού με τις επιτρεπτές τιμές να τους μετατρέψει σε παλμούς τυπικού πλάτους.

Όσο περισσότερες είναι οι επιτρεπτές τιμές, τόσο πιο κοντά είναι τα επιτρεπόμενα πλάτη μεταξύ τους τόσο μικρότερη είναι και η διόρθωση στο πλάτος του παλμού.

Μετά και από αυτό το βήμα δημιουργούνται παλμοί για τους οποίους ισχύουν τα εξής :

- Απέχουν μεταξύ τους συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
- Το πλάτος τους έχει την τιμή του αναλογικού σήματος από το οποίο προήλθαν, μετατοπισμένη ώστε να ταυτίζεται με την πλησιέστερη επιτρεπόμενη τιμή πλάτους.
- Κάθε παλμός έχει σταθερό πλάτος σε όλη την διάρκειά του.

### 1.2.3 Κωδικοποίηση

Κάθε παλμός τυπικού πλάτους αντιστοιχεί σε μια προκαθορισμένη δυαδική ακολουθία συγκεκριμένου μήκους λέξης.

Έτσι, κάθε παλμός αντικαθίσταται από αυτήν την ακολουθία δυαδικών αριθμών η οποία έχει πλέον δημιουργήσει το ψηφιακό σήμα. Ο αριθμός που αντιστοιχεί δεν έχει τόση σημασία όσο το ότι κάθε τιμή πλάτους αντιστοιχεί σε μια μοναδική δυαδική ακολουθία.

Ο αριθμός των δυαδικών ψηφίων (0 ή 1, bit) που απαιτούνται καθορίζεται από τον αριθμό των επιτρεπόμενων σταθμών κατά την κβάντιση. Π.χ. οκτώ ( $=2^3$ ) στάθμες απαιτούν 3 ψηφία ενώ 64 ( $=2^6$ ) στάθμες απαιτούν 6 ψηφία.

Έτσι τελικά, το αναλογικό σήμα έχει μετατραπεί σε μια ακολουθία δυαδικών αριθμών. Επόμενο βήμα είναι η μετατροπή της ακολουθίας σε σειρά ηλεκτρικών παλμών (μια ακολουθία από δύο διαφορετικές τάσεις, που κάθε μια αντιστοιχεί σε ένα αριθμό π.χ. “1” σε 5 Volt και “0” σε 0 Volt) η οποία τελικά μεταδίδεται μέσω του φορέα.

Στην λήψη ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία. Οι τάσεις μετατρέπονται σε ψηφιακή ακολουθία, κάθε ομάδα ψηφίων αναπαράγει τον παλμό τυπικού πλάτους από τον οποίο προήλθε και από τους παλμούς αναπαράγεται το αναλογικό σήμα.

#### 1.2.4 Συγχρονισμός

Για να είναι δυνατή μια σωστή ζεύξη δύο τερματικών ενός PCM συστήματος, πρέπει και τα δύο να είναι συγχρονισμένα μεταξύ τους, ώστε ο χρονισμός που χρησιμοποιούν και τα δύο να έχει τον ίδιο μέσο ρυθμό.

Το τερματικό εκπομπής διαθέτει ρολόι το οποίο δημιουργεί τους απαιτούμενους παλμούς συγχρονισμού. Το ψηφιακό σήμα που τελικά εκπέμπεται έχει ρυθμό που εξαρτάται από αυτό το ρολόι και μπορεί να κυμαίνεται εντός κάποιων ορίων (τυπικά  $\pm 50$  ppm – μέρη στο εκατομμύριο σε σχέση με την τυπική συχνότητα λειτουργίας).

Αν το τερματικό λήψης χρησιμοποιεί χρονισμό από δικό του εσωτερικό ρολόι είναι δυνατό οι σχετικές αποκλίσεις μεταξύ των δύο ρολογιών να είναι πολύ μεγαλύτερες από το όριο άσχετα αν και τα δύο έχουν απόλυτη απόκλιση εντός προδιαγραφών. Σε μια τέτοια περίπτωση δεν θα υπάρχει σταθερή διαφορά φάσης μεταξύ των δύο χρονισμών ενώ μπορεί να γίνει μεγαλύτερη και από την διάρκεια του bit με τελικό αποτέλεσμα την εμφάνιση λαθών.

Για να αποφευχθεί αυτό, το τερματικό λήψης δεν χρησιμοποιεί το δικό του ρολόι, αλλά το ρολόι του οδηγείται από το χρονισμό που περιέχεται στο λαμβανόμενο σήμα εξασφαλίζοντας έτσι τον ίδιο μέσο ρυθμό και στα δύο τερματικά. Ο συγχρονισμός αυτός είναι τύπου master-slave.

Σε ένα πλήρες σύστημα διπλής κατευθύνσεως και οι δύο κατευθύνσεις είναι συγχρονισμένες ακολουθώντας το ρυθμό ενός ρολογιού (του master) με μόνη διαφορά μια σταθερή διαφορά φάσης που οφείλεται στο χρόνο μετάδοσης του σήματος στον φορέα.

### 1.2.5 Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου

Η αρχή της πολυπλεξίας με διαίρεση χρόνου (TDM) έγκειται στο ότι η ψηφιακή ακολουθία που παράγεται δεν είναι ανάγκη να καταλάβει όλο το χρόνο που κατείχε το αναλογικό σήμα. Ο χρόνος μπορεί να διαιρεθεί χωρίς να αλλάξει η ακολουθία. Με την μείωση του χρόνου, στο ίδιο κανάλι μένει διαθέσιμος χρόνος για την μετάδοση και άλλων σημάτων που έχουν συμπιεστεί χρονικά.

Τα σήματα PCM που προκύπτουν με πολυπλεξία και χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη και ο τρόπος δημιουργίας τους είναι :

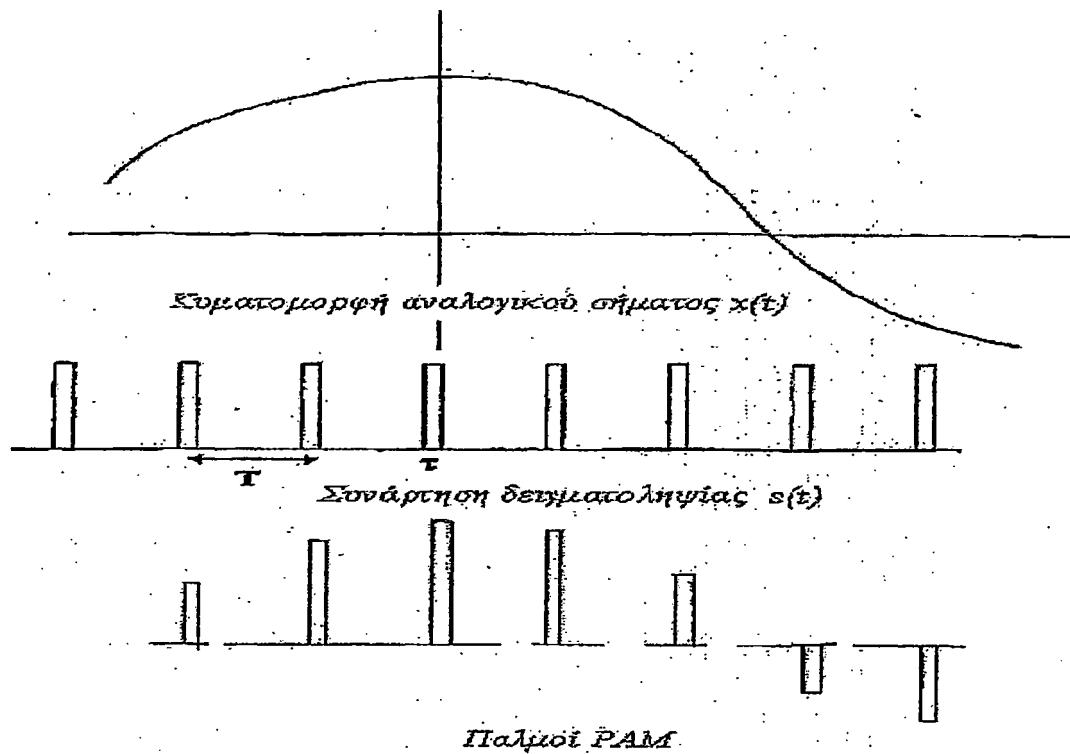
ΤΑΞΗ	ΡΥΘΜΟΣ	ΚΑΝΑΛΙΑ ΦΩΝΗΣ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
1 <sup>η</sup>	2048 Kbit/sec	30	30 x 64 kbit
2 <sup>η</sup>	8448 Kbit/sec	120	4 x 1 <sup>η</sup> τάξη
3 <sup>η</sup>	34368 Kbit/sec	480	4 x 2 <sup>η</sup> τάξη
4 <sup>η</sup>	139264 Kbit/sec	1920	4 x 3 <sup>η</sup> τάξη

### 1.3 Δειγματοληψία

Το πρώτο βήμα στην ψηφιοποίηση είναι η αντικατάσταση του αναλογικού σήματος με παλμούς. Αυτοί οι παλμοί περιέχουν όλη την απαραίτητη πληροφορία ώστε το αρχικό σήμα να αναπαραχθεί πλήρως από αυτούς, αρκεί να πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις. Οι προϋποθέσεις αυτές, περιγράφονται από το θεώρημα δειγματοληψίας.

#### 1.3.1 Θεώρημα δειγματοληψίας

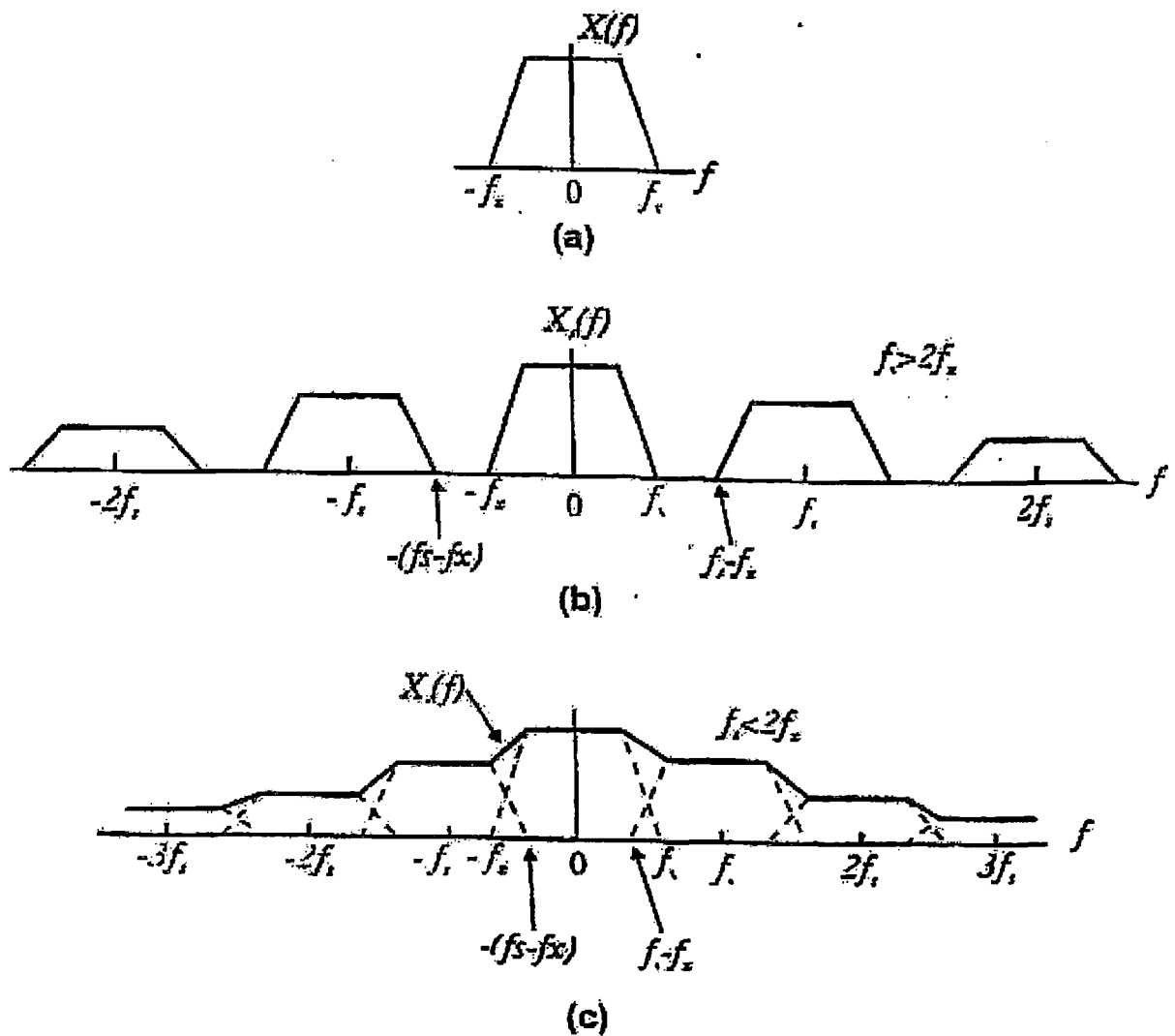
Το αποτέλεσμα της δειγματοληψίας μπορεί να παρασταθεί μαθηματικά με το γινόμενο της συνάρτησης του σήματος με την *συνάρτηση δειγματοληψίας* που πρακτικά είναι μια παλμοσειρά. Το αποτέλεσμα είναι ένα σήμα παλμών που η στιγμή εμφάνισης και η χρονική διάρκειά τους καθορίζεται από την συνάρτηση δειγματοληψίας ενώ το πλάτος από το σήμα.



Ως *συχνότητα δειγματοληψίας* ορίζεται η συχνότητα της παλμοσειράς και αντίστοιχα ο αριθμός των δειγμάτων ανά δευτερόλεπτο.

Ως *εύρος ζώνης σήματος* ορίζεται η έκταση που καταλαμβάνει το φάσμα του σήματος και πρακτικά λαμβάνεται υπ' όψη η μεγαλύτερη συχνότητα.

Η απάντηση για το αν το παραγόμενο σήμα είναι ικανό να περιγράψει πλήρως το αρχικό δίνεται από τον έλεγχο των φασμάτων των δύο σημάτων. Αυτά παριστάνονται στο επόμενο σχήμα όπου φαίνεται το φάσμα του παραγόμενου σήματος  $X_s(f)$  σε σχέση με το φάσμα του αρχικού σήματος  $X(f)$  ανάλογα με την σχέση του εύρους ζώνης του  $f_x$  και της συχνότητας δειγματοληψίας  $f_s$ .



Φαίνεται από το σχήμα ότι η πράξη της δειγματοληψίας έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός σήματος που αποτελείται από :

- Το φάσμα του αρχικού σήματος υποβιβασμένο κατά πλάτος (κατά ένα παράγοντα  $T/T_0$ , όπου  $T$  το χρονικό εύρος του παλμού δειγματοληψίας και  $T_0$  η περίοδος).
- Αντίτυπα του φάσματος που εμφανίζονται στα ακέραια πολλαπλάσια της συχνότητας δειγματοληψίας. Και αυτά είναι υποβαθμισμένα κατά πλάτος και όσο μεγαλώνει η συχνότητα αυτό αυξάνεται.

Με βάση το ίδιο σχήμα μπορεί να διατυπωθεί το θεώρημα της δειγματοληψίας :

*Εάν η συχνότητα δειγματοληψίας είναι μεγαλύτερη από την διπλάσια συχνότητα που περιέχει ένα σήμα περιορισμένου εύρους ζώνης, τότε το φάσμα του αρχικού σήματος*

περιέχεται άθικτα μέσα στο φάσμα του δειγματοληπτημένου σήματος. Η ανάκτηση του αρχικού σήματος από το δειγματοληπτημένο μπορεί να γίνει με την χρήση ενός (ιδανικού) φίλτρου διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων.

Η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας  $f_{smin} = 2f_x$  ονομάζεται ρυθμός Nyquist.

Η επικάλυψη που παρατηρείται όταν δεν τηρείται ο ρυθμός Nyquist ονομάζεται αλλοίωση (aliasing).

Το απαιτούμενο εύρος ζώνης του B φίλτρου είναι  $f_x \leq B \leq f_s - f_x$ .

### 1.3.2 Δειγματοληψία στην πράξη

Στην υλοποίηση συστημάτων που κάνουν δειγματοληψία υπάρχουν διαφορές από τις θεωρητικές απαιτήσεις. Αυτές συνοψίζονται στα εξής :

Το δειγματοληπτημένο σήμα δεν αποτελείται από κρουστικούς παλμούς αλλά από παλμούς πεπερασμένου πλάτους. Στα πρακτικά συστήματα χρησιμοποιείται η μέθοδος *sample and hold* όπου το στιγμιαίο πλάτος κατακρατείται για όλη την διάρκεια του παλμού. Η επίδραση που έχει αυτό είναι η εξασθένηση των υψηλών συχνοτήτων και ονομάζεται *φαινόμενο ανοίγματος* (aperture effect) και είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλώνει η διάρκεια των παλμών.

Τα φίλτρα ανακατασκευής στα πραγματικά συστήματα δεν είναι ιδανικά. Ο πιο απλός τρόπος για να αντιμετωπιστεί αυτό είναι η αύξηση της συχνότητας δειγματοληψίας ώστε να υπάρχει κενή ζώνη ανάμεσα στο ωφέλιμο και το παρασιτικό σήμα.

Τα σήματα που δειγματοληπτούνται δεν έχουν αυστηρά περιορισμένο εύρος ζώνης και υπάρχει πάντα μια επικάλυψη (aliasing). Αυτό αντιμετωπίζεται με την διέλευση του σήματος από φίλτρο πριν την δειγματοληψία.

### 1.3.3 Δειγματοληψία φωνής

Το σήμα της φωνής έχει μεγάλο εύρος συχνοτήτων, όμως για να γίνει κατανοητή δεν είναι απαραίτητο όλο το φάσμα. Ανάλογα με την ποιότητα που απαιτείται (τηλεφωνία, ραδιόφωνο, ραδιόφωνο FM) το φάσμα της φωνής περιορίζεται ώστε να χρησιμοποιείται μόνο το αναγκαίο. Ήδη από τα αναλογικά συστήματα πολυπλεξίας έχει καθοριστεί για την τηλεφωνία ως απαραίτητο φάσμα της φωνής η περιοχή μεταξύ 300 και 3400 Hz.

Έχοντας ως δεδομένο το περιορισμένο φάσμα της φωνής και το θεώρημα δειγματοληψίας φαίνεται ότι αρκεί μια συχνότητα δειγματοληψίας μεγαλύτερη από 6.800 Hz. Για να αποφευχθούν όμως τα πρακτικά προβλήματα που αναφέρθηκαν πριν, ως ρυθμός δειγματοληψίας έχει καθοριστεί σε ότι αφορά τα συστήματα PCM ο ρυθμός των **8 kHz**.

Ο ρυθμός αυτός ισοδυναμεί με χρονική απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών δειγμάτων ίση με 125  $\mu$ s.

## 1.4 Κβάντιση και Κωδικοποίηση

Οι παλμοί που προέρχονται από την δειγματοληψία έχουν συχνότητα 8 kHz και απέχουν μεταξύ τους 125  $\mu$ s έχουν δε άπειρες δυνατές τιμές πλάτους αφού προέρχονται από αναλογικό σήμα. Για να γίνει η κωδικοποίησή τους σε κωδικές λέξεις, πρέπει να αντιστοιχεί μια λέξη σε καθορισμένο πλάτος. Γι' αυτό τον λόγο είναι απαραίτητο τα δυνατά πλάτη να περιορισθούν σε όσες είναι και οι κωδικές λέξεις.

Η κβάντιση γίνεται με την σύγκριση των δειγμάτων του αναλογικού σήματος με μια κλίμακα προκαθορισμένων τιμών τάσεων και με την προσέγγιση της πλησιέστερης τιμής. Οι αποστάσεις ανάμεσα σε δύο προκαθορισμένες τιμές δεν μπορούν να καλυφθούν επαρκώς και αναγκαστικά προσεγγίζονται. Αυτό δημιουργεί θόρυβο, αφού στην αναπαραγωγή του σήματος οι παλμοί έχουν όχι τις αληθινές τιμές από τις οποίες προήλθαν αλλά τις τυπικές τιμές που επιτρέπεται να πάρουν.

Η απόσταση ανάμεσα σε δυο επιτρεπτές τιμές ονομάζεται εύρος βαθμίδας (quantum) καθορίζει και την απόκλιση αφού το λάθος κάθε φορά είναι έως τη μισή τιμή του quantum. Ο θόρυβος αυτός ονομάζεται θόρυβος κβάντισης και εξαρτάται από την επιλογή του αριθμού σταθμών κβάντισης και αντίστοιχα της απόστασης μεταξύ τους. Η επιλογή του αριθμού σταθμών κβάντισης επηρεάζει και τον αριθμό των bit που απαιτούνται για την κάθε κωδική λέξη.

### 1.4.1 Ομοιόμορφη – ανομοιόμορφη κβάντιση

Στην ομοιόμορφη κβάντιση χρησιμοποιείται σταθερό εύρος βαθμίδας ανεξάρτητα από το πλάτος του σήματος. Στην ανομοιόμορφη κβάντιση το εύρος βαθμίδας είναι μεταβλητό και εξαρτάται από την στάθμη. Η ανομοιόμορφη κβάντιση πλεονεκτεί σε σχέση με την ομοιόμορφη και γι' αυτό είναι και αυτή που χρησιμοποιείται.

Με την ανομοιόμορφη κβάντιση υπάρχει μεγαλύτερο εύρος βαθμίδας σε μεγαλύτερα πλάτη και μικρότερο κοντά στο μηδέν. Έτσι το σφάλμα λόγω θορύβου κβάντισης είναι ανάλογο με το στιγμιαίο πλάτος του σήματος και δεν έχει τόσο μεγάλη επίδραση. Με αυτό τον τρόπο ο μέσο όρος της τιμής του λόγου σήματος προ θορύβου κβάντισης (SDR : Signal – Distortion Ratio) αυξάνεται στην περίπτωση σημάτων όπως η φωνή.

Η ανομοιόμορφη κβάντιση μπορεί να πραγματοποιηθεί στην πράξη με συμπίεση των δειγμάτων και κατόπιν με ομοιόμορφη κβάντιση. Η συμπίεση είναι ένας μη γραμμικός μετασχηματισμός που ακολουθεί ένα λογαριθμικό νόμο ώστε οι στάθμες να πυκνώνουν στην αρχή και να αραιώνουν όλο και περισσότερο προς την κορυφή των τιμών.

Υπάρχουν δύο τέτοιοι νόμοι :



- Ο μ νόμος που χρησιμοποιείται στις Ηνωμένες Πολιτείες και
- Ο A νόμος που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη

Ο A νόμος ακολουθεί τις ακόλουθες σχέσεις οι οποίες καθορίζουν την έξοδο του συμπιεστή (y) σε σχέση με την είσοδο του (x).

$$|y| = \begin{cases} \frac{A|x/x_{\max}|}{1 + \log(A)}, & 0 \leq |x/x_{\max}| \leq 1/A \\ \frac{1 + \log(A|x/x_{\max}|)}{1 + \log(A)}, & 1/A \leq |x/x_{\max}| \leq 1 \end{cases}$$

όπου A μια σταθερά (A = 87.6) από την οποία παίρνει και το όνομά του και  $x_{\max}$  η μέγιστη τιμή εισόδου που κωδικοποιείται.

Στον δέκτη ένας ανομοιόμορφος αποσυμπιεστής επαναφέρει τους παλμούς που παράγονται στις σωστές τους τιμές. Το σύστημα συμπιεστής-αποσυμπιεστής αναφέρεται ως compander (compressor – expander).

## 1.4.2 Καθορισμός αριθμού σταθμών κβάντισης

Όποιος τρόπος κβάντισης και να χρησιμοποιηθεί η στρογγυλοποίηση των τιμών των παλμών προκαλεί θόρυβο κβάντισης. Ένα μέτρο της ποιότητας του σήματος σε σχέση με τον θόρυβο κβάντισης είναι ο λόγος σήματος προς θόρυβο κβάντισης.

Αν Q είναι ο αριθμός των σταθμών κβάντισης (αρκετά μεγαλύτερος από την μονάδα) , μαθηματικός υπολογισμός (θεωρώντας ομοιόμορφη κατανομή φασματικής ισχύος) καταλήγει στις εξής τιμές για το λόγο σήμα προς θόρυβο κβάντισης :

Ομοιόμορφη κβάντιση :  $\approx Q^2$

Ανομοιόμορφη κβάντιση :  $\approx (0.45) Q^{1.96}$

Φαίνεται ότι η πιστότητα του κβαντιστή εξαρτάται από το πλήθος Q.

Αφού οι λέξεις είναι δυαδικές το Q είναι αναγκαστικά δύναμη του 2. πειραματικά έχει βρεθεί ότι αρκούν 8 ή 16 στάθμες για να γίνει αντιληπτή η ομιλία, με παρουσία όμως στο βάθος ευκρινούς θορύβου κβάντισης.

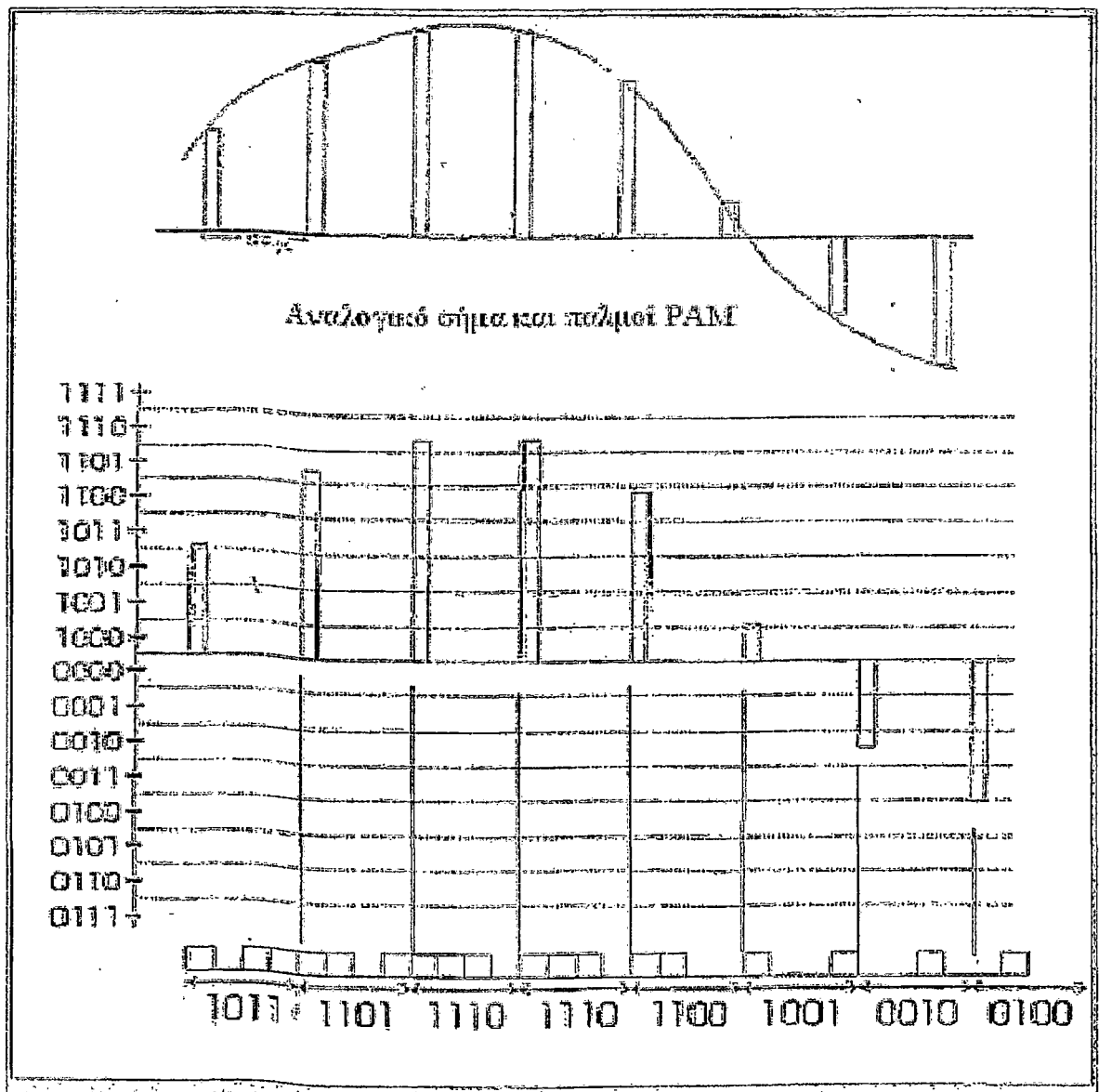
Για την επιλογή του Q τίθεται ως απαίτηση να ισχύει SDR  $\approx 34$  dB για σήματα στάθμης -30 dBm0 ή μεγαλύτερης.

Έχει επιλεγεί  $q=256=2^8$  και έτσι ισχύει :

Αριθμός σταθμών	: 256
Αριθμός bit ανά κωδική λέξη	: 8

### 1.4.3 Παράδειγμα ομοιόμορφης κβάντισης

Στα ακόλουθα σχήματα περιγράφεται η διαδικασία δειγματοληψίας και κωδικοποίησης έχοντας θεωρήσει για ευκολία ομοιόμορφη κβάντιση 16 επιπέδων (4 bit). Επίσης, το στάδιο κβάντισης των παλμών έχει ενοποιηθεί με την κωδικοποίηση (αφού πρακτικά είναι μια ενέργεια).



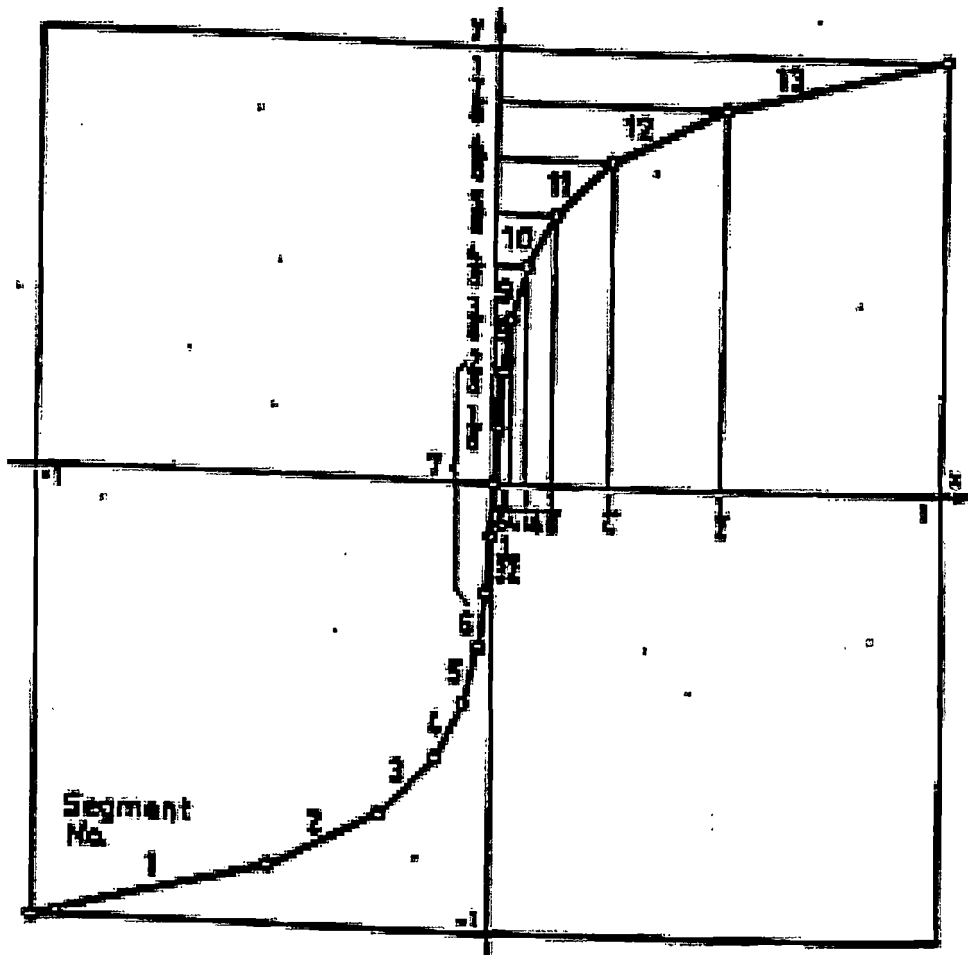
### 1.4.4 Ανομοιόμορφη κβάντιση

Η ανομοιόμορφη κβάντιση και κωδικοποίηση πρακτικά μπορεί να πραγματοποιηθεί ακολουθώντας μια καμπύλη συμπίεσης που προσεγγίζει τον Α-νόμο.

Στον x-άξονα παριστάνεται η τιμή της εισόδου και στον y η τιμή εξόδου του συμπιεστή.

Η καμπύλη αποτελείται από επιμέρους γραμμικά τμήματα με διαφορετική όμως κλίση ώστε στις μικρές τιμές πλάτους να αντιστοιχούν μικρότερα διαστήματα και στις μεγάλες μεγαλύτερα.

Τα τμήματα ονομάζονται *segments* και είναι 7 για τις θετικές και 7 για τις αρνητικές τιμές. Στο πρώτο τμήμα (το πλησιέστερο στο μηδέν) αντιστοιχούν 32 υποδιαστήματα-κωδικές λέξεις ενώ στα υπόλοιπα έξι αντιστοιχούν 16 υποδιαστήματα-κωδικές λέξεις. Τα υποδιαστήματα σε κάθε τμήμα έχουν την ίδια απόσταση μεταξύ τους.



Ένας άλλος τρόπος προσέγγισης της πιο πάνω διαδικασίας είναι να γίνει αρχικά γραμμική κωδικοποίηση με κώδικα 12 bit (4096 διαφορετικές κωδικές λέξεις) και κατόπιν αντιστοιχία στην τελική κωδικοποίηση των 8 bit. Η αντιστοιχία αυτή ισοδυναμεί με συμπίεση και γίνεται ως εξής :

- Οι πρώτες 32 λέξεις του τελικού κώδικα 8 bit, αντιστοιχούν μια προς μια, στις 32 λέξεις του κώδικα 12 bit.
- Οι επόμενες 16 λέξεις του κώδικα 8 bit, αντιστοιχούν στις 32 λέξεις του 12bit κώδικα, (μια 8bit λέξη αντιστοιχεί σε δύο 16 bit λέξεις).
- Οι επόμενες 16 λέξεις του κώδικα 8 bit, αντιστοιχούν στις 64 λέξεις του κώδικα 12bit, (μια 8bit λέξη αντιστοιχεί σε τέσσερις 16 bit λέξεις).
- Τα επόμενα βήματα συνεχίζονται με τον ίδιο τρόπο, δημιουργώντας τα επτά θετικά segment με 128 κωδικές λέξεις. Το πρώτο bit κάθε κωδικής λέξης καθορίζει το πρόσημο ("1" για θετικά) και έτσι αλλάζοντάς το δημιουργούνται και οι 128 αρνητικές τιμές.

Αυτό πρακτικά, ισοδυναμεί με γραμμική βαθμονόμηση του x-άξονα του προηγούμενου σχήματος με τιμές από -2047 έως 2047 και του y-άξονα με τις τελικές τιμές από -127 έως 127. στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η αντιστοιχία των λέξεων 12 και 8 bit (για θετικές τιμές).

<i>Λέξεις των 12 bit</i>	<i>Βήμα</i>	<i>Αριθμός λέξεων</i>	<i>Λέξεις των 8 bit</i>
111111000000 111110000000 ..... 110001000000 110000000000	64	16	11111111 11111110 ..... 11110001 11110000
101111100000 101111000000 ..... 101000100000 101000000000	32	16	11101111 11101110 ..... 11100001 11100000
100111110000 ..... 100101000000	16	16	11011111 ..... 11010000
.....	8	16	.....
.....	4	16	.....
100000111111 100000111110 ..... 100000100011 100000100010 100000100001 100000100000	2	16	10111111 10111111 ..... 10100001 10100001 10100000 10100000
100000011111 ..... 100000000000	1	32	10111111 ..... 10000000

Αυτή η μέθοδος κωδικοποίησης χρησιμοποιείται συνήθως την πράξη αφού με αυτή αποφεύγεται η ανάγκη δημιουργίας συμπιεστών – αποσυμπιεστών οι οποίοι παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυσκολία στην υλοποίησή τους.

Στην τελική κωδική λέξη των 8 bit :

- i.* Το πρώτο bit υποδηλώνει το πρόσημο
- ii.* Το δεύτερο, τρίτο και τέταρτο bit δηλώνουν το segment<sup>1</sup> και
- iii.* Τα τέσσερα τελευταία bit δηλώνουν την τιμή που αντιστοιχεί μέσα στο segment<sup>2</sup>.

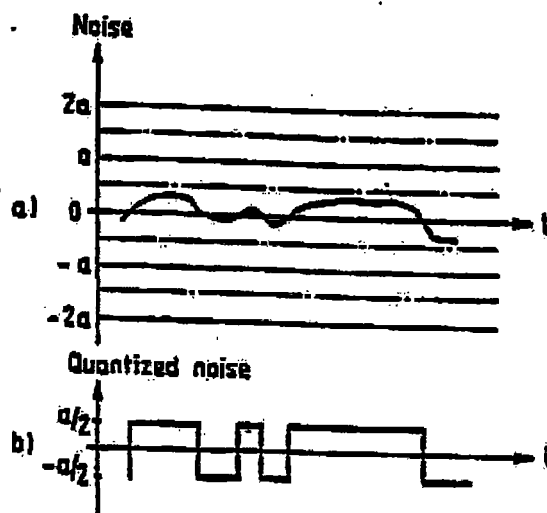
*Η χρήση των τριών παραπάνω κανόνων είναι μια εναλλακτική υλοποίηση της διαδικασίας χωρίς να μας απασχολεί η αρχική κωδικοποίηση 12 bit.*

### 1.4.5 Θόρυβος ανενεργών καναλιών

Ο μηχανισμός δημιουργίας θορύβου σε ανενεργά (idle) κανάλια διαφέρει από αυτόν των αναλογικών συστημάτων στα οποία ο θόρυβος αυτός οφείλεται στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό (ενισχυτές, φίλτρα, διαμορφωτές, αποδιαμορφωτές κ.α.).

Ο εξοπλισμός κάθε καναλιού PCM παράγει επίσης θόρυβο, αλλά αυτός παράγεται στο στάδιο της A/D μετατροπής. Ένα γραφικό παράδειγμα δίνεται στο ακόλουθο σχήμα όπου για ευκολία θεωρείται γραμμική μέθοδος κβάντισης/ κωδικοποίησης.

Το σήμα εισόδου είναι ο θόρυβος που οφείλεται στις μονάδες εκπομπής του καναλιού. Το αποτέλεσμα της κωδικοποίησης του θορύβου είναι μια κωδική λέξη που αντιπροσωπεύεται από τις πλησιέστερες τιμές στο μηδέν, ενώ το αποτέλεσμα στην λήψη φαίνεται στο προηγούμενο σχήμα.



*Ψηφιοποιημένος θόρυβος σε ανενεργό κανάλι χωρίς υπερτιθέμενη τάση.*

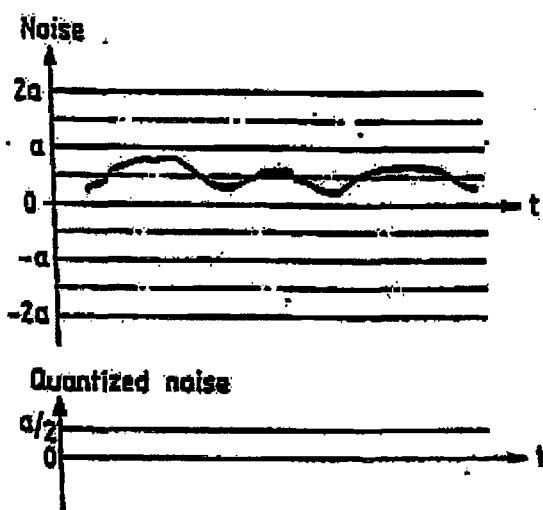
<sup>1</sup> Εδώ χωρίζουμε και το πρώτο segment σε δύο ίσα υπομήματα με την ίδια κλίση.

<sup>2</sup> Οι υποδιαιρέσεις μέσα στο κάθε segment έχουν το ίδιο πλάτος.

Όπως φαίνεται από το σχήμα, η στάθμη ισχύος του παραγόμενου στην λήψη σήματος λόγω θορύβου, είναι ανεξάρτητη από το πόσο ισχυρός είναι ο θόρυβος εισόδου και πρακτικά έχουμε ενίσχυση του θορύβου.

Στο σχήμα που επικαλεστήκαμε έχουμε την χειρότερη περίπτωση, ενώ στα επόμενα δύο την καλύτερη. Εδώ ο θόρυβος υπερτίθεται σε μια συνεχή τάση  $a/2$  (μισό διάστημα κβάντισης) και η έξοδος του αποκωδικοποιητή μένει σταθερή στο  $a/2$ , δηλ. ο θόρυβος όσο το πλάτους δεν υπερβαίνει το  $a/2$  εξαλείφεται.

Στην πράξη, μικρές ατέλειες στους ενισχυτές μπορούν να προκαλέσουν αυτή την υπέρθεση και έτσι μετρήσεις θα δείξουν άλλα κανάλια να συμπεριφέρονται όπως το πρώτο και τα άλλα όπως το δεύτερο σχήμα καθώς και τις ενδιάμεσες περιπτώσεις. Θεωρητικά το πρώτο σχήμα αντιστοιχεί σε στάθμη θορύβου  $-99\text{dBm}$ .



*Ψηφιοποιημένος θόρυβος σε ανενεργό κανάλι χωρίς υπερτιθέμενη τάση ίση με μισό εύρος βαθμίδας*

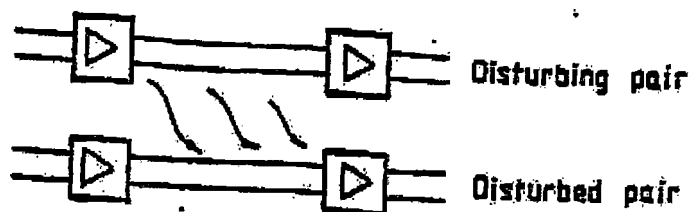
### 1.4.6 Θόρυβος διαφωνίας (Crosstalk)

Ως διαφωνία (crosstalk) ορίζεται η παρεμβολή σε ένα σύστημα PCM από την λειτουργία άλλου συστήματος το οποίο χρησιμοποιεί γειτονικό φορέα ή και παρεμβολή του σήματος εκπομπής στο σήμα λήψης του ίδιου συστήματος. Οι παρεμβολές αυτές εντοπίζονται στα συστήματα εκπομπής – λήψης στους τερματικούς και στους αναμεταδότες. Διακρίνονται δύο είδη διαφωνίας :

#### **Τηλεδιαφωνία (FEXT, Far End Crosstalk)**

Είναι η παρεμβολή της εκπομπής ενός συστήματος στην εκπομπή του γειτονικού του ή αντίστοιχα της λήψης μεταξύ δύο συστημάτων. Οι στάθμες των δύο σημάτων είναι παρόμοιες οπότε το πρόβλημα δεν είναι τόσο μεγάλο.

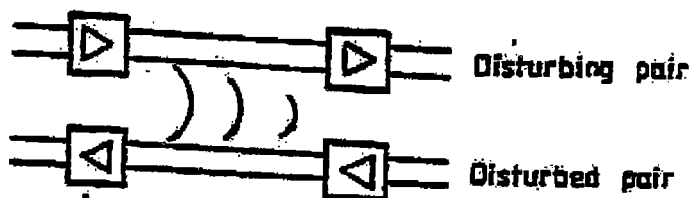
Το ακόλουθο σχήμα περιγράφει το φαινόμενο της τηλεδιαφωνίας.



*Τηλεδιαφωνία*

### **Παραδιαφωνία (NEXT, Near End Crosstalk)**

Είναι η παρεμβολή της εκπομπής ενός συστήματος στην λήψη του γειτονικού του ή και στη δική του λήψη. Η στάθμη εκπομπής είναι πού μεγαλύτερη από αυτή της λήψης οπότε εδώ υπάρχει δυνατότητα επηρεασμού του σήματος λήψης.



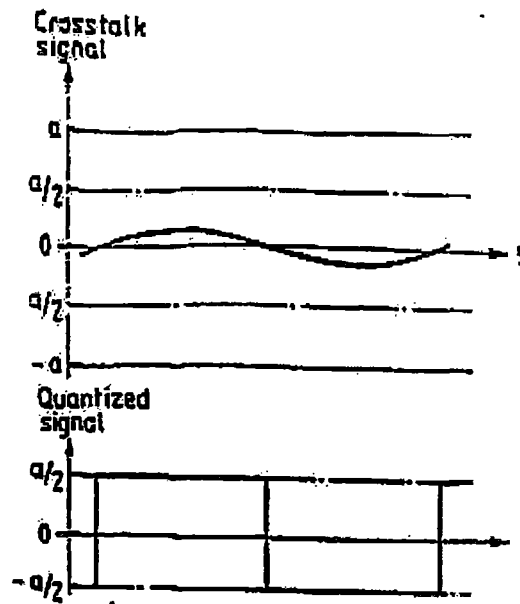
*Παραδιαφωνία*

Ο μηχανισμός θορύβου διαφωνίας είναι παρόμοιος με αυτόν των ανενεργών καναλιών. Ο θόρυβος διαφωνίας που περνά σε γειτονικά συστήματα, ψηφιοποιείται και το αποτέλεσμα της μετατροπής δίνει το συνολικό θόρυβο διαφωνίας.

Στο σχήμα της επόμενης σελίδας εμφανίζεται η ψηφιοποίηση ενός παρασιτικού σήματος διαφωνίας το οποίο έχει την ίδια στάθμη ανεξάρτητα από την στάθμη του παρασιτικού σήματος (αρκεί βέβαια αυτό να μην ξεπερνά το διάστημα κβάντισης). Το συμπέρασμα είναι πως η διαφωνία ενισχύεται όταν το κανάλι δεν έχει σήμα. Θεωρητικά η στάθμη του σήματος διαφωνίας είναι -66 dBm.

Αν υπάρχει και μια υπερτιθέμενη σταθερή τάση μισού διαστήματος κβάντισης, η διαφωνία θα απομονωθεί τελείως όπως και στο θόρυβο ανενεργού καναλιού.





Ψηφιοποιημένος θόρυβος διαφωνίας

## 1.5 Δομή πλαισίου 2 Mbit

Η μέθοδος υπέρθεσης πολλών σημάτων για την μετάδοσή τους μέσα από το ίδιο μέσο μεταφοράς (καλώδιο, οπτική ίνα, μετάδοση μέσω radio) ονομάζεται **πολυπλεξία**. Πολλά σήματα μοιράζονται το ίδιο μέσο, ενώ εκτός από την εξοικονόμηση πόρων ταυτόχρονα υπάρχει ομαδοποίηση, με αποτέλεσμα την καλύτερη διαχείρισή τους από τα συστήματα μετάδοσης.

Τα πλεονεκτήματα της πολυπλεξίας την έχουν κάνει αναπόσπαστο τμήμα των τηλεπικοινωνιών, ενώ ανάλογα με το είδος του συστήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολυπλεξία στο πεδίο των συχνοτήτων/ μήκος κύματος στο πεδίο του χρόνου ή σε συνδυασμούς των.

### 1.5.1 Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου

Η διαδικασία παραγωγής του PCM σήματος όπως έχει περιγραφεί μέχρι εδώ έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μιας σειράς bit από ένα σήμα. Αυτή έχει τα εξής χαρακτηριστικά :

- Διάρκεια bit 15,625  $\mu$ s
- Μήκος λέξης 8 bit
- Διάρκεια λέξης 125  $\mu$ s
- Συχνότητα επανάληψης κωδικής λέξης 8 kHz
- Χρόνος μεταξύ κωδικών λέξεων<sup>1</sup> 125  $\mu$ s
- Ρυθμός bit 64 Kbit/sec

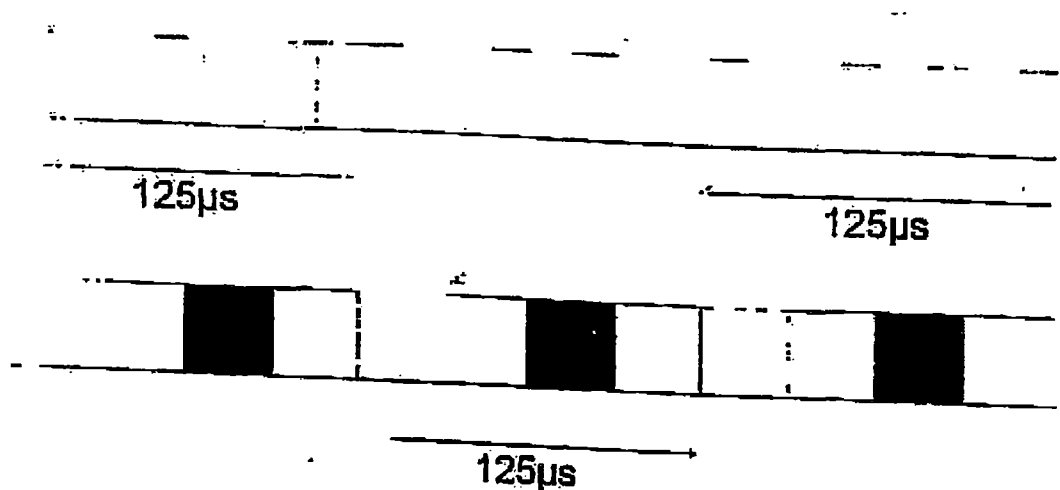
Αυτά ισχύουν αν ένα σήμα καταλαμβάνει αποκλειστικά το κανάλι μετάδοσης. Αυτό δεν είναι ικανοποιητικό διότι έτσι δεν αξιοποιείται σωστά το κανάλι. Σκοπός είναι η κοινή χρήση του καναλιού από περισσότερα σήματα (πολυπλεξία). Η μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να γίνει αυτό είναι η μείωση όπως διάρκειας του bit και άρα και για τη διάρκεια όπως λέξης.

Αν μειωθεί η διάρκεια του κάθε bit, για παράδειγμα στο  $\frac{1}{4}$  όπως αρχικής, τότε θα ισχύει για το προηγούμενο :

• Διάρκεια bit	3,9 $\mu$ s
• Μήκος λέξης	8 bit
• Διάρκεια λέξης	31.25 $\mu$ s
• Συχνότητα επανάληψης κωδικής λέξης	8 kHz
• Χρόνος μεταξύ κωδικών λέξεων	125 $\mu$ s
• Ρυθμός bit	64 Kbit/sec

Η διάρκεια λέξης είναι ο χρόνος κατάληψης του καναλιού και έχει πλέον μειωθεί στο  $\frac{1}{4}$  του αρχικού. Με αυτό τον τρόπο, χωρίς να έχει μειωθεί ο όγκος όπως πληροφορίας που μεταδίδεται, υπάρχει χρονικό περιθώριο ώστε τρία ακόμη PCM σήματα να καταλάβουν το ίδιο κανάλι. Ο χρόνος κατάληψης που διατίθεται σε κάθε κανάλι είναι σταθερός, επαναλαμβάνεται περιοδικά και ονομάζεται *χρονοθυρίδα* (time slot).

Ένα τυπικό παράδειγμα φαίνεται στα επόμενα σχήματα όπου φαίνονται τρεις κωδικές λέξεις από ένα σήμα να πολυπλέκονται με άλλα τρία σήματα (τα οποία για λόγους απλότητας του σχήματος φαίνονται ως χρονοθυρίδες) :



#### *Πολυπλεξία τεσσάρων σημάτων*

Στο κανάλι μετάδοσης, ο συνολικός ρυθμός bit είναι τέσσερις φορές ο ρυθμός κάθε ανεξάρτητου σήματος.

Το πρώτο επίπεδο πολυπλεξίας είναι καθορισμένο ως εξής :\*

- Στην Ευρώπη πολυπλέκονται 32 κανάλια με συνολικό ρυθμό 2.048 Kbit (E1, 2 Mbit).
- Όπως Η.Π.Α. πολυπλέκονται 24 κανάλια με συνολικό ρυθμό 1.544 Kbit (Οπως1).

Αυτό σημαίνει ότι όπως στο προηγούμενο παράδειγμα η διάρκεια του bit μειώνεται στο  $\frac{1}{4}$ , στην πράξη για να δημιουργηθεί το σήμα των 2 Mbit ο χρόνος κατάληψης κάθε επιμέρους σήματος μειώνεται στο ώστε στα 125  $\mu$ S να υπάρχει δυνατότητα να πολυπλεχθούν 32 κανάλια.

### 1.5.2 Δομή πλαισίου 2 Mbit/s

Το σήμα των 2 Mbit/s έχει 32 χρονοθυρίδες των 64 Kbit/s οι οποίες σχηματίζουν ένα πλαίσιο (frame) το οποίο επαναλαμβάνεται συνεχώς. Για να διακρίνονται οι χρονοθυρίδες μεταξύ τους έχουν αρίθμηση από 0 έως 31 και κάθε μια περιέχει καθορισμένη πληροφορία.

Σε ένα frame 2 Mbit ισχύουν τα ακόλουθα :

• Διάρκεια bit	488,3 $\mu$ s
• Αριθμός bit ανά χρονοθυρίδα	8
• Αριθμός χρονοθυρίδων	32
• Αριθμός bit ανά πλαίσιο	256
• Διάρκεια χρονοθυρίδας	3.91 $\mu$ s
• Διάρκεια πλαισίου	125 $\mu$ s
• Ρυθμός bit ανά χρονοθυρίδα	64 Kbit/sec
• Συνολικός ρυθμός bit	2048 Kbit/sec

Τα συστήματα πολυπλεξίας των 2 Mbit χρησιμοποιούνται για την σύνδεση τηλεφωνικών κέντρων. Προκύπτει έτσι η ανάγκη μεταφοράς εκτός από το σήμα φωνής να γίνει μεταφορά και σηματοδοσίας. Επίσης είναι απαραίτητο για την σωστή λειτουργία των δύο τερματικών, να υπάρχει συγχρονισμός μεταξύ τους, έλεγχος ποιότητας μετάδοσης δεδομένων που αφορά το μέσο μετάδοσης και πληροφορία για συναγερούς. Όλα αυτά καταλαμβάνουν ιδιαίτερη θέση στο πλαίσιο των 2 Mbit.

Κάθε χρονοθυρίδα περιέχει συγκεκριμένη πληροφορία η οποία είναι :

- **Time slot 0 (TS0)** : Συγχρονισμός, συναγερούς, έλεγχος ποιότητας
- **Time slot 1 έως 15 (TS1 – TS15)** : 15 συνδρομητικά κανάλια φωνής
- **Time slot 16 (TS16)** : Σηματοδοσία
- **Time slot 17 έως 31 (TS17 – TS31)** : 15 συνδρομητικά κανάλια φωνής

Εκτός από το πλαίσιο, σε ένα σήμα 2 Mbit υπάρχει η έννοια του *πολυπλαισίου* (multiframe). Ένα πολυπλαίσιο αποτελείται από 16 διαδοχικά πλαίσια και σε αυτά μεταφέρει σηματοδοσία για τους 30 συνδρομητές και μια λέξη συγχρονισμού πολυπλαισίου.

### 1.5.3 Σηματοδοσία

Στη σηματοδοσία περιλαμβάνονται οι διαδικασίες αποκατάστασης και απόλυσης κλήσης, χρέωσης, επιλογής αριθμού κ.α. Αυτά είναι σήματα που ανταλλάσσονται μεταξύ συνδρομητών και κέντρων αλλά και μεταξύ κέντρων και πρέπει να μεταφερθούν και αυτά από τον ίδιο φορέα παράλληλα με την μετάδοση της φωνής.

Στα συνδρομητικά ή ζευκτικά κυκλώματα που μεταφέρουν την πληροφορία ενός μόνο συνδρομητή, η σηματοδοσία έχει την μορφή αλλαγής κατάστασης στα ζεύγη καλωδίων (συνήθως αλλαγή πολικότητας ή αλλαγή αντίστασης βρόχου). Όταν χρησιμοποιούνται συστήματα PCM αυτή η μέθοδος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αφού δεν υπάρχει δυνατότητα να περάσει απ' ευθείας ρεύμα. Έτσι και οι σηματοδοσίες αυτές όπως και η φωνή μετατρέπονται σε ψηφιακά σήματα.

Η πιο συνηθισμένη σηματοδοσία και αυτή που χρησιμοποιείται από τον ΟΤΕ για την σύνδεση μεταξύ κέντρων είναι η CAS-4 bit. Η σηματοδοσία όμως, μπορεί να αλλάξει ανάλογα με τις απαιτήσεις του κατασκευαστή και τον σκοπό που πρόκειται να εξυπηρετήσει το σύστημα.

Άλλη μέθοδος σηματοδοσίας είναι μέσω κοινού καναλιού (CCS, Common Channel Signalling) η οποία εφαρμόζεται ή πρόκειται να εφαρμοσθεί στο άμεσο μέλλον.

#### CAS 4bit

Στο TS16 διατίθεται χώρος για την σηματοδοσία των συνδρομητών. Οι σηματοδοσίες κάθε συνδρομητή κωδικοποιούνται σε λέξεις των 4 bit. Έτσι σε κάθε TS16 κάθε πλαισίου υπάρχει χώρος για την σηματοδοσία δύο καναλιών. Με αυτό τον τρόπο μέσα σε διάστημα 15 πλαισίων έχουν σταλεί οι σηματοδοσίες όλων των επιμέρους καναλιών. Όταν συμπληρωθεί ένας τέτοιος κύκλος έχει δημιουργηθεί ένα πολυπλαίσιο. Τότε στο TS16 περιλαμβάνεται η λέξη *συγχρονισμού πολυπλαισίου* (Multiframe Synchronization Word).

Ένα πολυπλαίσιο με αυτό τον τρόπο ολοκληρώνεται σε 16 πλαίσια ή 2 ms και σε αυτό έχουν περιληφθεί οι σηματοδοσίες όλων των καναλιών φωνής από μια φορά. Μια νέα αρίθμηση μπορεί να οριστεί που αυτή την φορά αφορά τα πλαίσια με βάση την θέση που κατέχουν μέσα στο πολυπλαίσιο (από 0 έως 15).

Η δομή του TS16 μέσα σε ένα πολυπλαίσιο φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα :

<i>Αριθμός πλαισίου στο πολυπλαίσιο</i>	<i>Περιεχόμενο TS16 (4 + 4 bit)</i>	
<i>0</i>	<i>Λέξη συγχρονισμού πολυπλαισίου</i>	
<i>1</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 1</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 16</i>
<i>2</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 2</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 17</i>
<i>3</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 3</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 18</i>
<i>4</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 4</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 19</i>
<i>5</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 5</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 20</i>
<i>.....</i>	<i>.....</i>	<i>.....</i>
<i>12</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 12</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 27</i>
<i>13</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 13</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 28</i>
<i>14</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 14</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 29</i>
<i>15</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 15</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 30</i>
<i>0</i>	<i>Λέξη συγχρονισμού πολυπλαισίου</i>	
<i>1</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 1</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 16</i>
<i>2</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 2</i>	<i>Σηματοδοσία καναλιού 17</i>

**Σημειώσεις :** Τα κανάλια φωνής 1 έως 15 περιέχονται στα TS1 έως TS15 ενώ τα κανάλια φωνής 16 έως 30 περιέχονται στα TS17 έως TS31 αντίστοιχα.

Η λέξη συγχρονισμού πολυπλαισίου βοηθά τα συστήματα να συγχρονιστούν στην δομή του πολυπλαισίου σηματοδοσίας.

Το TS16 σε κάθε πλαίσιο διαιρείται σε δύο μέρη των τεσσάρων bit που το κάθε ένα αφορά την σηματοδοσία ενός καναλιού.

Η λέξη συγχρονισμού πολυπλαισίου έχει την εξής μορφή :

0	0	0	0	x	y	x	x
---	---	---	---	---	---	---	---

**Σημειώσεις :** Τα τέσσερα πρώτα bit που είναι "0" είναι η λέξη συγχρονισμού. Τα bit x είναι διαθέσιμα και αν δεν χρησιμοποιούνται γίνονται "1". Το bit y γίνεται "1" ως ένδειξη απώλειας συγχρονισμού πολυπλαισίου.

Οι λέξεις σηματοδοσίας που χρησιμοποιούνται στο CAS-4bits του ΟΤΕ για διασύνδεση αναλογικών κέντρων είναι :

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ	Χρονοθυρίδα 16							
	Εμπροσθόδοτες λέξεις				Οπισθόδοτες λέξεις			
	a	b	c	d	a	b	c	d
Ετοιμότητα κάλυψης	1	1	1	1	0	1	1	1
Κατάληψη	0	1	1	1	0	1	1	1
Επιβεβαιωτικό κατάληψης	0	1	1	1	1	1	1	1
Παλμός επιλογής	0	0/1	1	1	1	1	1	1
Σήμα αρχής συνδιάλεξης	0	1	1	1	1	0	0	1
Σήμα τέλους συνδιάλεξης	0	1	1	1	1	1	0	1
Απόλυση	1	1	1	1	Κάθε κατάσταση			

**Σημειώσεις :** Τα a,b,c,d, είναι τα τέσσερα bit που αντιστοιχούν στον συνδρομητή. Με έντονο χρώμα φαίνονται τα bit των οποίων η κατάσταση αλλάζει όταν αλλάζει η κατάσταση του συνδρομητικού βρόγχου.

Οι λέξεις **abcd** ονομάζονται εμπροσθόδοτες για το σύστημα που τις εκπέμπει και οπισθόδοτες για το σύστημα που τις λαμβάνει.

Βρίσκονται και στις δύο τετράδες ανάλογα με την χρονοθυρίδα στην οποία αναφέρονται.

### 1.5.4 Συγχρονισμός

Η πρώτη χρονοθυρίδα κάθε πλαισίου (TS0) χρησιμοποιείται για συγχρονισμό πλαισίου. Η βασική αρχή του συγχρονισμού πλαισίου είναι ότι ο δέκτης εντοπίζει μια συγκεκριμένη λέξη αναγνώρισης και ελέγχει την παρουσία της σε δεδομένες στιγμές. Αυτό του δίνει την δυνατότητα να αναγνωρίζει την θέση κάθε χρονοθυρίδας μέσα στο frame.

Στο TS0 περιέχονται συνολικά οι εξής πληροφορίες :

- Λέξη συγχρονισμού πλαισίου (Frame Alignment Signal, FAS="0011011").
- Ένδειξη συναγερμού
- Bit για έλεγχο λαθών (CRC -4bits, Cyclic Redundancy Check-4). Σε ένα σύστημα μπορεί να έχει προβλεφθεί έλεγχος λαθών ή όχι.

Η λέξη συγχρονισμού πλαισίου εμφανίζεται σε κάθε δεύτερο πλαίσιο.

Υπάρχουν δύο ειδών πλαίσια χωρίς CRC, αυτά που περιέχουν την FAS και αυτά που δεν την περιέχουν. Τα δύο αυτά πλαίσια εναλλάσσονται μεταξύ τους, οπότε θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν άρτια και περιττά. Η δομή και των δύο φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα :

ΧΡΟΝΟΘΥΡΙΑΔΑ 0									
Αριθμός bit	1	2	3	4	5	6	7	8	
Είδος πλαισίου									
Πλαίσια με FAS	$S_i$	0	0	1	1	0	1	1	
Πλαίσια χωρίς FAS	$S_i$	1	A	$S_n$	$S_n$	$S_n$	$S_n$	$S_n$	$S_n$

**Σημειώσεις :** Τα επτά bit με έντονο χρώμα είναι η λέξη συγχρονισμού πλαισίου.

Το 2<sup>ο</sup> bit του πλαισίου χωρίς FAS είναι πάντα "1" και αποτελεί μέρος της λέξης συγχρονισμού.

Τα  $S_i$  είναι bit που έχουν φυλαχθεί για διεθνή χρήση. Μια πιθανή χρήση είναι το CRC. Μελλοντικά είναι δυνατό να βρεθεί και άλλη εφαρμογή. Αν δεν χρησιμοποιούνται για τίποτα πρέπει να τεθούν="1" σε διεθνή κυκλώματα.

Το A είναι ένδειξη συναγερμού. Σε κανονική λειτουργία είναι "0", σε περίπτωση συναγερμού = "1".

Τα  $S_n$  είναι bit διαθέσιμα για εθνική χρήση. Αν δεν χρησιμοποιούνται ή το κύκλωμα είναι διεθνές, πρέπει να τεθούν = "1".

Αν τα  $S_i$  bit χρησιμοποιούνται για έλεγχο λαθών, προκύπτει η ακόλουθη μορφή πλαισίων :

Κατηγορία Πλαίσια	Αριθμός Πλαίσια	Κατηγορία	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5	Bit 6	Bit 7
I	0	C <sub>1</sub>	0	0	1	1	0	1	1
	1	0	1	A	S	S	S	S	S
	2	C <sub>2</sub>	0	0	1	1	0	1	1
	3	0	1	A	S	S	S	S	S
	4	C <sub>3</sub>	0	0	1	1	0	1	1
	5	1	1	A	S	S	S	S	S
	6	C <sub>4</sub>	0	0	1	1	0	1	1
	7	0	1	A	S	S	S	S	S
II	8	C <sub>1</sub>	0	0	1	1	0	1	1
	9	1	1	A	S	S	S	S	S
	10	C <sub>1</sub>	0	0	1	1	0	1	1
	11	1	1	A	S	S	S	S	S
	12	C <sub>3</sub>	0	0	1	1	0	1	1
	13	E	1	A	S	S	S	S	S
	14	C <sub>4</sub>	0	0	1	1	0	1	1
	15	E	1	A	S	S	S	S	S

**Σημειώσεις :** 16πλάσια δομούν ένα CRC-4 πολυπλάσιο και αριθμούνται 0 έως 15. το πολυπλάσιο αυτό είναι ανεξάρτητο από εκείνο της σηματοδοσίας (του TS16).

Το πολυπλάσιο διαιρείται σε δυο υπο-πολυπλάσια (Sub Multiframes, SMF) που αριθμούνται SMF I και SMF II.

Με έντονο χρώμα παρίσταται η λέξη συγχρονισμού πλαισίου η οποία εμφανίζεται σε κάθε δεύτερο πλαίσιο.

Τα C<sub>1</sub> έως C<sub>4</sub> είναι τα bit ισοτιμίας (parity). Υπάρχουν 4 bit ανά υπο-πολυπλάσιο.

Τα S είναι ελεύθερα bit ενώ το A είναι η ένδειξη συναγερωμού (όπως και στον προηγούμενο πίνακα).

Τα E είναι bit ένδειξης λάθους ισοτιμίας.

Ανεξάρτητα από το αν χρησιμοποιείται ή όχι CRC η διαδικασία εντοπισμού και παρακολούθησης της FAS έχει ως εξής :

- Γίνεται επιλογή μιας τυχαίας λέξης και έλεγχος εάν αυτή είναι η “x0011011” (όπου x τυχαίο ψηφίο). Εάν δεν είναι, γίνεται ολίσθηση ενός bit και επαναλαμβάνεται η διαδικασία έως ότου βρεθεί.
- Μόλις εντοπισθεί η ακολουθία, θεωρείται ότι είναι η αρχή ενός πλαισίου και ελέγχεται το TSO στο επόμενο πλαίσιο (μετά από 31 οκτάδες). Πρέπει να είναι “x1xxxxxx”. Αν όχι, τότε η προηγούμενη εύρεση της FAS ήταν ψευδής και επαναλαμβάνεται η διαδικασία από την αρχή.
- Αν και η δεύτερη συνθήκη ικανοποιείται ελέγχεται το επόμενο πλαίσιο το οποίο θα πρέπει να περιέχει ξανά την ακολουθία “x0011011”. Αν βρεθεί λάθος υποτίθεται πως οι δύο προηγούμενες ευρέσεις ήταν ψευδείς.
- Αν βρεθεί ξανά η FAS τότε θεωρείται ότι επιτεύχθηκε συγχρονισμός. Από εκεί και πέρα το σύστημα παρακολουθεί απλώς την FAS την χρονική στιγμή που αναμένεται.
- Αν η FAS χαθεί για τρεις συνεχόμενες φορές, τότε θεωρείται ότι υπάρχει απώλεια συγχρονισμού και η διαδικασία ξεκινά από την αρχή.

Ο συγχρονισμός πολυπλαisiών δείχνει κατ’ αρχή να είναι πιο πολύπλοκος αφού η λέξη συγχρονισμού εμφανίζεται κάθε 16 πλαίσια. Το σύστημα όμως πραγματοποιεί πρώτα το συγχρονισμό πλαισίου και κατόπιν το συγχρονισμό πολυπλαisiού όταν είναι ήδη γνωστή η θέση που θα πρέπει να έχει η λέξη συγχρονισμού πολυπλαisiού (στο TS16).

Εδώ θεωρείται πως έχει χαθεί ο συγχρονισμός αν δύο συνεχείς λέξεις αναγνώρισης πολυπλαisiού έχουν χαθεί. Ο λόγος που επιτρέπεται και ένας δεύτερος έλεγχος (και στο συγχρονισμό πλαισίου και τρίτος) είναι για να μην επαναλαμβάνεται άσκοπα η διαδικασία επανασυγχρονισμού στην περίπτωση ενός απλού λανθασμένου bit μέσα στην λέξη συγχρονισμού.

## 1.6 Κώδικες γραμμής

*Το ψηφιακό σήμα που παράγεται από την δειγματοληψία, κβάντιση και κωδικοποίηση δεν είναι κατάλληλο για να μεταφερθεί μέσω ενός φυσικού μέσου μεταφοράς. Βασικός λόγος είναι ότι είναι δυνατό να υπάρχει μακρά σειρά από “1” ή “0” προκαλώντας συνεχή συνιστώσα.*

*Αυτό επηρεάζει και την μετάδοση του σήματος (σε σχέση με τις ιδιότητες των γραμμών μεταφοράς), αλλά και την ανάκτηση του χρονισμού στο δέκτη αφού τότε δεν υπάρχουν μέτωπα παλμών από τα οποία εξάγεται ο χρονισμός.*

*Για την βελτίωση σε αυτό τον τομέα εισάγονται οι κώδικες γραμμής. Ένας κώδικας γραμμής είναι κανόνες κωδικοποίησης του δυαδικού σήματος για την μεταφορά του μέσα από την γραμμή μεταφοράς εξουδετερώνοντας τα παραπάνω προβλήματα.*

*Με την εισαγωγή των κωδικών επιτυγχάνεται εκτός από τα παραπάνω και η δυνατότητα ελέγχου λαθών, αφού αν συμβεί ένα λάθος λόγω θορύβου, θα πάνε να ισχύουν οι κανόνες*



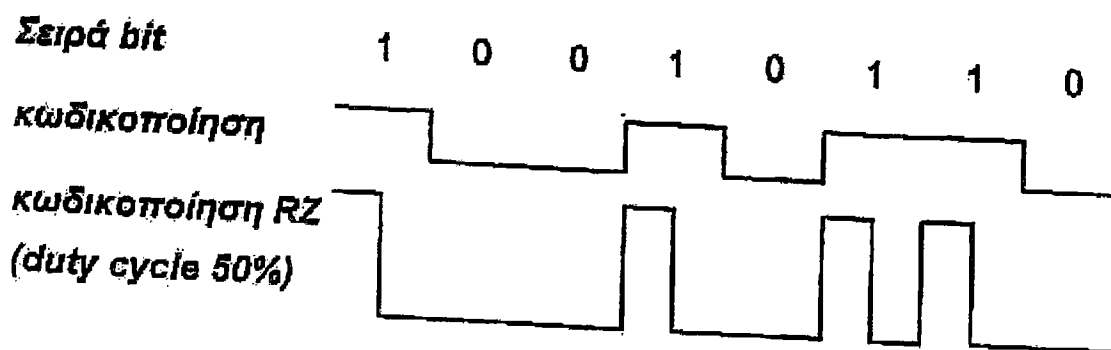
κωδικοποίησης. Παράλληλα, η χρησιμοποίηση κώδικα γραμμής μεταβάλλει και το φάσμα του εκπεμπόμενου σήματος κάνοντάς το καταλληλότερο για μετάδοση.

Τυπικοί κώδικες είναι οι AMI, HDB3 για συστήματα έως 3<sup>ης</sup> τάξης και CMI για τα συστήματα των 140 Mbit.

### 1.6.1 Δυαδικοί κώδικες NRZ και RZ

Οι δυαδικοί κώδικες είναι κώδικες δύο σταθμών (μηδενικής για “0” και θετικής για “1”). Εάν η στάθμη του “1” παραμένει θετική για όλη την διάρκεια του bit, τότε ονομάζεται NRZ (Non Return to Zero). Αν η στάθμη μένει θετική για ένα ποσοστό της περιόδου και επιστρέφει στο μηδέν τότε ο κώδικας είναι RZ (Return to Zero). Ο χρόνος που η στάθμη παραμένει σταθερή εκφρασμένος επί τοις εκατό σε σχέση με την περίοδο του ψηφίου ονομάζεται duty cycle.

Παράδειγμα :

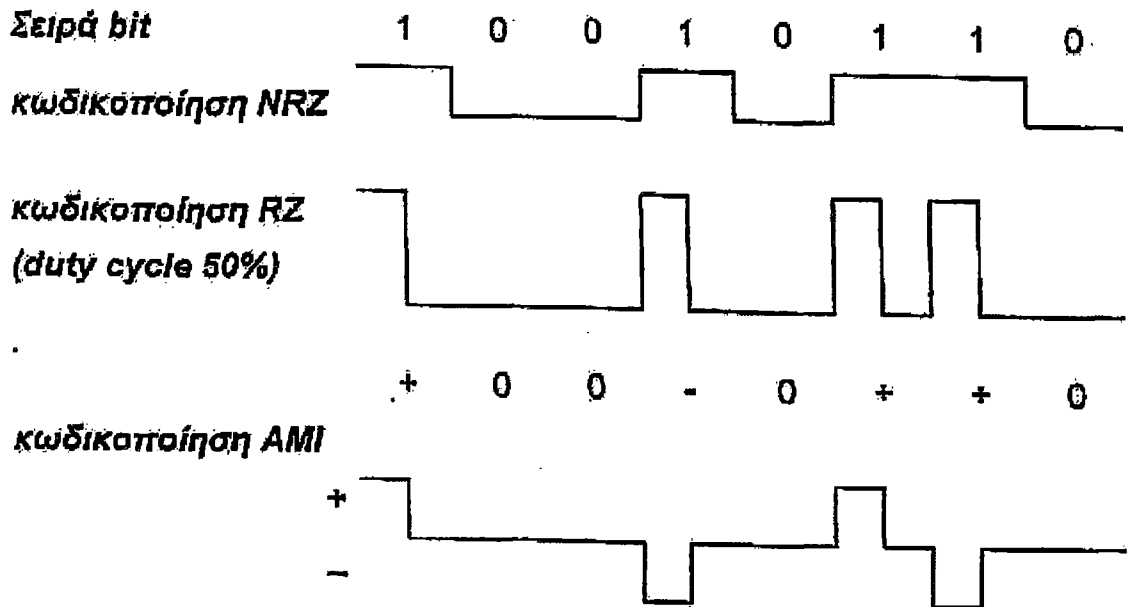


### 1.6.2 AMI

Ο AMI (Alternate Mark Inversion) είναι ένας διπολικός κώδικας. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν θετικές και αρνητικές στάθμες μαζί με την μηδενική. Οι στάθμες είναι RZ, αναπαριστούν τις μονάδες και εναλλάσσονται. Τα μηδενικά αναπαριστώνται από μηδενική στάθμη.

Ο κώδικας AMI δεν έχει DC τάση και η μέση τιμή για μακρά περίοδο είναι μηδέν.

Παράδειγμα :



### 1.6.3 HDB3

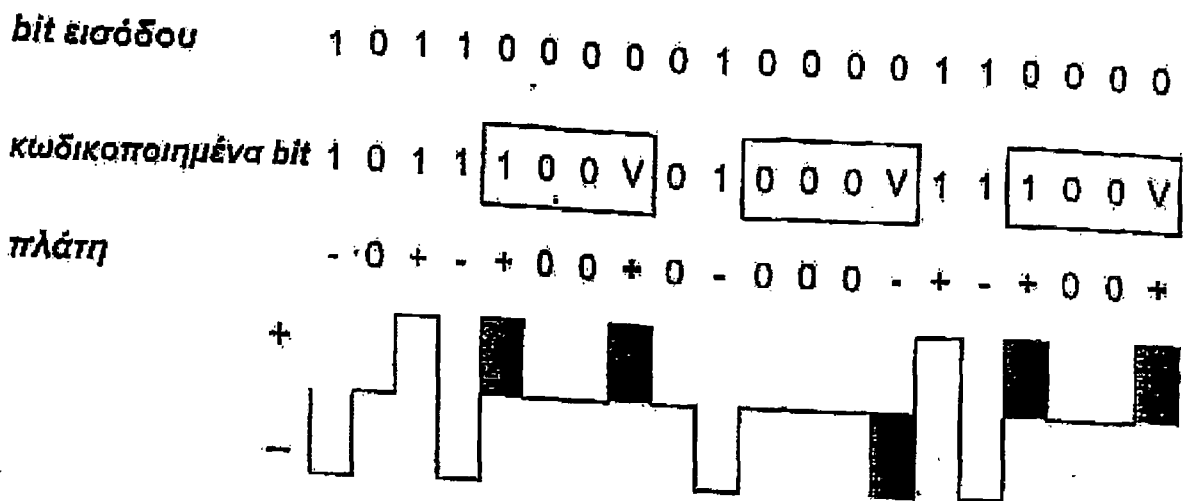
Ο HDB3 είναι κώδικας AMI τροποποιημένος έτσι ώστε να μην επιτρέπει να εμφανισθούν περισσότερα από 3 συνεχόμενα μηδενικά, πράγμα που θα είχε ως αποτέλεσμα την δύσκολη ανάκτηση του ρολογιού. Το όνομά του σημαίνει “Διπολική Κωδικοποίηση Υψηλής Πυκνότητας” (High Density Bipolar Coding).

Ο HDB3 είναι ο AMI με την διαφορά ότι στην περίπτωση που πρέπει να αποσταλεί η σειρά “0 0 0 0”, αυτή αντικαθίσταται από μια ειδική ακολουθία. Η ειδική ακολουθία είναι η “0 0 0 V” ή “1 0 0 V”. Το V (violation bit) είναι bit που παραβιάζει τον κανόνα διπολικής κωδικοποίησης (AMI).

Η χρήση δύο ειδικών ακολουθιών εξασφαλίζει ότι θα υπάρχει διέλευση από το μηδέν σε μια μακρά σειρά ειδικές ακολουθίες.

Η ακολουθία “1 0 0 V” χρησιμοποιείται όταν έχει μεσολαβήσει άρτιος αριθμός μονάδων από την τελευταία ακολουθία ή υπάρχει συνεχής ροή ακολουθιών.

Παράδειγμα :



**Σημειώσεις :** Μέσα σε πλαίσιο φαίνονται οι ειδικές ακολουθίες.  
 Με έντονο χρώμα φαίνονται οι παλμοί παραβίασης του διπολικού κανόνα.

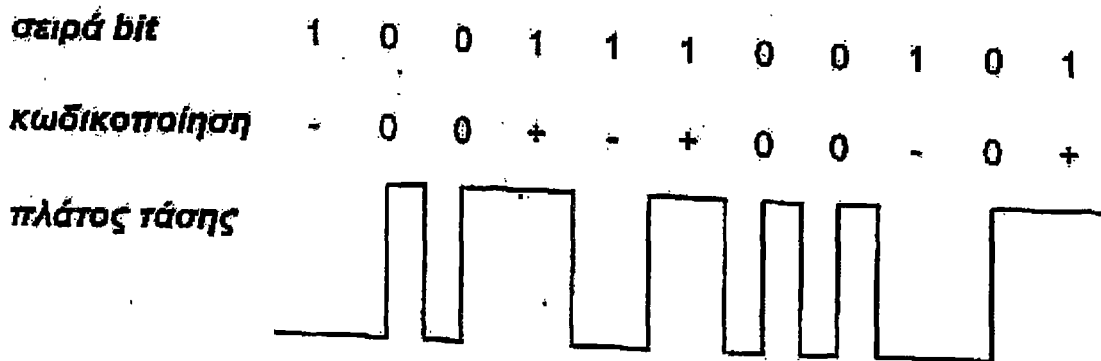
Μόλις γίνει αναγνώριση του V γίνεται έλεγχος για την εύρεση του "1" τρεις θέσεις πριν (αν πρέπει να υπάρχει) και διόρθωσή του.

Το σχήμα των παλμών έχει θεωρηθεί για ευκολία με duty cycle 100%.

### 1.6.4 CMI

Ο CMI (Coded Mark Inversion) είναι διπολικός κώδικας χωρίς καθόλου DC περιοχή. Το "0" αντιπροσωπεύεται από μετάβαση από την αρνητική στην θετική στάθμη ενώ τα "1" ακολουθούν την λογική του AMI με duty cycle 100%.

Παράδειγμα :

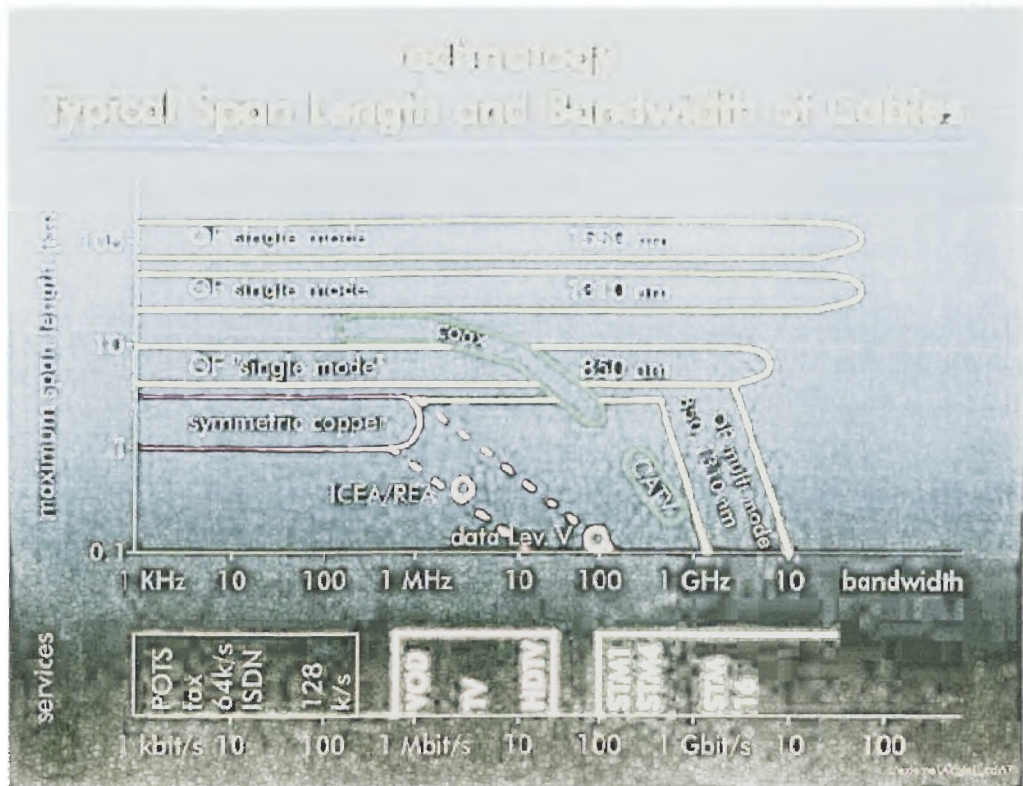


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

#### 2.1 Εισαγωγή

Οι οπτικές ίνες αποτελούν το περισσότερο τεχνολογικά προηγμένο ενσύρματο μέσο μετάδοσης, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.1. Έχουν εκτοπίσει πλήρως κάθε άλλο ενσύρματο μέσο στο υπεραστικό και ζευκτικό τμήμα του δικτύου, ενώ η εισαγωγή τους στο αστικό δίκτυο είναι μαζική, με την οπτική ίνα να φθάνει μέχρι τον εξωτερικό καταναλωτή (FTTC - Fibre To The Curb), την εισαγωγή της οικοδομής (FTTB - Fibre To The Building) και σε ειδικές περιπτώσεις μέχρι τον συνδρομητή (FTTH - Fibre To The Home ή ακόμη FTTD - Fibre To The Desk). Οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται επίσης και στα τοπικά δίκτυα μεγάλων επιχειρήσεων ή πανεπιστημίων, λόγω των μεγάλων ρυθμών μετάδοσης που επιτυγχάνουν.



Σχήμα 2.1 Σύγκριση επιδόσεων ενσύρματων μέσων (από τον κατάλογο της Kabel-Metal)

Τα πλεονεκτήματα των οπτικών ινών σε σύγκριση με τα χάλκινα καλώδια συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Πρακτικά απεριόριστο εύρος ζώνης (Το θεωρητικό όριο συχνότητας για μετάδοση σε υλικό με συντελεστή διάθλασης  $n \approx 1,5$  με μήκος κύματος  $\lambda=1500$  nm, είναι:

$f_{\max} = c / (\pi \cdot \lambda) = 3 \times 10^8 / 1,5 \times (1,5 \times 10^{-6}) \approx 1,3 \times 10^{14}$  Hz ή 130 THz). Στην πράξη η επίδοση ανά ζεύξη υπερβαίνει τα 10 Gb/s, επιτρέποντας την ταυτόχρονη μετάδοση άνω των 150.000 τηλεφωνικών συνδιαλέξεων από ένα ζευγάρι οπτικών ινών. Η χωρητικότητα της ίνας μπορεί να πολλαπλασιαστεί με χρήση πολλών φερουσών ακτινοβολιών σε διαφορετικά μήκη κύματος, σύμφωνα με την τεχνική πολυπλεξίας με Διαίρεση Μήκους Κύματος (WDM<sup>1</sup>). Σήμερα, αν και οι περισσότερες εφαρμογές WDM βασίζονται σε 8 ή 16 μήκη κύματος, διατίθενται συστήματα DWDM<sup>2</sup> μέχρι 64 μηκών κύματος. Επίσης ερευνητές της NTT, πέτυχαν πρόσφατα<sup>3</sup>, σε εργαστηριακό περιβάλλον, μετάδοση δεδομένων σε ρυθμούς 3 Tb/s σε μήκος ίνας 40 km.

- *Πολύ μικρή εξασθένηση*, που μόλις υπερβαίνει το 0,1 dB/km (για μονότροπες ίνες και σε μήκος κύματος 1500 nm), επιτρέποντας την υλοποίηση ζεύξεων σε απόσταση άνω των 200 km, χωρίς την χρήση ενδιάμεσων βαθμίδων αναγέννησης. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε υποβρύχιες ζεύξεις. Στην χώρα μας, η ζεύξη Λαγονήσι - Χανιά καλύπτει απόσταση 285 km χωρίς να απαιτείται ενδιάμεση ενίσχυση. Η χρήση ενδιάμεσων ενισχυτών οπτικών ινών (που περιέχουν ίνες νοθευμένες με Erb) μπορεί να πενταπλασιάσει την απόσταση αυτή (μέχρι τέσσερις σε σειρά ενισχυτικές βαθμίδες), επιτρέποντας υποβρύχιες ζεύξεις άνω των 1000 km.
- *Μικρές διαστάσεις* (διατομή ίνας ~ 0,25 mm, συμπεριλαμβανομένης της πρωτεύουσας επικάλυψης του μανδύα) και *μικρό βάρος*, που επιτρέπουν την τοποθέτηση μεγάλου αριθμού ινών στο ίδιο καλώδιο, χωρίς να αυξάνονται η διατομή και το βάρος του καλωδίου. Σε καλώδια διαμέτρου ~1,75 cm τοποθετούνται συνήθως από 8 έως 144 ίνες (τυποποιημένα μεγέθη καλωδίων 8, 16, 24, 48, 60, 96 και 144 ινών), σε σωληνίσκους με χαλαρή συνήθως δομή, ενώ στην Ιαπωνία έχουν κατασκευαστεί καλώδια μέχρι και 2.000 ινών σε δομή ταινίας (ribbon fibres). Επίσης, η σημαντική διαφορά σε βάρος (περίπου 9 φορές ελαφρύτερο από αντίστοιχο ομοαξονικό) διευκολύνουν τις διαδικασίες εγκατάστασης του καλωδίου.
- *Αναισθησία σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές*. Οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε βιομηχανικό περιβάλλον με υψηλά επίπεδα ηλεκτρο-μαγνητικής μόλυνσης (EMI<sup>4</sup>). Οπτικές ίνες τοποθετούνται κατά μήκος σιδηροδρομικών γραμμών και ενεργειακών καλωδίων (OPGW<sup>5</sup>, ADSS<sup>6</sup>, OPAC<sup>7</sup>), για συνεκμετάλλευση της υπάρχουσας υποδομής.

---

<sup>1</sup> Wavelength Division Multiplexing

<sup>2</sup> Dense Wavelength Division Multiplexing

<sup>3</sup> Fibre Systems

<sup>4</sup> Electro-Magnetic Interference

<sup>5</sup> Optical Ground Wire

- *Προστασία των δεδομένων από υποκλοπή.* Επειδή το οπτικό σήμα που μεταφέρει τα δεδομένα περιορίζεται στον πυρήνα της οπτικής ίνας, δεν είναι δυνατή η υποκλοπή των δεδομένων, χωρίς υποβάθμιση της στάθμης του σήματος, που γίνεται όμως αντιληπτή στον δέκτη. Τόσο κυβερνητικοί και στρατιωτικοί φορείς, όσο και επιχειρήσεις θεωρούν την οπτική ίνα ως “ασφαλές” μέσο μετάδοσης.
- *Μόνωση.* Η οπτική ίνα αποτελείται από διηλεκτρικό υλικό, και ως εκ τούτου δεν μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα, που μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρικό σπινθήρα με κίνδυνο έκρηξης ή πυρκαγιάς. Για τον λόγο αυτό ένα ινοοπτικό καλώδιο μπορεί να διατρέχει τοξικά ή εκρηκτικά περιβάλλοντα (π.χ. σωληνώσεις αποβλήτων ή υγρών καυσίμων), όπου η χρήση ηλεκτρικών καλωδίων είναι απαγορευμένη. Επίσης η χρήση εξ ολοκλήρου διηλεκτρικού ινοοπτικού καλωδίου προστατεύει τις τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις από τους κεραυνούς.
- *Χαμηλότερο κόστος πρώτης ύλης.* Η πρώτη ύλη από την οποία κατασκευάζονται οι οπτικές ίνες είναι το πυρίτιο (γυαλί), που βρίσκεται σε αφθονία στους κόκκους της άμμου, σε σύγκριση με το χαλκό, που αποτελεί το υλικό των δυσύρματων και ομοαξονικών καλωδίων, τα αποθέματα του οποίου είναι σπανιότερα.

Κάποια αρχικά μειονεκτήματα, σχετικά με την πολυπλοκότητα στην σύνδεση, διακλάδωση και βυσμάτωση των μονότροπων οπτικών ινών, έχουν σήμερα πλήρως ξεπεραστεί με την κατάλληλη τεχνολογική ωρίμανση. Οι διαδικασίες έχουν απλοποιηθεί και αυτοματοποιηθεί με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται τυπικές τιμές: 0,1 dB/συγκόλληση και 0,3 dB/βυσμάτωση.

## 2.2 Η δομή της οπτικής ίνας

Η οπτική ίνα είναι της γυάλινος κυματοδηγός κυλινδρικής διατομής. Η βασική της δομή περιλαμβάνει μια κεντρική κυλινδρική ράβδο, που ονομάζεται πυρήνας, και έναν σωλήνα, που περιβάλλει τον πυρήνα και ονομάζεται μανδύας. Για λόγους προστασίας από εξωτερικούς παράγοντες, ο μανδύας καλύπτεται από πρωτογενή επικάλυψη πλαστικού, γνωστή ως πρωτεύουσα επικάλυψη ή εξωτερικό περίβλημα.

Τόσο ο πυρήνας, όσο και ο μανδύας είναι συνήθως κατασκευασμένα από συνθετικό γυαλί υψηλής καθαρότητας ( $\text{SiO}_2$  – με συντελεστή διαθλάσεως 1,46), ενώ ο πυρήνας περιλαμβάνει νοθεύσεις  $\text{GeO}_2$  (με συντελεστή διαθλάσεως 1,48) και άλλων προσμίξεων, που μεταβάλλουν

---

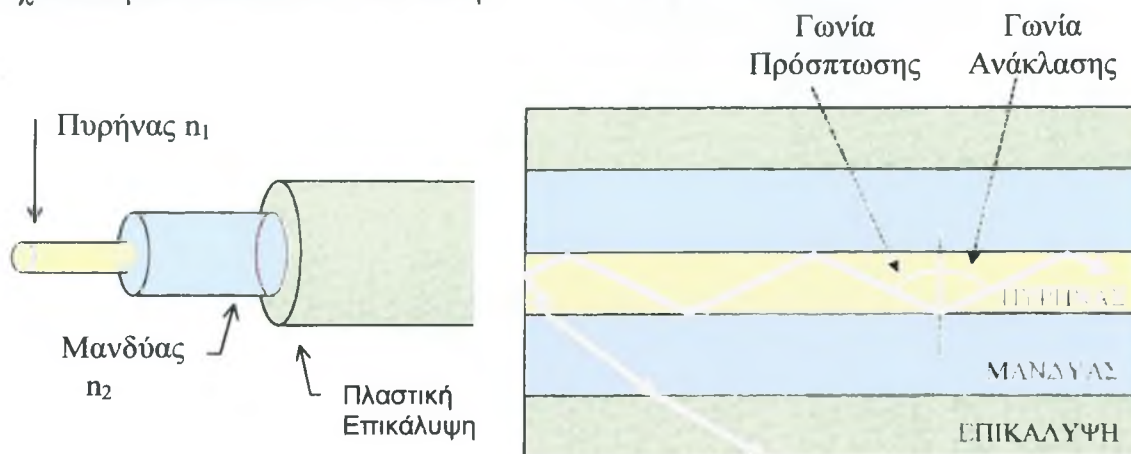
<sup>6</sup> All Dielectric Self Supporting Aerial Cable

<sup>7</sup> OPTical Attached Cable

τον συντελεστή διάθλασης του πυρήνα, επιτυγχάνοντας την διαφορά από τον συντελεστή διάθλασης του μανδύα,  $\Delta n \approx 0,01$ , που απαιτείται για την κυματοδηγηση. Τυπικές τιμές συντελεστών διάθλασης είναι για τον πυρήνα  $n_1 = 1,47$  και για τον μανδύα  $n_2 = 1,46$ .

Οι κατασκευαστές των οπτικών ινών ελέγχουν με ακρίβεια την διαφορά των συντελεστών διάθλασης,  $\Delta n$ , προκειμένου να επιτύχουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά κυματοδηγησης.

Το οπτικό σήμα κυματοδηγείται στον πυρήνα της οπτικής ίνας μέσω του φαινομένου των διαδοχικών εσωτερικών ολικών ανακλάσεων στην κοινή επιφάνεια πυρήνα – μανδύα, της φαίνεται στο σχήμα 2.2. Στο εσωτερικό του πυρήνα, μια ακτίνα φωτός, προσπίπτουσα στην κοινή επιφάνεια με γωνία μεγαλύτερη της κρίσιμης γωνίας, ανακλάται ολικά και συνεχίζει την διαδρομή της εντός του πυρήνα, μέσω συνεχών ανακλάσεων. Αντίθετα, αν η γωνία πρόσπτωσης είναι μικρότερη της κρίσιμης γωνίας, το φως διαθλάται μέσα από τον μανδύα και χάνεται μετά από κάποια απόσταση.



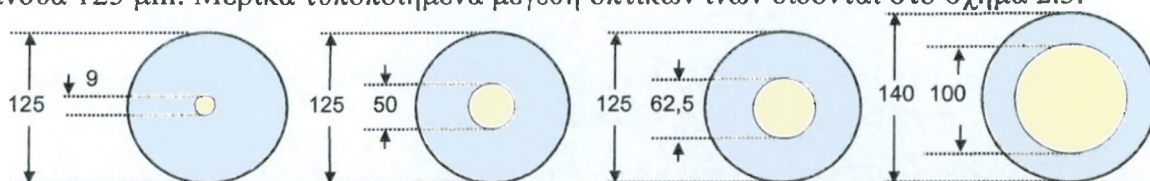
**Σχήμα 2.2: Κυματοδηγηση μέσω ολικής ανάκλασης σε οπτική ίνα**

Τα ειδικότερα χαρακτηριστικά της μετάδοσης του φωτός σε έναν οπτικό κυματοδηγό εξαρτώνται :

- Από την διάμετρο του πυρήνα.
- Της συντελεστές διάθλασης πυρήνα και μανδύα.
- Το μήκος κύματος του φωτός.

Ο συσχετισμός των ανωτέρω μεγεθών καθορίζει το είδος της κυματοδηγησης.

Τα διάφορα μεγέθη οπτικών ινών εκφράζονται από την διάμετρο του πυρήνα ακολουθούμενη από την διάμετρο του μανδύα, έτσι ώστε το 50/125 δηλώνει διάμετρο πυρήνα 50  $\mu\text{m}$  και μανδύα 125  $\mu\text{m}$ . Μερικά τυποποιημένα μεγέθη οπτικών ινών δίδονται στο σχήμα 2.3.



**Σχήμα 2.3. Τυποποιημένα μεγέθη οπτικών ινών (9/125, 50/125, 62,5/125 και 100/140)**

### 2.2.1 Είδη οπτικών ινών

Οι οπτικές ίνες κατηγοριοποιούνται ως προς:

- α) Το υλικό κατασκευής πυρήνα και μανδύα,
- β) Την μεταβολή του δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα στον μανδύα και
- γ) Το πλήθος των τρόπων μετάδοσης που υποστηρίζουν.

Η κατηγοριοποίηση ως προς το υλικό κατασκευής δίδει:

### ***Εξ ολοκλήρου γυάλινες οπτικές ίνες***

Αποτελούν το περισσότερο διαδεδομένο είδος οπτικών ινών στις τηλεπικοινωνίες και ως εκ τούτου θα αποτελέσουν το κύριο αντικείμενο αναφοράς. Τόσο ο πυρήνας, όσο και ο μανδύας, είναι κατασκευασμένα από συνθετικό γυαλί (με το εμπορικό όνομα quartz), υψηλής καθαρότητας σε διοξείδιο του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>), στο οποίο έχουν προστεθεί κατάλληλες προσμίξεις, προκειμένου να επιτευχθεί η επιδιωκόμενη διαφορά στο συντελεστή διάθλασης πυρήνα και μανδύα. Πιο συνηθισμένοι τύποι προσμίξεων είναι:

- το γερμάνιο (Ge) και ο φώσφορος (P), που χρησιμοποιούνται κυρίως στον πυρήνα, αυξάνοντας τον συντελεστή διάθλασης του γυαλιού,
- το βόριο (B) και το φθόριο (F), που χρησιμοποιούνται κυρίως στον μανδύα, μειώνοντας τον συντελεστή διάθλασης του γυαλιού.

### ***Ίνες γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα (Plastic Clad Silica - PCS)***

Χρησιμοποιούνται κυρίως για μεταφορά φωτός και εικόνας σε μικρές αποστάσεις σε εξειδικευμένες εφαρμογές (ενδοσκοπήσεις). Η χρήση τους σήμερα φθίνει και τείνουν να αντικατασταθούν από εξ ολοκλήρου πλαστικές ίνες.

### ***Εξ ολοκλήρου πλαστικές ίνες (Plastic Optical Fibre – POF)***

Συγκρινόμενες με τα άλλα είδη ινών παρουσιάζουν εμφανώς κατώτερες επιδόσεις, ως προς την ελάχιστη εξασθένηση (0,15 dB/m στα 650 nm) και το διαθέσιμο εύρος ζώνης, καθώς και μεγάλη ευαισθησία σε θερμοκρασιακές μεταβολές. Βρίσκουν όμως εφαρμογή στη μεταφοράς φωτός (αυτοκινητοβιομηχανία), σε τοπικά δίκτυα και εσωτερικές καλωδιώσεις κτιρίων, κυρίως λόγω του πολύ χαμηλότερου κόστους των πλαστικών ινών και των παρελκομένων αυτών.

Ως προς το πλήθος των τρόπων μετάδοσης, που υποστηρίζουν, οι οπτικές ίνες κατηγοριοποιούνται σε : *Πολύτροπες* και *Μονότροπες*.

Οι πολύτροπες ίνες χαρακτηρίζονται από την μεταβολή της τιμής του δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα στο περίβλημα σε :

- *βαθμιαίου δείκτη* (graded index)
- *βηματικού δείκτη* (step index).

Το σχήμα 2.4 δείχνει τα είδη διάδοσης σε μονότροπες και πολύτροπες ίνες, βηματικής και βαθμιαίας μεταβολής του δείκτη διάθλασης.

Η κατηγοριοποίηση των οπτικών ινών κατά EN 188 000 δίδεται στους πίνακες 1.1α και 1.1β για πολύτροπες και μονότροπες ίνες αντίστοιχα.

Για πολύτροπες ίνες η μεταβολή του συντελεστή διάθλασης πυρήνα εκφράζεται από την σχέση :

$$n(x) = n(1) + [n(0) - n(1)] \cdot (1 - x^g),$$

όπου  $n(0)$  και  $n(1)$  οι τιμές του συντελεστή διάθλασης στον πυρήνα και στον μανδύα αντίστοιχα,  $x$  η κανονικοποιημένη απόσταση από το κέντρο του πυρήνα και  $g$  η σταθερά, που καθορίζει το είδος της κατανομής συντελεστή διάθλασης.



Κατηγορία	Υλικά	Είδος	Όρια
A1a	Υάλινος Πυρήνας/Υάλινος Μανδύας	Ίνα βαθμιαίου δείκτη (62,5/126)	$1 \leq g < 3$
A1b	Υάλινος Πυρήνας/Υάλινος Μανδύας	Ίνα βαθμιαίου δείκτη (50/125)	
A2.1	Υάλινος Πυρήνας/Υάλινος Μανδύας	Ίνα οιονεί βηματικού δείκτη	$3 \leq g < 10$
A2.2	Υάλινος Πυρήνας/Υάλινος Μανδύας	Ίνα βηματικού δείκτη	$10 \leq g < \infty$
A.3	Υάλινος Πυρήνας/Πλαστικός Μανδύας	Ίνα οιονεί βηματικού δείκτη	$10 \leq g < \infty$
A.4	Πλαστική ίνα		

**Πίνακας 2.1α: Κατηγορίες πολύτροπων ινών**

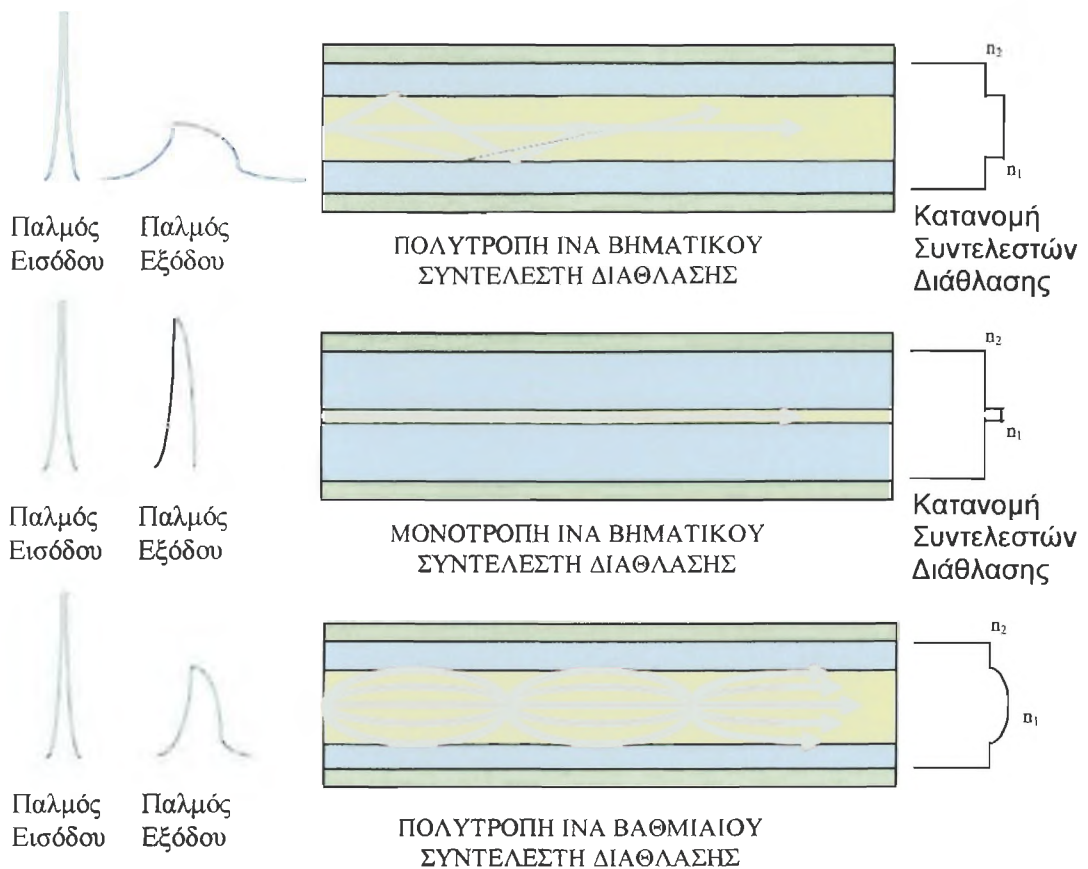
Κατηγορία	Είδος	Μήκος κύματος μηδενικής διασποράς Ονομαστική τιμή (nm)	Μήκος κύματος λειτουργίας Ονομαστική τιμή (nm)
B1.1	Μη-μετατοπισμένης διασποράς.	1310	1310
B1.2	Ελαχιστοποιημένης απώλειας <sup>8</sup>	1310	1550
B2	Μετατοπισμένης διασποράς	1550	1550
B3	Πεπλατυσμένης διασποράς	<sup>9</sup>	1310 και 1550
B4	Μη – μηδενικής διασποράς	<sup>10</sup>	1550

**Πίνακας 2.1β: Κατηγορίες μονότροπων ινών γυάλινου πυρήνα / γυάλινου μανδύα**

<sup>8</sup> Οι ίνες της κατηγορίας B 1.2 δεν είναι μονότροπες στην περιοχή 1310 nm.

<sup>9</sup> Οι μονότροπες ίνες της κατηγορίας B3 χαρακτηρίζονται από χαμηλή διασπορά σε μια μεγάλη περιοχή μηκών κύματος.

<sup>10</sup> Η διασπορά κυμαίνεται από 0,1 έως 6,0 ps/nm.km στην φασματική περιοχή 1530 – 1565 nm.



Σχήμα 2.4. Είδη μετάδοσης σε μονότροπες και πολύτροπες ίνες.

## 2.3 Τρόποι Μετάδοσης

Ο “τρόπος μετάδοσης” είναι μια μαθηματική και φυσική έννοια, που αναφέρεται στην μετάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μέσα από ένα μέσο κυματοδηγησης. Στην μαθηματική του μορφή, η θεωρία των τρόπων μετάδοσης προέρχεται από τις εξισώσεις του Maxwell, που αποτελούν την βάση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας. Οι “τρόποι μετάδοσης” αποτελούν λύσεις των εξισώσεων του Maxwell, προσαρμοσμένων σε συνθήκες μετάδοσης οπτικής ακτινοβολίας σε διηλεκτρικό κυματοδηγό κυλινδρικής διατομής. Για τις ανάγκες του παρόντος κεφαλαίου όμως, οι τρόποι μετάδοσης θα αναφέρονται στις διαφορετικές διαδρομές, που μπορούν να ακολουθήσουν οι ακτίνες φωτός μέσα στον πυρήνα μιας οπτικής ίνας.

Το πλήθος των τρόπων μετάδοσης, που υποστηρίζει μια οπτική ίνα δίδεται από τον εμπειρικό τύπο :

- $N = V^2 / 2$  για ίνες βηματικής μεταβολής δείκτη διάθλαση ή
- $N = V^2 / 4$  για ίνες βαθμιαίας μεταβολής δείκτη διάθλαση,

όπου  $V = (2\pi \cdot d / \lambda) \cdot (NA)$ , είναι παράμετρος της οπτικής ίνας, γνωστή και σαν κανονικοποιημένη συχνότητα, η οποία συσχετίζει την διάμετρο του πυρήνα,  $d$ , το μήκος

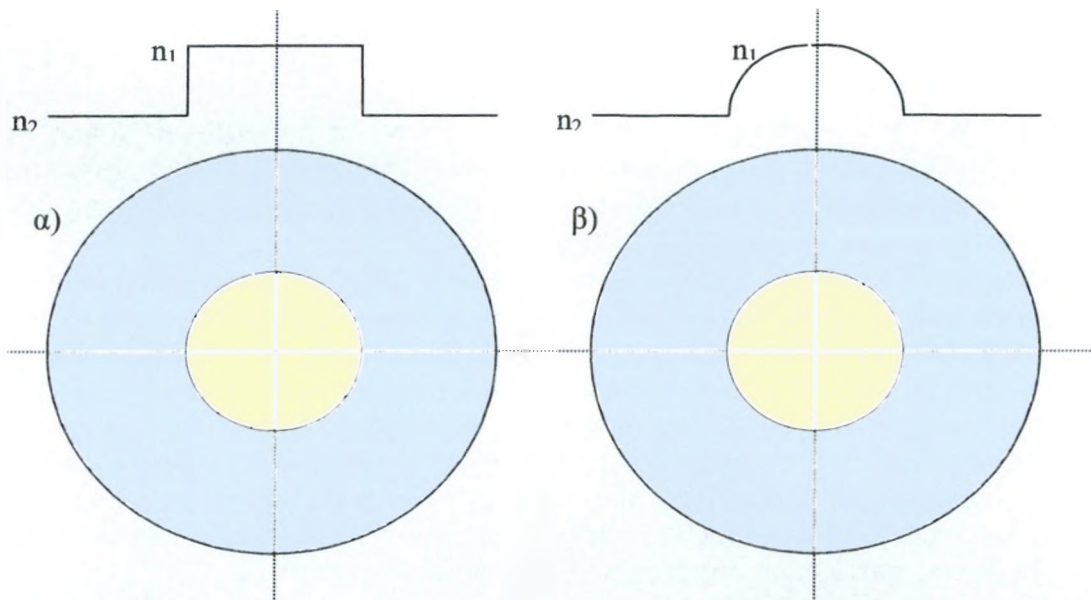
κύματος του φωτός,  $\lambda$ , και το αριθμητικό άνοιγμα<sup>11</sup> (NA) της ίνας, που εξαρτάται από τους συντελεστές διάθλασης πυρήνα,  $n_1$ , και μανδύα,  $n_2$ .

Στην πράξη, μια οπτική ίνα μπορεί να υποστηρίζει από 1 έως και 100.000 τρόπους μετάδοσης, ανάλογα με τις διαστάσεις της. Κάθε τρόπος μεταφέρει μέρος της κυματοδηγούμενης ενέργειας. Η κατανομή της ενέργειας στους διάφορους τρόπους μιας πολύτροπης ίνας γίνεται κατά την εισαγωγή του φωτός στην ίνα, και εξαρτάται από τις συνθήκες εισαγωγής. Ακόμη και αν κάποιοι τρόποι δεν διεγείρονται κατά την εισαγωγή, μετά από κάποιο μήκος κυματοδήγησης, μικρές κατασκευαστικές ατέλειες της ίνας, καθώς και καμπυλότητες κατά μήκος της διαδρομής, οδηγούν στην διέγερση όλων των δυνατών τρόπων κυματοδήγησης μέσω φαινομένων οπτικής σύζευξης. Το μήκος αυτό, γνωστό και ως “μήκος υπερπλήρωσης”, είναι μερικά μέτρα για πλαστικές ίνες, ενώ για πολύτροπες γυάλινες ίνες φθάνει το ένα χιλιόμετρο.

## 2.4 Πολύτροπες ίνες

Οι πολύτροπες ίνες υποστηρίζουν περισσότερους του ενός τρόπους μετάδοσης και κατηγοριοποιούνται ως προς την κατανομή του δείκτη διάθλασης σε :

- βηματικής μεταβολής (βλέπε σχήμα 2.5α) και
- βαθμιαίας μεταβολής (βλέπε σχήμα 2.5β).



Σχήμα 2.5α. Κατανομή συντελεστή διάθλασης σε πυρήνα βηματικής μεταβολής.

2.5β. Κατανομή συντελεστή διάθλασης σε πυρήνα βαθμιαίας μεταβολής.

<sup>11</sup>  $NA = \{ n_1^2 - n_2^2 \}^{0,5}$

### ***Ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης***

Οι πολύτροπες ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης αποτελούν το απλούστερο είδος οπτικής ίνας, έχουν διάμετρο πυρήνα από 100 έως 970 μm και μπορεί να είναι εξολοκλήρου γυάλινες, γυάλινου πυρήνα με πλαστικό μανδύα ή και εξολοκλήρου πλαστικές.

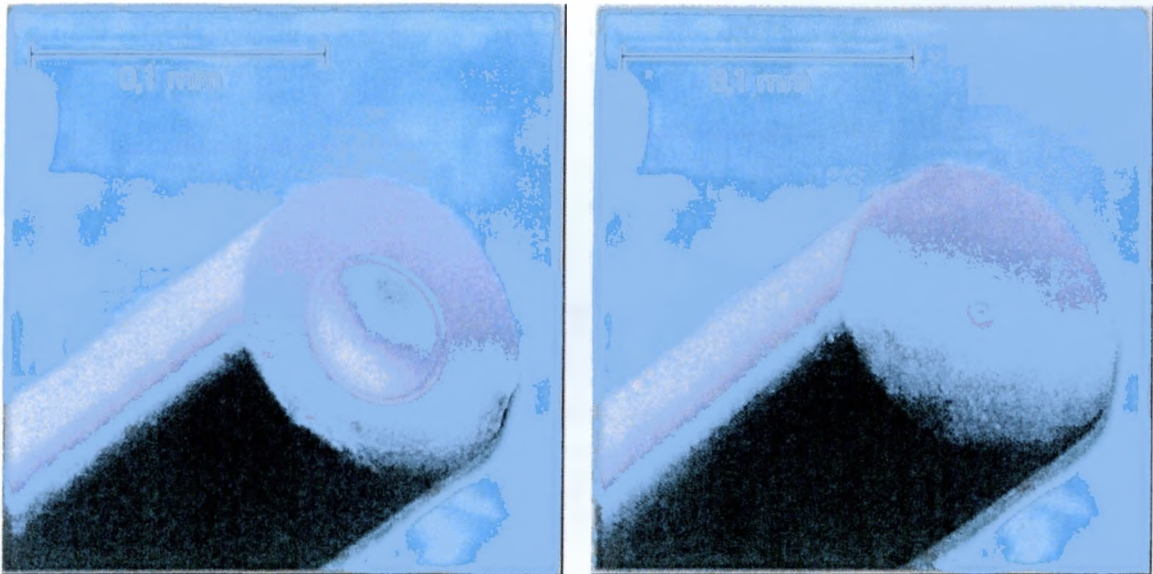
Επειδή κάθε τρόπος μετάδοσης κυματοδηγείται με διαφορετική γωνία ολικής ανάκλασης στην κοινή επιφάνεια πυρήνα/μανδύα, ακολουθεί διαδρομή διαφορετικού μήκους. Πιο συγκεκριμένα, ο τρόπος που κινείται κατά μήκος της οπτικής ίνας στο κέντρο του πυρήνα, γνωστός ως βασικός τρόπος, έχει την μικρότερη διαδρομή, ενώ ο τρόπος με την μικρότερη γωνία ολικής ανάκλασης την μεγαλύτερη διαδρομή. Σαν αποτέλεσμα, η μεταφερόμενη από τους διαφορετικούς τρόπους ενέργεια του σήματος πληροφορίας, καταφθάνει στην έξοδο της ίνας σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, προκαλώντας παραμόρφωση του σήματος στον δέκτη, που είναι γνωστή ως διασπορά τρόπου μετάδοσης. Οι τιμές διασποράς τρόπου μετάδοσης, για πολύτροπες ίνες βηματικής μεταβολής δείκτη διάθλασης, κυμαίνονται από 15 έως 30 ns/km, περιορίζοντας το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε 60 και 30 MHz.km αντίστοιχα. Η μείωση της διασποράς τρόπου μετάδοσης αυξάνει το διαθέσιμο εύρος ζώνης.

Οι πολύτροπες ίνες βηματικής μεταβολής δείκτη διάθλασης δεν χρησιμοποιούνται πλέον για μετάδοση δεδομένων, και έχουν αντικατασταθεί από πολύτροπες ίνες βαθμιαίας μεταβολής δείκτη διάθλασης.

### ***Ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης***

Η μείωση της διασποράς σε πολύτροπες ίνες μπορεί να επιτευχθεί με χρήση ιών βαθμιαίου δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα στον μανδύα. Στις ίνες αυτές, ο πυρήνας αποτελείται από ομόκεντρες στρώσεις, με αυξανόμενη προς το κέντρο πυκνότητα νόθευσης, που αυξάνει την τιμή του δείκτη διάθλασης (βλέπε σχήματα 2.5β και 2.6α).

Σημειώσατε ότι στις ίνες αυτές, οι διάφοροι τρόποι μετάδοσης δεν ακολουθούν ευθύγραμμες διαδρομές εντός του πυρήνα, όπως στις ίνες βηματικής μεταβολής, αλλά καμπύλες (βλέπε σχήμα 2.4γ), διαθλώμενοι συνεχώς σε κάθε στρώση, μέχρις ότου επιτευχθεί η απαιτούμενη για την κυματοδηγηση ολική ανάκλαση. Επειδή το φως κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα σε υλικά με μικρότερο συντελεστή διάθλασης, οι τρόποι μετάδοσης, που διέρχονται μακρύτερα από το κέντρο του πυρήνα, καλύπτουν μεν μεγαλύτερη διαδρομή, κινούμενοι όμως γρηγορότερα από άλλους, που διέρχονται κοντύτερα στο κέντρο του πυρήνα, εξισορροπώντας έτσι κάπως το φαινόμενο της διασποράς τρόπου μετάδοσης. Ως αποτέλεσμα, η διασπορά τρόπου μετάδοσης περιορίζεται σε λιγότερο από 1 ns/km.



Σχήμα 2.6α. Πολύτροπη Ίνα Βαθμιαίας Μεταβολής Δείκτη Διάθλασης β. Μονότροπη Ίνα

Οι ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης χρησιμοποιούνται σήμερα σε καλωδιώσεις τοπικών δικτύων, καθώς και σε δίκτυα δομημένης καλωδίωσης (κυρίως καλωδίωση κορμού). Η διάμετρος του πυρήνα έχει τυποποιηθεί σε 50, 62,5 και σπανιότερα 85  $\mu\text{m}$ , ενώ η διάμετρος του περιβλήματος σε 125  $\mu\text{m}$ . Αν και το κόστος ινών βαθμιαίας μεταβολής δείκτη διάθλασης είναι σήμερα μεγαλύτερο από το κόστος των μονότροπων ινών, η συνολική εξοικονόμηση, λόγω του χαμηλότερου κόστους των παρελκομένων (πομποδεκτών, συνδέσμων κλπ), καθιστά την χρήση πολύτροπων ινών οικονομικότερη για καλωδιώσεις μικρού σχετικά μήκους.

## 2.5 Μονότροπες ίνες

Στις μονότροπες ίνες, το φως δεν μεταδίδεται με συνεχείς ανακλάσεις στα κοινά τοιχώματα πυρήνα / μανδύα, αλλά κινείται κατά μήκος του πυρήνα. Ο τρόπος αυτός είναι γνωστός σαν *βασικός τρόπος μετάδοσης*.

Οι μονότροπες ίνες υποστηρίζουν την μετάδοση μόνον του βασικού τρόπου, μηδενίζοντας έτσι τις επιπτώσεις της διασποράς τρόπου μετάδοσης, που εμφανίζεται στις πολύτροπες ίνες. Αυτό επιτυγχάνεται με ελάττωση της διαμέτρου του πυρήνα σε τιμές κάτω των 10  $\mu\text{m}$  (σχήμα 2.6β), ενώ για λόγους τυποποίησης, η διάμετρος του μανδύα παραμένει στα 125  $\mu\text{m}$ .

Ο συσχετισμός της μονότροπης λειτουργίας με τις γεωμετρικές παραμέτρους της οπτικής ίνας, γίνεται από τον εμπειρικό τύπο:

$$V \leq 2.405$$

όπου  $V$  η κανονικοποιημένη συχνότητα<sup>12</sup> της ίνας.

Από τον ορισμό της παραμέτρου  $V$ , η μονότροπη λειτουργία φαίνεται ότι εξαρτάται και από το μήκος κύματος της κυματοδηγούμενης ακτινοβολίας. Οι μονότροπες οπτικές ίνες, που χρησιμοποιούνται σήμερα στις τηλεπικοινωνίες, έχουν σχεδιασθεί για λειτουργία είτε στα

<sup>12</sup>  $V = (2\pi \cdot d / \lambda) \cdot (NA)$

1300 nm (αστικό δίκτυο) είτε στα 1550 nm (υπεραστικό και υποβρόχιο δίκτυο). Αυτό σημαίνει ότι οι ίνες αυτές λειτουργούν ως πολύτροπες στα 820 nm.

Ως *μήκος κύματος αποκοπής* ορίζεται το μήκος κύματος, πάνω από το οποίο η οπτική ίνα συμπεριφέρεται ως μονότροπη. Υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\lambda_{co} = 2\pi \cdot d \cdot (NA) / 2.405$$

Προκειμένου να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή διάμετρος πυρήνα<sup>13</sup>,  $d$ , το μήκος κύματος λειτουργίας,  $\lambda$ , επιλέγεται να είναι λίγο μεγαλύτερο από το μήκος κύματος αποκοπής,  $\lambda_{co}$ . Για παράδειγμα, σε μια ίνα που έχει σχεδιασθεί για μονότροπη λειτουργία στα 1300 nm, το μήκος κύματος αποκοπής είναι συνήθως στα 1200 nm.

Στις μονότροπες ίνες, ένα σημαντικό μέρος της κυματοδηγούμενης ισχύος βρίσκεται στον μανδύα, κοντά στην κοινή επιφάνεια πυρήνα/μανδύα. Το ποσοστό αυτό αυξάνεται, όταν η τιμή της παραμέτρου  $V$  μικραίνει. Για παράδειγμα, σε ίνες με παράμετρο  $V$  μικρότερη από 1,4, περισσότερο από το μισό της κυματοδηγούμενης ισχύος βρίσκεται στον μανδύα. Το είδος αυτό της κυματοδήγησης είναι γνωστό σαν *χαλαρή κυματοδήγηση*.

Για μετάδοση με μικρή εξασθένηση, η οπτική ποιότητα του υλικού του περιβλήματος γύρω από τον πυρήνα, πρέπει να είναι αντίστοιχη με εκείνη του πυρήνα. Πρέπει επομένως να εξασφαλισθεί μανδύας υψηλής ποιότητας υλικού, πάχους περίπου 50  $\mu\text{m}$ , γύρω από τον πυρήνα. Αντίθετα, σε πολύτροπες ίνες, το ποσοστό της ισχύος στον μανδύα είναι ελάχιστο, και δεν απαιτείται έτσι υψηλής ποιότητας υλικό μανδύα.

## 2.6 Χαρακτηριστικά μεγέθη οπτικών ινών

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των οπτικών ινών που εξετάζονται στο παρόν υποκεφάλαιο περιλαμβάνουν **Εξασθένηση** και **Διασπορά**.

### 2.6.1 Εξασθένηση

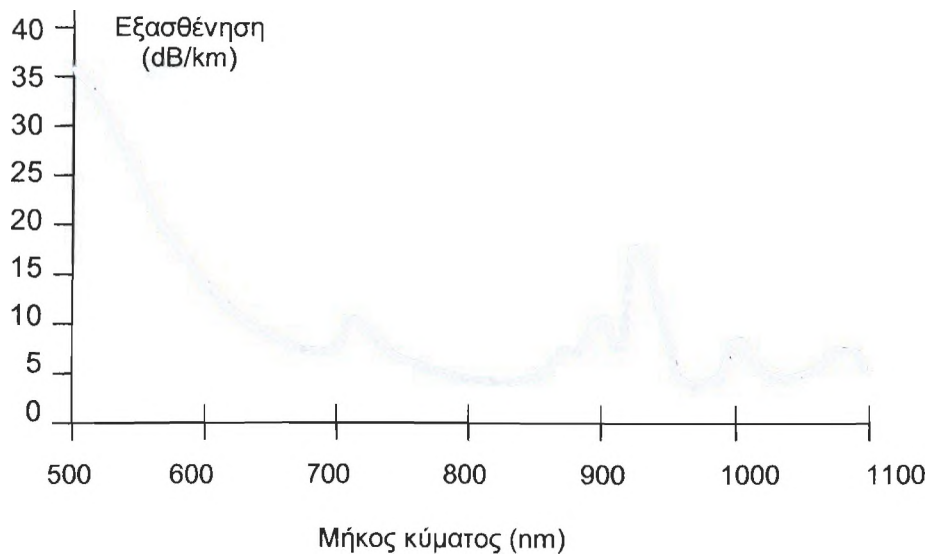
Ως *εξασθένηση* ορίζεται η απώλεια της οπτικής ισχύος κατά την κυματοδήγηση, και ανέρχεται σε 150 dB/km για πλαστικές ίνες, ενώ μόνο 0,21 dB/km σε μονότροπες ίνες. Στον πίνακα 2.2 δίδονται χαρακτηριστικές τιμές εξασθένησης για όλα τα είδη των οπτικών ινών της παραγράφου 2.2.1.

<sup>13</sup> Επιδιώκεται για αποδοτικότερη εισαγωγή του φωτός και ευκολότερη διασύνδεση.

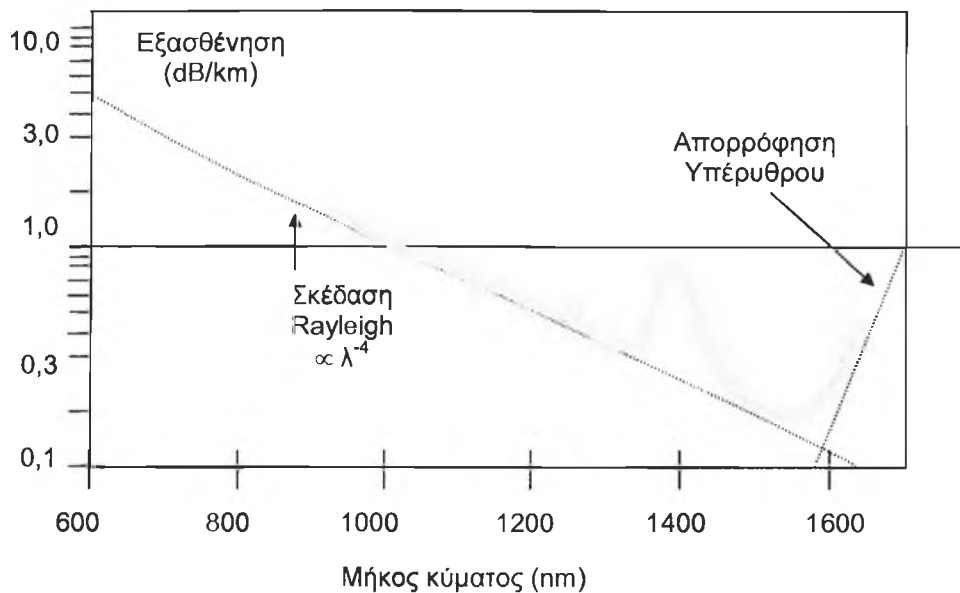
Είδος Ίνας	Διαστάσεις Πυρήνα/Μανδύα	Εξασθένηση (dB/km)
Μονότροπη	9/125	2 - 5 $\lambda$ = 850 nm 0,35 $\lambda$ = 1300nm 0,21 $\lambda$ = 1550 nm
Πολύτροπη (βαθμιαίας μεταβολής)	50/125	4,00 $\lambda$ = 850 nm 2,50 $\lambda$ = 1300 nm
	62,5/125	6,00 $\lambda$ = 850 nm
	85/125	7,00 $\lambda$ = 850 nm
Πολύτροπη (βηματικής μεταβολής)	200/380	6,00 $\lambda$ = 850 nm
	300/440	6,00 $\lambda$ = 850 nm
PCS (γυάλινου πυρήνα με πλαστικό μανδύα)	200/350	10,00 $\lambda$ = 790 nm
	400/550	10,00 $\lambda$ = 790 nm
	600/900	6,00 $\lambda$ = 790 nm
Πλαστική	750	150 $\lambda$ = 650 nm
	1000	200 $\lambda$ = 650 nm

**Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικές τιμές εξασθένησης σε οπτικές ίνες**

Εκτός του υλικού κατασκευής η εξασθένηση εξαρτάται και από το μήκος κύματος της κυματοδηγούμενης ακτινοβολίας. Έτσι, σε γυάλινες ίνες, η εξασθένηση είναι μικρότερη στο υπέρυθρο μέρος του οπτικού φάσματος ( $\lambda > 800$  nm), στην περιοχή από 1200 έως 1600 nm, ενώ σε πλαστικές ίνες, η εξασθένηση είναι μικρότερη στην ορατή περιοχή του φάσματος γύρω στα 650 nm. Στο σχήμα 2.7 δίδεται η μεταβολή της εξασθένησης σαν συνάρτηση του μήκους κύματος λειτουργίας για πολύτροπες (2.7α) και μονότροπες οπτικές ίνες (2.7β).



**Σχήμα 2.7α.** Η εξασθένηση σαν συνάρτηση του μήκους κύματος για εξ ολοκλήρου γυάλινη πολύτροπη ίνα.



**Σχήμα 2.7β.** Η εξασθένηση σαν συνάρτηση του μήκους κύματος για μονότροπη ίνα.

Δυο είναι τα βασικά φυσικά φαινόμενα, που καθορίζουν το κατώτερο όριο εξασθένησης στις γυάλινες οπτικές ίνες.

- **Η σκέδαση.**

Απώλεια οπτικής ενέργειας λόγω ατελειών στην βασική δομή της ίνας.

α) Σε χαμηλά μήκη κύματος, εμφανίζεται η σκέδαση *Raleigh*, που οφείλεται στην μη-κανονικότητα της κρυσταλλικής και ατομικής δομής του γυαλιού. Το φαινόμενο είναι περισσότερο έντονο, όταν το μήκος κύματος του φωτός προσεγγίζει το μέγεθος της ατομικής δομής του γυαλιού. Η εξασθένηση, που οφείλεται στην σκέδαση *Raleigh* μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα ως προς την τέταρτη δύναμη του μήκους κύματος ( $1/\lambda^4$ ).



β) Άλλο υπαρκτό είδος σκέδασης είναι η σκέδαση *Mie*, που οφείλεται σε ατέλειες στην κυλινδρική δομή του κυματοδηγού. Τέτοιες ατέλειες εμφανίζονται κυρίως στην κοινή επιφάνεια πυρήνα / μανδύα, λόγω μικρών μεταβολών στους συντελεστές διάθλασης των υλικών, διαφοροποιήσεων της διαμέτρου πυρήνα κατά μήκος της ίνας και λόγω ύπαρξης μικρο-φυσαλλίδων. Οι επιπτώσεις από την σκέδαση *Mie* ελαχιστοποιούνται με βελτιώσεις στην διαδικασία κατασκευής.

Εκτός από τα ανωτέρω είδη γραμμικής σκέδασης, υπάρχουν και φαινόμενα μη-γραμμικής σκέδασης, που εμφανίζονται κυρίως, όταν οι οπτικές ίνες δέχονται μεγάλα επίπεδα οπτικής ισχύος. Τα γνωστότερα είδη μη-γραμμικής σκέδασης είναι η σκέδαση *Brillouin* και η σκέδαση *Raman*, που εμφανίζονται σε μονότροπες ινοοπτικές ζεύξεις μεγάλου μήκους, που τροφοδοτούνται από οπτικά σήματα μεγάλης ισχύος.

- **Η απορρόφηση.**

Το φως απορροφάται από το υλικό μετάδοσης και η ενέργεια του μετατρέπεται σε θερμότητα. Δυο μορφές απορρόφησης εμφανίζονται σε γυάλινες οπτικές ίνες:

α) Η απορρόφηση από ξένες μοριακές δομές στο διοξείδιο του πυριτίου, όπως υδροξύλια ( $\text{OH}^-$ ), ιόντα σιδήρου ( $\text{Fe}^{3+}$ ), χαλκού ( $\text{Cu}^{2+}$ ), νικελίου ( $\text{Ni}^{2+}$ ) και χρωμίου ( $\text{Cr}^{3+}$ ). Οι σύγχρονες μέθοδοι παραγωγής οπτικών ινών, ελέγχουν αποτελεσματικά την παρουσία των περισσοτέρων από τα ανωτέρω στοιχεία, περιορίζοντας την εξασθένηση λόγω απορρόφησης αυτής της μορφής.

β) Η απορρόφηση υπέρυθρης ακτινοβολίας, που οφείλεται σε ταλάντωση των δομικών στοιχείων του υλικού της ίνας, όπως οι δεσμοί Si-O (9,2  $\mu\text{m}$ ), P-O (8,1  $\mu\text{m}$ ), B-O (7,2  $\mu\text{m}$ ) και Ge-O (11,0  $\mu\text{m}$ ) εντός του γυαλιού. Για μήκη κύματος άνω του 1,7  $\mu\text{m}$ , οι σωρευτικές επιδράσεις στις ανωτέρω φασματικές περιοχές απορρόφησης, προξενούν εξασθένηση του οπτικού σήματος.

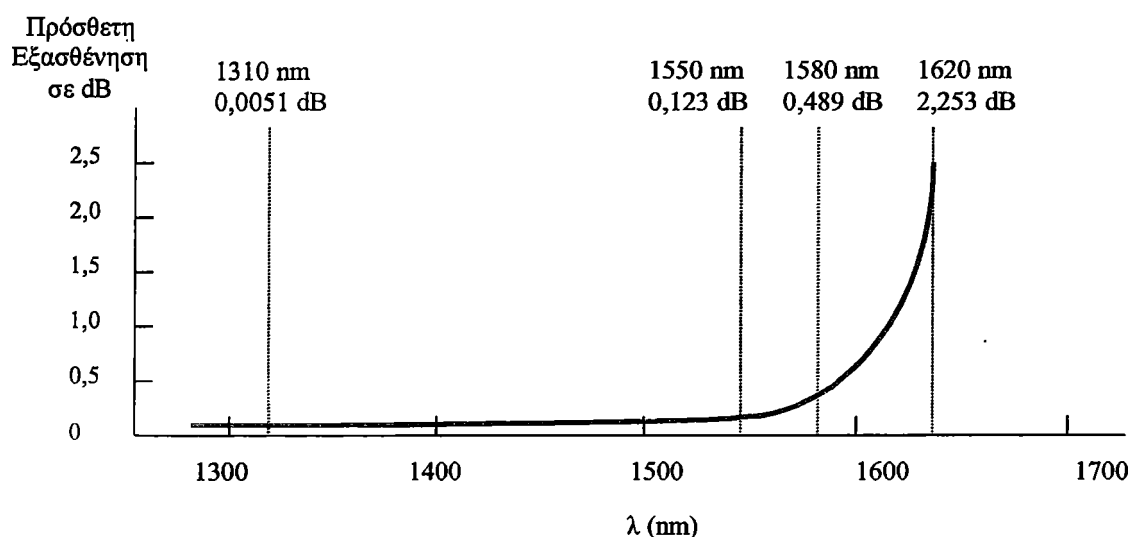
Σε μονότροπες ίνες, η μεταβολή της εξασθένησης σαν συνάρτηση του μήκους κύματος, όπως διαμορφώνεται από την επίδραση των μηχανισμών σκέδασης και απορρόφησης (σχήμα 1.6β), ορίζει δυο περιοχές λειτουργίας, στα 1300 nm και 1550 nm, με τιμές απόσβεσης 0,35 dB και 0,21 dB αντίστοιχα. Η αύξηση της εξασθένησης, που παρατηρείται στα 1400 nm, διαχωρίζοντας τις δυο αυτές περιοχές, οφείλεται σε απορρόφηση από ιόντα  $\text{OH}^-$ , που δεν είναι δυνατόν να ελεγχθούν πλήρως, ακόμη και σε γυαλί πολύ υψηλής καθαρότητας. Οι φασματικές περιοχές, που αντιστοιχούν στα ελάχιστα της εξασθένησης, είναι γνωστές και σαν “παράθυρα” λειτουργίας. Έτσι, λειτουργία στο δεύτερο παράθυρο, υπονοεί μήκος κύματος 1300 nm, ενώ στο τρίτο παράθυρο, το μήκος κύματος είναι 1550 nm. Ως πρώτο παράθυρο νοείται η περιοχή των 850 nm, με εξασθένηση περίπου 2,5 dB/km, που δεν χρησιμοποιείται πλέον στις τηλεπικοινωνίες.

Η επιλογή του παράθυρου λειτουργίας γίνεται με βάση τεχνοοικονομικά κριτήρια. Στο υπεραστικό και υποβρύχιο δίκτυο, που οι αποστάσεις μετάδοσης είναι μεγάλες, απαιτείται η μικρότερη δυνατή εξασθένηση, και ως εκ τούτου επιλέγεται το τρίτο παράθυρο λειτουργίας. Αντίθετα στο αστικό και ζευκτικό δίκτυο, που οι ζεύξεις είναι πολλές μεν αλλά μικρών αποστάσεων, επικρατεί η επιλογή του δεύτερου παραθύρου λειτουργίας, κυρίως λόγω τού σημαντικά χαμηλότερου κόστους του πομπού laser στα 1300 nm, σε σύγκριση με τον αντίστοιχο στα 1500 nm.

Οι οπτικές ίνες σχεδιάζονται έτσι ώστε να διατηρούν τις επιδόσεις τους, ως προς την εξασθένηση και μετά την εγκατάστασή τους. Έχει όμως παρατηρηθεί ότι οι επιδόσεις αυτές μπορεί να επιδεινωθούν, υπό την επίδραση εξωτερικών παραγόντων, όπως λόγω κάμψης της ίνας κατά την εγκατάσταση του οπτικού καλωδίου, καθώς και λόγω έκθεσης της οπτικής ίνας σε περιβάλλοντα υδρογόνου και πυρηνικής ραδιενέργειας.

**Απώλειες από κάμψη.** Αν και οι οπτικές ίνες αποθηκεύονται τυλιγμένες σε στροφέια, υπάρχει μια ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας πέραν της οποίας η οπτική ίνα σπάζει. Οι κάμψεις έχουν δυο βασικές επιπτώσεις στις μονότροπες οπτικές ίνες:

α) *Μικρή αύξηση των απωλειών.* Αυτό οφείλεται στο ότι, το μέρος της ενέργειας που κυματοδηγείται στο περίβλημα της ίνας, απαιτείται να κινηθεί στο εξωτερικό μέρος της καμπυλότητας, με ταχύτητα μεγαλύτερη της ταχύτητας του φωτός στο συγκεκριμένο υλικό, προκειμένου να καλύψει την μεγαλύτερη διαδρομή που προκύπτει. Σαν αποτέλεσμα, το μέρος αυτό της ενέργειας ακτινοβολείται, με σύζευξη σε τρόπο ακτινοβολήσης, προκαλώντας μικρή αύξηση των απωλειών. Για μη-καλωδιωμένη ίνα, η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας είναι τα 30 mm, ενώ για καλωδιωμένες ίνες, βάσει ενός εμπειρικού κανόνα, η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας του καλωδίου είναι πενταπλάσια της διαμέτρου του καλωδίου. Για μια δεδομένη ακτίνα καμπυλότητας η απώλεια από κάμψη εξαρτάται από το μήκος κύματος και αυξάνει για μακρύτερα μήκη κύματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8, λόγω αύξησης του ποσοστού οπτικής ισχύος που κυματοδηγείται στον μανδύα (μικρότερη τιμή κανονικοποιημένης συχνότητας V).



**Σχήμα 2.8.** Απώλεια από κάμψη σαν συνάρτηση του μήκους κύματος. Τύλιξη 5m μη-καλωδιωμένης ίνας σε τύμπανο με ακτίνα καμπυλότητας 30mm.

Στους υφιστάμενους οργανωτήρες συγκολλήσεων οι αποκαλωδιωμένες ίνες αποθηκεύονται σε θήκες με ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας 30 mm. Η καμπυλότητα αυτή δεν είναι όμως ικανοποιητική (όπως φαίνεται στο σχήμα 1.8) για λειτουργία στα 1620 nm και θα πρέπει να αυξηθεί στα 37,5 mm προκειμένου να μην παρατηρηθεί αύξηση των απωλειών λόγω κάμψης. Πρέπει να γίνουν επομένως σχετικές προβλέψεις, προκειμένου να αποφευχθεί η ανάγκη επανασυναρμογής των ινών, που θα προκύψει από την επέκταση του λειτουργικού φάσματος στην περιοχή 1560 - 1620 nm (L-band) με χρήση συστημάτων υπέρθεσης DDWM.

β) *Μείωση της αντοχής της ίνας σε εφελκυσμό.* Σε καλώδια, που υφίστανται εφελκυσμό, η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας πρέπει να είναι δεκαπλάσια της διαμέτρου του καλωδίου.

### **Η επίδραση του υδρογόνου**

Η εμφάνιση του υδρογόνου οφείλεται στην εισχώρηση υγρασίας στο εσωτερικό του οπτικού καλωδίου. Το υδρογόνο εκλύεται είτε από την χημική αποσύνθεση των υλικών του μανδύα, είτε από την ηλεκτρολυτική επίδραση της υγρασίας στην μεταλλική θωράκιση του καλωδίου. Η έκθεση της οπτικής ίνας σε υδρογόνο, προκαλεί την διάχυση του υδρογόνου στο υλικό του

γυαλιού, μεταβάλλοντας έτσι την χαρακτηριστική καμπύλη εξασθένησης της ίνας, και αυξάνοντας τις απώλειες. Η πρόσθετη εξασθένηση εμφανίζεται σωρευτικά, και είναι της τάξης των 0,15 dB/(km.Atm) για μήκος κύματος 1550 nm και θερμοκρασία 25°C. Οι επιπτώσεις του φαινομένου αυτού είναι σημαντικότερες σε υποβρύχιες ζεύξεις, όπου το νερό μπορεί να εισχωρήσει σε μεγάλο μήκος του καλωδίου, από μικρούς τραυματισμούς του εξωτερικού μανδύα, και να προκαλέσει καταστροφική για την ζεύξη αύξηση της συνολικής εξασθένησης.

### **Η επίδραση της ραδιενέργειας**

Τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις μπορούν να εκτεθούν σε ραδιενέργεια κατά την διάρκεια ενός πυρηνικού ατυχήματος ή πολεμικής σύγκρουσης. Σε πιο περιορισμένη κλίμακα, η έκθεση αυτή μπορεί να γίνει στον εσωτερικό ή περιβάλλοντα χώρο ενός πυρηνικού αντιδραστήρα, ή σε χώρο νοσοκομείου, όπου ραδιενεργές πηγές χρησιμοποιούνται για θεραπευτικούς σκοπούς. Η ραδιενέργεια (κυρίως ακτίνες γ) επιδρά στην μοριακή δομή του υλικού της οπτικής ίνας, δημιουργώντας χρωματικά κέντρα απορρόφησης. Άρα, η έκθεση οπτικών ινών σε ραδιενεργό περιβάλλον μεταβάλλει την χαρακτηριστική απόσβεσης αυξάνοντας την εξασθένηση κατά ποσό, που εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως: το υλικό της ίνας, το είδος της ραδιενέργειας (ακτίνες γ, θερμικά νετρόνια κλπ), την συνολική δόση, τον ρυθμό δόσης, την θερμοκρασία περιβάλλοντος και την ισχύ του οπτικού σήματος. Η αύξηση των απωλειών μπορεί να είναι μόνιμη ή προσωρινή, ανάλογα με το είδος των προσμίξεων, που περιέχονται στην οπτική ίνα. Ίνες, που περιλαμβάνουν GeO<sub>2</sub> στον πυρήνα τους (τηλεπικοινωνιακές ίνες), δείχνουν μικρότερη ευαισθησία στη ραδιενέργεια, η αύξηση όμως της εξασθένησης είναι μόνιμη και οι μετέπειτα επιπτώσεις σωρευτικές. Αντίθετα, ίνες με πυρήνα από SiO<sub>2</sub> και μανδύα με νοθεύσεις φθορίου (F) και φωσφόρου (P), εμφανίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στη ραδιενέργεια, η επίδραση όμως είναι προσωρινή, με χρόνους επαναφοράς, από μερικά δευτερόλεπτα έως μερικές ώρες. Ο χρόνος επαναφοράς μπορεί να ελαττωθεί σημαντικά, παρέχοντας στο σύστημα πρόσθετη εξωτερική ενέργεια, που απορροφάται από τα χρωματικά κέντρα, αποκαθιστώντας τα ελαττώματα στην μοριακή δομή του γυαλιού, που προκάλεσε η ραδιενέργεια. Η πρόσθετη αυτή ενέργεια μπορεί να παρέχεται, είτε με αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος (θέρμανση της ίνας), είτε με την διέλευση ισχυρού οπτικού σήματος (100 μW - 1 mW) από την ίνα. Η διόρθωση των μοριακών ελαττωμάτων με φως είναι γνωστή ως *φωτοαποκατάσταση* και χρησιμοποιείται για προστασία οπτικών ζεύξεων, που εκτίθενται σε ραδιενεργό περιβάλλον. Το φαινόμενο είναι περισσότερο έντονο σε χαμηλότερα μήκη κύματος, λόγω του μεγαλύτερου ποσού ενέργειας που μεταφέρουν<sup>14</sup>. Ορισμένοι κατασκευαστές προσφέρουν, για εξειδικευμένες εφαρμογές, ειδικών προδιαγραφών ίνες “ανθεκτικές στην ραδιενέργεια”<sup>15</sup>, που έχουν ήδη εκτεθεί σε ραδιενεργό περιβάλλον και ως εκ τούτου, παρουσιάζουν μικρότερη ευαισθησία στην επίδραση της ραδιενέργειας.

### **2.6.2 Διασπορά**

Ως *διασπορά* ορίζεται η χρονική παραμόρφωση του σήματος πληροφορίας (αναλογικού και ψηφιακού) στον δέκτη, λόγω της διαφορετικής ταχύτητας στην μετάδοση των διαφόρων τμημάτων του σήματος. Η παραμόρφωση αυτή, που, σε περίπτωση ψηφιακής μετάδοσης, εμφανίζεται σαν διεύρυνση των παλμών του πομπού στον δέκτη, έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης της οπτικής ζεύξης.

<sup>14</sup>  $E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$

<sup>15</sup> Radiation hardening

Εμφανίζονται τρία διαφορετικά είδη διασποράς:

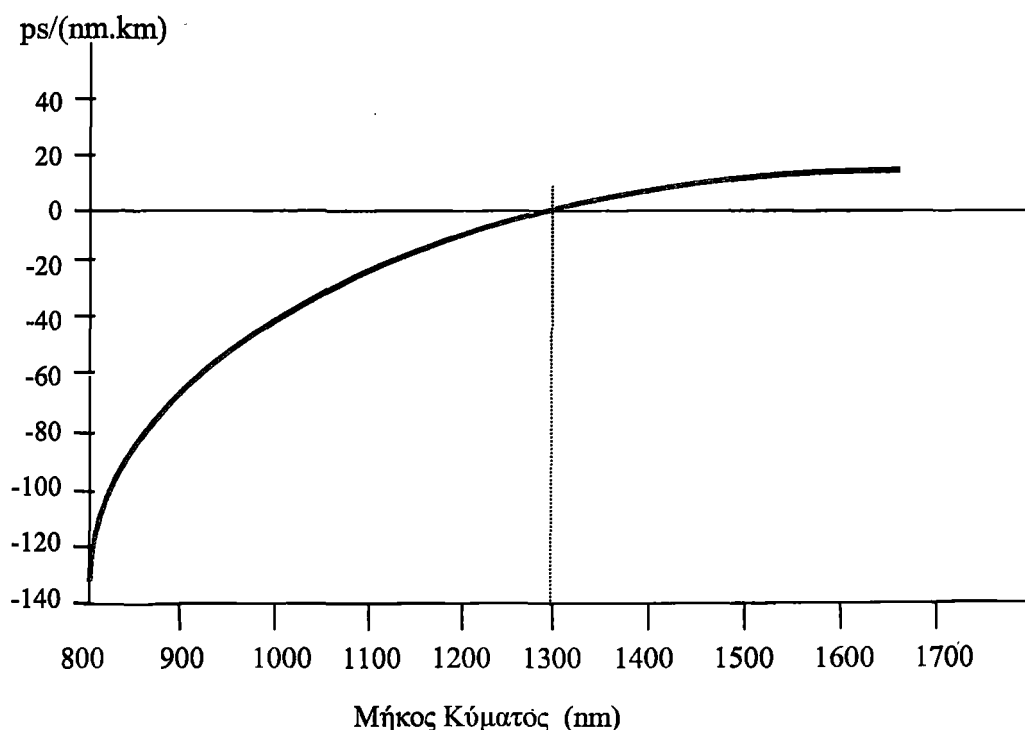
- Διασπορά τρόπου μετάδοσης
- Διασπορά υλικού και
- Διασπορά κυματοδηγού

#### **Διασπορά τρόπου μετάδοσης**

Η διασπορά τρόπου μετάδοσης εμφανίζεται μόνο σε πολύτροπες ίνες, και οφείλεται στον επιμερισμό της οπτικής ισχύος του σήματος σε περισσότερους τρόπους μετάδοσης, που κινούνται στον οπτικό κυματοδηγό με διαφορετικές ταχύτητες. Η τιμή της διασποράς τρόπου μετάδοσης αυξάνει ανάλογα με το πλήθος των τρόπων μετάδοσης, που υποστηρίζει ο κυματοδηγός, άρα εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος του πυρήνα. Σε πολύτροπες ίνες βηματικής μεταβολής του συντελεστή διάθλασης πυρήνα, μια τυπική τιμή διασποράς τρόπου μετάδοσης είναι τα 30 ns/km, ενώ σε πολύτροπες ίνες βαθμιαίας μεταβολής του συντελεστή διάθλασης πυρήνα η διασπορά τρόπου μετάδοσης είναι μικρότερη από 1 ns/km.

#### **Διασπορά υλικού**

Η διασπορά υλικού, γνωστή και ως *χρωματική διασπορά*, εμφανίζεται τόσο σε πολύτροπες όσο και μονότροπες οπτικές ίνες, και οφείλεται στην μεταβολή της τιμής του συντελεστή διάθλασης στον πυρήνα και τον μανδύα, σαν συνάρτηση του μήκους κύματος. Όταν το οπτικό σήμα του πομπού περιλαμβάνει περισσότερα από ένα μήκη κύματος, κάθε μήκος κύματος βλέπει διαφορετικούς συντελεστές διάθλασης πυρήνα/μανδύα, και το αντίστοιχο μεταφερόμενο μέρος του σήματος κινείται με διαφορετική ταχύτητα, προκαλώντας διασπορά του οπτικού σήματος στον δέκτη. Το μέγεθος της διασποράς υλικού εξαρτάται από το φασματικό εύρος της πηγής, που είναι περίπου 25 nm για δίοδο LED και 2-3 nm για δίοδο laser.



**Σχήμα 2.9.** Διασπορά υλικού και μήκος κύματος μηδενικής διασποράς σε μονότροπες ίνες.

### **Διασπορά κυματοδηγού**

Η διασπορά κυματοδηγού οφείλεται στη διαφορετική ταχύτητα μετάδοσης μεταξύ πυρήνα και μανδύα, λόγω της μικρής μεταξύ τους διαφοράς ως προς τον συντελεστή διάθλασης. Εμφανίζεται κυρίως σε μονότροπες ίνες, όπου μεγάλο μέρος της κυματοδηγούμενης οπτικής ενέργειας διέρχεται από τον μανδύα, ενώ είναι ασήμαντη σε πολύτροπες ίνες.

Η τιμή της διασποράς κυματοδηγού εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κυματοδηγού (μεταβολή του συντελεστή διάθλασης στον πυρήνα και στον μανδύα), και μπορεί, με κατάλληλο σχεδιασμό, να επιτευχθούν επιδιωκόμενες τιμές διασποράς. Μια τυπική τιμή διασποράς κυματοδηγού στα 1300 nm είναι 2 ps/(nm.km).

#### **Συνολική Διασπορά**

Ο συσχετισμός της διασποράς,  $\Delta$ , και εύρους ζώνης,  $B$ , μιας οπτικής ίνας είναι πολύπλοκος, και για μονότροπες ίνες δίδεται από την εμπειρική σχέση:

$$B = 0,187 / \{ \Delta \cdot (\Phi E) \cdot L \},$$

όπου  $\Phi E$  είναι το φασματικό εύρος της πηγής και  $L$  το μήκος της ζεύξης.

Για λειτουργία στα 1550 nm, η συνολική διασπορά δίδεται από το άθροισμα της διασποράς υλικού,  $\Delta_Y$ , με τη διασπορά κυματοδηγού,  $\Delta_K$ , και υπολογίζεται ως :

$$\Delta = \Delta_Y + \Delta_K = 12 \text{ ps/(nm.km)} - 7 \text{ ps/(nm.km)} = 5 \text{ ps/(nm.km)}.$$

Άρα, για πηγή με φασματικό εύρος  $\Phi E = 1 \text{ nm}$ , το εύρος ζώνης ανά km είναι 38 GHz.

## Κεφάλαιο 3

### Access Network Topologies

#### 3.1 Εισαγωγή

##### Considerations:

###### Transmission Media

- Buy or lease

###### Efficiency

- Equipment utilization

###### Flexibility

- Easy to expand?

###### Quality

- Network quality

###### Roll-out speed

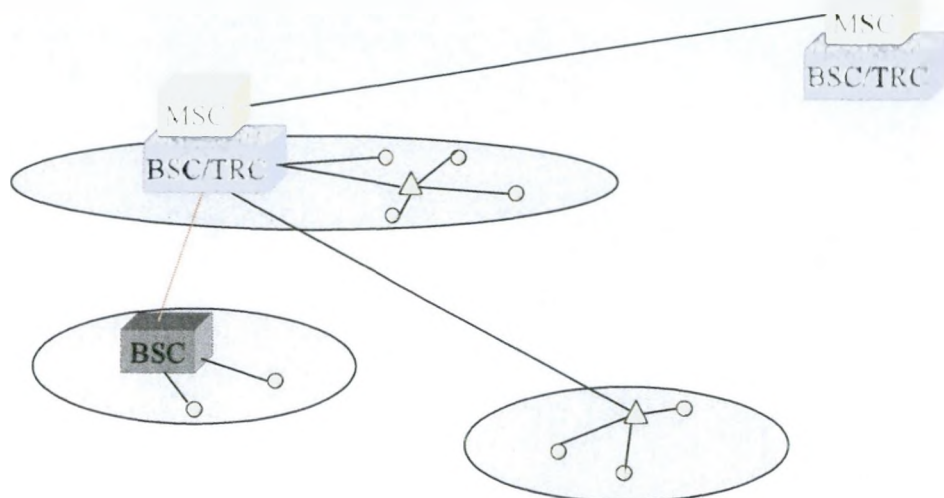
- RFS date

###### Practical aspects

- Towers, equipment concentration

**Σχήμα 3.1 :** Οι τοπολογίες δικτύων διευκρινίζουν πώς πρέπει να συνδεθούν οι διαφορετικοί κόμβοι.

Η επιλογή τοπολογίας δικτύων είναι μια διαδικασία αξιολόγησης, η οποία ενσωματώνει την επιχειρησιακή στρατηγική, τις δαπάνες των επενδύσεων, την τεχνολογία roadmap, την ευρωστία των δικτύων, την πορεία εξέλιξης των δικτύων, και τη στρατηγική μεταφοράς από το τρέχον δίκτυο στο προγραμματισμένο δίκτυο. Η επιλογή τοπολογίας παράγει ένα προτιμημένο σχέδιο τοπολογίας δικτύων για το δίκτυο που στοχεύουμε. Η τοπολογία παρέχει τις πληροφορίες για το δίκτυο όπως η θέση κόμβων/περιοχών, τις γεωγραφικές πληροφορίες, την υπάρχουσα υποδομή δικτύων, το νέο κόμβο/περιοχή που προστίθενται, και τη νέα διαμόρφωση δικτύων, όπως οι νέες περιοχές hub. Οι πληροφορίες που περιλαμβάνονται στο αρχικό σχέδιο τοπολογίας επιτρέπουν στον αρμόδιο για το σχεδιασμό δικτύων μετάδοσης να διατυπώσουν μια στρατηγική επέκτασης για τη μελλοντική αύξηση του δικτύου.



**Σχήμα 3.2 :** Δίκτυο πρόσβασης

Η τοπολογία είναι η δομή του δικτύου μετάδοσης. Αυτό το τμήμα εξετάζει τις διαφορετικές πιθανές τοπολογίες για το δίκτυο μετάδοσης GSM. Το κύριο δίκτυο μετάδοσης (μεταξύ των BSCs και των MSCs) είναι γενικά κάποια τοπολογία δακτυλίου ή αλυσίδας, αλλά οι τοπολογίες πρόσβασης είναι διαφοροποιημένες. Πολλά πράγματα πρέπει να εξεταστούν κατά την επιλογή μιας τοπολογίας. Η τοπολογία έχει επιπτώσεις σε πολλές άλλες πτυχές του δικτύου μετάδοσης, όπως η αποτελεσματικότητα, η ευελιξία, η ποιότητα, η ταχύτητα και η δομή των περιοχών. Μερικά βασικά βήματα σχεδιασμού εξετάζονται παρακάτω.

#### Βήμα 1: Εκτίμηση των απαιτήσεων του δικτύου

Η τοπολογία που επιλέγεται για το δίκτυο πρέπει να ανταποκρίνεται στις ανάγκες όλων των απαιτήσεων. Αυτά τα κριτήρια σχετίζονται με τις απαιτήσεις της απόδοσης και της αποδοτικότητας δικτύων από άποψη τόσο μηχανικά όσο και οικονομικά. Οι απαιτήσεις δικτύων που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι οι ακόλουθες:

- Ζητήματα λειτουργίας και συντήρησης
- Αποδοτικότητα μετάδοσης
- Ευρωστία
- Αποτελεσματικότητα σχετικά με το κόστος .

Επιπλέον, η τοπολογία πρέπει να επιτρέπει την εξέλιξη του δικτύου με το ελάχιστο κόστος. Παραδείγματος χάριν, καθώς το δίκτυο αυξάνεται οι δραστηριότητες του δικτύου γίνονται περισσότερες. Επομένως, μια τοπολογία που προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει αυτές τις δραστηριότητες είναι αυτή που απαιτείται.

#### Βήμα 2: Αξιολόγηση των τοπολογιών

Η αξιολόγηση τοπολογίας είναι η κατάλληλη για το σχεδιασμό μετάδοσης που αξιολογεί την καλύτερη δομή του δικτύου για να ικανοποιήσει την ευρωστία μετάδοσης του δικτύου. Η ευρωστία εγγυάται ότι το δίκτυο θα έχει έναν ελάχιστο κίνδυνο αποτυχίας και ως εκ τούτου μια ελάχιστη απώλεια κόστους. Υπάρχουν διάφορες τοπολογίες που υπάρχουν γενικά για την ανάπτυξη ενός δικτύου μετάδοσης. Οι ακόλουθες τοπολογίες που εξετάζονται είναι οι πιο διαδεδομένες:

- Δέντρου
- Δακτυλίου
- Αστέρα
- Συνδυασμός δακτυλίου και αστέρα.

#### Βήμα 3: Προσδιορισμός της δομής του δικτύου

Αυτό το βήμα περιλαμβάνει την εκτίμηση της δομής και την ιεραρχία του δικτύου μετάδοσης. Η καθιέρωση μιας ιεραρχίας σε ένα δίκτυο μετάδοσης περιλαμβάνει γενικά τις περιοχές των hub στα επίπεδα του δικτύου. Εισάγοντας την έννοια του “Hubbing” στο δίκτυο δημιουργεί ένα στιβαρό και αποδοτικό δίκτυο μετάδοσης.

Η τοπολογία hub cluster προσφέρει στρατηγικά πλεονεκτήματα σε έναν χειριστή, δεδομένου ότι μπορεί να γίνει επέκταση του δικτύου. Εάν οι συνδέσεις μέσα σε κάθε cluster προσδιορίζονται εξ αρχής για να προσαρμόσουν την προβλεφθείσα αύξηση, είναι εύκολο να προστεθούν οι πρόσθετες περιοχές μέσα στα cluster για να επεκτείνουν την κάλυψη της περιοχής ή για να προσθέσουν πρόσθετα TRUs. Δεδομένου ότι η κίνηση του δικτύου αυξάνεται και το δίκτυο αυξάνεται με την προσθήκη BTSs ή TRUs, οι περιοχές των hub μπορούν να εξοπλιστούν με ψηφιακές εγκάρσιες συνδέσεις για την ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων στις συνδέσεις με το BSC. Επιπλέον, μια ή περισσότερες περιοχές cluster μπορούν να μετατραπούν σε αυτό που καλείται ένα «Remote BSC». Το υπάρχον δίκτυο δεν χρειάζεται καμία ρύθμιση για τη μετάδοση και του ράδιο-δικτύου για να προσαρμόσει το remote BSC. Οι υπάρχουσες συνδέσεις μετάδοσης μεταξύ των BTSs θα παραμείνουν και η σύνδεση A-bis από την προηγούμενη περιοχή cluster, θα μετατραπεί σε μια σύνδεση A-ter μεταξύ του περιφερειακού BSC και του κεντρικού BSC/TRC.

Τα οφέλη αυτής της προσέγγισης βρίσκονται κυρίως στην της επένδυσης για την ικανότητα BSC στα μεταγενέστερα στάδια της επέκτασης ικανότητας, επενδύοντας κατά συνέπεια καθώς το σύστημα αυξάνεται. Οι δαπάνες συντήρησης και λειτουργίας μειώνονται δεδομένου ότι διάφορα μακρινά BSCs μπορεί να μοιράσουν τους transcoder (TRC) πόρους του κεντρικού BSC.

#### Βήμα 4: Επιλογή τοπολογίας

Οι καταλληλότερες τοπολογίες για το δίκτυο στα διάφορα γεωγραφικά μέρη επιλέγονται μετά από την εκτίμηση των ζητημάτων στα παραπάνω βήματα σχετικά με τα κριτήρια που περιλαμβάνονται στα παραπάνω βήματα.

Η τοπολογία που επιλέγεται μπορεί να είναι ομοιόμορφη αλλά μπορεί επίσης να ποικίλει στα διαφορετικά μέρη του δικτύου. Ο κατάλληλος για το σχεδιασμό δικτύων μπορεί να υιοθετήσει διαφορετικές τοπολογίες για να ικανοποιήσει τα διαφορετικά κριτήρια αλλά που είναι κατάλληλα για να εξυπηρετούν το δίκτυο. Για παράδειγμα, ένα μέρος του δικτύου που έχει δύο ευδιάκριτες περιοχές, μια αγροτική και μια αστική, όπου οι τύποι, τα χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις πελατών είναι διαφορετικά. Στο αστικό περιβάλλον, οι πυκνότητες και η χρήση πελατών είναι υψηλές. Η τοπολογία που επιλέγεται μπορεί να πρέπει να έχει μια υψηλή αξιοπιστία και να είναι ιδιαίτερα “δυνατή”. Στην αγροτική περιοχή, όπου η πυκνότητα πελατών και η χρήση του δικτύου είναι χαμηλή, μπορεί να υιοθετηθεί ένα λιγότερο γερό δίκτυο που έχει τη χαμηλότερη διαθεσιμότητα και επομένως μια τοπολογία δέντρων θα ήταν η καταλληλότερη. Η τοπολογία θα μπορούσε επίσης να είναι διαφορετική σε ένα δίκτυο ή ένα μέρος ενός δικτύου. Παραδείγματος χάριν, αρχικά μια τοπολογία δέντρων μπορεί να είναι κατάλληλη σε μια αστική περιοχή, αλλά όταν το δίκτυο αυξάνεται είναι καλύτερα να χρησιμοποιήσουμε μια τοπολογία δακτυλίου.

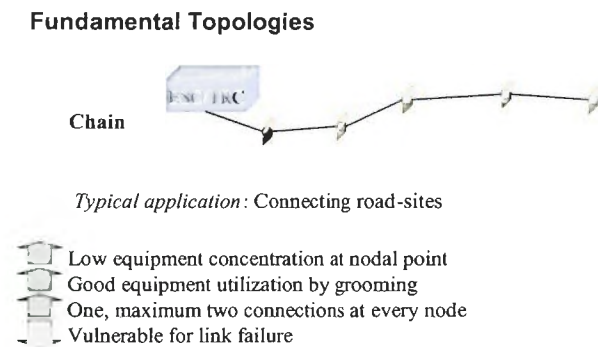
#### Βήμα 5: Τεκμηρίωση

Οι κανόνες τοπολογίας είναι τεκμηριωμένοι μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω. Μια διαγραμματική παρουσίαση της τοπολογίας που θα επιλέξουμε είναι αρκετά εμπεριστατωμένη.



## 3.2 Θεμελιώδεις Τοπολογίες

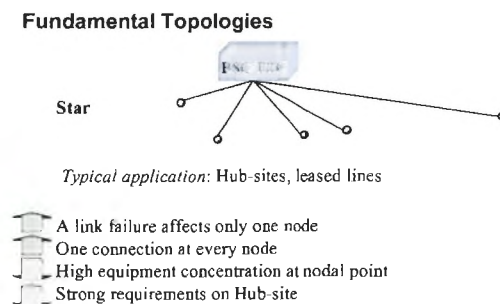
### 3.2.1 Τοπολογία αλυσίδων



Σχήμα 3.3 : Τοπολογία αλυσίδων

Ο εξοπλισμός μετάδοσης στον κεντρικό κόμβο (BSC) απαιτείται για μια σύνδεση μόνο και, έναντι άλλων τοπολογιών, αυτό ελαχιστοποιεί την ανάγκη του εξοπλισμού στον κεντρικό κόμβο. Με τη χρησιμοποίηση DXCs ή του χαρακτηριστικού γνωρίσματος του multi-drop, η δύναμη χρησιμοποίησης μετάδοσης είναι υψηλή. Για το πιο ακραίο BTS, ο αριθμός εξαρτώμενων συνδέσεων με το BSC μπορεί να είναι υψηλός και η πιθανότητα των αυξήσεων αποτυχίας με τον αριθμό συνδέσεων στην αλυσίδα.

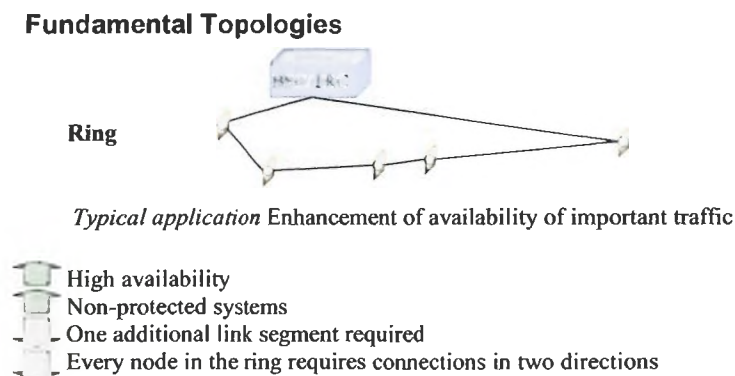
### 3.2.2 Τοπολογία Αστέρα



Σχήμα 3.4: Τοπολογία αστέρα.

Κάθε BTS εξαρτάται μόνο από μια σύνδεση με το BSC, τα οποία ελαχιστοποιούν την πιθανότητα της αποτυχίας συνδέσεων. Το ποσό εξοπλισμού μετάδοσης που απαιτείται σε κάθε BTS είναι χαμηλό, αλλά πολύ υψηλό στον κόμβο BSC. Εάν η μετάδοση είναι MW, έπειτα ο κεντρικός κόμβος χρειάζεται Los σε όλες τις περιοχές.

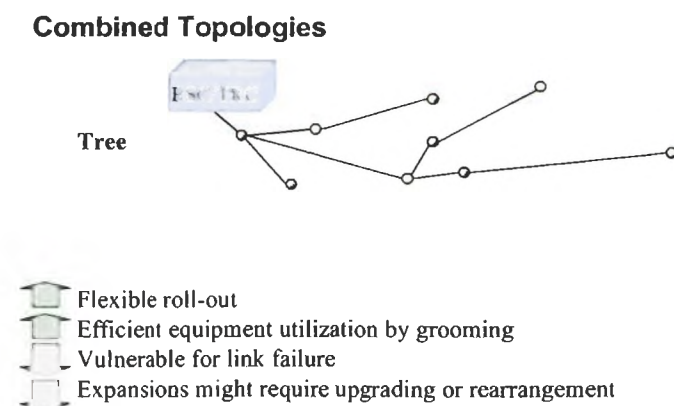
### 3.2.3 Τοπολογία Δακτυλίου



Σχήμα 3.5: Τοπολογία δακτυλίου.

Η μετάδοση σε κάθε περιοχή περιλαμβάνει τον πλεονασμό (δύο πιθανοί τρόποι). Εάν οι πορείες μετάδοσης αναπαράγονται, το κόστος συνδέσεων θα είναι χαμηλό. Μια πρόσθετη σύνδεση απαιτείται έναντι της τοπολογίας δακτυλίων. Στις μικροκυματικές εφαρμογές, είναι δύσκολο να βρεθούν οι περιοχές που έχουν το Los στο δακτύλιο, κατά συνέπεια η ταχύτητα θα είναι χαμηλότερη.

### 3.2.4 Τοπολογία Δέντρου

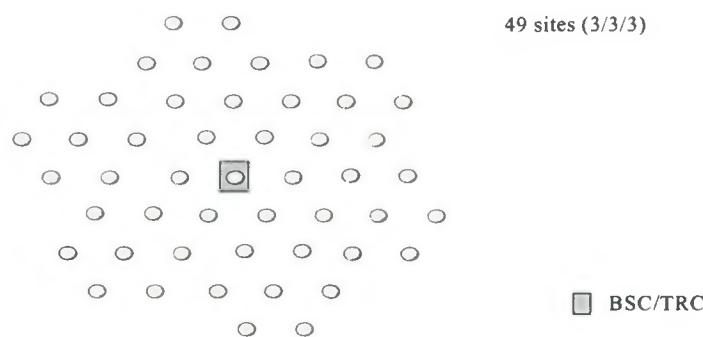


Σχήμα 3.6: Τοπολογία δέντρου.

Μια τοπολογία δέντρων είναι συνδυασμός των τοπολογιών αστεριών και αλυσίδων. Αυτό είναι η πιο κοινή τοπολογία πρόσβασης, εξαιτίας του γεγονότος ότι περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα αστεριών και αλυσίδων.

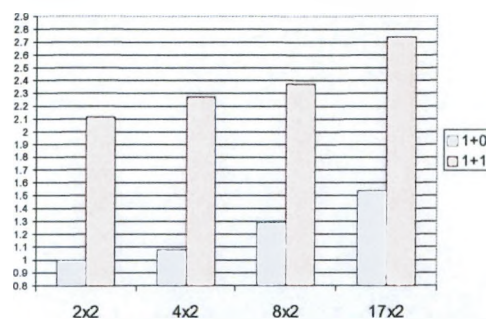
### 3.2 Δίκτυο Αναφοράς

Reference Network



Σχήμα 3.7: Δίκτυο αναφοράς.

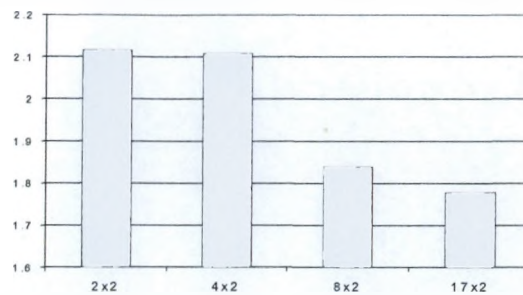
Relative Price



Σχήμα 3.8: Σχετική τιμή έναντι Χωρητικότητας

Το κόστος δεν αυξάνεται αναλογικά προς την χωρητικότητα. Ανάλογα με την επιλεγμένη τοπολογία και τους στόχους απόδοσης δικτύων, 1+0 ή 1+1 διαμορφώσεις και ικανότητες θα χρησιμοποιηθούν στις συνδέσεις μετάδοσης. Στο σχήμα 3.8, οι αξίες των διαφορετικών MINI-LINK χωρητικότητας και οι διαμορφώσεις παρουσιάζονται έναντι του MINI-LINK 2x2 1+0.

Relative price - protected vs unprotected system



Σχήμα 3.9: Προστατευμένα εναντίον Μη προστατευμένα συστήματα.

Το σχήμα 3.9 παρουσιάζει προστατευμένες(1+1) τιμές έναντι των αντίστοιχων μη προστατευμένων(1+0) αξιών των διαφορετικών MINI-LINK ικανοτήτων

Tree topology 1

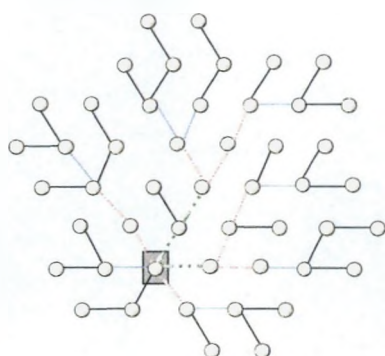


Quantities		
	1+0	1+1
— 2x2	30	0
— 4x2	0	6
— 8x2	0	12
— 17x2	0	0
○ DXC E1 port	0	
<b>Price</b>	1152	

Σχήμα 3.10: Το δίκτυο αναφοράς σε μια δομή δέντρων

Δημιουργώντας μια απλή δομή δέντρων η τιμή της είναι 1152

Tree topology 2

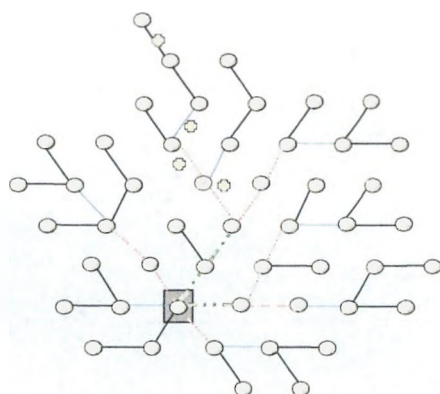


Quantities		
	1+0	1+1
— 2x2	28	0
— 4x2	0	8
— 8x2	0	9
— 17x2	0	3
○ DXC E1 port	0	
<b>Price</b>	1210	

Σχήμα 3.11: Το δίκτυο αναφοράς με BSC που κινείται

Με την κίνηση του κεντρικού κόμβου (BSC), η τιμή αλλάζει σε 1210

Tree topology 2 - add another site



○ = new or modified

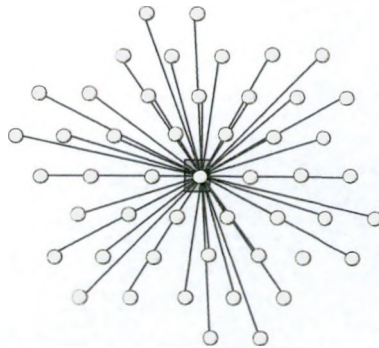
Quantities		
	1+0	1+1
— 2x2	28	0
— 4x2	0	8
— 8x2	0	10
— 17x2	0	3
○ DXC E1 port	16	
<b>Price</b>	1264	

Σχήμα 3.12: Η προσθήκη μιας περιοχής στο δίκτυο αναφοράς

Το μειονέκτημα της τοπολογίας δέντρων παρουσιάζεται όταν προστίθεται μια περιοχή στο δίκτυο. Η προσθήκη των περιοχών έχει επιπτώσεις γενικά σε έναν μεγάλο αριθμό συνδέσεων (στην τοπολογία δέντρων), το οποίο σημαίνει επιπλέον σχεδίαση και δαπάνες δεδομένου ότι διάφορες περιοχές πρέπει να επισκεφτούν για την εγκατάσταση και την ολοκλήρωση.

Για να είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει μια 17x2 σύνδεση, ένα DXC πρέπει να εισαχθεί κατά την προσθήκη του 18ου BTS.

**Star topology**



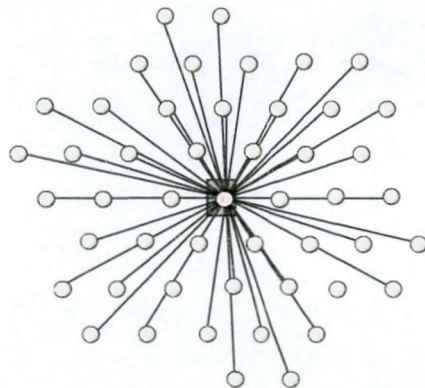
Quantities		
	1+0	1+1
— 2x2	48	0
— 4x2	0	0
— 8x2	0	0
— 17x2	0	0
○ DXC E1 port	0	0
<b>Price</b>	768	

**Σχήμα 3.13: Το δίκτυο αναφοράς σε μια δομή αστεριών**

Η αντίστοιχη τιμή της τοπολογίας αστεριών είναι 768.

**Star topology 2**

30% less ETCs if DXC is introduced!

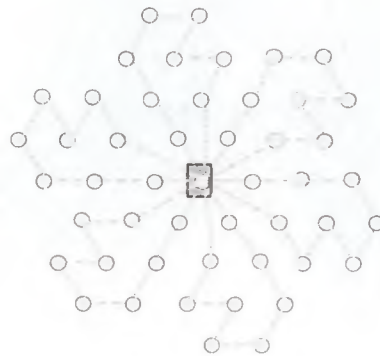


Quantities		
	1+0	1+1
— 2x2	48	0
— 4x2	0	0
— 8x2	0	0
— 17x2	0	0
○ DXC E1 port	83	
<b>Price</b>	851	

**Σχήμα 3.14: DXC που εγκαθίσταται στο BSC**

Ο αριθμός E1s στο BSC μειώνεται, με την εγκατάσταση ενός DXC στην περιοχή BSC. Σαράντα οκτώ E1 θύρες απαιτούνται για τις περιοχές BTS και μια E1 για το BTS της περιοχής BSC. Προς το BSC:  $49 \cdot 6/10 \Rightarrow 30$  E1s απαιτούνται.

### Ring topology

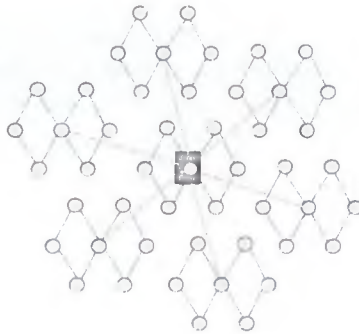


Quantities		
	1+0	1+1
— 2x2	0	0
— 4x2	0	0
— 8x2	54	0
— 17x2	0	0
○ DXC E1 port 251		
<b>Price</b>	<b>1385</b>	

Σχήμα 3.15: Το δίκτυο αναφοράς με τη δομή δακτυλίων

Σημειώστε ότι υπάρχει μια ανάγκη για τον DXC εξοπλισμό σε κάθε BTS. Εάν το BTS είναι 2/2/2 LAPD, κατόπιν η 8x2 σύνδεση δεν θα είναι σε θέση να έχει την προστασία για το TRU σε ένα δακτύλιο 8 BTS. Εντούτοις, το μεγαλύτερο μέρος των TRUs σε κάθε δακτύλιο έχει 1+1 προστατευμένα κυκλώματα.

### Ring topology - Distributed



Quantities		
	1+0	1+1
— 2x2	0	0
— 4x2	56	0
— 8x2	0	6
— 17x2	0	0
○ DXC E1 port 311		
<b>Price</b>	<b>1491</b>	

Σχήμα 3.16: Ένας δακτύλιος περιέχει 4 RBSs

Μια άλλη πιθανή τοπολογία είναι αυτή που παρουσιάζεται στο σχήμα 17. Σε αυτήν την τοπολογία, κάθε δακτύλιος αποτελείται από 4 RBSs και 8x2 συνδέσεις που χρησιμοποιούνται στην περιοχή BSC. Η τιμή είναι 1491.

## Κεφάλαιο 4

### ΚΑΛΩΔΙΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΕΝΩΣΕΩΣ ΚΑΙ ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΥ

#### 4.1 Εισαγωγή

Ως καλώδιο νοείται η δομή που περικλείει μια ή περισσότερες οπτικές ίνες, διασφαλίζοντας τις λειτουργικές επιδόσεις τους στο περιβάλλον λειτουργίας τους επί μακρόν. Το είδος του καλωδίου και η πολυπλοκότητα της δομής του εξαρτάται από την συγκεκριμένη εφαρμογή. Θα πρέπει όμως να αντέχει σε όλες τις πιθανές συνθήκες, που ενδεχομένως θα αντιμετωπίσει κατά την διάρκεια της αποθήκευσης, εγκατάστασης και λειτουργίας του. Κατά την αποθήκευση ή την μετακίνηση προς τον χώρο του έργου, το καλώδιο μπορεί να εκτεθεί σε υψηλές θερμοκρασίες από ηλιακή ακτινοβολία, ψύχος, βροχή ή και υγρασία. Κατά την εγκατάσταση υφίσταται τάνυση, κάμψη, στρέψη και εφελκυσμό. Τέλος μετά την εγκατάσταση, και αφού επέλθει χαλάρωση των τάσεων του καλωδίου, η δομή του δέχεται συνεχώς τις επιδράσεις της υγρασίας, της θερμοκρασιακής κύκλωσης και των περιβαλλοντικών μεταβολών, καθώς και επιθέσεις από μύκητες ή και αρουραίους. Παρά ταύτα, οι εντός του καλωδίου ίνες θα πρέπει να παραμένουν προστατευμένες και σε συνεχή λειτουργία, χωρίς να υποβαθμίζεται η επίδοσή τους σε χρονικό διάστημα άνω των είκοσι χρόνων.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, κατά τον εφελκυσμό, η οπτική ίνα δέχεται την πρωτεύουσα επικάλυψη με σκοπό να προστατευθεί η γυάλινη επιφάνεια της από οξείδωση, και να αποκτήσει την απαιτούμενη ευκαμψία. Φέροντας μόνο την πρωτεύουσα επικάλυψη, η οπτική ίνα μεταφέρεται τυλιγμένη σε στροφέα από το εργοστάσιο παραγωγής στο εργοστάσιο καλωδίωσης. Η περαιτέρω επεξεργασία εξαρτάται από τον τύπο του καλωδίου. Σε γενικές γραμμές, τα καλώδια οπτικών ινών είναι διαθέσιμα σε δυο τύπους:

- καλώδια χαλαρής δομής και καλώδια σφικτής δομής.<sup>16</sup>

Οι όροι χαλαρή και σφικτή αναφέρονται στην δομή του σωληνίσκου, εντός του οποίου τοποθετείται για περισσότερη προστασία η οπτική ίνα με την πρωτεύουσα επικάλυψη.

##### 4.1.1 Καλώδια χαλαρής δομής

Οι ίνες τοποθετούνται χαλαρά (δηλαδή με περίσσεια μήκους) μέσα σε έναν κεντρικό σωλήνα (σχήμα 4.1) ή σε περισσότερους σωληνίσκους (σχήμα 4.2), ή σε κατάλληλες εγκοπές διαμορφωμένες πάνω σε κεντρικό στέλεχος του καλωδίου (σχήμα 4.3).

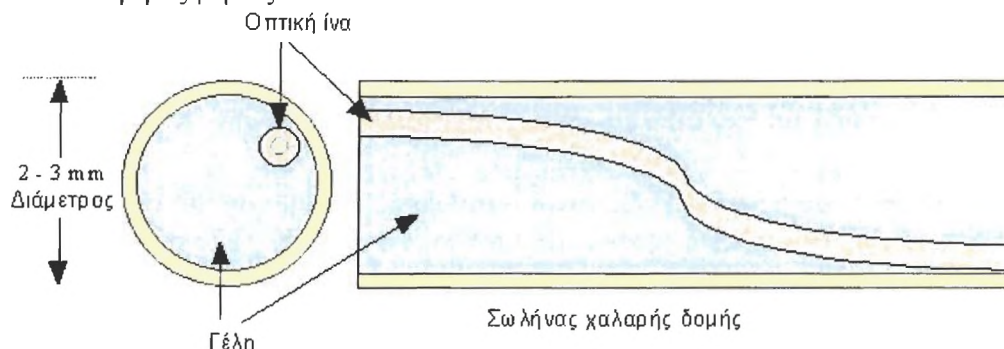
Κάθε σωληνίσκος έχει εξωτερική διάμετρο από 2-3 mm, και μπορεί να φέρει από 2 έως 12 οπτικές ίνες σε χαλαρή διάταξη. Οι σωληνίσκοι μπορεί να περιέχουν κατάλληλο πληρωτικό υλικό, συμβατό με τα λοιπά υλικά του καλωδίου, υπό την μορφή γέλης, για να εμποδίζεται η εισροή νερού στον σωληνίσκο, που μπορεί, είτε παγώνοντας να δημιουργήσει εστίες

<sup>16</sup> Αποδίδονται οι όροι loose-tube και tight buffer.



μικρόκαμψης, είτε να ελευθερώσει υδρογόνο, προκαλώντας βαθμιαία αύξηση των απωλειών. Αν η δομή του καλωδίου περιέχει μεταλλικά στοιχεία, που επιτρέπουν την απελευθέρωση του υδρογόνου, το πληρωτικό μέσο που θα χρησιμοποιηθεί, θα πρέπει επιπλέον να είναι χημικά ενεργό ως τις την απορρόφηση του υδρογόνου.

Ο σωλήνας χαλαρής δομής απομονώνει τις οπτικές ίνες από την επίδραση των εξωτερικών μηχανικών τάσεων, που ασκούνται επί του καλωδίου. Το μήκος των οπτικών ινών εντός του σωλήνα είναι μεγαλύτερο του μήκους του καλωδίου, έτσι ώστε το καλώδιο και οι σωληνίσκοι του να υφίστανται εφελκυσμό, κυρίως κατά την εγκατάσταση σε υπόγειες σωληνώσεις, χωρίς να ασκείται φορτίο επί των ινών. Η διαφορά αυτή σε μήκος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη (από στοιχεία του κατασκευαστή) κατά την διάρκεια μετρήσεων με OTDR, προκειμένου να καθορισθεί το ακριβές μήκος του καλωδίου.



**Σχήμα 4. Σωληνίσκος χαλαρής δομής**

Ο αριθμός των ινών ανά σωληνίσκο είναι προϊόν τυποποίησης με συνήθεις τιμές 2, 4, 6 και 12 ίνες ανά σωληνίσκο. Για λόγους αναγνώρισης κατά την πλέξη οι ίνες είναι χρωματισμένες σύμφωνα με τον χρωματικό κώδικα του πίνακα 4.1.

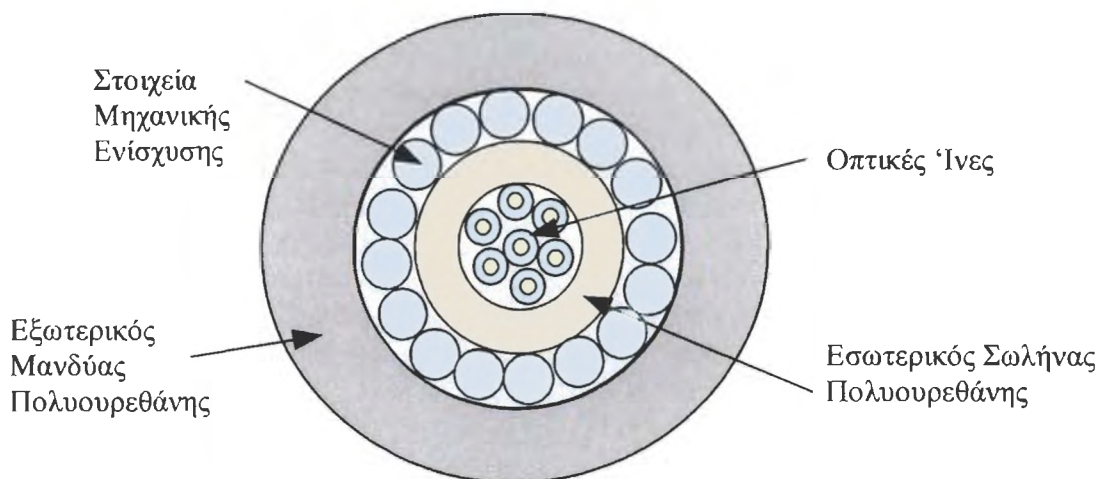
A/A ίνας	Χρώμα	A/A ίνας	Χρώμα
1	Κόκκινο	7	Γκρι
2	Πράσινο	8	Τουρκουάζ
3	Κίτρινο	9	Άσπρο
4	Άχρωμο	10	Ροζ
5	Καφέ	11	Πορτοκαλί
6	Βιολετί	12	Μπλε

**Πίνακας 4.1. Χρωματικός κώδικας ινών σωληνίσκου**

### **Καλώδια με καλωδιακό πυρήνα κεντρικού σωλήνα**

(σχήματα 4.1α και β)

Όλες οι οπτικές ίνες τοποθετούνται (με την κατάλληλη περίσσεια μήκους) σε κεντρικό σωλήνα καταλλήλων διαστάσεων, που είναι γεμάτος σε όλο το μήκος του από πληρωτικό μέσο. Ο σωλήνας μπορεί να είναι μεταλλικός ή από άλλο κατάλληλο υλικό (π.χ. πολυουρεθάνη), που να εξασφαλίζει την μηχανική, χημική και φυσική αντοχή, που απαιτείται για την προστασία των ινών.



**Σχήμα 4.1α. Καλώδιο χαλαρής δομής καλωδιακό πυρήνα κεντρικού σωλήνα.**

Σε περίπτωση, που ο σωλήνας δεν είναι μεταλλικός, τοποθετούνται στοιχεία μηχανικής αντοχής, πλεγμένα ελικοειδώς γύρω από τον πυρήνα. Τα στοιχεία αυτά μπορεί να είναι ατσάλοβεργες ή ίνες αραμίδης (Kevlar). Όταν χρησιμοποιούνται μεταλλικά στοιχεία αντοχής, αυτά περιβάλλονται από ταινία αλουμινίου, που λειτουργεί σαν φράγμα υγρασίας, προστατεύοντας τον πυρήνα του καλωδίου.

Τα καλώδια με καλωδιακό πυρήνα κεντρικού σωλήνα έχουν μικρή σχετικά χωρητικότητα σε οπτικές ίνες, και σπάνια ξεπερνούν τις 24. Οι ίνες ομαδοποιούνται σε δωδεκάδες ακολουθώντας τον χρωματικό κώδικα του πίνακα 4.2. Κάθε δωδεκάδα περιβάλλεται από διαχωριστική ταινία. Η δομή καλωδιακού πυρήνα κεντρικού σωλήνα χρησιμοποιείται κυρίως σε υποβρύχια και εναέρια καλώδια, όπως αυτά του σχήματος 4.1β.



**Σχήμα 4.1β. Εναέρια καλώδια με δομή σωληνίσκου χαλαρής δομής του Οίκου Siemens**

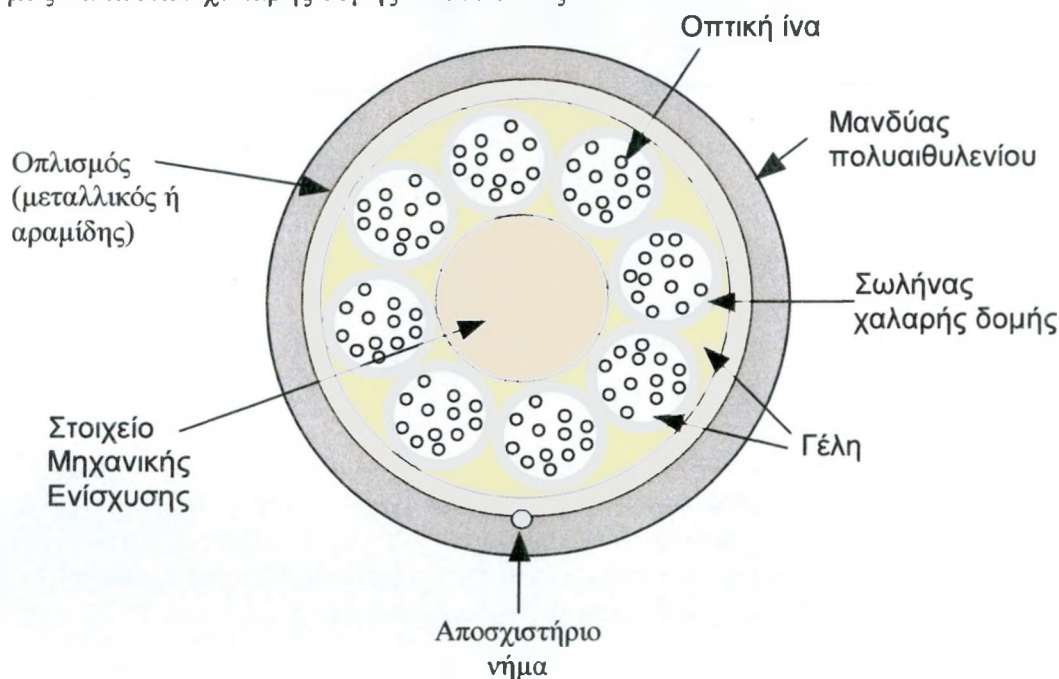
## Καλώδια με δομή καλωδιακού πυρήνα σωληνίσκων

(σχήματα 4.2α και β)

Στον άξονα του καλωδίου τοποθετείται μη-μεταλλικό στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης<sup>17</sup>, ενισχυμένο με κατάλληλες ίνες αραμίδης, ώστε να διαθέτει μέτρο ελαστικότητας τουλάχιστον  $5.000 \text{ kp/mm}^2$  και τις κατάλληλες μηχανικές και θερμικές ιδιότητες. Η διάμετρος του κεντρικού στοιχείου μηχανικής ενίσχυσης κυμαίνεται από 2 έως 3 mm.

Γύρω από το στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης, που μπορεί να περιβάλλεται και από άλλο κατάλληλης μορφής πλαστικό, συστρέφονται οι σωληνίσκοι σχηματίζοντας τον καλωδιακό πυρήνα.

Ο αριθμός των σωληνίσκων μπορεί να φθάσει τους δέκα, φέρνοντας τον συνολικό αριθμό των ινών του καλωδίου στις 120. Η μέγιστη χωρητικότητα των κατασκευαζόμενων στην χώρα μας καλωδίων χαλαρής δομής είναι 96 ίνες.



Σχήμα 4.2α. Καλώδιο χαλαρής δομής καλωδιακού πυρήνα με σωληνίσκους.

Οι σωληνίσκοι είναι πλεγμένοι γύρω από το στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης, αυξάνοντας έτσι την ευκαμψία του καλωδίου. Η πλέξη μπορεί να είναι δεξιόστροφη, ή εναλλασσόμενη. Η εναλλασσόμενη πλέξη είναι γνωστή σαν πλέξη SZ, και αποτελεί τεχνολογική εξέλιξη, αφού παρέχεται η δυνατότητα εύκολου διαχωρισμού των σωληνίσκων, σε ενδιάμεσο τμήμα του καλωδίου, χωρίς να απαιτείται η αποκοπή όλων των ινών ενός σωληνίσκου. Για λόγους αρίθμησης, ο πρώτος σωληνίσκος έχει χρώμα κόκκινο, ο τελευταίος μπλε και οι υπόλοιποι λευκοί.

Στο κέντρο του καλωδίου βρίσκεται το στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης, που μπορεί να είναι ατσάλοσυρμα, Kevlar<sup>18</sup>, ίνες αραμίδης ή γυαλιού. Το στέλεχος ισχυροποιεί και υποστηρίζει το καλώδιο στην διαδικασία εφελκυσμού κατά την εγκατάσταση. Το στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης πρέπει να στερεώνεται πάντα προσεκτικά κατά την εγκατάσταση, σε κατάλληλα προσδεδετικά στοιχεία των περιβλημάτων συνδέσεως ή των πλαισίων διασύνδεσης.

<sup>17</sup> Strength member (FRP)

<sup>18</sup> Το Kevlar είναι καταχωρημένη εμπορική ονομασία προϊόντος του Οίκου DuPont

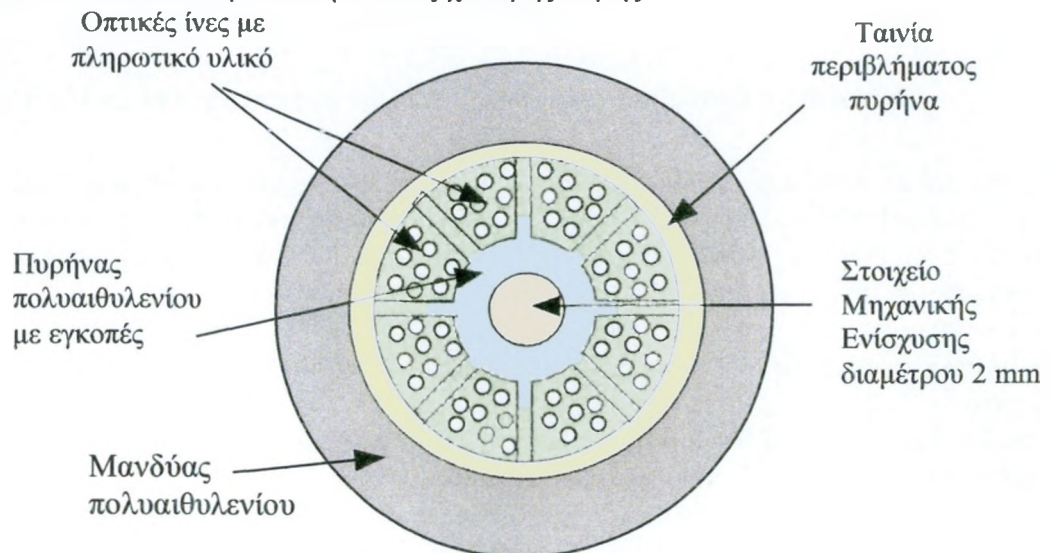
Τα καλώδια με καλωδιακό πυρήνα σωληνίσκων χαλαρής δομής (σχήμα 4.2β) χρησιμοποιούνται εκτεταμένα εντός σωληνώσεων στο αστικό και υπεραστικό ινσοπτικό δίκτυο, κυρίως λόγω ευκαμψίας και της αυξημένης δυνατότητας για απομάστευση ινών σε μικρότερης χωρητικότητας καλώδια.



Σχήμα 4.2β. Καλώδια σωληνώσεως με δομή σωληνίσκου χαλαρής δομής του Οίκου Siemens

#### Καλώδια με δομή καλωδιακού πυρήνα με εγκοπές (σχήματα 4.3α και β)

Τα καλώδια με δομή καλωδιακού πυρήνα με εγκοπές αναπτύχθηκαν από τον Οίκο ALCATEL και χρησιμοποιούνται κυρίως σε υποβρύχιες ινσοπτικές ζεύξεις. Περιλαμβάνουν μέχρι πέντε εγκοπές, διαμορφωμένες πάνω σε κεντρικό στέλεχος του καλωδίου από πολυαιθυλένιο, γύρω από το κεντρικό στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης, που είναι αντίστοιχο εκείνου των καλωδίων με σωληνίσκους χαλαρής δομής.



Σχήμα 4.3α. Καλώδιο χαλαρής δομής καλωδιακού πυρήνα με εγκοπές.



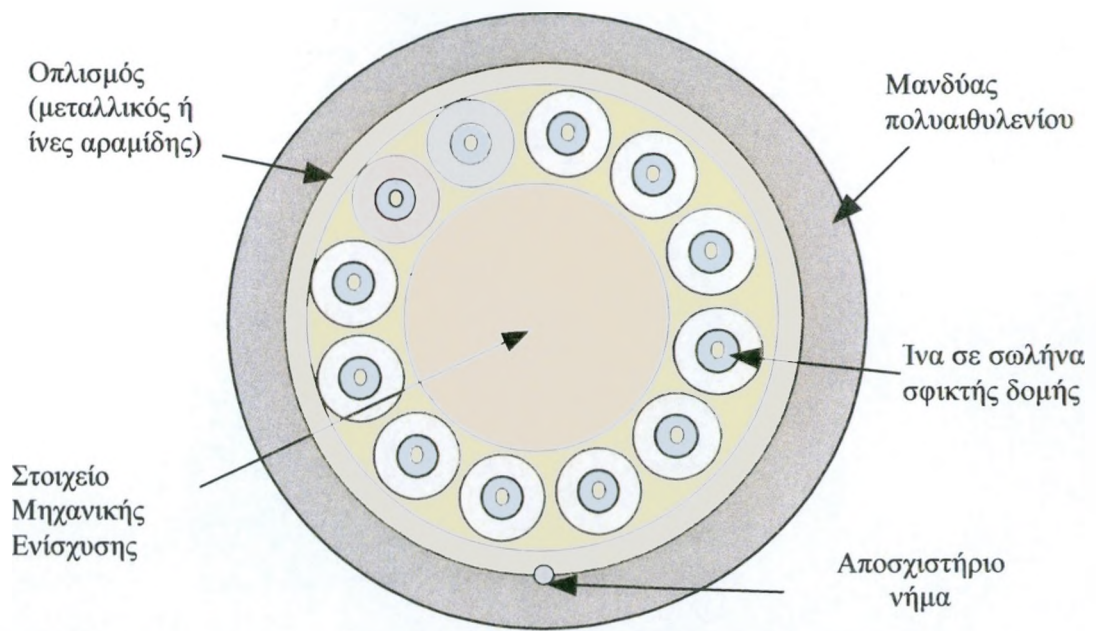
**Σχήμα 4.3β. Υποβρύχια καλώδια με δομή σωληνίσκου χαλαρής δομής καλωδιακού πυρήνα με εγκοπές του Οίκου Siemens**

Οι εγκοπές είναι γεμάτες από κατάλληλο πληρωτικό υλικό και περιλαμβάνουν από 2 έως 12 ίνες σε χαλαρή διάταξη. Ο πυρήνας με τις εγκοπές έχει χρώμα λευκό, ενώ για λόγους αρίθμησης η πρώτη εγκοπή χρωματίζεται μπλε. Οι ίνες μέσα σε κάθε εγκοπή είναι χρωματισμένες σύμφωνα με τον χρωματικό κώδικα του πίνακα 4.1.

Σε σύγκριση με τις ίνες σε καλωδιακό πυρήνα με σωληνίσκους, οι ίνες σε εγκοπές εμφανίζουν μικρότερη ευαισθησία σε απώλειες μικρόκαμψης. Παρά ταύτα, η μεγαλύτερη πολυπλοκότητα κατά την συναρμογή, έχει περιορίσει σημαντικά την χρήση των καλωδίων αυτών.

#### **4.1.2 Καλώδια σφικτής δομής**

Τα καλώδια σφικτής δομής περιλαμβάνουν έναν αριθμό από ίνες σε ανεξάρτητους σωληνίσκους, τυλιγμένους γύρω από ένα κεντρικό στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης και έναν συνολικό προστατευτικό μανδύα (σχήμα 4.4). Κάθε σωληνίσκος έχει εξωτερική διάμετρο 900 μm και περιβάλλει σφικτά την οπτική ίνα, που φέρει την πρωτεύουσα επικάλυψη διαμέτρου 250 μm. Ο σωληνίσκος παρέχει σε κάθε ίνα προστασία από το περιβάλλον και φυσική στήριξη. Επίσης επιτρέπει τον άμεσο τερματισμό της οπτικής ίνας σε κατάλληλο σύνδεσμο, χωρίς να είναι απαραίτητη η σύνδεση με προτερματισμένη καλωδιο-ουρά σε οργανωτήρα συνενώσεως. Για εσωτερική χρήση, η πρακτική αυτή μπορεί να ελαττώσει τόσο το κόστος εγκατάστασης, όσο και τις απώλειες από συγκολλήσεις ινών. Λόγω όμως της σφικτής δομής του σωλήνα, το καλώδιο είναι περισσότερο ευαίσθητο σε φορτίο εφελκυσμού και σε απώλειες από μικρόκαμψη.

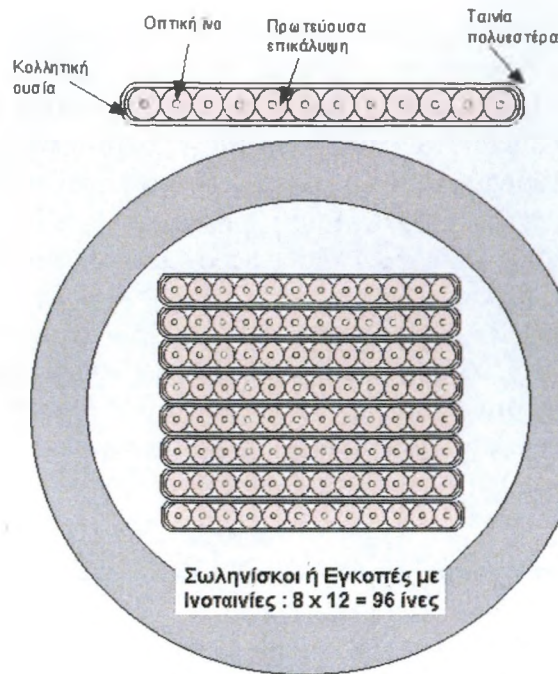


**Σχήμα 4.4. Καλώδιο σφικτής δομής.**

Τα καλώδια σφικτής δομής είναι περισσότερο εύκαμπτα και επιτρέπουν μικρότερη ακτίνα καμπυλότητας από τα αντίστοιχα χαλαρής δομής. Σχεδιάζονται για ενδοκτιριακές εφαρμογές και διατίθενται με κατάλληλο βραδύκαυστο μανδύα για εσωτερική χρήση. Η διατομή τους είναι μεγαλύτερη από τα αντίστοιχα καλώδια χαλαρής δομής, ενώ η χωρητικότητά τους σπάνια ξεπερνά τις 24 ίνες.

#### **4.1.3 Καλώδια ινο-ταινίας**

Η μέγιστη χωρητικότητα των καλωδίων χαλαρής δομής σε οπτικές ίνες σπάνια ξεπερνά τις 120 (10 σωληνίσκοι των 12 ινών/σωληνίσκο). Η χωρητικότητα αυτή μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με χρήση οπτικών ινών ομαδοποιημένων σε ταινίες. Η ομαδοποίηση περιλαμβάνει από 4 έως και 12 ίνες, που τοποθετούνται σε σειρά μεταξύ δυο στρώσεων κολλητικής ταινίας από πολυεστέρα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5. Δώδεκα στρώσεις ταινίας 12 ινών τοποθετημένες η μια επί της άλλης απαρτίζουν ένα σωρό από 144 ίνες. Τέτοιοι σωροί ινών μπορούν να τοποθετηθούν σε σωληνίσκους χαλαρής δομής ή και σε εγκοπές, πολλαπλασιάζοντας την χωρητικότητα των καλωδίων σε ίνες.



Σχήμα 4.5. Ταινίες οπτικών ινών.

Καλώδια με ταινίες ινών χρησιμοποιούνται σήμερα στις ΗΠΑ, στην Ιαπωνία, στην Ιταλία και στην Σουηδία. Στην Ιαπωνία, που η υλοποίηση της τεχνικής FTTH<sup>19</sup> απαιτεί καλώδια με μεγάλο αριθμό ινών, κατασκευάζονται καλώδια μέχρι και 3000 ινών. Στις άλλες χώρες, όπως στην Ιταλία, που η εισαγωγή των οπτικών ινών στο αστικό δίκτυο γίνεται σε μικρότερη έκταση, η περιεκτικότητα των καλωδίων σε ίνες σπάνια ξεπερνά τις 200. Προκειμένου να ελαττωθεί ο απαιτούμενος χρόνος, που δαπανάται σε συγκολλήσεις κατά την κατασκευή συνδέσεων, έχουν αναπτυχθεί συσκευές ταυτόχρονης συγκολλήσεως όλων των ινών κάθε ταινίας. Οι συγκολλήσεις γίνονται με τέτοια ακρίβεια, που ικανοποιούν ακόμη και τις αυστηρότερες απαιτήσεις ινών μετατοπισμένης διασποράς (τριγωνική κατανομή συντελεστή διάθλασης), που χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ.

#### 4.1.4 Υλικά καλωδίων

Ο εξωτερικός μανδύας, πάχους μεγαλύτερου των 2 mm, προστατεύει τον καλωδιακό πυρήνα από εξωτερικές επιδράσεις. Μπορεί να είναι από πολυαιθυλένιο, πολυουρεθάνη, χλωριούχο πολυβινύλιο, φέροντας ατσάλινη θωράκιση ή οπλισμό χαλύβδινου πτυχωτού σωλήνα, ίνες αραμίδης και άλλα υλικά, ανάλογα με το είδος της εφαρμογής, για χρήση σε εξωτερικό ή εσωτερικό χώρο. Σε περίπτωση εσωτερικής χρήσης (δηλ. σε τηλεπικοινωνιακά ή εμπορικά κτίρια), ο εξωτερικός μανδύας πρέπει να είναι από βραδύκαυστο υλικό, χαμηλού καπνού και να μην περιλαμβάνει αλογόνα<sup>20</sup>.

##### 4.1.4.1 Υλικά μανδύα

Το πολυαιθυλένιο (PE) είναι το πιο συνηθισμένο υλικό μανδύα σε καλώδια εξωτερικής χρήσης. Ο μανδύας πολυαιθυλενίου, μαύρου χρώματος, εμφανίζει καλές ιδιότητες απέναντι στην υγρασία, τις καιρικές μεταβολές και την υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Είναι ένας πολύ

<sup>19</sup> FTTH - Fibre To The Home.

<sup>20</sup> LSZH - Low Smoke Halogen Free.

καλός μονωτής, με σταθερές διηλεκτρικές ιδιότητες. Ανάλογα με την μοριακή του πυκνότητα το πολυαιθυλένιο μπορεί να γίνει σκληρό και δύσκαμπτο σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Από μόνο του είναι εύφλεκτο, με την προσθήκη όμως των κατάλληλων χημικών μπορεί να μετατραπεί σε βραδύκαυστο, κατάλληλο για χρήση σε εσωτερικό χώρο.

Το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC) εμφανίζει μεγαλύτερη αντίσταση σε θερμοκρασιακές μεταβολές από  $-55^{\circ}\text{C}$  έως  $+55^{\circ}\text{C}$ . Είναι βραδύκαυστο, αλλά η καύση του παράγει επικίνδυνους τοξικούς καπνούς (ατμούς υδροχλωρίου). Το PVC είναι λιγότερο εύκαμπτο από το PE και συνήθως περισσότερο ακριβό.

Η πολουρεθάνη (PUR) είναι συνηθισμένο υλικό των καλωδίων, πιο σκληρό και ελαφρύ από τα περισσότερα υλικά. Χρησιμοποιείται κυρίως ως εσωτερικός μανδύας.

Σε υπόγεια καλώδια άμεσης ταφής, που τοποθετούνται απευθείας μέσα στο έδαφος χωρίς την χρήση σωληνώσεων, χρησιμοποιείται συχνά και στρώμα χημικά ουδέτερης ασφαλτικής σύνθεσης, με κατάλληλη ρευστότητα, ώστε να παρουσιάζει καλή και διαρκή πρόσφυση στον οπλισμό του καλωδίου.

### ***Υλικά μηχανικής ενίσχυσης και οπλισμού***

- *Ίνες αραμίδης/Kevlar ή υάλου*: έχουν μικρό βάρος και τοποθετούνται στο εσωτερικό του μανδύα, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθούν και στο κεντρικό στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης. Είναι υλικό ισχυρό, ανθεκτικό σε εφελκυσμό και προστατεύει τους σωλήνες, που περιλαμβάνουν τις ίνες. Όταν τοποθετούνται γύρω από τον καλωδιακό πυρήνα οι ίνες αραμίδης παρέχουν πρόσθετη προστασία από εξωτερικές επιδράσεις, και, λόγω των αλεξίσφαιρων ιδιοτήτων του, χρησιμοποιούνται υπό μορφή πλέγματος ιδιαίτερα σε εναέρια καλώδια για αντιβαλιστική προστασία. Οι ίνες υάλου παρέχουν αντιτρωκτική προστασία. Άλλα χρησιμοποιούμενα υλικά περιλαμβάνουν:

- *Ατσαλόβερρες*: Η θωράκιση με ατσαλόβερρες χρησιμοποιείται συχνά σε εγκαταστάσεις εξωτερικού χώρου και σε υποβρύχια καλώδια. Σε καλώδια άμεσης ταφής οι ατσαλόβερρες παρέχουν προστασία από επιθέσεις αρουραίων.
- *Αλουμινοταινία*: Ο καλωδιακός πυρήνας περιβάλλεται από μανδύα αλουμινίου, που προκύπτει από την διαμόρφωση σε κύλινδρο ταινίας αλουμινίου ονομαστικού πάχους 0,15 mm, και λειτουργεί ως φράγμα υγρασίας.
- *Χαλυβδοταινία*: Γύρω από τον καλωδιακό πυρήνα χρησιμοποιείται μια στρώση λεπτού, κυματοειδή χαλυβδομανδία από πλαστικοποιημένη διαμορφωμένη λεπτή χαλυβδοταινία, ονομαστικού πάχους 0,2 mm, τοποθετημένη κατά διαμήκη έννοια με επικάλυψη. Η χρήση χαλυβδοταινίας προστατεύει επίσης τα καλώδια από επιθέσεις αρουραίων.
- *Αποσχιστήριο νήμα*: Το αποσχιστήριο νήμα είναι ένα ισχυρό, λεπτό νήμα κάτω από τον μανδύα του καλωδίου, και χρησιμοποιείται κατά το άνοιγμα του μανδύα, χωρίς βλάβη του καλωδιακού πυρήνα.



#### 4.1.5 Κατάταξη των καλωδίων ανάλογα με το είδος της εφαρμογής

Ανάλογα με το είδος της εφαρμογής τα ιννοοπτικά καλώδια κατατάσσονται σε:

- *Εναέρια:* καλώδια που κρέμονται από τηλεφωνικούς στύλους. Αποτελούν λύση χαμηλού κόστους, που χρησιμοποιείται ευρύτατα στο εξωτερικό (κυρίως Η.Π.Α) αλλά όχι στην χώρα μας.
- *Υπόγεια άμεσης ταφής:* καλώδια που θάβονται απευθείας στο έδαφος.
- *Υπόγεια σωληνώσεως:* καλώδια που τοποθετούνται σε πλαστικές σωληνώσεις (σωλήνες ή υποσωλήνια) με εφελκυσμό ή με τεχνική εμφύσησης αέρα.
- *Υποβρύχια:* καλώδια για υποθαλάσσιες ζεύξεις.
- *Εσωτερικής χρήσης:* για χρήση σε τηλεπικοινωνιακά ή εμπορικά κτίρια. Φέρουν εξωτερικό μανδύα από υλικό βραδύκαυστο, χαμηλής εκπομπής καπνού και χωρίς αλογόνα. Για την εσωτερική καλωδίωση χρησιμοποιούνται καλώδια με καλωδιακό πυρήνα σφικτής δομής.

Ανάλογα με το είδος του οπλισμού τους τα ιννοοπτικά καλώδια κατατάσσονται σε:

- *Εξ ολοκλήρου διηλεκτρικά:* Δεν φέρουν μεταλλικά στοιχεία, και χρησιμοποιούνται σε κεραυνόπληκτες περιοχές ή σε διαδρομές, που είναι παράλληλες με γραμμές υψηλής τάσης, σε μεγάλο μήκος.
- *Θωρακισμένα:* Φέρουν μεταλλικό οπλισμό, που ανάλογα με το είδος της εφαρμογής μπορεί να είναι ταινία αλουμινίου (φράγμα υγρασίας), πτυχωτός χαλύβδινος μανδύας, ή ένα ή περισσότερα πλέγματα από ατσάλοσυρμα (για προστασία από επίθεση αρουραίων και σε υποβρύχια καλώδια). Η μεταλλική θωράκιση πρέπει πάντοτε να γειώνεται, ενώ θα πρέπει να διασφαλίζεται η συνέχειά της σε όλη την διαδρομή.

#### 4.1.6 Εναλλακτικά συστήματα καλωδίωσης

##### 4.1.6.1 Το μικροκαλώδιο

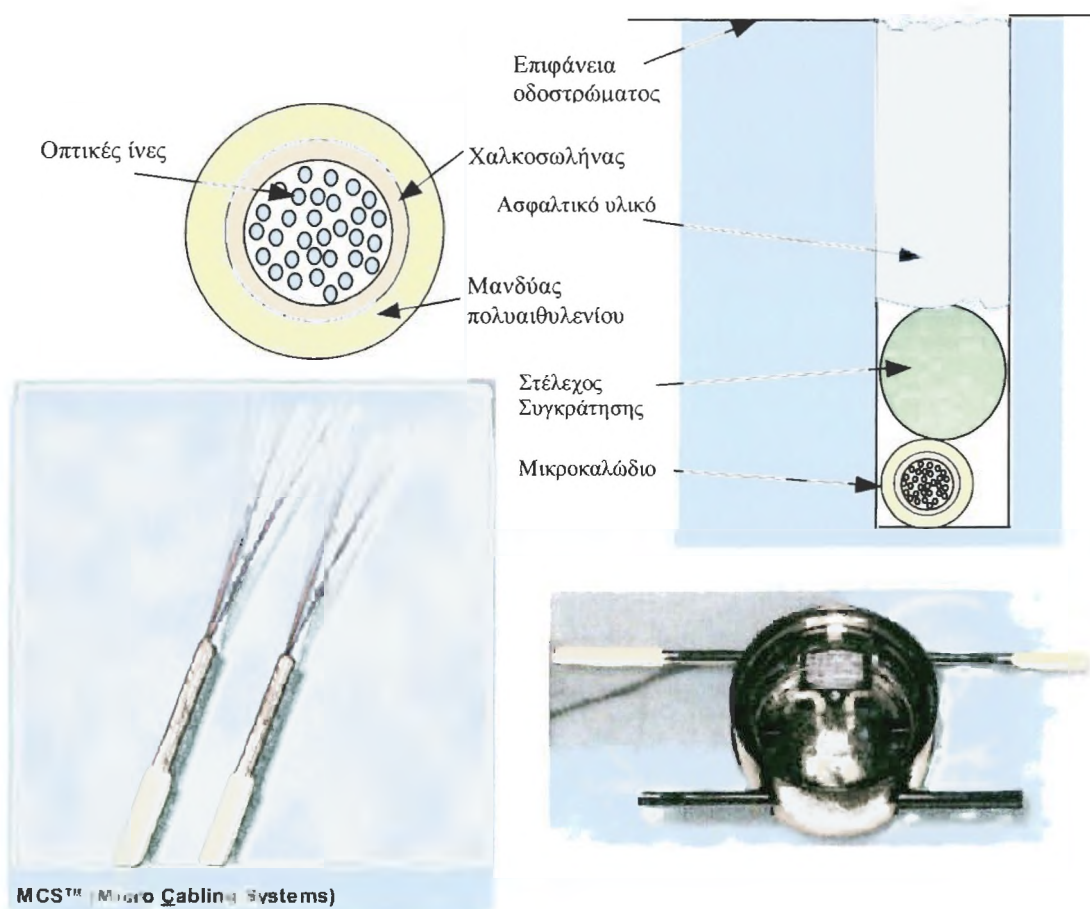
Το μικροκαλώδιο αναπτύχθηκε από τον Οίκο Siemens, προκειμένου να επιταχύνει τις διαδικασίες υπόγειας εγκατάστασης του ιννοοπτικού καλωδίου, καταργώντας την εκσκαφή τάφρων και επιτρέποντας την ταχεία και με χαμηλό κόστος τοποθέτηση ιννοοπτικών καλωδίων σε αστικό περιβάλλον. Η βασική ιδέα στηρίζεται στην χρήση ενός ενισχυμένου ιννοοπτικού καλωδίου, που τοποθετείται σε μια μικρή σχισμή της τσιμεντένιας επιφάνειας του οδοστρώματος, βάθους από 4 έως 8 cm. Με την προσέγγιση αυτή είναι δυνατή η εγκατάσταση μέχρι και 1 km καλωδίου ανά ημέρα, καταργώντας τις δαπανηρές εργασίες εκσκαφής και αποκατάστασης, και με την ελάχιστη δυνατή παρενόχληση της κυκλοφορίας.

Για λόγους σύγκρισης αναφέρεται ότι τα συμβατικά ινοοπτικά καλώδια τοποθετούνται σε τάφρους βάθους από 60 έως 80 cm.

Η δομή του καλωδίου που χρησιμοποιείται στο σύστημα μικροκαλωδίωσης περιγράφεται στο σχήμα 4.6.

Περιλαμβάνει χαλκοσωλήνα, εξωτερικής διαμέτρου 5 mm, με χωρητικότητα μέχρι και 60 οπτικές ίνες. Ο χαλκοσωλήνας περιβάλλεται από μανδύα πολυαιθυλενίου εξωτερικής διαμέτρου 7 mm. Το καλώδιο είναι εύκαμπτο και μπορεί εύκολα να διαμορφωθεί σε καμπύλα τμήματα, χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα στον καλωδιακό πυρήνα. Ο Οίκος Siemens έχει αναπτύξει όλα τα απαραίτητα εργαλεία και παρελκόμενα για την εγκατάσταση του καλωδίου, καθώς και τα αντίστοιχα περιβλήματα συνδέσεως, που τοποθετούνται στο ύψος της επιφάνειας του οδοστρώματος, και είναι κατάλληλα για την διακλάδωση ή την επέκταση του καλωδίου.

Το μικροκαλώδιο αποτελεί μια πολύ ενδιαφέρουσα επιλογή για την ταχεία και οικονομική εισαγωγή οπτικών ινών σε αστικό περιβάλλον. Ο μόνος κίνδυνος προέρχεται από μελλοντικές αυθαίρετες επεμβάσεις στην διαμόρφωση του οδοστρώματος, που μπορεί να προκαλέσουν διακοπή στη συνέχεια του καλωδίου. Ο ΟΤΕ προτίθεται να διερευνήσει την τεχνική αυτή σε έργα που η αδειοδότηση για την εκσκαφή δεν είναι εύκολη.



Σχήμα 4.6. Σύστημα μικροκαλωδίωσης, μικροκαλώδιο και περίβλημα συνδέσεων του Οίκου Siemens.

## **Καλώδιο πολυσωληνίσκων**

Πολλοί τηλεπικοινωνιακοί κυρίως οργανισμοί, στα πλαίσια της στρατηγικής για την δημιουργία υποδομής, εγκαθιστούν στο δίκτυο πρόσβασης ινοοπτικά καλώδια με ίνες πολύ περισσότερες των άμεσων αναγκών, με την προοπτική για μελλοντική εκμετάλλευση του αποθέματος των διαθέσιμων ινών. Η πρακτική αυτή είναι δαπανηρή και σε κάποιο βαθμό σπάταλη, αφού επιδίδεται σε πρώιμη επένδυση με αβέβαιη εκμετάλλευση, λόγω αβεβαιότητας στην πρόβλεψη τόσο της τεχνολογικής εξέλιξης όσο και της μελλοντικής ζήτησης. Επιπλέον λόγω τοπολογικών απαιτήσεων για διακλαδώσεις των ινών του καλωδίου κορμού σε μικρότερα καλώδια, ένας αριθμός ινών κόπτονται και συγκολλώνται αναίτια, αυξάνοντας το κόστος και την απόσβεση κάθε ζεύξης, ενώ σε τμήματα καλωδίων περισσεύουν ίνες και παραμένουν αχρησιμοποίητες.

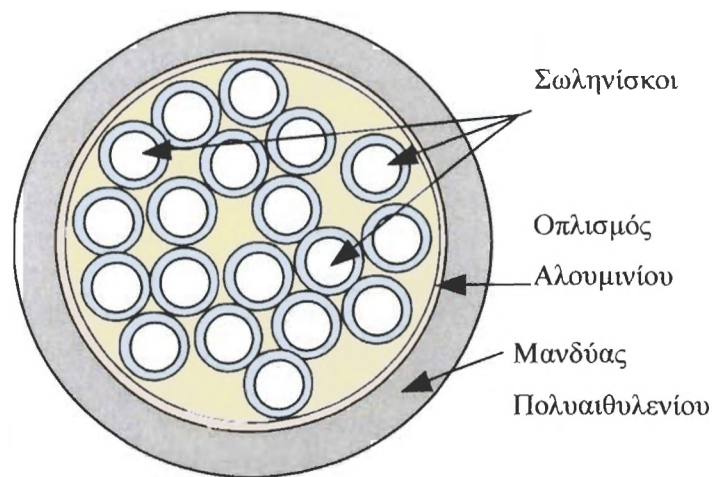
Η χρήση καλωδίου πολυσωληνίσκων χωρίς οπτικές ίνες είναι μια ευέλικτη, οικονομική εναλλακτική επιλογή, που προσφέρει την δυνατότητα σε έναν τηλεπικοινωνιακό οργανισμό να αντιμετωπίσει τις ανάγκες του μόλις αυτές δημιουργηθούν. Η τεχνική βασίζεται στην δυνατότητα εγκατάστασης, με εμφύσηση, μιας μικρού βάρους ομάδας οπτικών ινών εντός μικροσωληνίσκου, για μήκος μεγαλύτερο από 1 km. Η ομάδα περιλαμβάνει τέσσερις χρωματικά κωδικοποιημένες οπτικές ίνες με κοινό περίβλημα εξωτερικής διαμέτρου 0,9 mm και βάρους 0,8 gr/m. Το περίβλημα εκτός των άλλων προστατεύει τις ίνες και από την υγρασία, αφού δεν χρησιμοποιείται πληρωτικό μέσο εντός των σωληνίσκων. Τόσο το εσωτερικό του μικροσωληνίσκου όσο και το εξωτερικό περίβλημα των ινών είναι κατασκευασμένα από υλικά χαμηλού συντελεστή τριβής, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η εγκατάσταση των ινών εντός του μικροσωληνίσκου, με χρήση μιας απλής συσκευής εμφύσησης<sup>21</sup>, σε απόσταση μεγαλύτερη από 1 km. Η απόσταση αυτή μπορεί να υπερδιπλασιασθεί με συνδυασμού εμφύσησης και εφελκυσμού, χρησιμοποιώντας μια προεγκατεστημένη στον σωληνίσκο χορδή<sup>22</sup>.

Το πολυσωλήνιο (βλέπε σχήμα 4.7) αποτελείται από μια ομάδα σωληνίσκων (από 2 έως 19) εντός κοινού μανδύα πολυαιθυλενίου με σπλισμό αλουμινοταινίας. Η θωράκιση μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος της εφαρμογής (σωληνώσεως ή άμεσης ταφής). Κάθε σωληνίσκος περιλαμβάνει προεγκατεστημένη χορδή εφελκυσμού σε όλο το μήκος του. Η μέγιστη χωρητικότητα του καλωδίου πολυσωληνίσκων είναι 76 ίνες.

---

<sup>21</sup> Πατέντα της British Telecom

<sup>22</sup> Πατέντα της Belgacom



**Σχήμα 4.7. Καλώδιο πολυσωληνίσκων του Οίκου Mainetti.**

Η εγκατάσταση καλωδίου πολυσωληνίσκων αντί κοινών ιννοοπτικών καλωδίων στο αστικό δίκτυο απλουστεύει σημαντικά την δομή του δικτύου και ελαττώνει το απαιτούμενο κόστος, αφού καταργεί σε μεγάλο βαθμό τα περιβλήματα συνδέσεως και ελαττώνει τον απαιτούμενο αριθμό των ενδιάμεσων συγκολλήσεων, στο δυναμικό και συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον του δικτύου πρόσβασης. Κατά την σύνδεση, αποκαθίσταται πρώτα η φυσική διαδρομή του συνδρομητή με το τηλεπικοινωνιακό κέντρο, συνδέοντας τους σωληνίσκους των διαφόρων καλωδίων, που περιλαμβάνονται στη ζεύξη. Η διαδικασία είναι απλή και δεν απαιτεί ειδικευμένο προσωπικό ούτε εξοπλισμό, αφού δεν χρειάζεται να γίνουν συγκολλήσεις ινών. Όταν αποκατασταθεί η συνέχεια της διαδρομής των σωληνίσκων, η διαδικασία ολοκληρώνεται με την εμφύσηση/εφελκυσμό των οπτικών ινών από το κέντρο προς τον συνδρομητή, εφόσον η μεταξύ τους απόσταση δεν υπερβαίνει τα 2,5 km. Για μεγαλύτερη απόσταση η εμφύσηση μπορεί να γίνει με ενδιάμεσα στάδια.

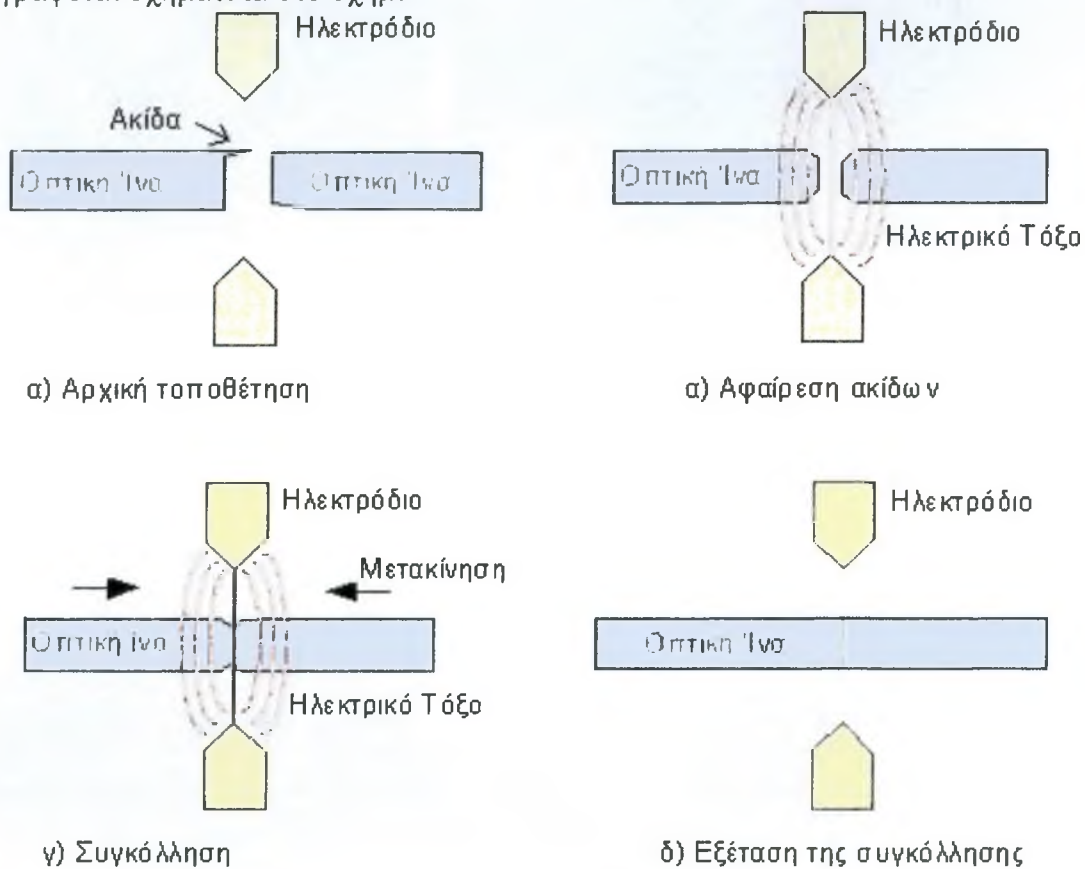
## 4.2 Εξαρτήματα συνενώσεως και τερματισμού

### Συνενώσεις

Ως συνένωση θεωρείται η απευθείας σύνδεση των άκρων δυο οπτικών ινών μόνιμα, μέσω ηλεκτρικής σύντηξης των επιφανειών τους, ή προσωρινά, με μηχανικό εξάρτημα συγκράτησης. Συνενώσεις, κυρίως μόνιμες, χρησιμοποιούνται προκειμένου να επεκτείνουν το μήκος μιας οπτικής ζεύξης πέραν του καλωδιακού μήκους στροφείου, ή κατά την

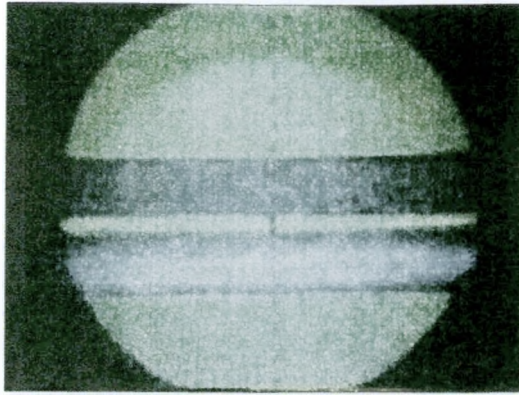
απομάστευση ιών του καλωδίου κορμού σε διαφορετικά καλώδια. Η συνένωση έχει κυρίως την έννοια της μόνιμης σύνδεσης, ενώ οι μηχανικές συνενώσεις χρησιμοποιούνται συνήθως κατά την διάρκεια δοκιμών.

Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η απόσβεση κατά την συνένωση χρησιμοποιούνται ίνες του ίδιου τύπου και κατασκευαστή. Αρχικά αφαιρείται η πρωτεύουσα επικάλυψη και δημιουργούνται τα κατάλληλα προς συγκόλληση άκρα. Η όλη διαδικασία της συγκόλλησης περιγράφεται σχηματικά στο σχήμα 4.8.



**Σχήμα 4.8.** Τα στάδια της αυτοματοποιημένης διαδικασίας συγκόλλησης ιών με σύντηξη των επιφανειών.

Η διαδικασία ευθυγράμμισης των δυο άκρων έχει αυτοματοποιηθεί, με χρήση κατάλληλων διατάξεων μικρομετατόπισης, που φέρουν τους δυο πυρήνες σε φυσική επαφή. Όταν τα άκρα δεν εφάπτονται λόγω της ύπαρξης ακίδων, που έχουν δημιουργηθεί κατά την κοπή, οι ακίδες αυτές καίγονται με ηλεκτρικό σπινθήρα, ώστε οι επιφάνειες να έρθουν σε επαφή. Μετά την ευθυγράμμιση των άκρων, δημιουργείται ηλεκτρικό τόξο στο σημείο επαφής, που τοπικά μαλακώνει το γυαλί συντήκοντας τα δυο μέρη. Η επιφανειακή τάση κατά την διάρκεια της σύντηξης τείνει να ευθυγραμμίσει περαιτέρω τις ίνες ελαχιστοποιώντας την πλευρική μετατόπιση. Η όλη διαδικασία είναι ορατή (σχήμα 4.9α) από το μικροσκόπιο της συσκευής. Η μέση απόσβεση ανά συγκόλληση, όταν αυτή γίνεται με αυτοματοποιημένη διαδικασία από κατάλληλη συσκευή (σχήμα 4.9β) είναι μικρότερη από 0,1 dB για μονότροπες ίνες. Η συγκόλληση προστατεύεται από θερμοσυστελόμενο σωληνίσκο (βλέπε σχήμα 4.27γ), με στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης, σε δυο μεγέθη, 4,5 cm και 6 cm αντίστοιχα. Σε εφαρμογές όπου απαιτείται αποθήκευση συνενώσεων σε μεγάλη πυκνότητα, αντί θερμοσυστελόμενου σωληνίσκου χρησιμοποιείται αναδιπλούμενος μεταλλικός φάκελος (σχήμα 4.9δ).



α) Εικόνα συγκόλλησης ινών όπως φαίνεται από την συσκευή συγκόλλησης



Συσκευή συγκόλλησης του Οίκου Siemens



γ) Θερμοσυστελλόμενοι σωληνίσκοι

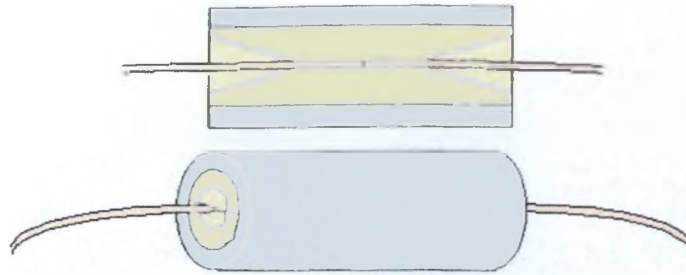


δ) Αναδιπλούμενοι μεταλλικοί φάκελοι

**Σχήμα 4.9. Συγκόλληση οπτικών ινών**

Εκτός από τις μόνιμες συνενώσεις, προτείνεται και ένα πλήθος τεχνικών μηχανικής συγκράτησης για προσωρινή συνένωση με απώλειες σύνδεσης της τάξης του 0,1 dB. Όλες βασίζονται στην χρήση ενός κατάλληλου οδηγού ευθυγράμμισης, υπό μορφή σωλήνα, αυλάκωσης ή ακίδας, που φέρνει σε μηχανική επαφή και συγκρατεί σταθερά τα συνδεόμενα άκρα. Πολλές φορές, χρησιμοποιείται μεταξύ των δυο άκρων και κατάλληλο υλικό προσαρμογής συντελεστή διάθλασης.

Η περιγραφή συγκεκριμένων τεχνικών μηχανικής συνένωσης είναι πέραν από το σκοπό του παρόντος κεφαλαίου. Ενδεικτικά, στο σχήμα 4.10, περιγράφεται ένα συνηθισμένο είδος μηχανικής συνένωσης γνωστή ως ελαστομερής και εικονίζονται τύποι εμπορικά διαθέσιμων μηχανικών συνενώσεων.



α) Η ελαστομερής συνένωση είναι απλή και συναρμολογείται εύκολα. Η ονομαστική απόσβεση είναι 0,2 dB



β) Άλλοι τύποι μηχανικών συνενώσεων ονομαστικής απόσβεσης 0,1 έως 0,2 dB.

**Σχήμα 4.10. Μηχανικές συνενώσεις**

#### **Οργανωτήρες συνενώσεων**

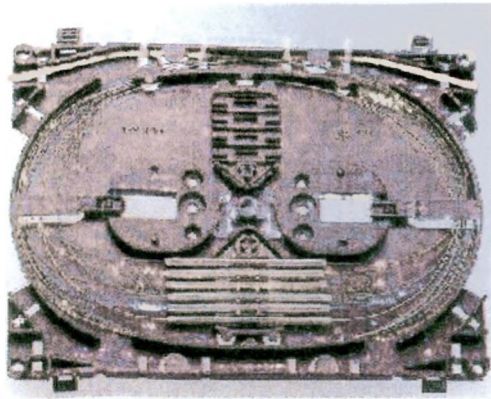
Οι συνενώσεις φυλάσσονται σε πλαστικούς ή μεταλλικούς, κατάλληλα διαμορφωμένους δίσκους που ονομάζονται οργανωτήρες. Οι οργανωτήρες χρησιμοποιούνται σε περιβλήματα συνδέσεως, κουτιά τερματισμού στον χώρο του συνδρομητή και στον κεντρικό κατανεμητή του τηλεπικοινωνιακού κέντρου. Η μορφή του οργανωτήρα διαφέρει ανάλογα με το είδος της εφαρμογής και τον κατασκευαστή.

Στο σχήμα 4.11α, δίδονται κάποια διαφορετικά είδη οργανωτήρων, που χρησιμοποιούνται σε περιβλήματα συνδέσεως του αστικού και υπεραστικού δικτύου.

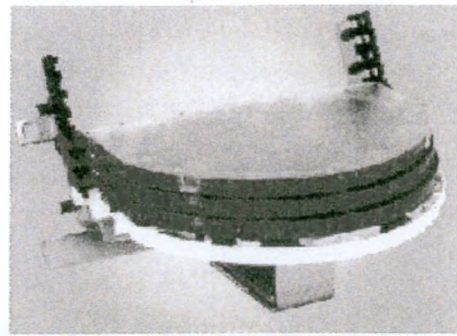
#### **Οργανωτήρες συνενώσεων**

Οι συνενώσεις φυλάσσονται σε πλαστικούς ή μεταλλικούς, κατάλληλα διαμορφωμένους δίσκους που ονομάζονται οργανωτήρες. Οι οργανωτήρες χρησιμοποιούνται σε περιβλήματα συνδέσεως, κουτιά τερματισμού στον χώρο του συνδρομητή και στον κεντρικό κατανεμητή του τηλεπικοινωνιακού κέντρου. Η μορφή του οργανωτήρα διαφέρει ανάλογα με το είδος της εφαρμογής και τον κατασκευαστή.

Στο σχήμα 4.11α, δίδονται κάποια διαφορετικά είδη οργανωτήρων, που χρησιμοποιούνται σε περιβλήματα συνδέσεως του αστικού και υπεραστικού δικτύου.



Οργανωτήρας Οίκου  
CANNON



Οργανωτήρας Οίκου SIEMENS  
(Μονοκυκλω ματικής διαχείρισης)



Οργανωτήρας Οίκου  
Reichle & De- Massari



Οργανωτήρας Οίκου BICC  
(Μονοκυκλω ματικής)



Οργανωτήρας Οίκου RAYCHEM  
(Μονοκυκλω ματικής διαχείρισης)

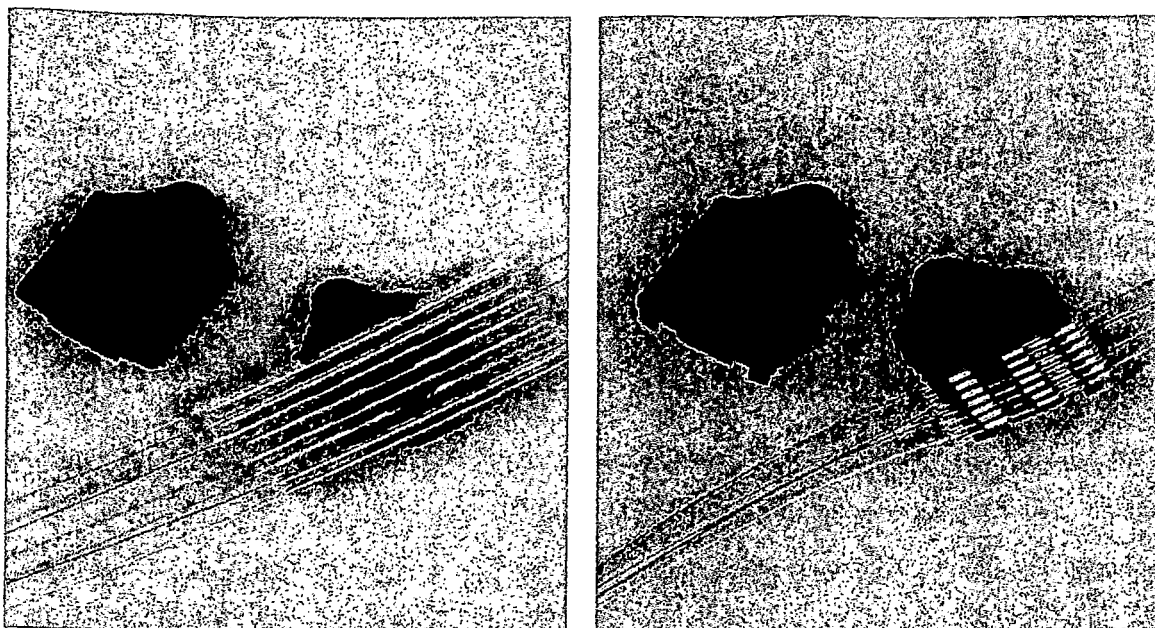
**Σχήμα 4.11α. Οργανωτήρες συνενώσεων διαφόρων κατασκευαστών για περιβλήματα συνδέσεως του υπεραστικού και αστικού δικτύου.**

Για την σταθερή συγκράτηση των συνενώσεων, οι οργανωτήρες περιλαμβάνουν κατάλληλους υποδοχείς θερμοσυστελόμενων σωληνίσκων ή μεταλλικών φακέλων (σχήμα 4.11β).

Η περιεκτικότητα κάθε οργανωτήρα κυμαίνεται από δυο έως δώδεκα συνενώσεις, ανάλογα με το είδος της εφαρμογής. Σε ευθείες ή διακλαδωτικές συνδέσεις όλες οι συνενώσεις των ινών ενός σωληνίσκου περιλαμβάνονται συνήθως σε έναν οργανωτήρα. Αντίθετα, σε εφαρμογές μονοκυκλωματικής διαχείρισης, κάθε οργανωτήρας περιλαμβάνει από δυο έως τέσσερις συνενώσεις, που αντιστοιχούν στο κύκλωμα ενός μόνο συνδρομητή. Για περισσότερες από δώδεκα συνενώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότεροι οργανωτήρες σε σωρό, με κεντρική ή πλευρική στήριξη ανάλογα με το είδος του οργανωτήρα και τον κατασκευαστή.

Εκτός των συνενώσεων ο οργανωτήρας χρησιμοποιείται και για την αποθήκευση 2 έως 2,5 m περίσσειας ίνας ανά συνένωση, με τρόπο ώστε η ακτίνα καμπυλότητας να είναι πάντοτε μεγαλύτερη από 30 mm, για λειτουργία στα 1300 και 1550 nm. Για μελλοντική αναβάθμιση με λειτουργία σε μακρύτερα μήκη κύματος οι οργανωτήρες, πρέπει να είναι διαμορφωμένοι ώστε η ακτίνα καμπυλότητας να είναι 37,5 mm.





Σχήμα 4.11β. Υποδοχείς θερμοσυστελλομένων σωληνίσκων και μεταλλικών φακέλων.

### Σύνδεσμοι

Οι σύνδεσμοι είναι εξαρτήματα για την επαναλαμβανόμενη σύνδεση και αποσύνδεση μιας οπτικής ίνας στην πηγή οπτικού σήματος, τον φωτοανιχνευτή ή με μια άλλη ίνα. Ο σύνδεσμος πρέπει να εξασφαλίζει με ακρίβεια την ευθυγράμμιση των συνδεόμενων μερών με επαναλαμβανόμενο τρόπο. Υπάρχουν περισσότεροι από 70 διαφορετικοί τύποι συνδέσμων. Οι περισσότεροι βασίζονται στην αρχή της “ακίδας σε θήκη”<sup>23</sup>, που εννοεί ότι δυο ακίδες (δηλαδή σύνδεσμοι) συνδέονται σε μια θήκη (δηλαδή προσαρμογέα συνδέσμων). Τα άκρα των οπτικών ινών στερεώνονται με κατάλληλη εποξική ουσία σε κυλινδρικές ακίδες που ονομάζονται περιδέσμοι<sup>24</sup>. Οι περιδέσμοι είναι συνήθως κατασκευασμένοι από κατάλληλο υλικό (ζιρκόνιο), που έχει επιλεγεί ως το πλέον κατάλληλο, λόγω ταύτισης του συντελεστή διαστολής του με τον αντίστοιχο του γυαλιού, ευκολίας συγκόλλησης με εποξικές ρυτίνες και κατάλληλης σκληρότητας για γρήγορη και αποτελεσματική λείανση της οπτικής ίνας. Απαιτείται μεγάλη κατασκευαστική ακρίβεια και η ανοχή ως προς την εκκεντρότητα της ίνας είναι 0,7 μm για μονότροπες και 1,5 μm για πολύτροπες ίνες.

Οι διάφορες τεχνικές, που χρησιμοποιούνται για την συγκράτηση της ίνας στον περιδέσμο, περιλαμβάνουν:

A) **Χρήση εποξικής ρυτίνης.** Η ίνα κολλάται στον περιδέσμο με εποξική ρυτίνη, που γεμίζει το εσωτερικό του περιδέσμου, και πήζει θερμαίνοντας για 10 min στους 90°C.

Χρησιμοποιείται στα περισσότερα είδη συνδέσμων, λόγω του χαμηλού κόστους, της υψηλής αξιοπιστίας και των μικρών απωλειών. Προτιμάται κυρίως για τον μαζικό τερματισμό οπτικών ινών σε συνδέσμους.

B) **“Θερμή Τήξη”<sup>25</sup>.** Η εποξική ρυτίνη περιέχεται ήδη εντός του περιδέσμου σε στερεά μορφή. Μετά την εισαγωγή της ίνας στον περιδέσμο η εποξική ρυτίνη υγροποιείται με θέρμανση για 2 min στους 150°C και πήζει κατά την ψύξη. Διακρίνονται για την ευκολία

<sup>23</sup> Απόδοση του όρου pin-in-sleeve.

<sup>24</sup> Απόδοση του όρου ferrule.

<sup>25</sup> Απόδοση του όρου Hot Melt που είναι καταχωρημένη εμπορική ονομασία προϊόντος του Οίκου 3M.

στην χρήση, τις μικρές απώλειες και την μεγαλύτερη ταχύτητα τερματισμού. Κοστίζει όμως περισσότερο γιαυτό και προτιμάται για μικρό γενικά αριθμό συνδέσεων.

Γ) **Μηχανική συγκράτηση**. Αποφεύγουν τις εποξικές ρυτίνες, χρησιμοποιώντας μια ειδικά διαμορφωμένη πτύχωση για μηχανική συγκράτηση της ίνας. Διακρίνονται από μικρότερη αξιοπιστία, μεγαλύτερες απώλειες και μεγαλύτερο κόστος<sup>26</sup> από τις προηγούμενες τεχνικές για αυτό και χρησιμοποιούνται σπάνια και για μικρές ποσότητες συνδέσεων.

Δ) **Αναεροβικοί<sup>27</sup> σύνδεσμοι**. Η εποξική ρυτίνη αντικαθίσταται από ειδική κόλλα ταχείας πήξης με κατάλληλο ενεργοποιητή πήξης, χωρίς να χρειάζεται θέρμανση. Λειτουργούν ικανοποιητικά, αλλά απαιτείται εξάσκηση, προκειμένου να αποφεύγεται η πήξη της κόλλας πριν την κατάλληλη εισαγωγή της ίνας στον περιδέσμο. Σε αντίθετη περίπτωση ο σύνδεσμος καθίσταται άχρηστος.

Ε) **Συγκόλληση σε προλειασμένο άκρο**. Πολλοί κατασκευαστές διαθέτουν συνδέσμους, που έχουν ένα μικρό μήκος ίνας κολλημένο με εποξική ρυτίνη στο εσωτερικό του περιδέσμου και κατάλληλα προλειασμένο. Ο τερματισμός της ίνας γίνεται με συγκόλληση στο άλλο άκρο εντός του περιδέσμου. Αν και ως ιδέα φαίνεται εξαιρετική στην πράξη οι σύνδεσμοι αυτού του τύπου είναι 5 έως 10 φορές ακριβότεροι, απαιτούν ειδική συσκευή συγκόλλησης και υπάρχει αβεβαιότητα ως προς την προέλευση της απώλειας, που είναι συνήθως μεγαλύτερη από τις προηγούμενες τεχνικές.

Ο προσαρμογέας συνδέσεων εξασφαλίζει την ακριβή οδήγηση των περιδέσμων, έτσι ώστε οι πυρήνες των δυο ινών να είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένοι. Κατασκευάζεται από κατάλληλο κεραμικό υλικό (ζιρκόνιο) ή μέταλλο (κράμμα χαλκού και νικελίου).

Η ποιότητα της σύνδεσης μέσω συνδέσεων και προσαρμογέα καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από δυο μεγέθη απωλειών, την απώλεια παρεμβολής και την απώλεια επιστροφής. Η απώλεια παρεμβολής αναφέρεται στο σύνολο των απωλειών του σημείου σύνδεσης και υπολογίζεται από τον λόγο της ισχύος του οπτικού σήματος πριν και μετά την σύνδεση. Σε συνδέσμους μονότροπων οπτικών ινών η απώλεια παρεμβολής πρέπει να είναι μικρότερη από 0,5 dB. Η απώλεια επιστροφής αναφέρεται στο ποσοστό της ισχύος του σήματος, που ανακλάται στην επιφάνεια της σύνδεσης και επιστρέφει προς την πηγή. Οι ανακλάσεις αυτές μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στην λειτουργία της πηγής (κυρίως για αναλογική μετάδοση) και για τον λόγο αυτό, η απώλεια επιστροφής πρέπει να είναι το δυνατό μικρότερη (μεγάλη τιμή σε dB).

Τα μεγέθη των απωλειών εξαρτώνται από τον τρόπο λείανσης της επιφάνειας του περιδέσμου. Χρησιμοποιούνται τρεις διαφορετικοί τρόποι λείανσης, τα χαρακτηριστικά των οποίων περιγράφονται στον πίνακα 4.2.

---

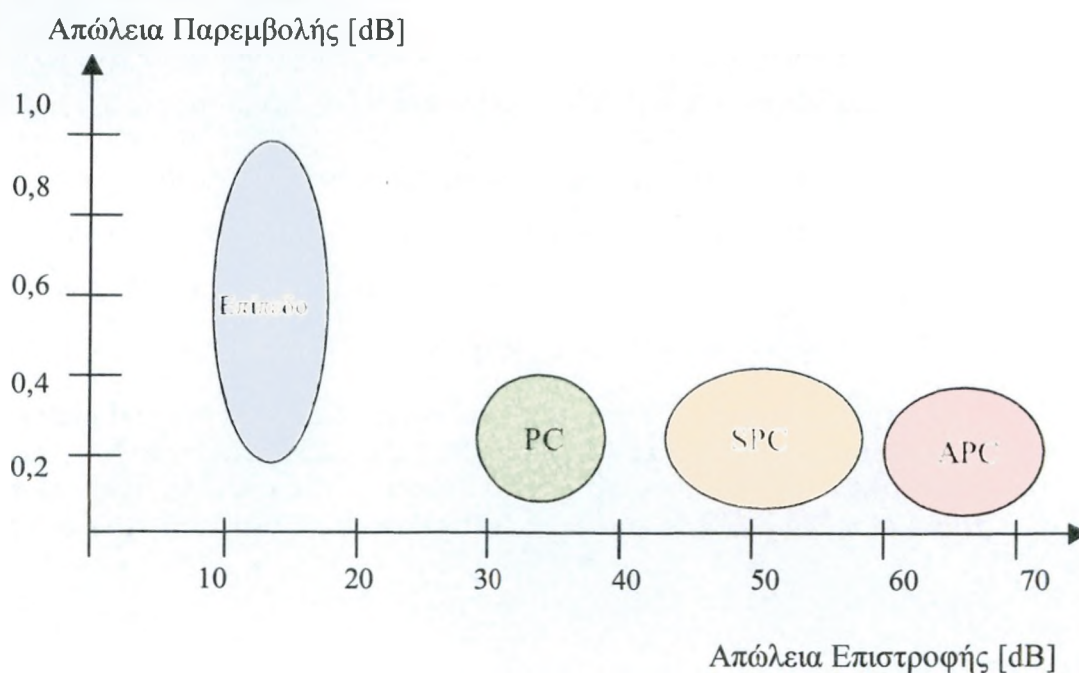
<sup>26</sup> Κόστος συνδέσμου \$10-15 (τιμές 2000)

<sup>27</sup> Αποδίδεται ο όρος anaerobic.

Είδος Λείανσης	Απώλεια Επιστροφής	
Επίπεδη επιφάνεια με κενό αέρα μεταξύ των επιφανειών.	14 dB	
Σφαιρικά γυαλισμένα άκρα με άμεση επαφή. PC – Physical Contact SPC – Super PC	> 27 dB > 40 dB	
Γωνιακά γυαλισμένοι με κυρτά άκρα (8° ή 9°) APC – Angled Physical Contact	>60 dB	

Πίνακας 4.2. Τρόποι λείανσης

Η συνολική επίδοση (απώλειες εισαγωγής και επιστροφής) για τα διαφορετικά είδη επαφής συνδέσμων δίδεται στο σχήμα 4.12.



Σχήμα 4.12 Σύγκριση επιδόσεων διαφορετικού τύπου συνδέσμων.

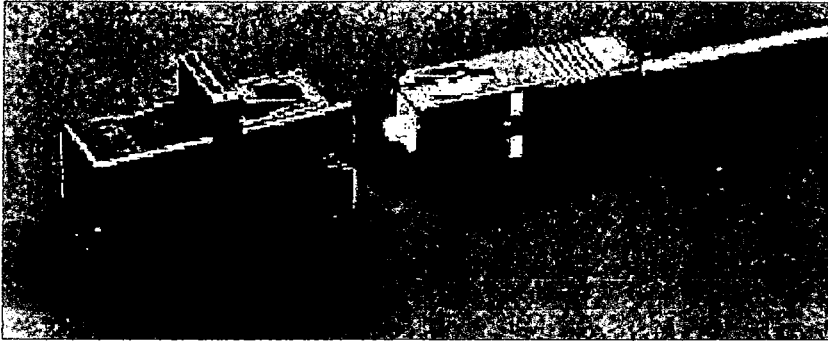
Οι σύνδεσμοι διατίθενται ως απλοί (simplex) ή διπλοί (duplex), σε οικογένειες που περιλαμβάνουν τον σύνδεσμο σε μορφή βύσματος, τον διπλό προσαρμογέα και τον υποδοχέα ενεργού εξοπλισμού. Κατηγοριοποιούνται επίσης με βάση την εξωτερική τους εμφάνιση και τον μηχανισμό ασφάλισης. Διακρίνονται τα κάτωθι βασικά είδη συνδέσμων:

- ST (Straight Tail): Αναπτύχθηκε από την AT&T για πολύτροπες ίνες σε δίκτυα LAN. Χρησιμοποιείται μηχανισμός ασφάλισης τύπου μπαγιονέτ. Η απώλεια εισαγωγής είναι <math><0,5\text{ dB}</math>.
- SC (Subscriber Connector): Αναπτύχθηκε από την NTT για χρήση στο δίκτυο πρόσβασης και σε δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης και τοπικά δίκτυα. Επιτυγχάνεται μεγάλη πυκνότητα σύνδεσης. Χρησιμοποιείται μηχανισμός ασφάλισης τύπου κουμπώματος. Διατίθεται ως PC και APC με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
  - PC: Απώλεια εισαγωγής <math><0,5\text{ dB}</math>, Απώλεια επιστροφής <math>> 27\text{dB}</math>
  - APC: Απώλεια εισαγωγής <math><0,5\text{ dB}</math>, Απώλεια επιστροφής <math>> 60\text{ dB}</math>
- FC (Fibre Connector): Αναπτύχθηκε από την NTT για το ινοοπτικό δίκτυο και είναι το πλέον διαδεδομένο είδος συνδέσμου, αν και δεν επιτυγχάνεται μεγάλη πυκνότητα σύνδεσης. Χρησιμοποιείται μηχανισμός ασφάλισης με σπείρωμα. Διατίθεται κυρίως PC με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
  - Απώλεια εισαγωγής <math><0,5\text{ dB}</math>, Απώλεια επιστροφής <math>> 27\text{dB}</math>
- DIN: Χρησιμοποιούνται αποκλειστικά από τον Γερμανικό τηλεπικοινωνιακό οργανισμό, αν και τελευταία τείνει και εκεί να αντικατασταθεί από συνδέσμους τύπου SC.
- E2000: Αναπτύχθηκε από την εταιρία Diamond και περιλαμβάνει ενσωματωμένο κάλυμμα προστασίας της επιφάνειας του συνδέσμου. Παρέχεται σε μορφή APC και SPC με επίδοση και πυκνότητα σύνδεσης αντίστοιχη του SC. Αποτελεί τον πλέον εξελιγμένο τύπο συνδέσμου για τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές.

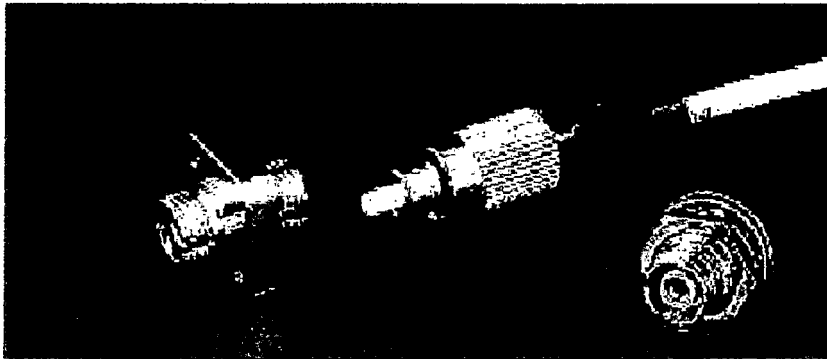
Εκτός των ανωτέρω τύπων, που φαίνονται στο σχήμα 4.13α, υπάρχει και μια μεγάλη ποικιλία άλλων συνδέσμων (βλέπε σχήμα 4.13β) από διαφορετικούς κατασκευαστές, που βρίσκονται ακόμη στο στάδιο της τυποποίησης<sup>28</sup>. Οι νέοι τύποι συνδέσμων είναι σημαντικά μικρότεροι σε μέγεθος, έχουν χαμηλότερο κόστος και επιτρέπουν μεγαλύτερη πυκνότητα τερματισμού.

---

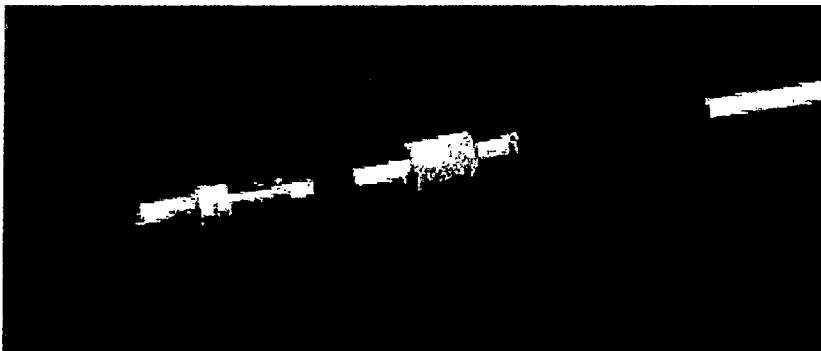
<sup>28</sup> Βλέπε IEC 61754 : Fibre Optic Connector Interfaces. Ενδεικτικά : MT-RJ (AMP και SIECOR), VG (3M Volition), LC (LUCENT), OPTI-JACK (PANDUIT) και SC-DC/QC (SIECOR και IBM).



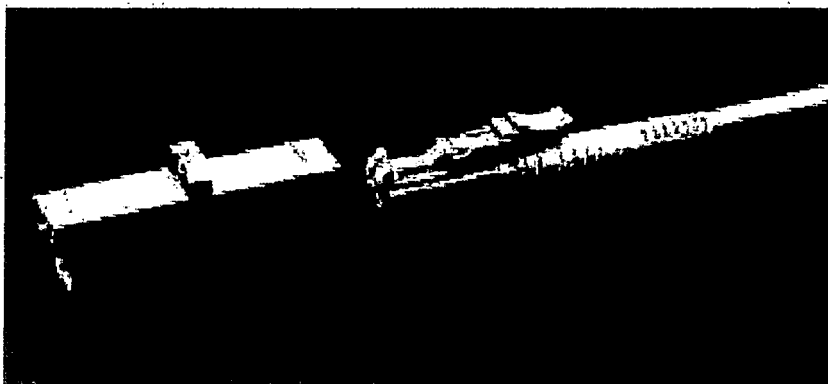
Σύνδεσμος  
τύπου SC



Σύνδεσμος  
τύπου FC

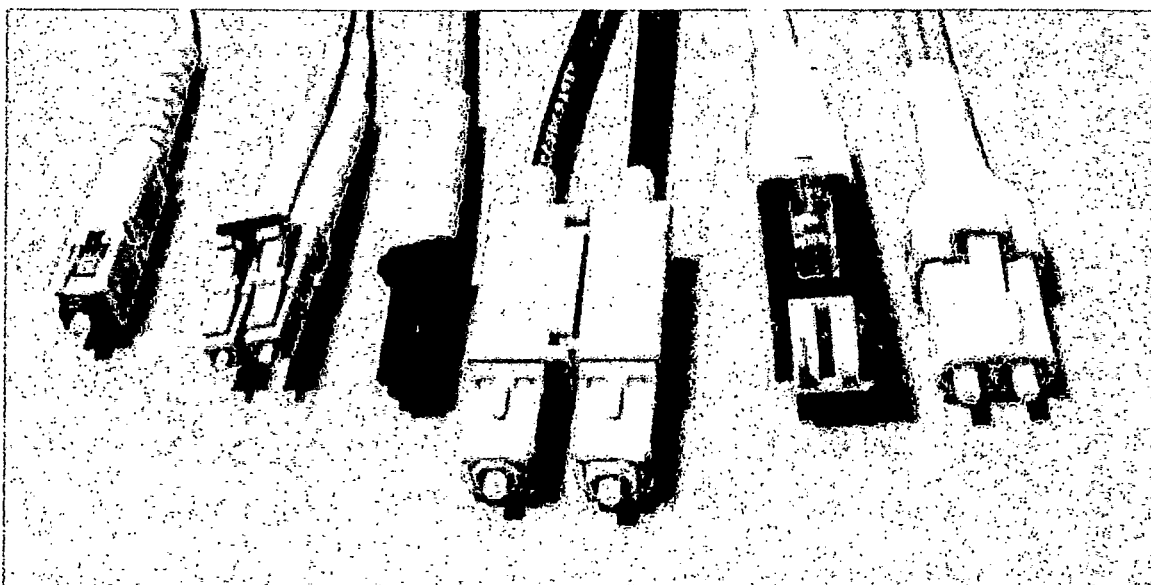


Σύνδεσμος  
τύπου DIN



Σύνδεσμος  
τύπου E2000

Σχήμα 4.13α Τύποι Συνδέσμων (βύσμα και διπλός προσαρμογέας)



**Σχήμα 4.13β. Νεότεροι τύποι συνδέσμων. Από αριστερά: SC-DC, LC, MT-RJ, ο υφιστάμενος Duplex SC (σύγκριση μεγέθους), ο VG και ο OPTI-JACK.**

### **Περιβλήματα συνδέσεως**

Τα περιβλήματα συνδέσεως<sup>29</sup> χρησιμοποιούνται για την σύνδεση δυο ή περισσότερων ινοοπτικών καλωδίων σε εξωτερικό χώρο, περικλείοντας ερμητικά τους οργανωτήρες συνενώσεων και προστατεύοντας τους από τις περιβαλλοντολογικές επιδράσεις. Τοποθετούνται σε φρεάτια, θάβονται εντός του εδάφους ή κρέμονται από στύλους σε περίπτωση εναέριου δικτύου.

Τα περιβλήματα συνδέσεως φιλοξενούν τα ακόλουθα είδη συνδέσεων ινοοπτικών καλωδίων:

**A) Η Ευθεία σύνδεση:** Ονομάζεται η σύνδεση ενός εισερχόμενου με ένα εξερχόμενο καλώδιο ίδιου αριθμού ινών και χρησιμοποιείται για επέκταση μιάς ζεύξης πέραν του καλωδιακού μήκους ενός στροφείου. Σε περίπτωση που η ευθεία σύνδεση γίνεται κατά την εισαγωγή ενός καλωδίου στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο, συνδέοντας το με καλώδιο εσωτερικού χώρου (βραδύκαυστου μανδύα), η σύνδεση λέγεται τερματική.

**B) Η Διακλαδωτική σύνδεση:** Ονομάζεται η σύνδεση ενός εισερχόμενου καλωδίου με περισσότερα του ενός απερχόμενα καλώδια μικρότερης χωρητικότητας. Ο συνολικός αριθμός εισερχόμενων και εξερχόμενων ινών είναι συνήθως ίδιος. Η διακλαδωτική σύνδεση χρησιμοποιείται για την απομάστευση των ινών ενός μεγάλης χωρητικότητας καλωδίου σε μικρότερα καλώδια, που ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές.

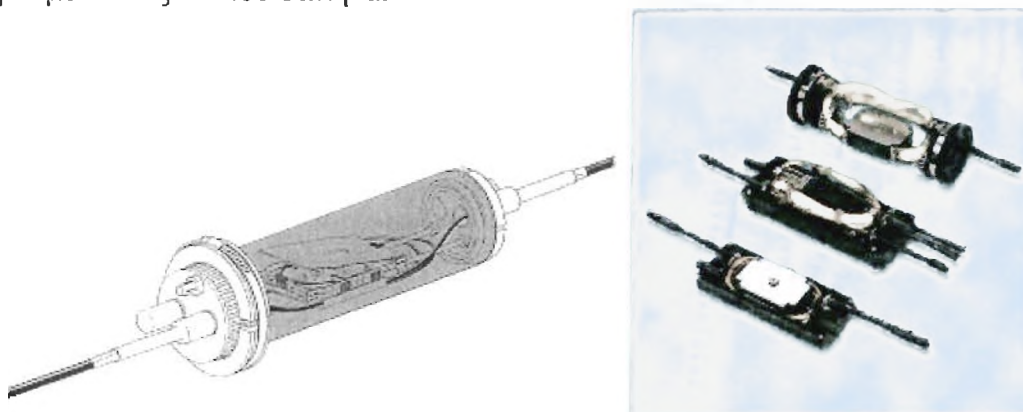
**Γ) Η Κομβική σύνδεση:** Στην περίπτωση αυτή, κάποιες από τις ίνες ενός διερχόμενου καλωδίου κορμού διασυνδέονται με τις ίνες ενός καλωδίου μικρής χωρητικότητας, ενώ οι υπόλοιπες περνούν διαβατικά χωρίς να αποκόπτονται. Το είδος αυτό της σύνδεσης χρησιμοποιείται τόσο στο υπεραστικό δίκτυο, για την τροφοδοσία μικρών κέντρων όσο και στο αστικό δίκτυο, για την σύνδεση των μονάδων τερματισμού με το καλώδιο κορμού.

Τα περιβλήματα συνδέσεως εκτός των οργανωτήρων περιλαμβάνουν το πλαίσιο στήριξης, εξαρτήματα συγκράτησης των στοιχείων μηχανικής ενίσχυσης των καλωδίων, αγωγούς συνέχειας του αλουμινομανδύα και χώρο κατάλληλο για την αποθήκευση περίσσειας ίνας και σωληνίσκων. Το εξωτερικό περίβλημα είναι συνήθως από πολυαιθυλένιο ή πολυπροπυλένιο. Είναι ανθεκτικό σε κρούση και παρουσιάζει μικρή διαπερατότητα σε υδρατμούς, μεγάλη

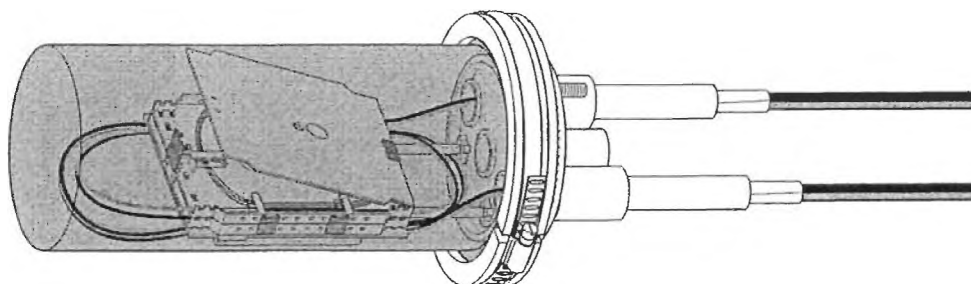
<sup>29</sup> Κοινώς μούφες.

αντοχή σε χημικά, και υπεριώδη ακτινοβολία, ώστε να παρέχει επαρκή προστασία στο περιεχόμενό του από μηχανικές καταπονήσεις και περιβαλλοντικές επιδράσεις καθ' όλη την διάρκεια ζωής του καλωδίου. Η στεγανοποίηση του περιβλήματος στα σημεία εισόδου των καλωδίων γίνεται συνήθως με θερμοσυστελλόμενα, σπανιότερα δε και με μηχανικό τρόπο. Αν και η εξωτερική εικόνα, που παρουσιάζουν τα περιβλήματα συνδέσεως, ποικίλει ανάλογα με το είδος της εφαρμογής και τον κατασκευαστή, περισσότερο συνηθισμένες είναι οι μορφές σωλήνα και θόλου (σχήμα 4.14α,β).

**Μορφή σωλήνα:** Τα περιβλήματα σε μορφή σωλήνα χρησιμοποιούνται συνήθως στο υπεραστικό δίκτυο για άμεση ταφή. Χαρακτηρίζονται από την δυνατότητα διέλευσης των καλωδίων και από τα δυο άκρα του σωλήνα, ενώ οι οργανωτήρες τοποθετούνται κεντρικά, παράλληλα με τον άξονα του σωλήνα.



α) Περιβλήματα συνδέσεως μορφής σωλήνα (Περιβλήματα Οίκου Siemens).



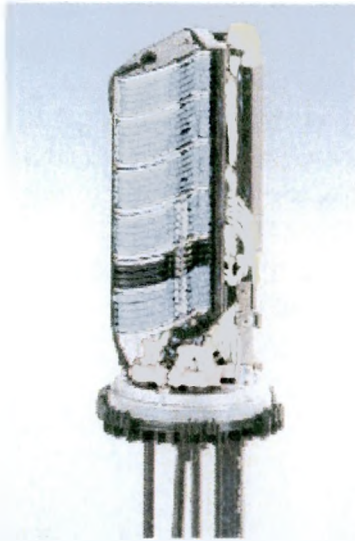
β) Περίβλημα συνδέσεως μορφής θόλου.

**Σχήμα 4.14 Σχηματικά περιβλημάτων συνδέσεως.**

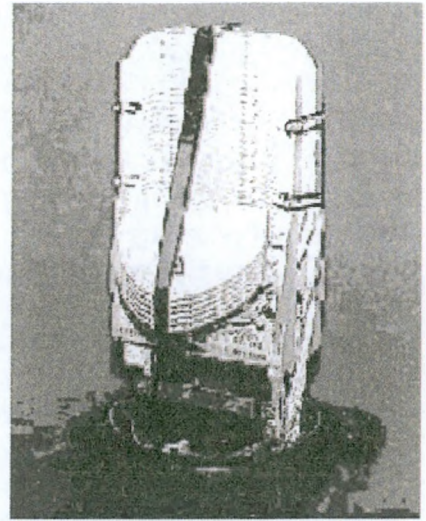
**Μορφή θόλου:** Τα περιβλήματα σε μορφή θόλου τοποθετούνται συνήθως σε φρεάτια ή κρέμονται από στύλους με εφαρμογή τόσο στο υπεραστικό όσο και στο αστικό δίκτυο<sup>30</sup>. Διαθέτουν μια μόνο βάση εισόδου/εξόδου των καλωδίων, με κατάλληλη είσοδο για το διερχόμενο καλώδιο. Οι οργανωτήρες τοποθετούνται κάθετα στον άξονα του θόλου, αυξάνοντας έτσι τη μέγιστη χωρητικότητα σε οργανωτήρες.

Στο δίκτυο πρόσβασης ο ΟΤΕ χρησιμοποιεί περιβλήματα συνδέσεως μονο-κυκλωματικής διαχείρισης, που διακρίνονται από μεγάλη χωρητικότητα σε οργανωτήρες (άνω των 40). Τα περιβλήματα αυτά δίδονται στο σχήμα 4.15α, β.

<sup>30</sup> Σε μονοκυκλωματική διαχείριση.



α) Περίβλημα Οίκου Siemens (RXS)



β) Περίβλημα Οίκου Raychem.

**Σχήμα 4.15 Περιβλήματα συνδέσεως μονοκυκλωματικής διαχείρισης**

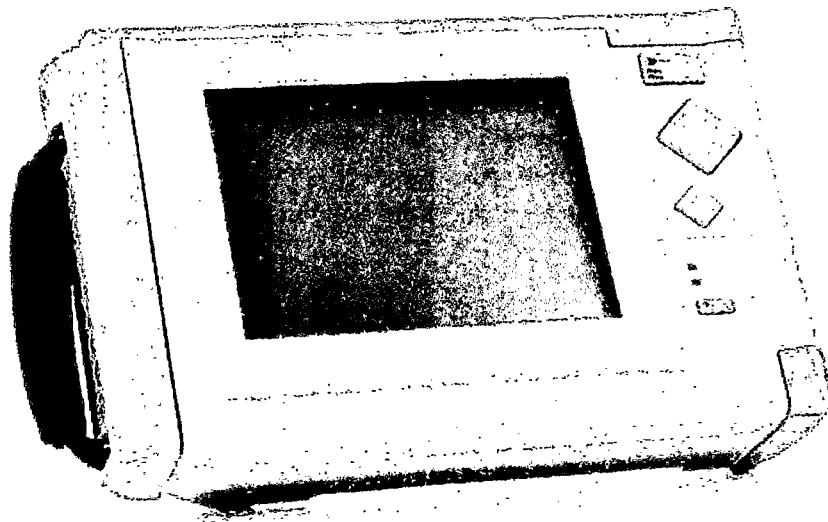


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### OTDR & ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

#### 5.1 Εισαγωγή

Το OTDR είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται ευρέως για τον έλεγχο ποιότητας εγκατεστημένων ή προς εγκατάσταση καλωδίων και τον ευρύτερο χαρακτηρισμό τους όσον αφορά τις απώλειες που εμφανίζουν κατά το μήκος τους. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην διαδικασία εύρεσης σημείων που προκαλούν τη διακοπή μίας ζεύξης ή την υπερβολική υποβάθμισή της από πλευράς ισχύος. Ένα τυπικό OTDR εικονίζεται στο σχήμα 5.1.



**Σχήμα 5.1 OTDR HP E6000B**

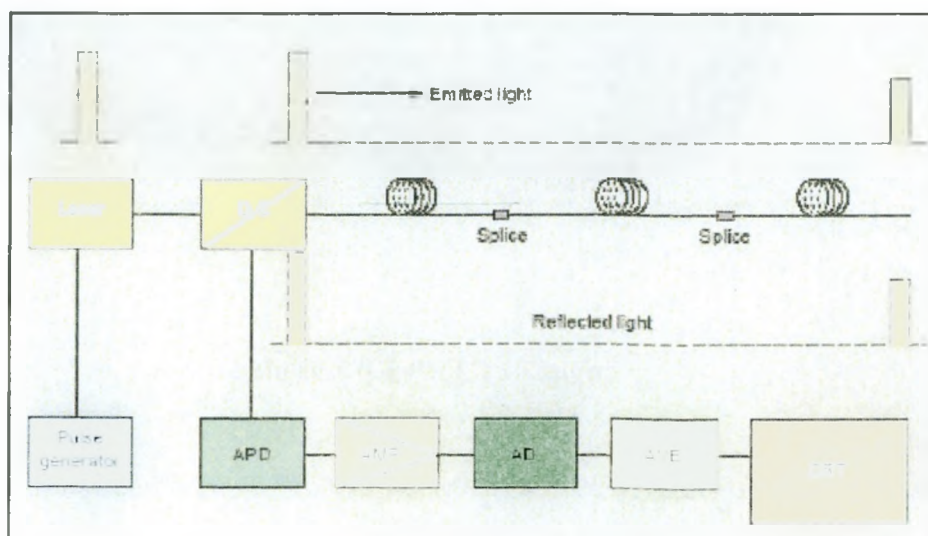
Συγκεκριμένα η χρησιμότητά τους αναδεικνύεται σε μια σειρά από μετρήσεις όπως:

1. Μέτρηση αποστάσεων
2. Μέτρηση εξασθένησης οπτικών ινών, οπτικών ζεύξεων, συγκολλήσεων και συνδέσεων

3. Ανίχνευση τοπικών διαταραχών εξασθένησης
4. Μέτρηση ανακλάσεων σε συνδέσεις ή στο τέλος μίας οπτικής ζεύξης.

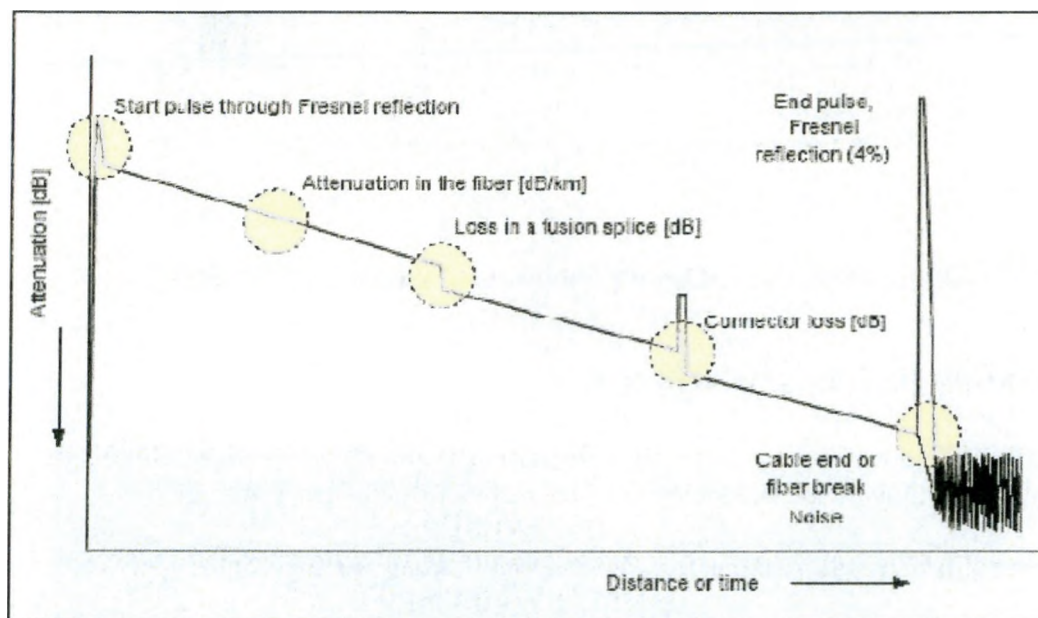
## 5.2 Αρχή Λειτουργίας του OTDR

Όπως φαίνεται και από το όνομα του οργάνου, το OTDR λειτουργεί με βάση τη διάδοση φωτός σε οπτική κατά την διάρκεια συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Σχηματικά η λειτουργία του αποδίδεται στο σχήμα 5.2. Μία γεννήτρια σχετικά στενών ηλεκτρικών παλμών (π.χ. 0,01μs έως 0,1μs) παράγει τους παλμούς αυτούς ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Οι παλμοί αυτοί οδηγούν μία διοδική πηγή laser η οποία παράγει μία διαμορφωμένη δέσμη φωτός που στέλνεται μέσω ενός κατευθυντικού συζευκτή στην οπτική ίνα. Λόγω των εγγενών ανωμαλιών που χαρακτηρίζουν την οπτική ίνα αλλά και λόγω ασυνεχειών (συνδετήρες, συγκολλήσεις, τέλος μιας ζεύξης) κατά την διάδοση συγκεκριμένη ποσότητα φωτός θα επιστρέψει στο όργανο μέσω σκέδασης Rayleigh ή ανακλάσεων. Η επιστρεφόμενη δέσμη θα ανιχνευθεί από μια φωτοδίοδο χιονοστιβάδας (Avalanche Photodiode, APD) και το ηλεκτρικό σήμα που θα παραχθεί από αυτή ενισχύεται από ενισχυτική βαθμίδα που γίνεται αντικείμενο επεξεργασίας από εσωτερικό μικροϋπολογιστή. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές και έτσι τα αποτελέσματα που προβάλλονται στην οθόνη του οργάνου προκύπτουν από στατιστική επεξεργασία. Η ισχύς του σήματος απεικονίζεται στο  $\nu$  κάθετο άξονα του οργάνου και η απόσταση, που έχει υπολογισθεί από τον χρόνο διάδοσης στον οριζόντιο.



Σχήμα 5.2. Σχηματική αναπαράσταση των βασικών δομικών στοιχείων της διάταξης OTDR

Το σύστημα συντεταγμένων απεικονίζεται μαζί με άλλα χρήσιμα στοιχεία στην οθόνη του οργάνου. Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται ένα πρότυπα της μέτρησης που διενεργεί το OTDR. Στην επόμενη παράγραφο θα δούμε με ποιο ακριβώς τρόπο μπορεί και εξάγει συμπεράσματα για τα διάφορα μεγέθη που καλείτε να αξιολογήσει.



Σχήμα 5.3 Απλοποιημένο διάγραμμα από OTDR

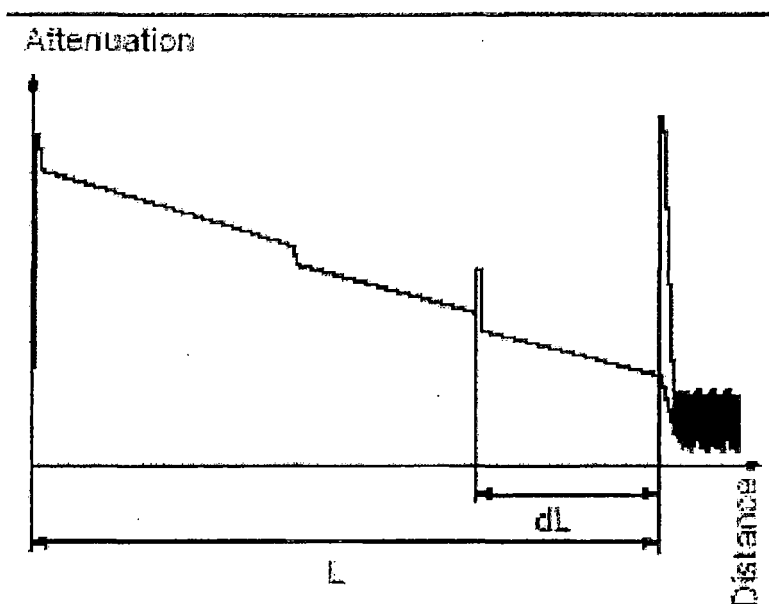
### Μέτρηση Απόστασης ίνας

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

$$L = vt/2 = ct/2n \quad (1)$$

Όπου  $v$  η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στην οπτική ίνα,  $t$  ο χρόνος που απαιτείται να διαδοθεί και να ανακλαστεί το φως πίσω στο όργανο,  $L$  το μήκος της οπτικής ίνας,  $c$  η ταχύτητα του φωτός στο κενό και  $n$  ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα της οπτικής ίνας. Στην ουσία το όργανο μετράει το χρόνο διάδοσης και επιστροφής της φωτεινής δέσμης και έχοντας και έχοντας μια τιμή του δείκτη διάθλασης  $n$  υπολογίζει το μήκος με βάση την σχέση 1. Είναι

λοιπόν προφανές ότι η σωστή επιλογή δείκτη διάθλασης παίζει σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια της μέτρησης.



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

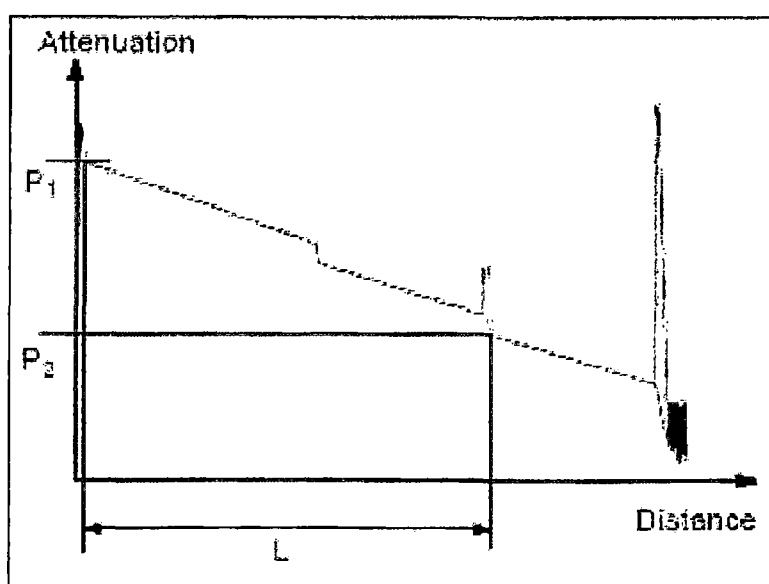
#### Απώλεια Οπτικής Ισχύος- Εξασθένηση

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

$$A = P_1 - P_2 \text{ (Db)}$$

Η εξασθένηση αντίστοιχα υπολογίζεται διαιρώντας με το αντίστοιχο διάστημα

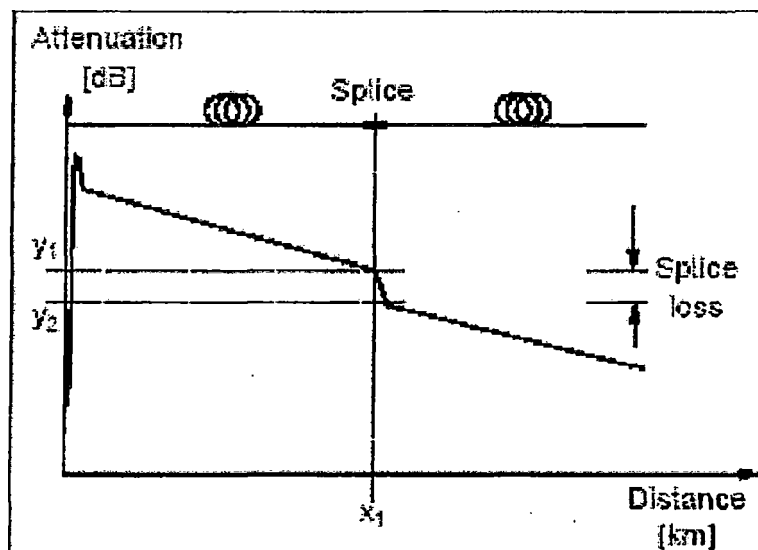
$$A = P_1 - P_2 / L \text{ (dB/km)}$$



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

## Μέτρηση της Εξασθένησης σε μία συγκόλληση ή ένα συνδετήρα

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



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

## Ρυθμίσεις ενός OTDR

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

### Νεκρή ζώνη

Κάθε συγκόλληση ή συνδετήρας προκαλούν μια παρενόχληση στο διαδιδόμενο και ανακλώμενο οπτικό σήμα. Αυτού του είδους η επίδραση επιβάλλει μια ζώνη συγκεκριμένου μήκους μετά την ένωση για την οποία δεν είναι δυνατό να μελετήσουμε το οτιδήποτε. Για παράδειγμα η συγκόλληση που βρίσκεται στο εσωτερικό ενός κατανεμητή (Optical Distribution Frame) δεν είναι δυνατόν να ανιχνευθεί από ένα OTDR, αφού πριν από αυτή υπάρχει ο συνδετήρας που ενώνει την οπτική ίνα με τον κατανεμητή. Επίσης για μια οπτική ίνα που έχει συγκολληθεί δυο φορές σε απόσταση μερικών μέτρων (έως 3μ) δεν είναι δυνατή η διάκριση των δυο συγκολλήσεων από το όργανο. Αντί αυτών θα φανεί μια συγκόλληση της οποίας οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των επιμέρους απωλειών.

## **Εύρος Παλμών**

Η “νεκρή” ζώνη μπορεί να περιοριστεί σε μέγεθος αν οι παλμοί που εκπέμπονται από το OTDR είναι όσο το δυνατό στενότερου εύρους. Δυστυχώς μια τέτοια ρύθμιση δεν είναι άμοιρη μειονεκτημάτων, μιας και οι στενοί παλμοί δεν είναι δυνατόν να διαδίδονται για μεγάλες αποστάσεις. Σε αυτήν την περίπτωση λοιπόν περιορίζεται η ικανότητα του οργάνου για τον καθορισμό χαρακτηριστικών στις μεγάλες αποστάσεις. Συμπερασματικά, οι μεγάλοι εύρους παλμοί είναι κατάλληλοι (1μς)για τον χαρακτηρισμό μιας οπτικής ζεύξης μεγάλης σχετικά απόστασης(>40km), με τίμημα την μεγέθυνση της νεκρής ζώνης. Αντίθετα οι στενοί παλμοί αυξάνουν τη διακριτική ικανότητα του οργάνου, μειώνοντας το μήκος της νεκρής ζώνης, αλλά ταυτόχρονα λόγω της ευαισθησίας τους, μειώνουν την απόκριση του οργάνου στις μεγάλες αποστάσεις. Συνήθως η σωστή ρύθμιση επιτυγχάνεται από την αυτόματη λειτουργία που διαθέτουν σαν επιλογή σχεδόν όλα τα εμπορικά διαθέσιμα όργανα. Η αυτόματη λειτουργία που διαθέτουν σαν επιλογή σχεδόν όλα τα εμπορικά διαθέσιμα όργανα. Η αυτόματη λειτουργία επιλέγει το σωστό εύρος παλμών με κριτήριο την όσο το δυνατόν καλύτερη απόδοσή του για τον ικανοποιητικό καθορισμό όλων των χαρακτηριστικών της ζεύξης.

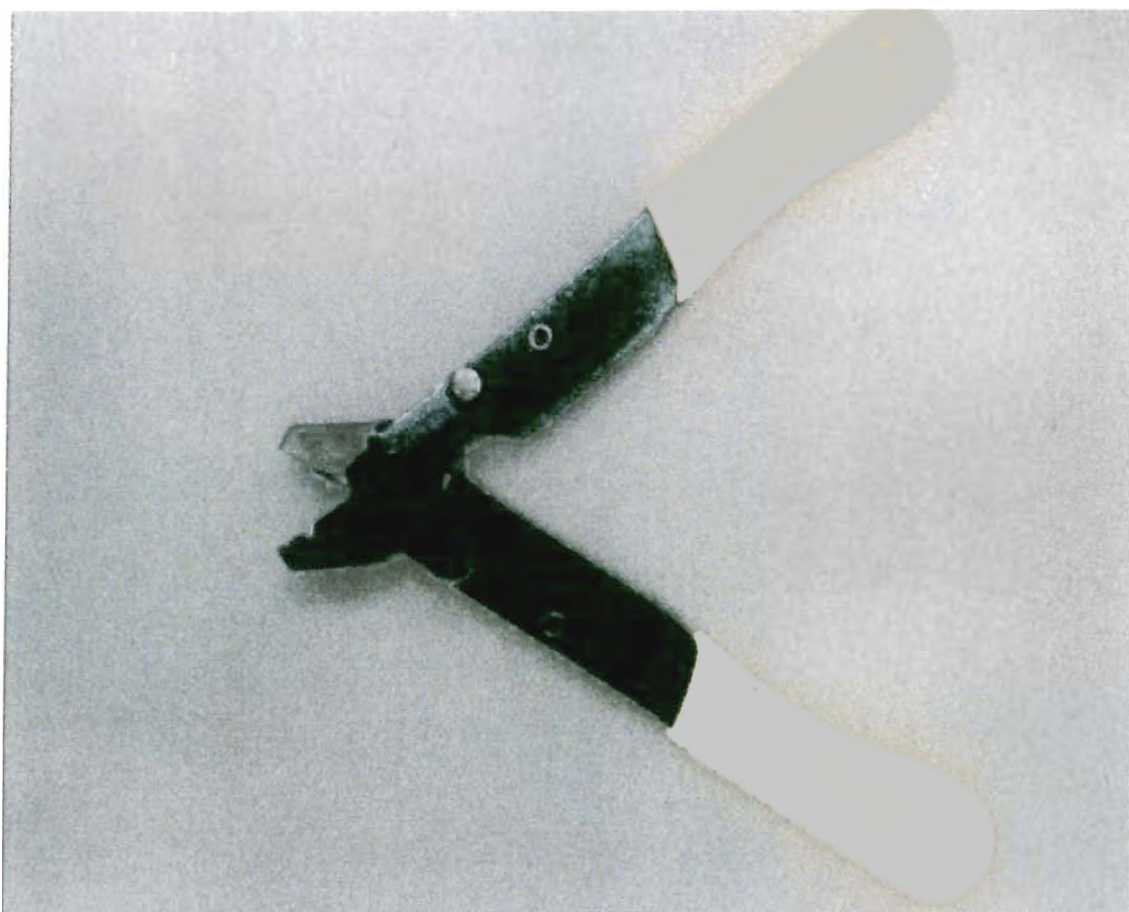
## **Δυναμική Περιοχή**

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

### 5.3 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΜΕ SPLICER SUMITOMO SUMIOFCAS TYPE 37



Εικόνα 5.1 Sumitomo Sumiofcas Type 37

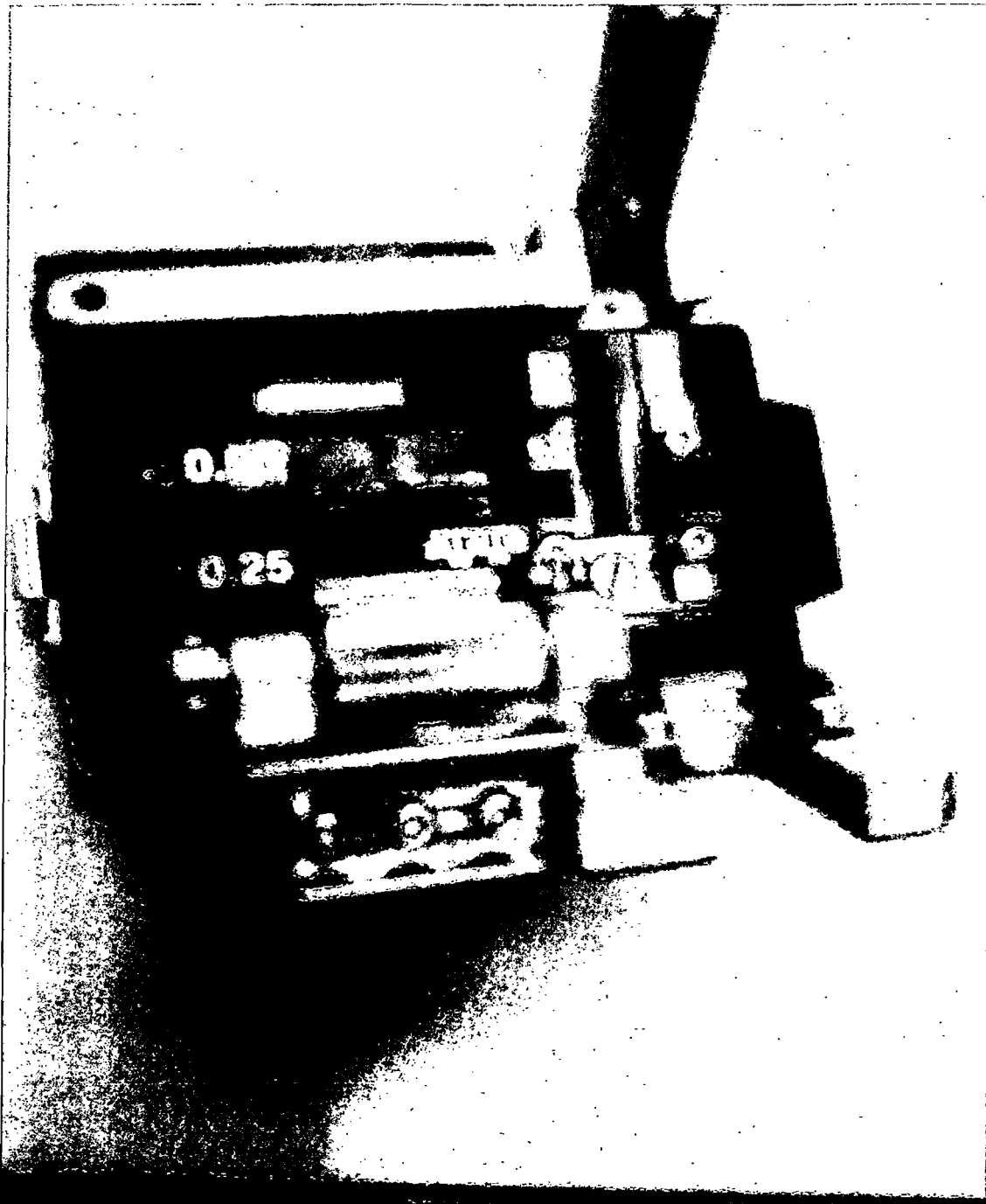


**Εικόνα 5.2** Ειδικό εργαλείο αφαίρεσης υποστρώματος μιας ίνας

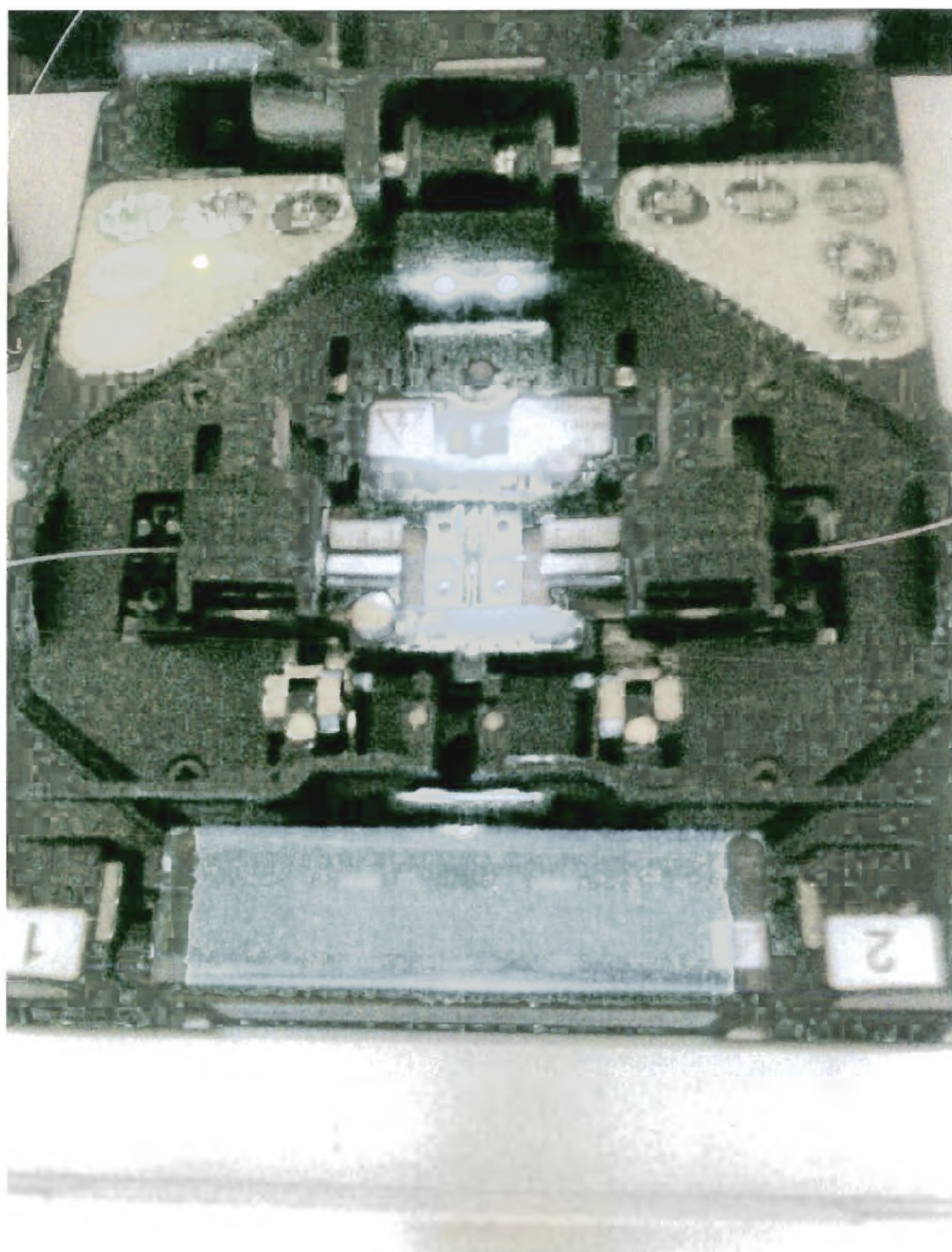


## Κοπή ίνας

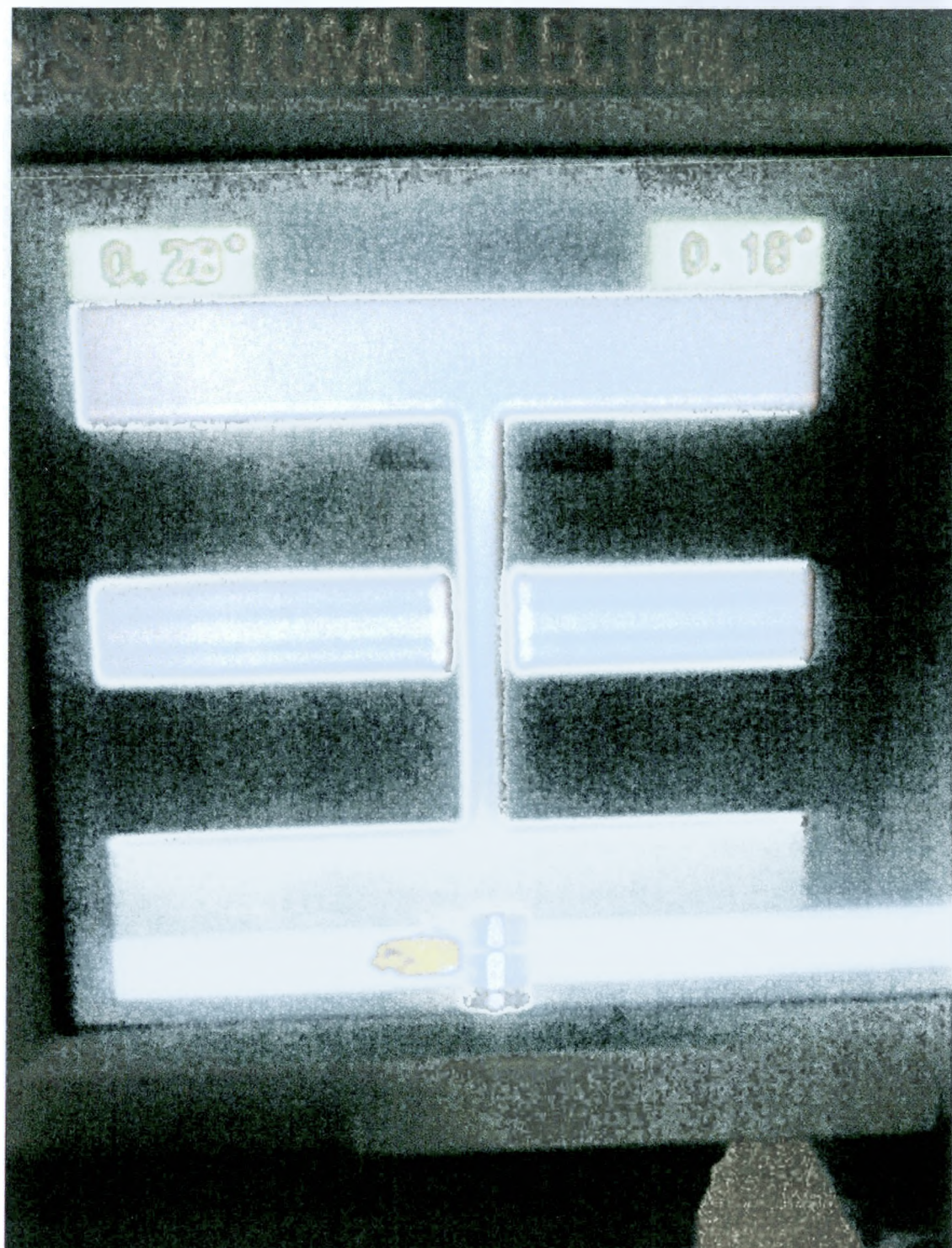
Μια ίνα για να κολληθεί πρέπει πρώτα να προετοιμαστεί κατάλληλα. Αρχικά αφαιρείται κάθε πρωτεύον επίστρωμα με ειδικά εργαλεία γύμνωσης εικόνα 5.2. Στη συνέχεια η ίνα «πλένεται» με καθαρή αλκοόλη ή ισοπροπανόλη και τελικά κόβεται. Ένας κόφτης οπτικών ινών κόβει την οπτική ίνα υπό γωνία 90 μοιρών χωρίς να δημιουργεί μικρο-ατέλειες. Η ποιότητα του κόφτη που χρησιμοποιείται μπορεί συχνά να προσδιορίσει την ποιότητα μιας κόλλησης.



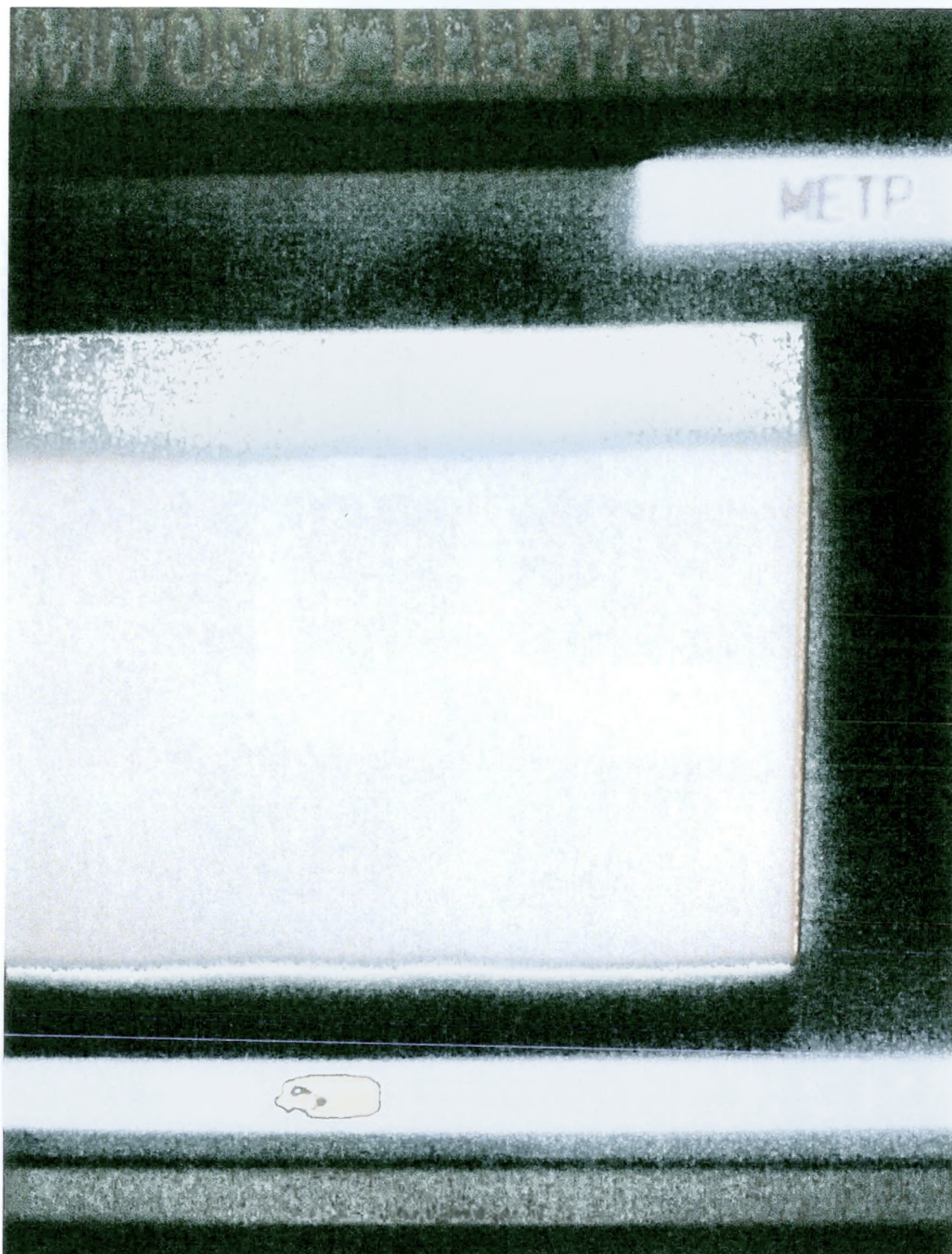
Εικόνα 5.3 Ο παραπάνω κόφτης κατασκευάζεται από την εταιρία Fujikura.



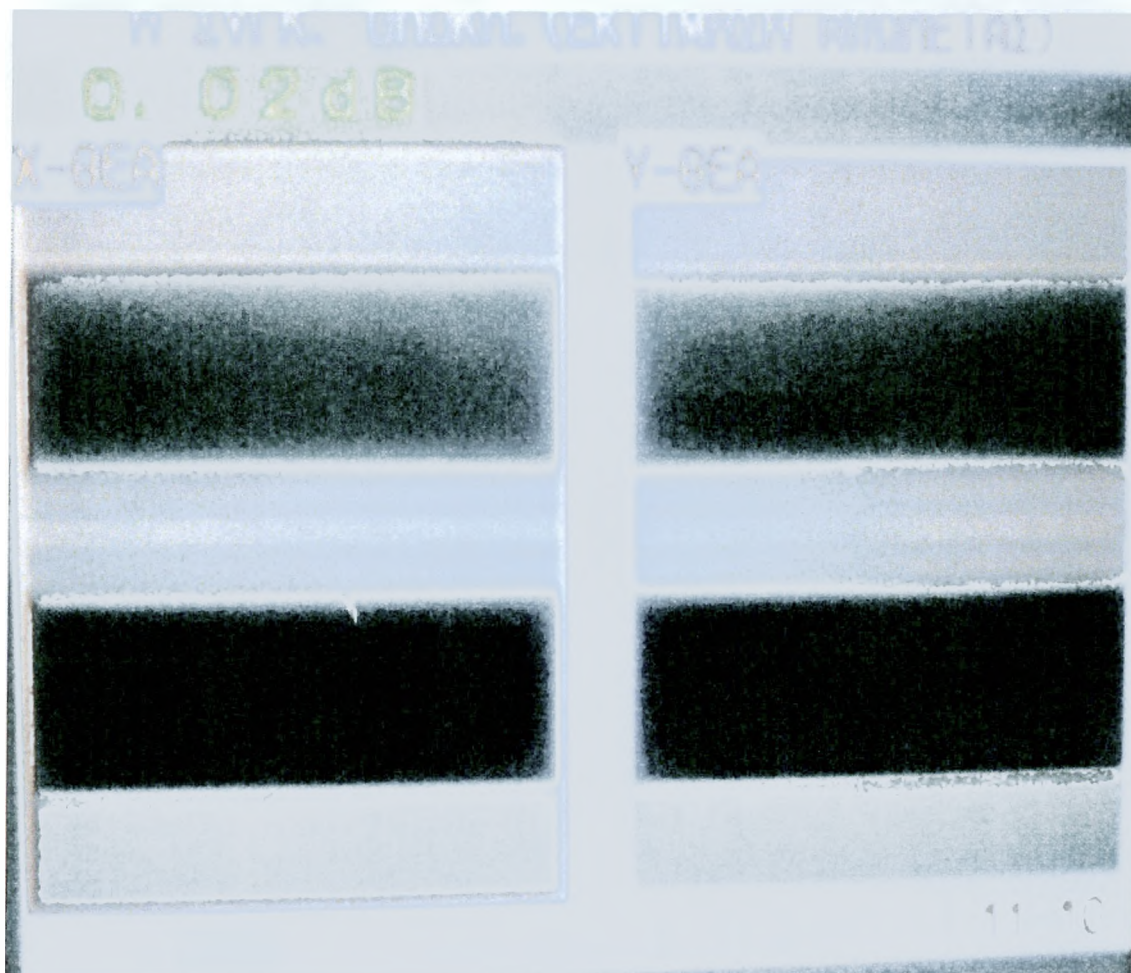
**Εικόνα 5.4 Τοποθέτηση των δύο ιών προς συγκόλληση**



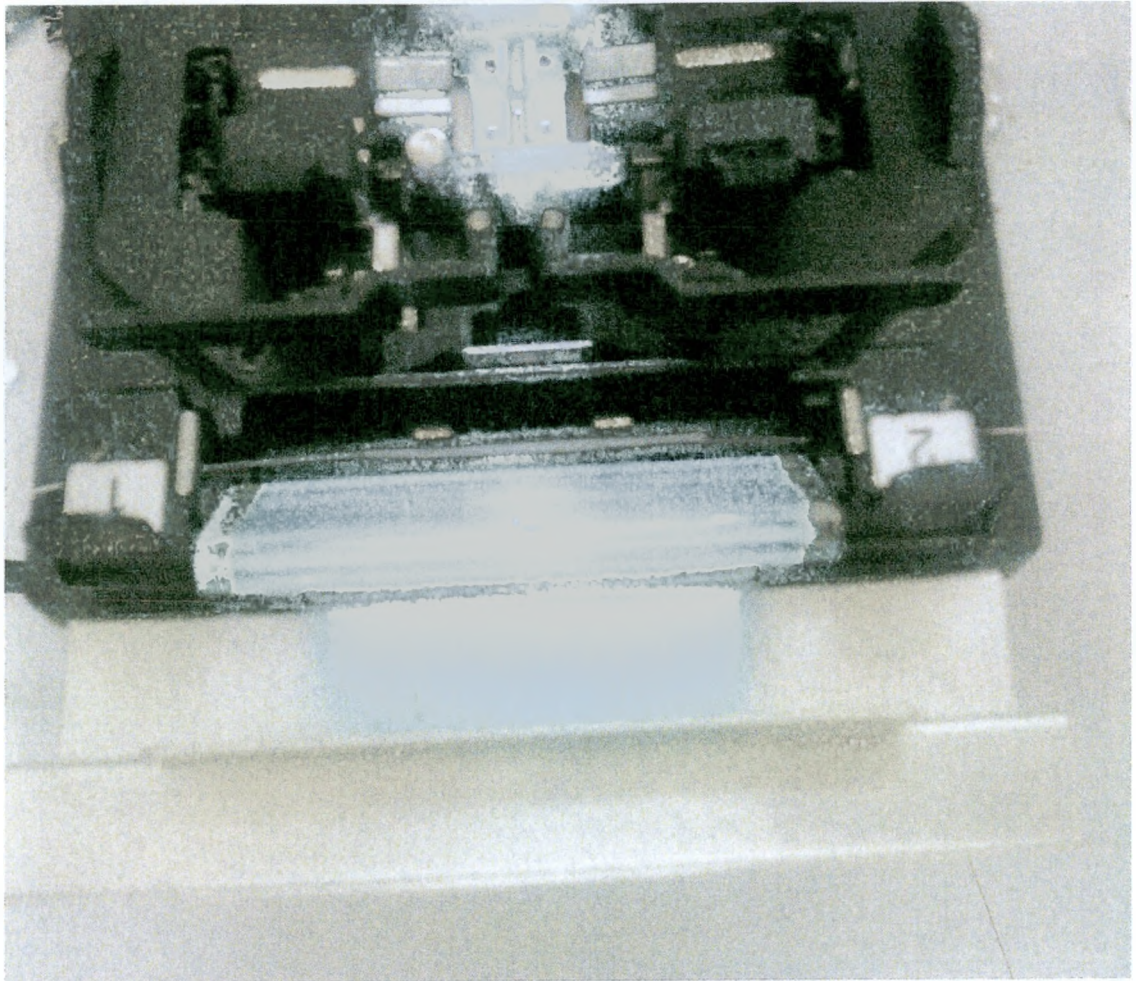
Εικόνα 5.5 Διαδικασία συγκόλλησης των 2 ινών



**Εικόνα 5.6 Συγκόλληση των 2 ινών κατά τη διάρκεια της σύντηξης**



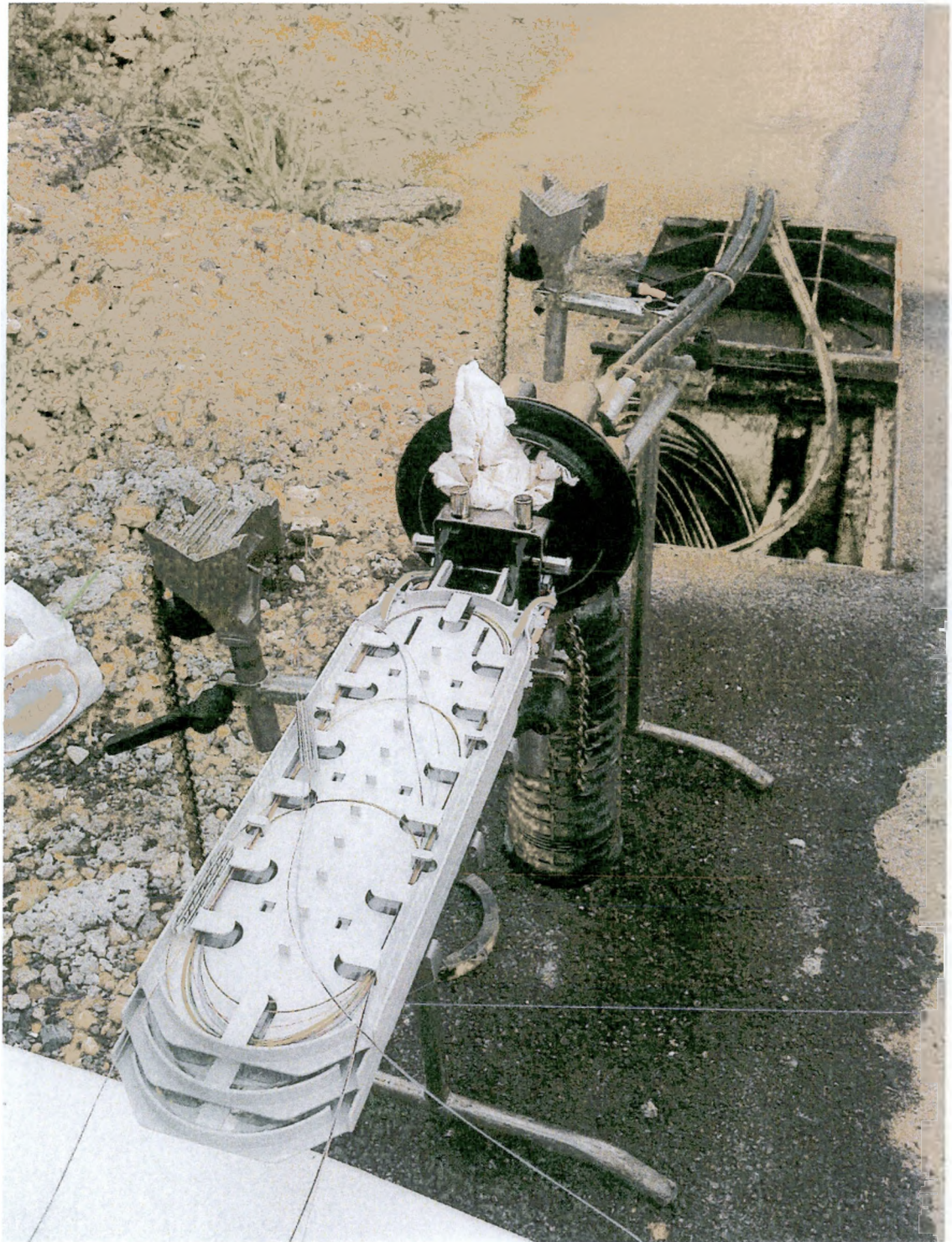
**Εικόνα 5.7 Τέλος της διαδικασίας συγκόλλησης, εκτίμηση της απώλειας από το splicer**



**Εικόνα 5.8 Θερμαντήρας**



**Εικόνα 5.9 Κατασκευή συνδέσμου 36 οπτικών ινών**



**Εικόνα 5.10 Οπτικός σύνδεσμος ή μούφα 36 οπτικών ινών**

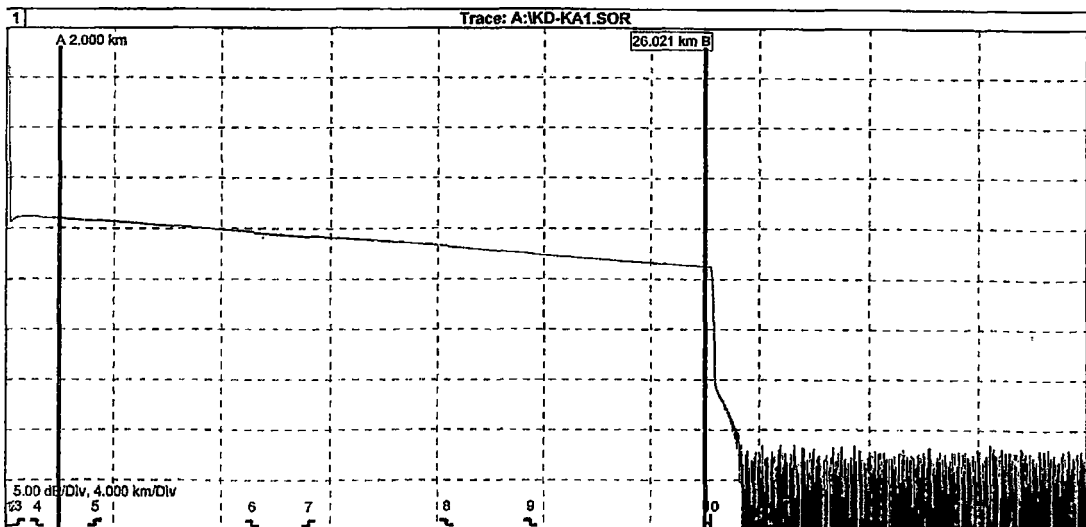




**Εικόνα 5.11 Συγκόλληση μούφας 36 οτικών ινών**

## 5.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ 12 ΙΝΩΝ ΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ “ΚΔΕ ΝΕΜΕΑΣ-ΚΑΣΤΡΑΚΙ ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ” ΜΕ OTDR

Trace-Information: A:KD-KA1.SOR					
Measurement Date and Time: 25/09/2009 11:29:54 AM					
Cable ID :					
Fiber ID :					
Orig. Loc. :					
Term. Loc. :					
Operator :					
Mainframe: E6000B, DE39101393, 5.1					
Module : E6008B, DE38800289, A3748-2028 (single-mode)					
Range:	0.0-40.0 km	Optimize:	Standard	Total Length:	26.245 km
Pulsewidth:	1 μs	Sample Distance:	2.55 m	Total Loss:	4.425 dB
Wavelength:	1550 nm	Averaging Time:	1:00	Total Attenuation:	0.168 dB/km
Scatter Coeff.:	51.5 dB	Refractive Index:	1.47110	Total Return Loss:	22.839 dB
				Number of Events:	10



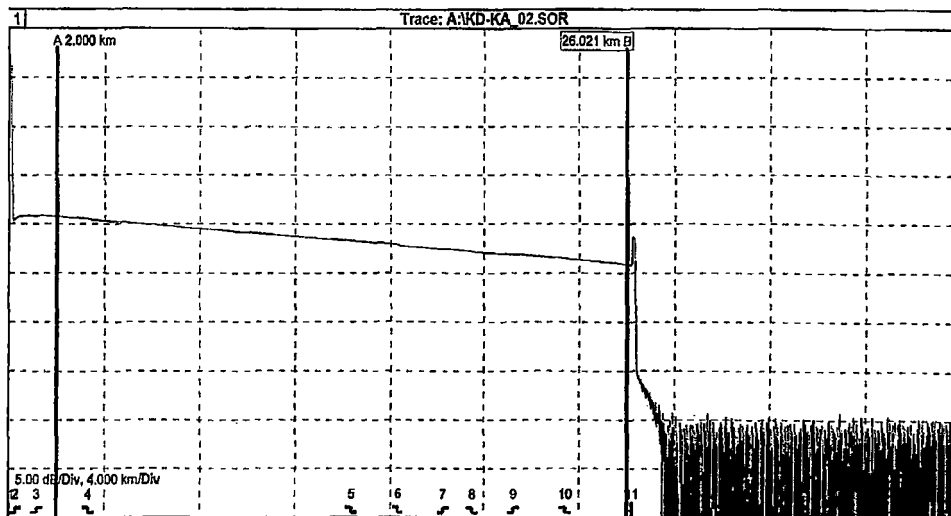
Markers A/B	
A-B:	24.022 km
2pt. Loss:	4.697 dB
2pt. Attenuation:	0.195 dB/km
LSA-Attenuation:	0.201 dB/km
2pt. ORL:	33.672 dB

Marker B	
Position:	26.0212 km
Ins. Loss at #9	--- dB
Reflectance at #9	--- dB
Cum. Loss to B:	4.391 dB

Event Table									
Thresholds: Non-Reflective: 0.05 dB, Reflective: -- dB, Fiber End: 5.0 dB									
Trace-Name	No.	Type	Location km	Ref. dB	Ins. L. dB	Attn. dB/km	Cum. L. dB	Comment	Info
KD-KA1.SOR	1.	Reflect	0.0000	-23.269	0.000	0.000	---		
KD-KA1.SOR	2.	Non-Reflect	0.3057	-0.177	0.000	---	---		
KD-KA1.SOR	3.	Non-Reflect	0.4764	-0.115	0.000	---	---		
KD-KA1.SOR	4.	Non-Reflect	1.1973	0.051	0.172	---	---		
KD-KA1.SOR	5.	Non-Reflect	3.3396	-0.075	0.183	---	---		
KD-KA1.SOR	6.	Non-Reflect	9.1475	0.148	0.182	0.960	---		
KD-KA1.SOR	7.	Non-Reflect	11.2134	-0.097	0.191	1.484	---		
KD-KA1.SOR	8.	Non-Reflect	16.3489	0.123	0.197	2.359	---		
KD-KA1.SOR	9.	Non-Reflect	19.5178	0.068	0.188	3.105	---		
KD-KA1.SOR	10.	End	26.2453	---	---	4.425	---		

**Εικόνα 5.12 Μέτρηση πρώτης ίνας με OTDR**

Trace-Information: A:KD-KA_02.SOR						
Measurement Date and Time: 25/09/2009 11:36:44 AM						
Cable ID :						
Fiber ID :						
Orig. Loc. :						
Term. Loc.:						
Operator :						
Mainframe: E6000B, DE39101393, 5.1						
Module : E6008B, DE38600289, A3748-2028 (single-mode)						
Range:	0.0-40.0 km	Optimize:	Standard	Total Length:	26.230 km	
Pulsewidth:	1 $\mu$ s	Sample Distance:	2.65 m	Total Loss:	4.627 dB	
Wavelength:	1550 nm	Averaging Time:	0:10	Total Attenuation:	0.172 dB/km	
Scatter Coeff.:	51.5 dB	Refractive Index:	1.47110	Total Return Loss:	22.845 dB	
					Number of Events:	11



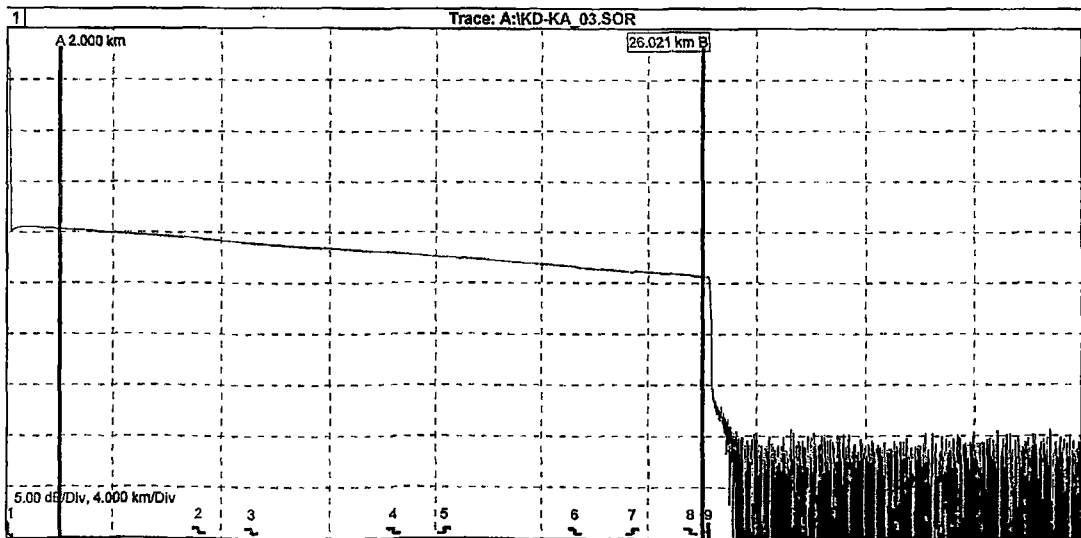
Markers A/B	
A-B:	24.022 km
2pt. Loss:	4.840 dB
2pt. Attenuation:	0.201 dB/km
LSA-Attenuation:	0.198 dB/km
2pt. ORL:	34.202 dB

Marker B	
Position:	26.0212 km
Ins. Loss at #10	--- dB
Reflectance at #10	-47.190 dB
Cum. Loss to B:	4.466 dB

Event Table									
Thresholds: Non-Reflective: 0.05 dB, Reflective: -- dB, Fiber End: 5.0 dB									
Trace-Name	No.	Type	Location km	Ref. dB	Ins. L. dB	Attn. dB/km	Cum. L. dB	Comment	Info
KD-KA_02.SOR	1.	Reflect	0.0000	-23.259	0.000	0.000	---		
KD-KA_02.SOR	2.	Non-Reflect	0.3108		-0.146	-0.063	---		
KD-KA_02.SOR	3.	Non-Reflect	1.1947		-0.077	0.172	---		
KD-KA_02.SOR	4.	Non-Reflect	3.3421		0.092	0.192	---		
KD-KA_02.SOR	5.	Non-Reflect	14.3772		0.050	0.190	2.044		
KD-KA_02.SOR	6.	Non-Reflect	16.3412		0.117	0.185	2.469		
KD-KA_02.SOR	7.	Non-Reflect	18.2951		-0.064	0.190	2.948		
KD-KA_02.SOR	8.	Non-Reflect	19.5152		0.093	0.191	3.116		
KD-KA_02.SOR	9.	Non-Reflect	21.2704		-0.083	0.188	3.543		
KD-KA_02.SOR	10.	Non-Reflect	23.4560		0.065	0.192	3.872		
KD-KA_02.SOR	11.	End	26.2301	-47.190	---	---	4.527		

Εικόνα 5.13 Μέτρηση δεύτερης ίνας με OTDR

Trace-Information: A:KD-KA_03.SOR					
Measurement Date and Time: 25/09/2009 11:40:15 AM					
Cable ID :					
Fiber ID :					
Orig. Loc. :					
Term. Loc.:					
Operator :					
Mainframe: E6000B, DE39101393, 5.1					
Module : E6008B, DE38800289, A3748-2028 (single-mode)					
Range:	0.0-40.0 km	Optimize:	Standard	Total Length:	26.238 km
Pulsewidth:	1 $\mu$ s	Sample Distance:	2.55 m	Total Loss:	4.538 dB
Wavelength:	1550 nm	Averaging Time:	0:10	Total Attenuation:	0.172 dB/km
Scatter Coeff.:	51.5 dB	Refractive Index:	1.47110	Total Return Loss:	22.895 dB
				Number of Events:	9



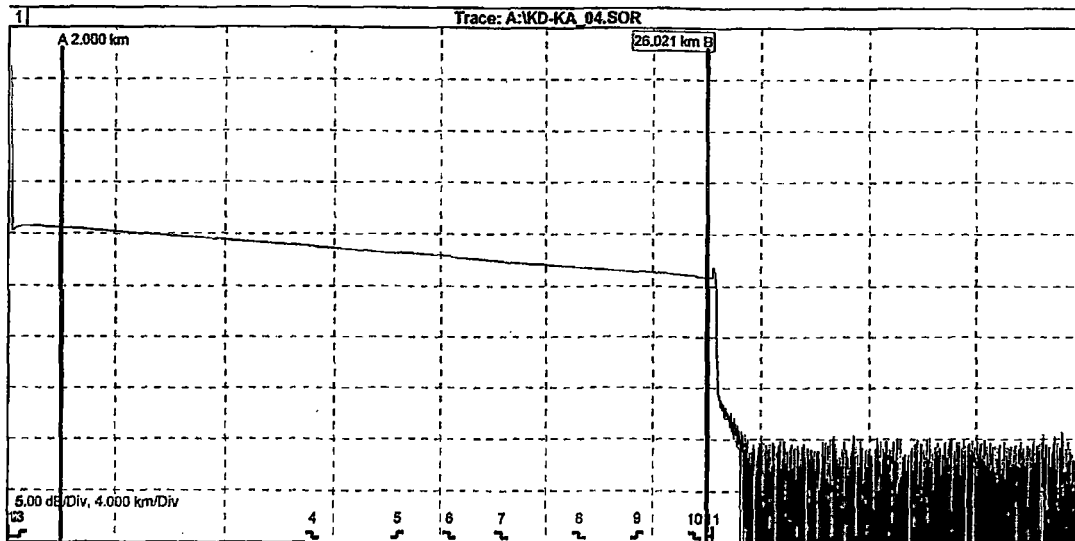
Markers A/B	
A-B:	24.022 km
2pt. Loss:	4.884 dB
2pt. Attenuation:	0.195 dB/km
LSA-Attenuation:	0.105 dB/km
2pt. ORL:	33.863 dB

Marker B	
Position:	26.0212 km
Ins. Loss at #8	--- dB
Reflectance at #8	--- dB
Cum. Loss to B:	4.782 dB

Event Table									
Thresholds: Non-Reflective: 0.05 dB, Reflective: -- dB, Fiber End: 5.0 dB									
Trace-Name	No.	Type	Location km	Ref. dB	Ins. L. dB	Att. dB/km	Cum. L. dB	Comment	Info
KD-KA_03.SOR	1.	Reflect	0.0000	-23.259	0.000	0.000	---		
KD-KA_03.SOR	2.	Non-Reflect	7.1708		0.055	0.184	0.754		
KD-KA_03.SOR	3.	Non-Reflect	9.1348		0.080	0.172	1.172		
KD-KA_03.SOR	4.	Non-Reflect	14.3849		0.075	0.183	2.187		
KD-KA_03.SOR	5.	Non-Reflect	16.3336		-0.052	0.198	2.620		
KD-KA_03.SOR	6.	Non-Reflect	21.2678		0.106	0.186	3.529		
KD-KA_03.SOR	7.	Non-Reflect	23.4458		-0.097	0.192	4.040		
KD-KA_03.SOR	8.	Non-Reflect	25.5830		0.077	0.192	4.353		
KD-KA_03.SOR	9.	End	26.2377		---	---	4.538		

Εικόνα 5.14 Μέτρηση τρίτης ίνας με OTDR

Trace-Information: A:KD-KA_04.SOR						
Measurement Date and Time: 25/09/2009 11:42:36 AM						
Cable ID :						
Fiber ID :						
Orig. Loc.:						
Term. Loc.:						
Operator :						
Mainframe: E6000B, DE39101393, 5.1						
Module : E6008B, DE38800289, A3748-2028 (single-mode)						
Range:	0.0-40.0 km	Optimize:	Standard	Total Length:	26.230 km	
Pulsewidth:	1 $\mu$ s	Sample Distance:	2.55 m	Total Loss:	4.475 dB	
Wavelength:	1550 nm	Averaging Time:	0:10	Total Attenuation:	0.170 dB/km	
Scatter Coeff.:	51.5 dB	Refractive Index:	1.47110	Total Return Loss:	22.878 dB	
					Number of Events:	11



Markers A/B	
A-B:	24.022 km
2pt. Loss:	4.681 dB
2pt. Attenuation:	0.194 dB/km
LSA-Attenuation:	0.195 dB/km
2pt. ORL:	34.262 dB

Marker B	
Position:	26.0212 km
Ins. Loss at #10	--- dB
Reflectance at #10	-53.628 dB
Cum. Loss to B:	4.428 dB

Event Table									
Thresholds: Non-Reflective: 0.05 dB, Reflective: -- dB, Fiber End: 5.0 dB									
Trace-Name	No.	Type	Location km	Ref. dB	Ins. L. dB	Attn. dB/km	Cum. L. dB	Comment	Info
KD-KA_04.SOR	1.	Reflect	0.0000	-23.259	0.000	0.000	---		
KD-KA_04.SOR	2.	Non-Reflect	0.3108		-0.168	0.000	---		
KD-KA_04.SOR	3.	Non-Reflect	0.4687		-0.108	0.000	---		
KD-KA_04.SOR	4.	Non-Reflect	11.2185		0.060	0.188	1.480		
KD-KA_04.SOR	5.	Non-Reflect	14.3900		-0.128	0.189	2.178		
KD-KA_04.SOR	6.	Non-Reflect	16.3438		0.114	0.191	2.419		
KD-KA_04.SOR	7.	Non-Reflect	18.3002		0.061	0.187	2.908		
KD-KA_04.SOR	8.	Non-Reflect	21.2678		0.071	0.188	3.479		
KD-KA_04.SOR	9.	Non-Reflect	23.4433		-0.094	0.186	3.961		
KD-KA_04.SOR	10.	Non-Reflect	25.5728		0.077	0.186	4.266		
KD-KA_04.SOR	11.	End	26.2301	-53.626	---	---	4.475		

Εικόνα 5.15 Μέτρηση τέταρτης ίνας με OTDR

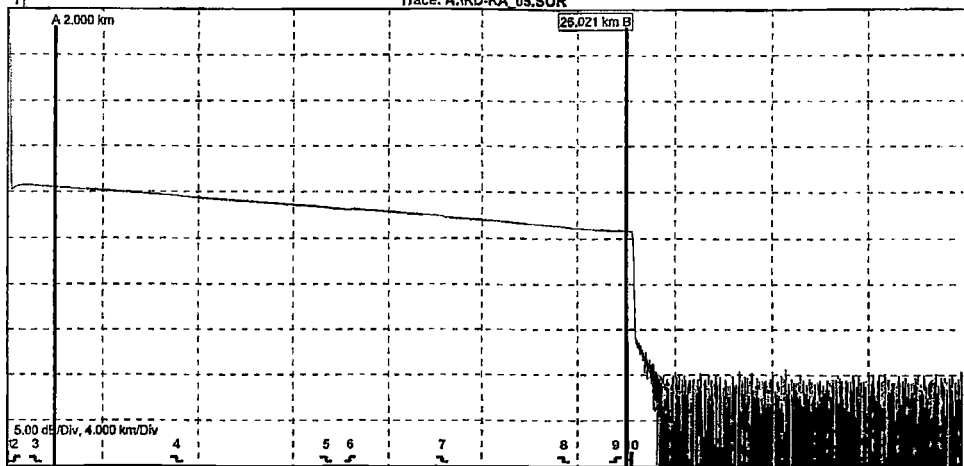
1 | Trace-Information: A:KD-KA\_05.SOR

Measurement Date and Time: 25/09/2009 11:43:50 AM

Cable ID :  
 Fiber ID :  
 Orig. Loc. :  
 Term. Loc. :  
 Operator :  
 Mainframe: E6000B, DE39101393, 5.1  
 Module : E6006B, DE38600289, A3748-2028 (single-mode)

Range:	0.0-40.0 km	Optimize:	Standard	Total Length:	26.233 km
Pulsewidth:	1 $\mu$ s	Sample Distance:	2.65 m	Total Loss:	4.519 dB
Wavelength:	1550 nm	Averaging Time:	0:10	Total Attenuation:	0.172 dB/km
Scatter Coeff.:	51.5 dB	Refractive Index:	1.47110	Total Return Loss:	22.869 dB
				Number of Events:	10

1 | Trace: A:KD-KA\_05.SOR



Markers A/B	
A-B:	24.022 km
2pt. Loss:	4.691 dB
2pt. Attenuation:	0.195 dB/km
LSA-Attenuation:	0.198 dB/km
2pt. ORL:	34.191 dB

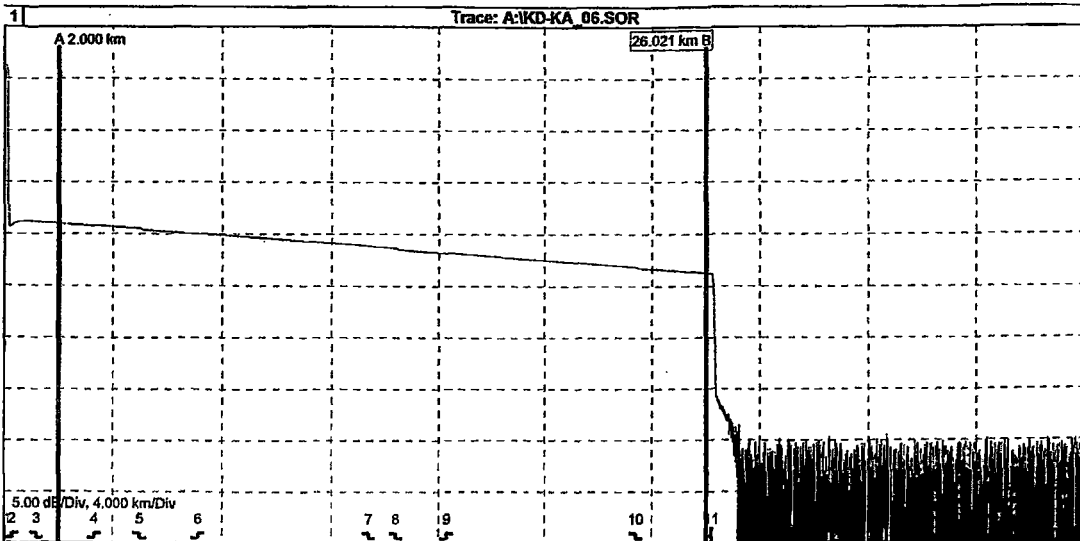
Marker B	
Position:	26.0212 km
Ins. Loss at #9	--- dB
Reflectance at #9	--- dB
Cum. Loss to B:	4.476 dB

1 | Event Table  
 Thresholds: Non-Reflective: 0.05 dB, Reflective: -- dB, Fiber End: 5.0 dB

Trace-Name	No.	Type	Location km	Refl. dB	Ins. L. dB	Attn. dB/km	Cum. L. dB	Comment	Info
KD-KA_05.SOR	1.	Reflect	0.0000	-23.259	0.000	0.000	---		
KD-KA_05.SOR	2.	Non-Reflect	0.3108		-0.145	-0.058	---		
KD-KA_05.SOR	3.	Non-Reflect	1.1822		0.060	0.179	---		
KD-KA_05.SOR	4.	Non-Reflect	7.1122		0.059	0.191	0.716		
KD-KA_05.SOR	5.	Non-Reflect	13.3889		0.065	0.184	1.971		
KD-KA_05.SOR	6.	Non-Reflect	14.3925		-0.094	0.199	2.222		
KD-KA_05.SOR	7.	Non-Reflect	18.3053		0.128	0.169	2.898		
KD-KA_05.SOR	8.	Non-Reflect	23.4534		0.093	0.187	3.988		
KD-KA_05.SOR	9.	Non-Reflect	25.5830		-0.080	0.187	4.481		
KD-KA_05.SOR	10.	End	26.2326				4.519		

Εικόνα 5.16 Μέτρηση πέμπτης ίνας με OTDR

Trace-Information: A:KD-KA_06.SOR					
Measurement Date and Time: 25/09/2009 11:45:17 AM					
Cable ID :					
Fiber ID :					
Orig. Loc. :					
Term. Loc.:					
Operator :					
Mainframe: E6000B, DE39101393, 5.1					
Module : E6008B, DE36800289, A3748-2028 (single-mode)					
Range:	0.0-40.0 km	Optimize:	Standard	Total Length:	26.235 km
Pulsewidth:	1 $\mu$ s	Sample Distance:	2.55 m	Total Loss:	4.392 dB
Wavelength:	1550 nm	Averaging Time:	0:10	Total Attenuation:	0.167 dB/km
Scatter Coef.:	51.5 dB	Refractive Index:	1.47110	Total Return Loss:	22.835 dB
				Number of Events:	11



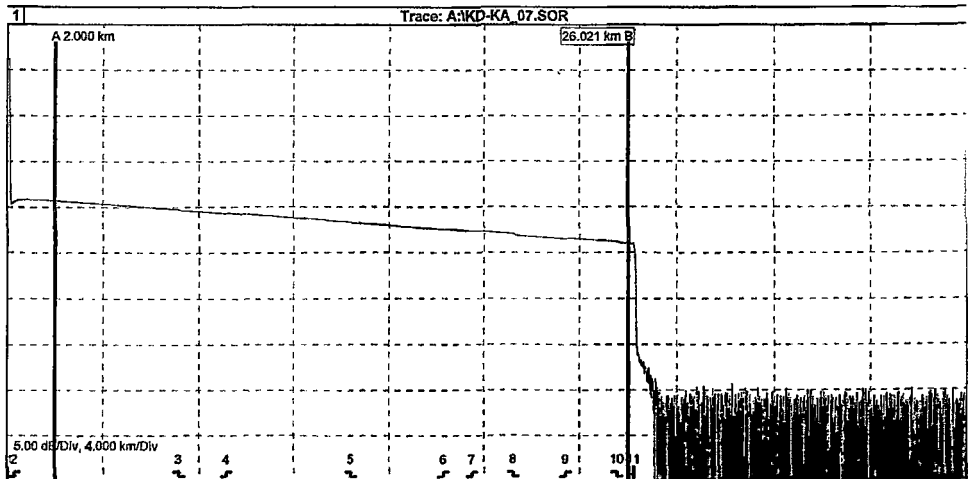
Markers A/B	
A-B:	24.022 km
2pt. Loss:	4.666 dB
2pt. Attenuation:	0.194 dB/km
LSA-Attenuation:	0.196 dB/km
2pt. ORL:	33.889 dB

Marker B	
Position:	26.0212 km
Ins. Loss at #10	--- dB
Reflectance at #10	--- dB
Cum. Loss to B:	4.347 dB

Event Table									
Thresholds: Non-Reflective: 0.05 dB, Reflective: -- dB, Fiber End: 5.0 dB									
Trace-Name	No.	Type	Location km	Ref. dB	Ins. L. dB	Attn. dB/km	Cum. L. dB	Comment	Info
KD-KA_06.SOR	1.	Reflect	0.0000	-23.259	0.000	0.000	---	---	
KD-KA_06.SOR	2.	Non-Reflect	0.3057		-0.177	-0.094	---	---	
KD-KA_06.SOR	3.	Non-Reflect	1.1947		0.065	0.168	---	---	
KD-KA_06.SOR	4.	Non-Reflect	3.3319		-0.076	0.183	---	---	
KD-KA_06.SOR	5.	Non-Reflect	4.9954		0.140	0.181	0.138		
KD-KA_06.SOR	6.	Non-Reflect	7.1326		-0.066	0.187	0.686		
KD-KA_06.SOR	7.	Non-Reflect	13.3812		0.050	0.179	1.767		
KD-KA_06.SOR	8.	Non-Reflect	14.3900		0.108	0.185	1.998		
KD-KA_06.SOR	9.	Non-Reflect	16.3260		-0.053	0.181	2.466		
KD-KA_06.SOR	10.	Non-Reflect	23.4356		0.093	0.181	3.787		
KD-KA_06.SOR	11.	End	26.2351		---	---	4.392		

Εικόνα 5.17 Μέτρηση έκτης ίνας με OTDR

Trace-Information: A:KD-KA_07.SOR						
Measurement Date and Time: 25/09/2009 11:47:03 AM						
Cable ID :						
Fiber ID :						
Orig. Loc.:						
Term. Loc.:						
Operator :						
Mainframe: E6000B, DE39101393, 5.1						
Module : E6009B, DE3690289, A3748-2028 (single-mode)						
Range:	0.0-40.0 km	Optimize:	Standard	Total Length:	26.243 km	
Pulsewidth:	1 $\mu$ s	Sample Distance:	2.65 m	Total Loss:	4.425 dB	
Wavelength:	1550 nm	Averaging Time:	0:10	Total Attenuation:	0.168 dB/km	
Scatter Coeff.:	51.5 dB	Refractive Index:	1.47110	Total Return Loss:	22.864 dB	
					Number of Events:	11



Markers A/B	
A-B:	24.022 km
2pt. Loss:	4.720 dB
2pt. Attenuation:	0.196 dB/km
LSA-Attenuation:	0.196 dB/km
2pt. ORL:	33.870 dB

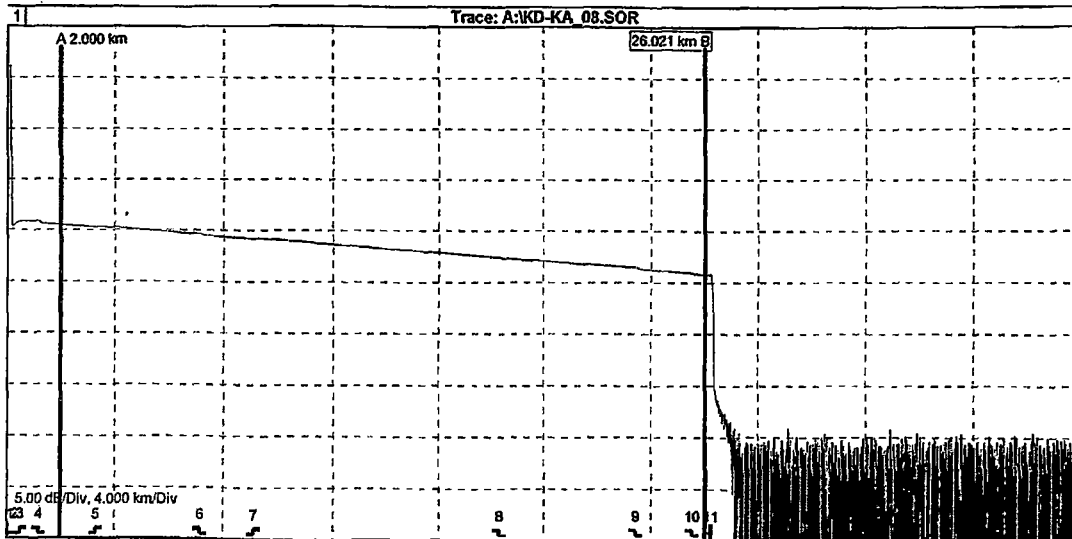
Marker B	
Position:	26.0212 km
Ins. Loss at #10	--- dB
Reflectance at #10	--- dB
Cum. Loss to B:	4.382 dB

Event Table									
Thresholds: Non-Reflective: 0.05 dB, Reflective: -- dB, Fiber End: 5.0 dB									
Trace-Name	No.	Type	Location km	Ref. dB	Ins. L. dB	Att. dB/km	Cum. L. dB	Comment	Info
KD-KA_07.SOR	1.	Reflect	0.0000	-23.259	0.000	0.000	---		
KD-KA_07.SOR	2.	Non-Reflect	0.3133		-0.158	0.166	---		
KD-KA_07.SOR	3.	Non-Reflect	7.1631		0.127	0.166	0.585		
KD-KA_07.SOR	4.	Non-Reflect	9.1373		-0.080	0.185	1.081		
KD-KA_07.SOR	5.	Non-Reflect	14.3900		0.078	0.187	2.049		
KD-KA_07.SOR	6.	Non-Reflect	18.2925		-0.074	0.187	2.899		
KD-KA_07.SOR	7.	Non-Reflect	19.5078		-0.050	0.191	3.052		
KD-KA_07.SOR	8.	Non-Reflect	21.2627		0.159	0.185	3.337		
KD-KA_07.SOR	9.	Non-Reflect	23.4382		-0.103	0.188	3.900		
KD-KA_07.SOR	10.	Non-Reflect	25.5652		0.105	0.188	4.198		
KD-KA_07.SOR	11.	End	26.2428		---	---	4.425		

Εικόνα 5.18 Μέτρηση έβδομης ίνας με OTDR



1] Trace-Information: A:KD-KA_08.SOR						
Measurement Date and Time: 25/09/2009 11:48:08 AM						
Cable ID :						
Fiber ID :						
Orig. Loc. :						
Term. Loc.:						
Operator :						
Mainframe: E6000B, DE39101393, 5.1						
Module : E6008B, DE38800289, A3746-2028 (single-mode)						
Range:	0.0-40.0 km	Optimize:	Standard	Total Length:	26.238 km	
Pulsewidth:	1 $\mu$ s	Sample Distance:	2.56 m	Total Loss:	4.671 dB	
Wavelength:	1550 nm	Averaging Time:	0:10	Total Attenuation:	0.178 dB/km	
Scatter Coeff.:	51.5 dB	Refractive Index:	1.47110	Total Return Loss:	22.868 dB	
					Number of Events:	11



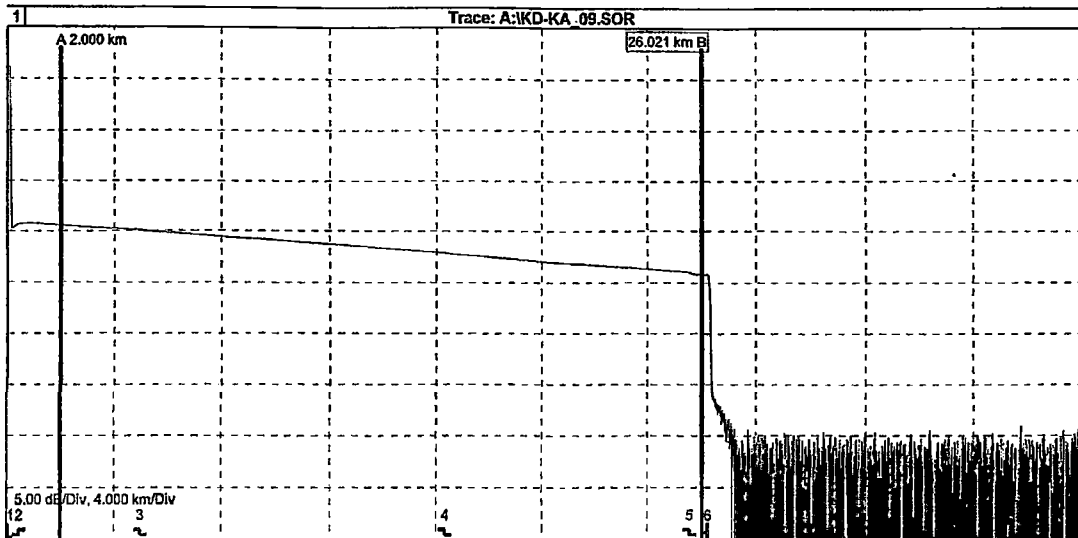
1] Markers A/B	
A-B:	24.022 km
2pt. Loss:	4.730 dB
2pt. Attenuation:	0.196 dB/km
LSA-Attenuation:	0.195 dB/km
2pt. ORL:	33.863 dB

1] Marker B	
Position:	26.0212 km
Ins. Loss at #10	--- dB
Reflectance at #10	--- dB
Cum. Loss to B:	4.623 dB

1] Event Table									
Thresholds: Non-Reflective: 0.05 dB, Reflective: -- dB, Fiber End: 5.0 dB									
Trace-Name	No.	Type	Location km	Ref. dB	Ins. L. dB	Attn. dB/km	Cum. L. dB	Comment	Info
KD-KA_08.SOR	1.	Reflect	0.0000	-23.259	0.000	0.000	---		
KD-KA_08.SOR	2.	Non-Reflect	0.3108		-0.150	0.000	---		
KD-KA_08.SOR	3.	Non-Reflect	0.5018		-0.088	0.000	---		
KD-KA_08.SOR	4.	Non-Reflect	1.1973		0.171	0.173	---		
KD-KA_08.SOR	5.	Non-Reflect	3.3319		-0.082	0.191	0.134		
KD-KA_08.SOR	6.	Non-Reflect	7.1631		0.106	0.187	0.773		
KD-KA_08.SOR	7.	Non-Reflect	9.1272		-0.078	0.186	1.249		
KD-KA_08.SOR	8.	Non-Reflect	18.2874		0.084	0.176	2.969		
KD-KA_08.SOR	9.	Non-Reflect	23.4534		0.114	0.190	3.952		
KD-KA_08.SOR	10.	Non-Reflect	25.5550		0.064	0.190	4.464		
KD-KA_08.SOR	11.	End	26.2377		---	---	4.671		

Εικόνα 5.19 Μέτρηση όγδοης ίνας με OTDR

1 Trace-Information: A:KD-KA_09.SOR						
Measurement Date and Time: 25/09/2009 11:49:04 AM						
Cable ID :						
Fiber ID :						
Orig. Loc.:						
Term. Loc.:						
Operator :						
Mainframe: E6000B, DE39101393, 5.1						
Module : E6008B, DE38800289, A3748-2028 (single-mode)						
Range:	0.0-40.0 km	Optimize:	Standard	Total Length:	26.243 km	
Pulsewidth:	1 $\mu$ s	Sample Distance:	2.55 m	Total Loss:	4.562 dB	
Wavelength:	1550 nm	Averaging Time:	0:10	Total Attenuation:	0.173 dB/km	
Scatter Coeff.:	51.5 dB	Refractive Index:	1.47110	Total Return Loss:	22.872 dB	
					Number of Events:	6



1 Markers A/B	
A-B:	24.022 km
2pt. Loss:	4.775 dB
2pt. Attenuation:	0.198 dB/km
LSA-Attenuation:	0.198 dB/km
2pt. ORL:	33.789 dB

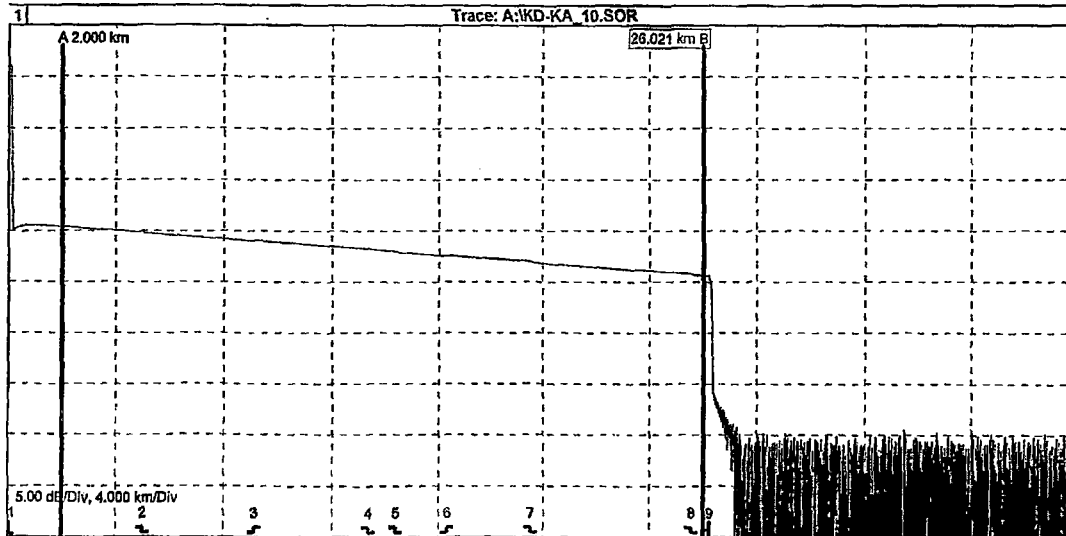
1 Marker B	
Position:	26.0212 km
Ins. Loss at #5:	--- dB
Reflectance at #5:	--- dB
Cum. Loss to B:	4.522 dB

1 Event Table									
Thresholds: Non-Reflective: 0.05 dB, Reflective: --- dB, Fiber End: 5.0 dB									
Trace-Name	No.	Type	Location km	Ref. dB	Ins. L. dB	Attn. dB/km	Cum. L. dB	Comment	Info
KD-KA_09.SOR	1.	Reflect	0.0000	-23.259	0.000	0.000	---		
KD-KA_09.SOR	2.	Non-Reflect	0.4560		-0.063	0.000	0.017		
KD-KA_09.SOR	3.	Non-Reflect	5.0132		0.058	0.191	0.280		
KD-KA_09.SOR	4.	Non-Reflect	16.3412		0.052	0.204	2.489		
KD-KA_09.SOR	5.	Non-Reflect	25.5754		0.132	0.204	4.308		
KD-KA_09.SOR	6.	End	26.2428		---	---	4.562		

Pass/Fail Table (A:KD-KA\_09.SOR)

Εικόνα 5.20 Μέτρηση ένατης ίνας με OTDR

Trace-Information: A:KD-KA_10.SOR						
Measurement Date and Time: 25/09/2009 11:49:56 AM						
Cable ID :						
Fiber ID :						
Orig. Loc. :						
Term. Loc.:						
Operator :						
Mainframe: E6000B, DE39101393, 5.1						
Module : E6008B, DE38800289, A3748-2028 (single-mode)						
Range:	0.0-40.0 km	Optimize:	Standard	Total Length:	26.240 km	
Pulsewidth:	1 $\mu$ s	Sample Distance:	2.55 m	Total Loss:	4.564 dB	
Wavelength:	1550 nm	Averaging Time:	0:10	Total Attenuation:	0.173 dB/km	
Scatter Coeff.:	51.5 dB	Refractive Index:	1.47110	Total Return Loss:	22.878 dB	
					Number of Events:	9



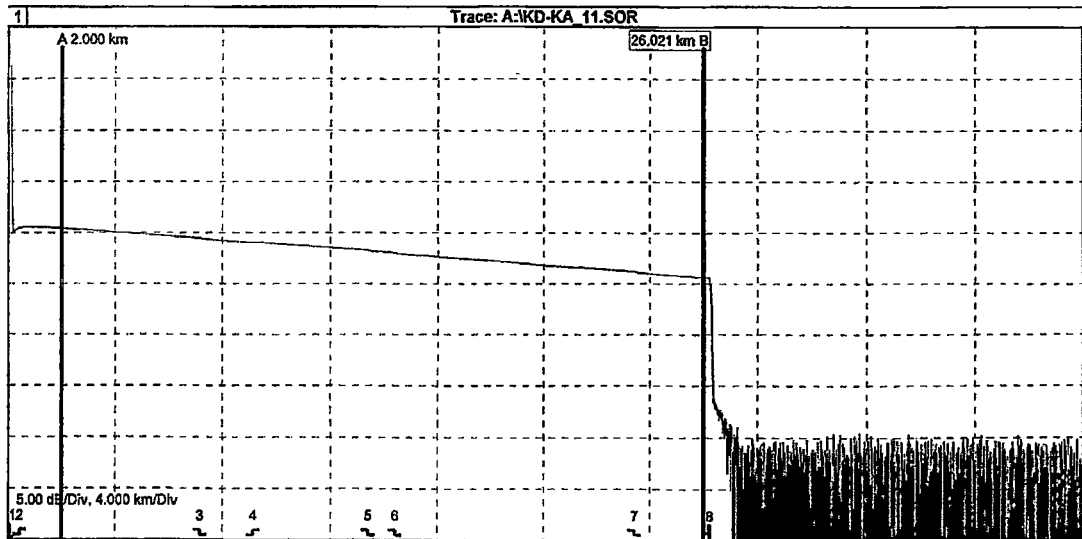
Markers A/B	
A-B:	24.022 km
2pt. Loss:	4.759 dB
2pt. Attenuation:	0.198 dB/km
LSA-Attenuation:	0.198 dB/km
2pt. ORL:	33.618 dB

Marker B	
Position:	26.0212 km
Ins. Loss at #8	--- dB
Reflectance at #8	--- dB
Cum. Loss to B:	4.755 dB

Event Table									
Thresholds: Non-Reflective: 0.05 dB, Reflective: -- dB, Fiber End: 5.0 dB									
Trace-Name	No.	Type	Location km	Ref. dB	Ins. L. dB	Attn. dB/km	Cum. L. dB	Comment	Info
KD-KA_10.SOR	1.	Reflect	0.0000	-23.259	0.000	0.000	---		
KD-KA_10.SOR	2.	Non-Reflect	5.0055		0.089	0.191	0.270		
KD-KA_10.SOR	3.	Non-Reflect	9.1246		-0.065	0.188	1.139		
KD-KA_10.SOR	4.	Non-Reflect	13.3634		0.059	0.191	1.870		
KD-KA_10.SOR	5.	Non-Reflect	14.3823		0.116	0.187	2.125		
KD-KA_10.SOR	6.	Non-Reflect	16.3336		-0.057	0.187	2.608		
KD-KA_10.SOR	7.	Non-Reflect	19.5127		0.127	0.177	3.125		
KD-KA_10.SOR	8.	Non-Reflect	25.5754		0.098	0.177	4.341		
KD-KA_10.SOR	9.	End	26.2402		---	---	4.564		

Εικόνα 5.21 Μέτρηση δέκατης ίνας με OTDR

1   Trace-Information: A:KD-KA_11.SOR						
Measurement Date and Time: 25/09/2009 11:50:47 AM						
Cable ID :						
Fiber ID :						
Orig. Loc. :						
Term. Loc.:						
Operator :						
Mainframe: E6000B, DE39101393, 5.1						
Module : E6008B, DE38800289, A3748-2028 (single-mode)						
Range:	0.0-40.0 km	Optimize:	Standard	Total Length:	26.238 km	
Pulsewidth:	1 $\mu$ s	Sample Distance:	2.55 m	Total Loss:	4.582 dB	
Wavelength:	1550 nm	Averaging Time:	0:10	Total Attenuation:	0.174 dB/km	
Scatter Coeff.:	51.5 dB	Refractive Index:	1.47110	Total Return Loss:	22.880 dB	
					Number of Events:	8



1   Markers A/B	
A-B:	24.022 km
2pt. Loss:	4.830 dB
2pt. Attenuation:	0.201 dB/km
LSA-Attenuation:	0.201 dB/km
2pt. ORL:	33.935 dB

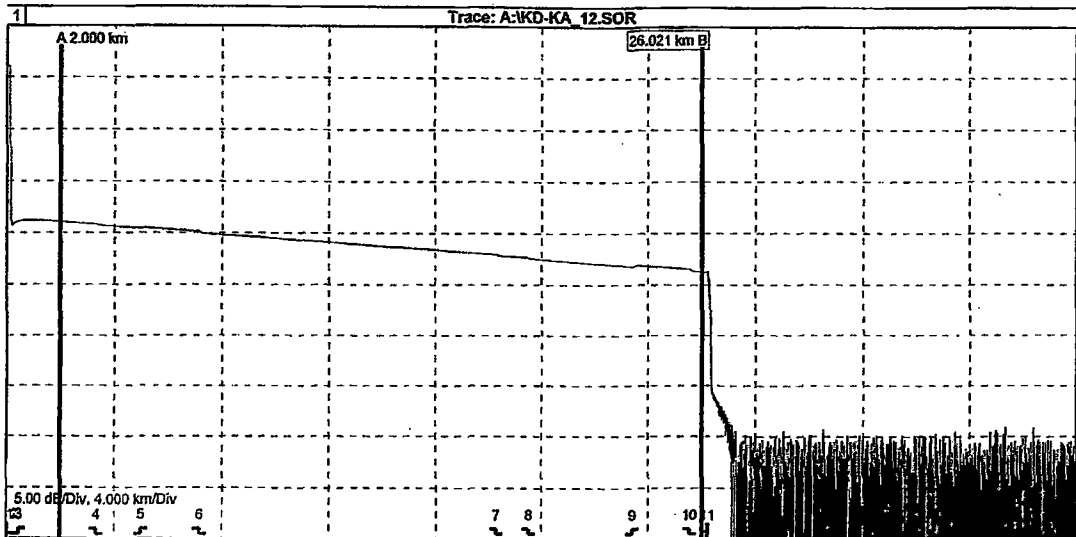
1   Marker B	
Position:	26.0212 km
Ins. Loss at #7	--- dB
Reflectance at #7	--- dB
Cum. Loss to B:	4.541 dB

1   Event Table									
Thresholds: Non-Reflective: 0.05 dB, Reflective: -- dB, Fiber End: 5.0 dB									
Trace-Name	No.	Type	Location km	Ref. dB	Ins. L. dB	Attn. dB/km	Cum. L. dB	Comment	Info
KD-KA_11.SOR	1.	Reflect	0.0000	-23.259	0.000	0.000	---		
KD-KA_11.SOR	2.	Non-Reflect	0.4280		-0.074	0.163	0.029		
KD-KA_11.SOR	3.	Non-Reflect	7.1606		0.080	0.184	0.691		
KD-KA_11.SOR	4.	Non-Reflect	9.1399		-0.071	0.187	1.136		
KD-KA_11.SOR	5.	Non-Reflect	13.3863		0.061	0.184	1.860		
KD-KA_11.SOR	6.	Non-Reflect	14.3874		0.085	0.198	2.106		
KD-KA_11.SOR	7.	Non-Reflect	23.4433		0.081	0.198	3.951		
KD-KA_11.SOR	8.	End	26.2377		---	---	4.582		

Pass/Fail Table (A:KD-KA\_11.SOR)

Εικόνα 5.22 Μέτρηση ενδέκατης ίνας με OTDR

Trace-Information: A:KD-KA_12.SOR					
Measurement Date and Time: 25/09/2009 11:51:47 AM					
Cable ID :					
Fiber ID :					
Orig. Loc. :					
Term. Loc.:					
Operator :					
Mainframe: E6008B, DE39101393, 5.1					
Module : E6008B, DE38800289, A3748-2028 (single-mode)					
Ranger:	0.0-40.0 km	Optimize:	Standard	Total Length:	26.235 km
Pulsewidth:	1 $\mu$ s	Sample Distance:	2.55 m	Total Loss:	4.465 dB
Wavelength:	1550 nm	Averaging Time:	0:10	Total Attenuation:	0.170 dB/km
Scatter Coeff.:	51.5 dB	Refractive Index:	1.47110	Total Return Loss:	22.838 dB
				Number of Events:	11



Markers A/B	
A-B:	24.022 km
2pt. Loss:	4.785 dB
2pt. Attenuation:	0.199 dB/km
LSA-Attenuation:	0.194 dB/km
2pt. ORL:	33.908 dB

Marker B	
Position:	26.0212 km
Ins. Loss at #10	--- dB
Reflectance at #10	--- dB
Cum. Loss to B:	4.426 dB

Event Table									
Thresholds: Non-Reflective: 0.05 dB, Reflective: --- dB, Fiber End: 5.0 dB									
Trace-Name	No.	Type	Location km	Ref. dB	Ins. L. dB	Attn. dB/km	Cum. L. dB	Comment	Info
KD-KA_12.SOR	1.	Reflect	0.0000	-23.259	0.000	0.000	---		
KD-KA_12.SOR	2.	Non-Reflect	0.3082		-0.173	0.000	---		
KD-KA_12.SOR	3.	Non-Reflect	0.4611		-0.145	0.156	---		
KD-KA_12.SOR	4.	Non-Reflect	3.3447		0.092	0.176	---		
KD-KA_12.SOR	5.	Non-Reflect	5.0004		-0.077	0.179	0.258		
KD-KA_12.SOR	6.	Non-Reflect	7.1555		0.141	0.177	0.566		
KD-KA_12.SOR	7.	Non-Reflect	18.2874		0.069	0.190	2.741		
KD-KA_12.SOR	8.	Non-Reflect	19.5203		0.081	0.194	3.046		
KD-KA_12.SOR	9.	Non-Reflect	23.4331		-0.128	0.190	3.879		
KD-KA_12.SOR	10.	Non-Reflect	25.5652		0.180	0.190	4.159		
KD-KA_12.SOR	11.	End	26.2351		---	---	4.465		

Εικόνα 5.23 Μέτρηση δωδέκατης ίνας με OTDR

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- 1) Σημειώσεις ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ Σπύρος Λούβρος  
Εξάμηνο ΣΤ'
- 2) Σημειώσεις ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΘΕΩΡΙΑ Σπύρος Λούβρος  
Εξάμηνο ΣΤ'
- 3) Προηγμένες Τηλεπικοινωνιακές Υποδομές και Υπηρεσίες, Τόμος Α',  
Χ. ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΣ Γ. ΠΑΓΙΑΤΑΚΗΣ Νοέμβριος 2001, ΟΤΕ Α.Ε.  
Γενική Δ/ση Τεχνικών Θεμάτων
- 4) GSM NETWORK PLANNING-TRANSMISSION OVERVIEW/PLANNING  
ERICSSON-ACCESS NETWORK TOPOLOGIES

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 2.1 Σύγκριση επιδόσεων ενσύρματων μέσων (από τον κατάλογο της Kabel-Metal)
- Σχήμα 2.2: Κυματοδότηση μέσω ολικής ανάκλασης σε οπτική ίνα
- Σχήμα 2.3. Τυποποιημένα μεγέθη οπτικών ινών
- Σχήμα 2.4. Είδη μετάδοσης σε μονότροπες και πολύτροπες ίνες.
- Σχήμα 2.5α. Κατανομή συντελεστή διάθλασης σε πυρήνα βηματικής μεταβολής. Σχήμα 2.5β. Κατανομή συντελεστή διάθλασης σε πυρήνα βαθμιαίας μεταβολής.
- Σχήμα 2.6α. Πολύτροπη Ίνα Βαθμιαίας Μεταβολής Δείκτη Διάθλασης β. Μονότροπη Ίνα
- Σχήμα 2.7α. Η εξασθένιση σαν συνάρτηση του μήκους κύματος για εξ ολοκλήρου γυάλινη πολύτροπη ίνα.
- Σχήμα 2.7β. Η εξασθένιση σαν συνάρτηση του μήκους κύματος για μονότροπη ίνα.
- Σχήμα 2.8. Απώλεια από κάμψη σαν συνάρτηση του μήκους κύματος. Τύλιξη 5m μη-καλωδιωμένης ίνας σε τύμπανο με ακτίνα καμπυλότητας 30mm.
- Σχήμα 2.9. Διασπορά υλικού και μήκους κύματος μηδενικής διασποράς σε μονότροπες ίνες.
- Σχήμα 3.1 : Οι τοπολογίες δικτύων διευκρινίζουν πώς πρέπει να συνδεθούν οι διαφορετικοί κόμβοι.
- Σχήμα 3.2 : Δίκτυο πρόσβασης
- Σχήμα 3.3 : Τοπολογία αλυσίδων
- Σχήμα 3.4: Τοπολογία αστέρα.
- Σχήμα 3.5: Τοπολογία δακτυλίου.
- Σχήμα 3.6: Τοπολογία δέντρου.
- Σχήμα 3.7: Δίκτυο αναφοράς.
- Σχήμα 3.8: Σχετική τιμή έναντι Χωρητικότητας
- Σχήμα 3.9: Προστατευμένα εναντίον Μη προστατευμένα συστήματα.
- Σχήμα 3.10: Το δίκτυο αναφοράς σε μια δομή δέντρων
- Σχήμα 3.11: Το δίκτυο αναφοράς με BSC που κινείται
- Σχήμα 3.12: Η προσθήκη μιας περιοχής στο δίκτυο αναφοράς
- Σχήμα 3.13: Το δίκτυο αναφοράς σε μια δομή αστεριών
- Σχήμα 3.14: DXC που εγκαθίσταται στο BSC
- Σχήμα 3.15: Το δίκτυο αναφοράς με τη δομή δακτυλίων
- Σχήμα 3.16: Ένας δακτύλιος περιέχει 4 RBSs
- Σχήμα 4. Σωληνίσκος χαλαρής δομής
- Σχήμα 4.1α. Καλώδιο χαλαρής δομής καλωδιακό πυρήνα κεντρικού σωλήνα.
- Σχήμα 4.1β. Εναέρια καλώδια με δομή σωληνίσκου χαλαρής δομής του Οίκου Siemens
- Σχήμα 4.2α. Καλώδιο χαλαρής δομής καλωδιακού πυρήνα με σωληνίσκους.
- Σχήμα 4.2β. Καλώδια σωληνώσεως με δομή σωληνίσκου χαλαρής δομής του Οίκου Siemens
- Σχήμα 4.3α. Καλώδιο χαλαρής δομής καλωδιακού πυρήνα με εγκοπές.
- Σχήμα 4.3β. Υποβρύχια καλώδια με δομή σωληνίσκου χαλαρής δομής καλωδιακού πυρήνα με εγκοπές του Οίκου Siemens
- Σχήμα 4.5. Ταινίες οπτικών ινών.
- Σχήμα 4.6. Σύστημα μικροκαλωδίωσης, μικροκαλώδιο και περίβλημα συνδέσεων του Οίκου Siemens

Σχήμα 4.7. Καλώδιο πολυσωληνίσκων του Οίκου Mainetti.  
Σχήμα 4.8. Τα στάδια της αυτοματοποιημένης διαδικασίας συγκόλλησης ινών με σύντηξη των επιφανειών.  
Σχήμα 4.9. Συγκόλληση οπτικών ινών  
Σχήμα 4.10. Μηχανικές συνενώσεις  
Σχήμα 4.11α. Οργανωτήρες συνενώσεων διαφόρων κατασκευαστών για περιβλήματα συνδέσεως του υπεραστικού και αστικού δικτύου.  
Σχήμα 4.11β. Υποδοχείς θερμοσυστελλομένων σωληνίσκων και μεταλλικών φακέλων.  
Σχήμα 4.12 Σύγκριση επιδόσεων διαφορετικού τύπου συνδέσμων.  
Σχήμα 4.13α Τύποι Συνδέσμων (βύσμα και διπλός προσαρμογέας)  
Σχήμα 4.13β. Νεότεροι τύποι συνδέσμων. Από αριστερά: SC-DC, LC, MT-RJ, ο υφιστάμενος Duplex SC (σύγκριση μεγέθους), ο VG και ο OPTI-JACK.  
Σχήμα 4.14 Σχηματικά περιβλημάτων συνδέσεως.  
Σχήμα 4.15 Περιβλήματα συνδέσεως μονοκυκλωματικής διαχείρισης  
Σχήμα 5.1 OTDR HP E6000B  
Σχήμα 5.2. Σχηματική αναπαράσταση των βασικών δομικών στοιχείων της διάταξης OTDR  
Σχήμα 5.3 Απλοποιημένο διάγραμμα από OTDR  
Σχήμα 5.4. OTDR καμπύλη και η χρήση της για τον υπολογισμό μήκους ζεύξης  
Σχήμα 5.5 OTDR καμπύλη και η χρήση της για τον υπολογισμό της εξασθένησης στην ζεύξη  
Σχήμα 5.6. Μέθοδος δύο σημείων για τον υπολογισμό απωλειών σε συγκόλληση

## **ΕΙΚΟΝΕΣ**

Εικόνα 5.1 Sumitomo Sumiofcas Type 37  
Εικόνα 5.2 Ειδικό εργαλείο αφαίρεσης υποστρώματος μιας ίνας  
Εικόνα 5.3 Ο παραπάνω κόφτης κατασκευάζεται από την εταιρία Fujikura.  
Εικόνα 5.4 Τοποθέτηση των δύο ινών προς συγκόλληση  
Εικόνα 5.5 Διαδικασία συγκόλλησης των 2 ινών  
Εικόνα 5.6 Συγκόλληση των 2 ινών κατά τη διάρκεια της σύντηξης  
Εικόνα 5.7 Τέλος της διαδικασίας συγκόλλησης, εκτίμηση της απώλειας από το splicer  
Εικόνα 5.8 Θερμαντήρας  
Εικόνα 5.9 Κατασκευή συνδέσμου 36 οπτικών ινών  
Εικόνα 5.10 Οπτικός σύνδεσμος ή μούφα 36 οπτικών ινών  
Εικόνα 5.11 Συγκόλληση μούφας 36 οπτικών ινών  
Εικόνα 5.12 Μέτρηση πρώτης ίνας με OTDR  
Εικόνα 5.13 Μέτρηση δεύτερης ίνας με OTDR  
Εικόνα 5.14 Μέτρηση τρίτης ίνας με OTDR  
Εικόνα 5.15 Μέτρηση τέταρτης ίνας με OTDR  
Εικόνα 5.16 Μέτρηση πέμπτης ίνας με OTDR  
Εικόνα 5.17 Μέτρηση έκτης  
Εικόνα 5.18 Μέτρηση έβδομης ίνας με OTDR  
Εικόνα 5.19 Μέτρηση όγδοης ίνας με OTDR  
Εικόνα 5.20 Μέτρηση ένατης ίνας με OTDR  
Εικόνα 5.21 Μέτρηση δέκατης ίνας με OTDR  
Εικόνα 5.22 Μέτρηση ενδέκατης ίνας με OTDR  
Εικόνα 5.23 Μέτρηση δωδέκατης ίνας με OTDR