



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Από τα δίκτυα χαλκού στα παθητικά οπτικά δίκτυα: Μελέτη
της μετάβασης στην πόλη των Χανίων**

Λάμπρος Χρυσώτης

ΑΜ: 15514 / 1454

Επιβλέπων καθηγητής: Τσορμπατζόγλου Ανδρέας



Περίληψη

Ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών είναι ιδιαίτερα δύσκολος καθώς ο ανταγωνισμός είναι μεγάλος, οι κανονισμοί είναι περίπλοκοι και αβέβαιοι και οι προτιμήσεις των πελατών μεταβάλλονται λόγω της συνεχής εξέλιξης της τεχνολογίας. Όσο εξελίσσεται η τεχνολογία τόσο αυξάνεται και ο αριθμός των ατόμων που θέλουν να τη χρησιμοποιούν και ιδιαίτερα στις μέρες μας που παρατηρείτε συνεχής ανάπτυξη και πρόοδος σε αυτόν τον κλάδο.

Αυτή η εξέλιξη οφείλεται πρώτον στην ανάγκη για τη γρήγορη μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων και δεύτερον στην ανάγκη των ατόμων που θέλουν να τη χρησιμοποιήσουν για διάφορες μορφές ψυχαγωγίας όπως η παρακολούθηση υψηλής ποιότητας βίντεο ροής, μουσικής και γενικότερα οτιδήποτε άλλο στο διαδίκτυο. Έτσι γεννήθηκε η ανάγκη να αντικατασταθούν τα δίκτυα χαλκού τα οποία δεν μπορούσαν να ανταπεξέλθουν σε αυτές τις προκλήσεις αν προσθέσει κανείς και την γήρανση των δικτύων χαλκού που έπρεπε και αυτή να αντιμετωπιστεί.

Το εύρος ζώνης, η ανθεκτικότητα, η εμβέλεια, η ταχύτητα και η ασφάλεια είναι κρίσιμα στοιχεία στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών. Για αυτό η στροφή προς τα ευρυζωνικά δίκτυα οπτικών ινών, τα οποία ξεπερνούν τα δίκτυα χαλκού στους παραπάνω τομείς έγινε αναγκαιότητα.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα αναφερθώ στην λειτουργία και δομή της οπτικής ίνας, στα είδη των οπτικών ινών, σε διάφορα χαρακτηριστικά τους και πως λειτουργούν. Επίσης θα γίνει αναφορά στις αρχιτεκτονικές δικτύου πρόσβασης FTTx και FTTH και ποια είναι τα οφέλη, οι διαφορές και οι ομοιότητες μεταξύ τους. Τέλος θα αναφέρω με τα υπάρχοντα στοιχεία που γνωρίζω και την μελέτη που έκανα την



μετάβαση του οπτικού δικτύου FTTH στην πόλη των Χανίων και τις προοπτικές του.



Abstract

The telecommunications industry is particularly challenging as competition is fierce, regulations are complex and uncertain and customer preferences are changing due to the constant evolution of technology. As technology evolves, so does the number of people who want to use it and especially nowadays we see continuous growth and progress in this industry.

This development is due firstly to the need for fast transfer of large amounts of data and secondly to the need of people who want to use it for various forms of entertainment such as watching high quality streaming video, music and generally anything else on the internet. This created the need to replace the copper networks which could not cope with these challenges if one adds the ageing of the copper networks which also had to be addressed.

Bandwidth, resilience, range, speed and security are critical elements in the telecommunications industry. This is why the shift towards fiber optic broadband networks, which outperform copper networks in the above areas, has become a necessity

In this thesis I will discuss the function and structure of optical fibers, the types of optical fibers, their various characteristics and how they work. It will also refer to the FTTx and FTTH access network architectures and what are the benefits, differences and similarities between them. In the end I will mention with the existing data that I know and the study I did the transition of the FTTH optical network in the city of Chania and its prospects



Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	9
2. Παθητικά οπτικά δίκτυα – Οπτική ίνα	10
2.1 Λειτουργία και δομή οπτικής ίνας.....	10
2.1.1 Δομή οπτικής ίνας	11
2.2 Είδη οπτικών ινών	12
2.2.1 Μονότροπες ίνες / Απλού τύπου (SMF):	12
2.2.2 Πολύτροπες ίνες / Πολλαπλού τύπου (MMF):	13
2.3 Διασπορά οπτικής ίνας	13
2.3.1 Τροπική διασπορά (Modal Dispersion):	14
2.3.2 Χρωματική διασπορά	15
2.3.3 Διασπορά τρόπου πόλωσης.....	16
2.5 Τα χαρακτηριστικά και τα πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα της οπτικής ίνας	17
3. Ενισχυτές	19
3.1 Οπτικοί ενισχυτές	19
3.1.1 Οπτικός ενισχυτής ημιαγωγών (SOA)	20
3.1.2 Ενισχυτές ινών με πρόσμειξη ερβίου (EDFAs)	20
3.1.3 Ενισχυτής Fiber Raman (FRA)	21
3.2 Ενισχυτές λέιζερ	22
3.3 Ενισχυτές που βασίζονται σε οπτικές μη γραμμικότητες	22
3.4 Υπερταχείς ενισχυτές	23



4. Πολυπλεξία και αποπολυπλεξία	24
4.1 Ορισμός της πολυπλεξίας και της αποπολυπλεξίας	24
4.1.1 Πολυπλεξία.....	24
4.1.2 Αποπολυπλεξία.....	25
4.1.3 Διαφορά μεταξύ πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας.....	25
4.1.4 Πολυπλέκτης (Mux):	26
4.1.5 Αποπολυπλέκτης (Demux):.....	26
5. Παθητικό οπτικό δίκτυο (Passive Optical Network/PON)	28
5.1 Παθητικό και Ενεργό οπτικό δίκτυο (PON/AON).....	28
5.2 Στοιχεία και συσκευές PON	29
5.3 Πως λειτουργεί το PON;	29
5.4 Παθητική οπτική διάσπαση	30
5.5 WDM και TDM	31
6. Αρχιτεκτονικές Δικτύου Πρόσβασης	32
6.1 Τι είναι το Fiber to the x (FTTx);.....	33
6.2 Τύποι σχεδίασης δικτύου FTTx;	34
6.3 Fiber to the Premises (FTTP)	34
6.3.1 Fiber to the Home (FTTH):	35
6.3.2 FTTH-Home Run:	36
6.3.3 FTTH-Active Star:	36
6.3.4 FTTH-PON:.....	36
6.3.5 Fiber to the Antenna (FTTA):	37
6.3.6 Fiber to the Node (FTTN):	37



6.3.7 Fiber to the Curb/FTTC (FTTd _p - Fiber to the Distribution Point):	38
6.3.8 Fiber to the Building/Business (FTTB):	39
6.4 Τι είναι το FTTH: Fiber to the Home;.....	40
6.5 Ποια είναι η διαφορά μεταξύ FTTx και FTTH;.....	41
7 Πληροφορίες από την μετάβαση στην πόλη των Χανίων.....	42
7.1 Εγκατάσταση του δικτύου.....	42
7.2 Πείραμα ανίχνευσης σεισμικής δραστηριότητας.....	44
8. Η ανάπτυξη του FTTH/FTTB παγκόσμια.....	51
Πηγές:	58
Λίστα εικόνων:	62



Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων που εδρεύει στην Άρτα.

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Επίκουρο Καθηγητή κ.Τσορμπατζόγλου Ανδρέα, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και επίκαιρο θέμα καθώς και για την υπομονή, τον χρόνο και την βοήθεια που μου πρόσφερε για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους και γνωστούς που με βοήθησαν.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από τα βάθη της καρδιάς μου τους ανθρώπους που με βοήθησαν περισσότερο από οποιονδήποτε άλλο και δεν είναι άλλοι από την οικογένεια μου που πάντα με στηρίζουν και μου συμπαραστέκονται και με ενθαρρύνουν να συνεχίσω τον αγώνα και την προσπάθεια που κάνω.

Χρυσώτης Λάμπρος

Άρτα,



1. Εισαγωγή

ΦΩΣ, αυτό το αρχαίο, μυστηριακό σύμβολο της σοφίας και της ευφυΐας δεν είναι πια απλώς σύμβολο. Τα πρόσφατα χρόνια, με γρήγορο ρυθμό αλλά και αθόρυβα, έχει αναλάβει τον δικαιωματικό του ρόλο και έχει γίνει ο πραγματικός φορέας κάθε είδους πληροφοριών. Για να μπορέσει το φως να χρησιμοποιήσει την υφιστάμενη δυνατότητά του να μεταφέρει πληροφορίες σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, ήταν απαραίτητο να αναπτυχθεί η τεχνολογία των δικτύων.

Μέχρι πριν κάποια χρόνια η μεταφορά δεδομένων καθώς και η επικοινωνία επιτυγχάνονταν μέσω των δικτύων χαλκού. Όταν ο κόσμος συνειδητοποίησε ότι ήθελε να μπορεί να μιλάει στο τηλέφωνο και να περιηγείται στον ιστό ταυτόχρονα, το ενσύρματο διαδίκτυο εξελίχθηκε. Το ADSL ανταποκρίθηκε στη ζήτηση των καταναλωτών για μεγαλύτερες ταχύτητες διαδικτύου χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα χάλκινη υποδομή. Αυτό επέτρεψε στις τηλεφωνικές εταιρείες να προσφέρουν μεγαλύτερες ταχύτητες χωρίς κόστος στην αναβάθμιση του δικτύου τους. Έτσι τα δίκτυα DSL όπως τα ADSL, VDSL, και xDSL βασίζονταν σε δίκτυα χαλκού όπου τα χάλκινα δίκτυα δημιουργούνταν με ογκώδη χάλκινα σύρματα που χρησιμοποιούν ηλεκτρόνια για τη μετάδοση δεδομένων.

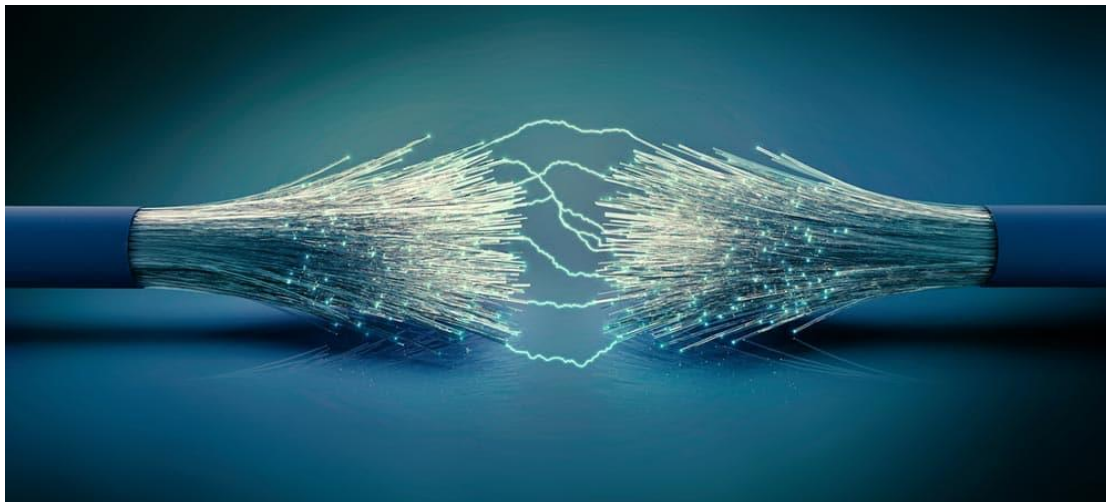
Από μια σειρά νέων καταπληκτικών εξελίξεων που έγιναν στα πρόσφατα χρόνια, έχουμε τη δυνατότητα να στέλνουμε απίστευτα μεγάλες ποσότητες πληροφοριών όλων των ειδών, σε πολύ μεγάλες αποστάσεις και με τρομακτικά μεγάλες ταχύτητες, χρησιμοποιώντας οπτικές ίνες. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να μιλάμε, να βλέπουμε και να ακούμε με καταπληκτική ταχύτητα και αποδοτικότητα, χρησιμοποιώντας πολύ λεπτές ίνες φωτός, οι οποίες κινούνται μέσα σε γυάλινες ίνες που έχουν πάχος τρίχας μαλλιών.

Μία λοιπόν σημαντική διαφορά των δικτύων χαλκού και των οπτικών ινών είναι ότι τα δίκτυα χαλκού χρησιμοποιούν ηλεκτρόνια για την μετάδοση δεδομένων δηλαδή ηλεκτρικούς παλμούς ενώ οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούν φως δηλαδή φωτόνια. Και επειδή το φως είναι ταχύτερο από τους ηλεκτρικούς παλμούς η ίνα προσφέρει ταχύτερη μετάδοση δεδομένων και υψηλότερο εύρος ζώνης.



Οι οπτικές ίνες υπόσχονται να αντικαταστήσουν τα πολυκλωνικά τηλεφωνικά καλώδια, τα δίκτυα μικροκυμάτων, ακόμα και μερικούς από τους δορυφορικούς σταθμούς, αλλά υπόσχονται όμως να προσφέρουν πολλά επιπρόσθετα οφέλη όπως επικοινωνία χωρίς παρεμβολές, επικοινωνία με ασφάλεια, μεγάλη απόδοση αν σκεφτούμε ότι ένα ζευγάρι οπτικών ινών μπορεί να μεταφέρει χιλιάδες τηλεφωνικές συνδιαλέξεις και καταλαμβάνει πολύ λίγο χώρο.

2. Παθητικά οπτικά δίκτυα – Οπτική ίνα



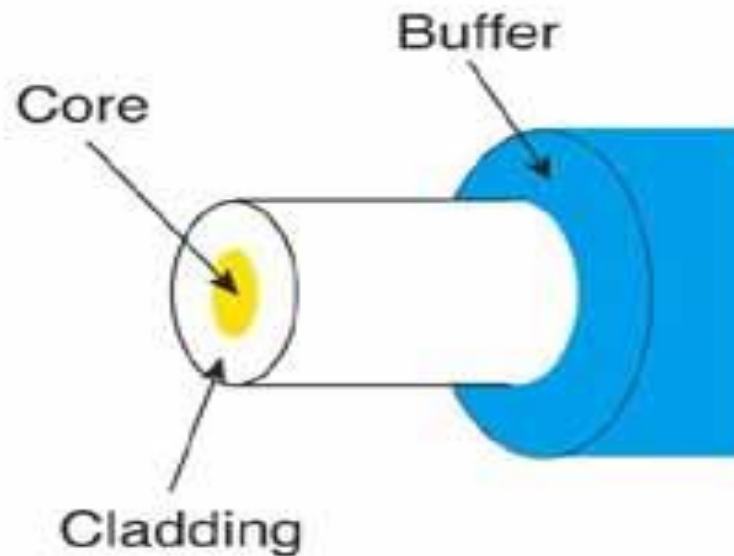
2.1 Λειτουργία και δομή οπτικής ίνας

Στα καλώδια των οπτικών ινών υπάρχει στο ένα άκρο ο πομπός και στο άλλο ο δέκτης. Ο πομπός, λαμβάνει δεδομένα από έναν υπολογιστή και τα μετατρέπει σε ψηφιακά κύματα φωτός. Αυτά τα κύματα ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός ($3 \cdot 10^8$) με ακολουθούμενες ανακλάσεις στα τοιχώματα της ίνας. Οι ανακλάσεις πρέπει να γίνονται σε γωνία μικρότερη των 42 μοιρών έτσι ώστε τα τοιχώματα να λειτουργούν ως καθρέφτες. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ολική εσωτερική ανάκλαση και είναι ο λόγος που τα κύματα φωτός παραμένουν στο εσωτερικό της οπτικής ίνας και συνεχίζουν το ταξίδι τους μέχρι το άλλο άκρο που είναι ο δέκτης χωρίς να χάνονται δεδομένα. Ο δέκτης με την σειρά του αποκωδικοποιεί τα ψηφιακά κύματα φωτός και



τα μετατρέπει σε ψηφιακά δεδομένα. Για την επίτευξη της ολικής ανάκλασης και γενικότερα της σωστής λειτουργίας της οπτικής ίνας κύριο λόγο έχει η δομή της. (Coolweb.gr,2013), (Woodford and Chris, 2006/2020), (Anderson, 2020), (Toppr.com, 2022)\

2.1.1 Δομή οπτικής ίνας



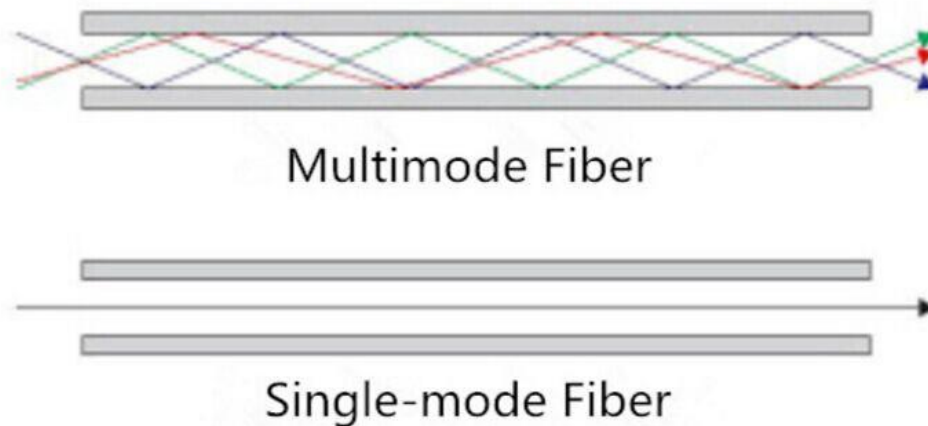
Μια οπτική ίνα αποτελείται από τρία ομόκεντρα στοιχεία:

- ❖ **Τον πυρήνα (Core):** Ο πυρήνας είναι ένας κυματοδηγός σε σχήμα κυλίνδρου, κατασκευασμένος από γυαλί ή πλαστικό, μέσα στον οποίο γίνεται η μετάδοση των κυμάτων φωτός. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του πυρήνα, τόσο περισσότερο φως μπορεί να μεταδοθεί πάνω του.
- ❖ **Την εσωτερική επένδυση (Cladding):** Η εσωτερική επένδυση είναι το μεσαίο στρώμα το οποίο περιβάλλει τον πυρήνα. Έχει χαμηλότερο δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα. Κύρια λειτουργία της είναι να διασφαλίζει την ανάκλαση των κυμάτων φωτός και να διατηρεί τα δεδομένα στο εσωτερικό του πυρήνα. Επιπροσθέτως προστατεύει τον πυρήνα και από εξωτερικούς παράγοντες.
- ❖ **Την εξωτερική επένδυση (Buffer – jacket):** Η εξωτερική επένδυση η οποία είναι φτιαγμένη από ανθεκτικά υλικά όπως καουτσούκ ή ατσάλι, βοηθάει στην διατήρηση της αντοχής της ίνας, στην απορρόφηση των κραδασμών και



γενικότερα στην προστασία του πυρήνα. (OmniSecu.com), (Rp Photonics), (Ad-net.com.tw, 2016), (Sites.google.com), (Labman), (Belden, 2022)

2.2 Είδη οπτικών ινών



Υπάρχουν 2 τύποι οπτικών ινών:

- Μονότροπες ίνες (Single Mode Fibers / SMF)
- Πολύτροπες ίνες (Multi Mode Fibers / MMF)

2.2.1 Μονότροπες ίνες / Απλού τύπου (SMF):

Οι μονότροπες ίνες ή αλλιώς μονοτροπικές ίνες είναι οπτικές ίνες που έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να υποστηρίζουν μόνο ένα τρόπο διάδοσης ανά κατεύθυνση πόλωσης για ένα δεδομένο μήκος κύματος. Έχουν διάμετρο που φτάνει μέχρι 10μm αλλά συνήθως είναι 8,3μm και 9μm. Σε αυτόν τον τύπο οπτικών ινών επιτυγχάνονται υψηλοί ρυθμοί δεδομένων και σε μεγάλες αποστάσεις επειδή τα κύματα φωτός ταξιδεύουν σε ευθεία γραμμή χωρίς ανακλάσεις. Αυτός είναι και ο λόγος που αυτές είναι οι ίνες χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την μετάδοση δεδομένων μεγάλων αποστάσεων και σχεδόν πάντα για εφαρμογές σε εξωτερικούς χώρους, ακόμη και σε μικρότερες αποστάσεις διότι δεν επηρεάζονται από το φαινόμενο της τροπικής διασποράς. Όσο πιο μικρή είναι διάμετρος του πυρήνα μιας οπτικής ίνας τόσο πιο μικρή εξασθένιση θα υπάρχει και τόσο μεγαλύτερο θα είναι το εύρος ζώνης και ο όγκος



των δεδομένων που θα μεταφέρονται. (Newport.com), (Labman), (Cleerline, 2019), (Fs |community, 2022), (TecgLogix, 2020), (Σπυριδούλα Μαργαρίτη | Ελευθέριος Στεργίου, 2007)

2.2.2 Πολύτροπες ίνες / Πολλαπλού τύπου (MMF):

Οι πολύτροπες ίνες είναι οπτικές ίνες που έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να μεταφέρουν πολλαπλές ακτίνες φωτός ή λειτουργίες ταυτόχρονα, αλλά κάθε μία σε μια οριακά διαφορετική γωνία ανάκλασης μέσα στον πυρήνα της οπτικής ίνας. Βασική προδιαγραφή μιας πολύτροπης ίνας είναι το μέγεθος της διαμέτρου του πυρήνα και της εσωτερικής επένδυσης. Συνήθως το μέγεθος διαμέτρου του πυρήνα είναι είτε 50μm είτε 62,5μm και η διάμετρος της εσωτερικής επένδυσης είναι 125μm. Αυτός ο τύπος οπτικών ινών χρησιμοποιείται κυρίως για τη μετάδοση σε συγκριτικά μικρότερες αποστάσεις σε σχέση με τις μονότροπες ίνες, γιατί υπάρχει πιθανότητα να διασκορπιστούν σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό και ως τροπική διασπορά. Αυτές οι ίνες παρέχουν επίσης υψηλό εύρος ζώνης σε υψηλές ταχύτητες με μικρές αποστάσεις. Τα κύματα φωτός εξαπλώνονται σε διάφορους τρόπους λειτουργίας ή μονοπάτια καθώς ταξιδεύουν μέσω του πυρήνα του καλωδίου, συνήθως 850 ή 1300nm. Από την άλλη πλευρά, σε μεγάλες αποστάσεις, διάφορες διαδρομές φωτός μπορεί να οδηγήσουν σε παραμόρφωση σήματος στο άκρο λήψης. Αυτό τελικά έχει ως αποτέλεσμα μια διαφορούμενη και ελλιπή μετάδοση δεδομένων. (Labman), (Cleerline, 2019), (Fs |community, 2022), (TecgLogix, 2020), (Σπυριδούλα Μαργαρίτη | Ελευθέριος Στεργίου, 2007)

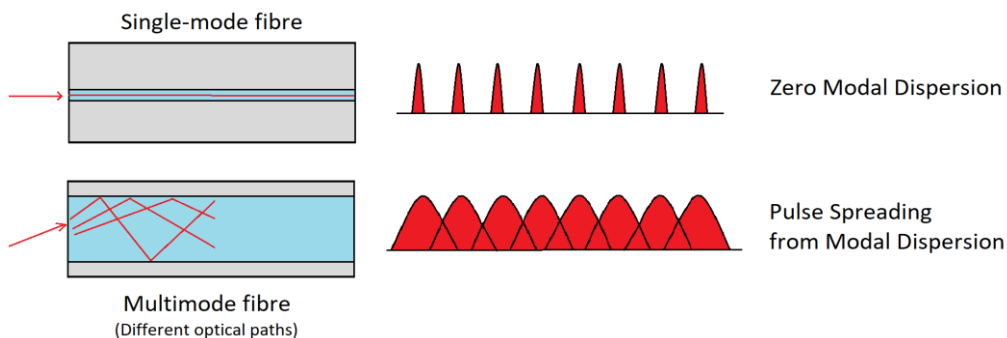
2.3 Διασπορά οπτικής ίνας

Η διασπορά στις οπτικές ίνες είναι η περιγραφή της διαδικασίας και του τρόπου με τον οποίο ένα σήμα εισόδου διαδίδεται καθώς ταξιδεύει στην ίνα. Με πιο απλά λόγια λόγω της διασποράς μειώνεται η ποσότητα των δεδομένων που μεταφέρει η οπτική ίνα. Η διασπορά στα καλώδια οπτικών ινών περιλαμβάνει 3 τρόπους:

- ❖ Τροπική διασπορά (Modal Dispersion)
- ❖ Χρωματική διασπορά

❖ Διασπορά τρόπου πόλωσης

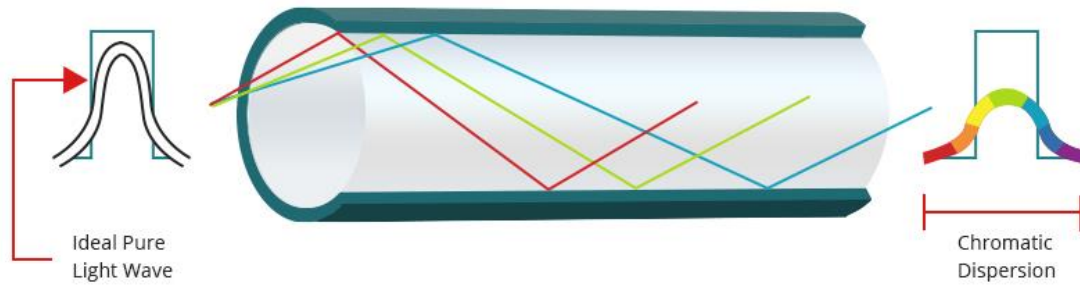
2.3.1 Τροπική διασπορά (Modal Dispersion):



Η τροπική διασπορά η αλλιώς διατροπική διασπορά είναι ένας μηχανισμός παραμόρφωσης και ασχολείται με τη διαδρομή και τον τρόπο που διαδίδεται κάθε ακτίνα φωτός μέσα στην ίνα. Ο μηχανισμός αυτός συνήθως συμβαίνει στις πολύτροπες ίνες και αυτό γιατί οι πολύτροπες ίνες μπορούν να υποστηρίξουν έως και 17 διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας φωτός τη φορά. Αυτό συνεπάγεται ότι το σήμα διαδίδεται στο χρόνο λόγω των διαφορετικών ταχυτήτων διάδοσης σε κάθε τρόπο λειτουργίας. Στην πολύτροπη οπτική ίνα, οι ακτίνες φωτός εισέρχονται υπό διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης και περνάνε από διάφορους τρόπους λειτουργίας. Κάποιες λοιπόν από αυτές τις ακτίνες φωτός θα ταξιδεύουν κατευθείαν μέσα από το κέντρο της ίνας ενώ άλλες θα αναπηδούν συνεχόμενα από τον πυρήνα κάνοντας έτσι ζιγκ-ζαγκ κατά μήκος του κυματοδηγού. Κάθε φορά που υπάρχει αναπήδηση, συμβαίνει το φαινόμενο της τροπικής διασποράς. Είναι λογικό λοιπόν όσο μεγαλύτερη είναι μία διαδρομή τόσο μεγαλύτερη είναι και η διασπορά.

Στις μονότροπες ίνες, δεν υπάρχει τροπική διασπορά αφού ο τρόπος διάδοσης είναι μόνο ένας και το φως εισέρχεται κατά μήκος του άξονα της ίνας χωρίς να γίνονται αναπηδήσεις. Υπάρχει όμως τρόπος να μειωθεί σημαντικά η τροπική διασπορά χρησιμοποιώντας μια πολύτροπη ίνα διαβαθμισμένου δείκτη, γιατί θα υπάρχει διαφορά στις ταχύτητες του φωτός. (Fs |community, 2021), (Fosco), (Circuit Globe)

2.3.2 Χρωματική διασπορά



Επειδή υπάρχουν διαφορετικές ταχύτητες στις ακτίνες φωτός το σήμα εξαπλώνεται με τη χρωματική διασπορά. Αυτό το φαινόμενο είναι αποτέλεσμα πρώτον της διασποράς υλικού και δεύτερον της διασποράς του κυματοδηγού.

Η διασπορά υλικού προκαλείται από την εξάρτηση του μήκους κύματος του δείκτη διάθλασης από το υλικό του πυρήνα της ίνας. Καθώς το μήκος κύματος αυξάνεται ο δείκτης διάθλασης του υλικού μειώνεται ή καθώς ο δείκτης διάθλασης του υλικού μειώνεται το μήκος κύματος αυξάνεται. Για να το καταλάβουμε καλύτερα θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι σε έναν τρόπο λειτουργίας διαδίδεται το φως εν μέρει στον πυρήνα και εν μέρει στην επένδυση. Επιπλέον μεταξύ των δεικτών διάθλασης της επένδυσης και του πυρήνα λειτουργεί ένας αποτελεσματικός δείκτης που η πραγματική τιμή του εξαρτάται από την αναλογία ισχύος που περιέχεται στην επένδυση και τον πυρήνα. Δηλαδή όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος τόσο μεγαλύτερη ισχύς στην επένδυση. Εάν το μήκος κύματος αλλάξει αλλάζει και η κατανομή ισχύος με αποτέλεσμα να αλλάζει και ο ενεργός δείκτης.

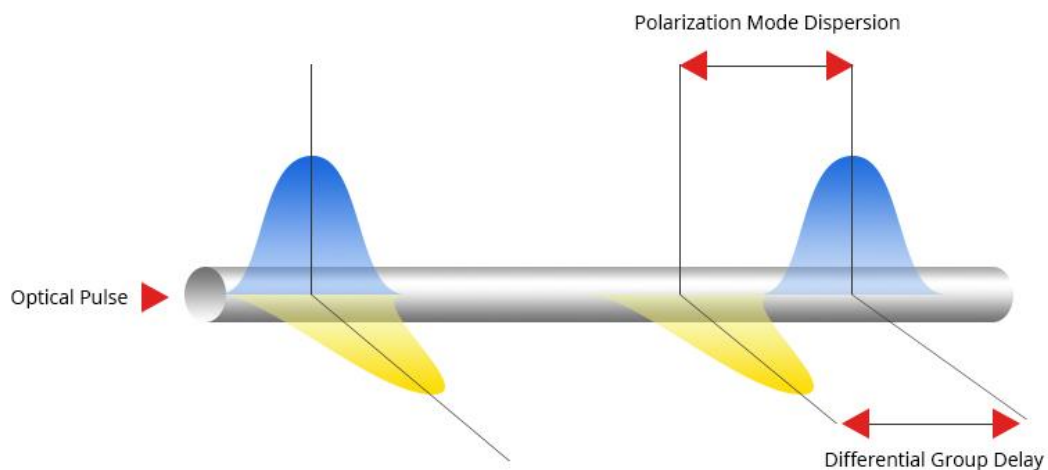
Η διασπορά του κυματοδηγού συμβαίνει λόγω της εξάρτησης της σταθερής διάδοσης του τρόπου λειτουργίας από τις παραμέτρους της ίνας (ακτίνα πυρήνα και διαφορά μεταξύ των δεικτών διάθλασης στον πυρήνα και την επένδυση της ίνας) και το μήκος κύματος του σήματος.



Όμως το φαινόμενο της χρωματικής διασποράς δεν είναι πάντα κακό. Επειδή το φως ταξιδεύει με διάφορες ταχύτητες σε διαφορετικά μέρη κύματος ή υλικά αναγκάζονται οι παλμοί φωτός είτε να απλώνονται είτε να συμπιέζονται καθώς ταξιδεύουν προς τα κάτω στην ίνα, καθιστώντας έτσι δυνατή την προσαρμογή του δείκτη διάθλασης για την παραγωγή ινών για διαφορετικές εφαρμογές. (Fosco), (Fs |community, 2021), (Circuit Globe)

2.3.3 Διασπορά τρόπου πόλωσης

Η διασπορά τρόπου πόλωσης (PMD) συμβαίνει όταν οι παλμοί φωτός στις μονότροπες ίνες διαδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες στους δύο τρόπους ορθογώνιας πόλωσης. Στις οπτικές ίνες, υπάρχει συνήθως μικρή διαφορά στα χαρακτηριστικά διάδοσης των κυμάτων φωτός με διαφορετικές καταστάσεις πόλωσης και ονομάζεται διαφορική καθυστέρηση ομάδας (DGD). Το DGD μετριέται σε picoseconds (ps) και προκύπτει από τυχαίες ατέλειες στην ίνα ή περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως αλλαγές στη θερμοκρασία ή μηχανική πίεση. Για αυτό είναι απαραίτητη η δυναμική αντιστάθμιση.



Όταν το φως ορίζεται ως ενεργειακό κύμα ή ενεργειακή περιοχή, έχει 2 αμοιβαία κάθετους άξονες, δηλαδή την ηλεκτροκινητική δύναμη και την μαγνητοκινητική δύναμη. Τη στιγμή λοιπόν που η ενέργεια μέσα σε αυτούς τους δύο άξονες μεταφέρεται με διαφορετικές ταχύτητες σε μία ίνα, εμφανίζεται το PMD. Το PMD έχει μικρά εφέ για δίκτυα των οποίων οι ταχύτητες σύνδεσης είναι μικρότερες από 2,5Gbps ακόμη και



αν η απόσταση μετάδοσης είναι μεγαλύτερη από 1000km. Ωστόσο, όσο αυξάνονται οι ταχύτητες, τόσο πιο σημαντική παράμετρος γίνεται ειδικά όταν οι ταχύτητες είναι πάνω από 10Gbps. Εκτός από το κύριο εγγενές PMD που προκαλείται από τη διαδικασία κατασκευής γυαλιού, το PMD μπορεί να επηρεαστεί ή να προκληθεί από την καλωδίωση ινών, την εγκατάσταση και το περιβάλλον λειτουργίας του καλωδίου επίσης.

2.5 Τα χαρακτηριστικά και τα πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα της οπτικής ίνας

Βασικά χαρακτηριστικά των οπτικών ινών:

- **Η πολύ μικρή εξασθένηση:** Λόγω της πολύ μικρής εξασθένησης δεν χρησιμοποιούνται επαναλήπτες για την ενίσχυση του σήματος.
- **Το μεγάλο εύρος ζώνης:** Στην οπτική ίνα το εύρος ζώνης είναι της τάξεως των 1600 MHz ενώ στις μονότροπες οπτικές ίνες το εύρος ζώνης φτάνει να είναι μεγαλύτερο και από εκατοντάδες GHz.
- Δεν επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.
- **Ασφάλεια:** Το να κλαπούν δεδομένα από την οπτική ίνα είναι πολύ δύσκολο έως ακατόρθωτο. Έτσι οι οπτικές ίνες παρέχουν μεγάλη ασφάλεια στα δεδομένα και είναι από τα πιο ασφαλή μέσα.
- **Δεν υπάρχουν βρόχοι γειώσεων και ρεύματα διαρροής:** Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο άκρων μια γραμμής, οι κεραυνοί και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν επηρεάζουν καθόλου την ίνα.
- **Έχουν πολύ μικρό όγκο και βάρος:** Η συνολική διάμετρος φτάνει μέχρι 5mm. (Σπυριδούλα Μαργαρίτη | Ελευθέριος Στεργίου, 2007)

Πλεονεκτήματα:

1. Γρήγορη μεταφορά δεδομένων και ανταπόκριση.
2. Μεγαλύτερες ταχύτητες στο upload και download χωρίς καθόλου καθυστερήσεις. Οι ταχύτητες που μπορεί να πιάσει η οπτική ίνα σε σχέση με τις ταχύτητες ενός δικτύου χαλκού είναι τεράστιες. Πιο συγκεκριμένα η οπτική ίνα έχει ταχύτητες από 100 Mbps και μπορεί να φτάσει μέχρι 1024 Gbps.



3. Σταθερότητα στη σύνδεση χωρίς καμία απώλεια δεδομένων.
4. Είναι φιλικές προς το περιβάλλον λόγω της μικρής τους κατανάλωσης ενέργειας.
5. Μπορούν να ανταπεξέλθουν σε πολλές εργασίες ταυτόχρονα όπως gaming, video streaming και άλλα.
6. Δεν υπάρχουν καθυστερήσεις.
7. Έχουν 10 φορές μικρότερο βάρος και μέγεθος σε σχέση με τα καλώδια χαλκού.
8. Μέσω της πολυπλεξίας επιτυγχάνεται η μετάδοση δεδομένων σε πολλά σημεία στον χώρο.
9. Προστασία από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.
10. Διαθέτουν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης.
11. Εύκολες αναβαθμίσεις οπτικών καναλιών.
12. Ευκολία στην εγκατάσταση.

Μειονεκτήματα:

1. Λόγω της ευθραυστότητας χρειάζεται πολύ προσοχή στην εγκατάσταση και στην συντήρησή της.
2. Λόγω του υψηλού κόστους η εγκατάσταση των οπτικών ινών είναι προτιμότερο να γίνεται σε μεγαλύτερο φάσμα για να εξυπηρετούνται όσο το δυνατόν περισσότεροι χρήστες με το μικρότερο δυνατό κόστος. (Cabit services)

3. Ενισχυτές

3.1 Οπτικοί ενισχυτές



Το φως-σήμα που διέρχεται μέσα στην οπτική ίνα κατά τη διάδοσή του εξασθενεί. Σε μικρή απόσταση αυτό δεν είναι τόσο πρόβλημα όσο στις μεγάλες αποστάσεις όπου η συνολική απώλεια της ισχύος του σήματος το κάνει πολύ αδύναμο (ασθενές) ώστε να μπορέσει να ανιχνευτεί, γι' αυτό λοιπόν χρησιμοποιούνται και οι οπτικοί ενισχυτές. Οι οπτικοί ενισχυτές είναι συσκευές όπου λαμβάνουν το σήμα εισόδου και το ενισχύουν (δηλαδή με υψηλότερη οπτική ισχύ) χωρίς όμως να το μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα. Συνήθως, οι εισοδοί και οι έξοδοι είναι δέσμες λέιζερ και είτε διαδίδονται ως ακτίνες Gauss σε ελεύθερο χώρο είτε σε ίνα. Οι κύριοι τύποι οπτικών ενισχυτών είναι δύο:

- Οι οπτικοί ενισχυτές στερεάς κατάστασης που περιλαμβάνουν τους οπτικούς ενισχυτές ημιαγωγών οι αλλιώς (SOA) και

- Τους Ενισχυτές ιών με πρόσμειξη ερβίου (EDFAs) και την ενίσχυση Raman (FRA)
(ScienceDirect, 2018), (Tehcno Pedia)

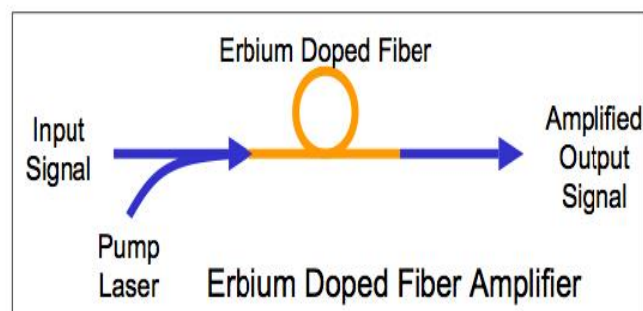
3.1.1 Οπτικός ενισχυτής ημιαγωγών (SOA)

Οι οπτικοί ενισχυτές ημιαγωγών (SOA) όπως λέει και η ονομασία τους είναι ενισχυτές που για να παρέχουν το μέσο κέρδος χρησιμοποιούν ημιαγωγό. Στο συγκεκριμένο τύπο ενισχυτή, το μέσο κέρδος παράγεται μέσω του ηλεκτρικού ρεύματος. Όσον αφορά τη δομή τους, είναι παρόμοια με τη δομή που έχουν οι δίοδοι λέιζερ Fabry – Perot με τη μόνη διαφορά ότι έχουν αντιανακλαστικά στοιχεία στις άκρες. Αυτά τα εξαρτήματα χρησιμοποιούνται κυρίως για την ενίσχυση του σήματος στις τηλεπικοινωνίες και πιο συγκεκριμένα στις οπτικές ίνες. Λειτουργούν σε μήκη κύματος μεταξύ 0,85μm και 1,5μm, και μπορούν να παράγουν κέρδος έως 30dB. Είναι διαθέσιμα σε μήκη κύματος 1310nm, 1400nm, 1500nm και 1600 nm. Επιπλέον αυτοί οι οπτικοί ενισχυτές είναι μικρού μεγέθους, μπορούν να ενσωματωθούν με λέιζερ ημιαγωγών και μπορούν να χρησιμοποιηθούν με απλή λειτουργία διατηρώντας την είσοδο/έξοδο των ιών. Ωστόσο το SOA έχει υψηλότερο θόρυβο και χαμηλότερο κέρδος από το EDFA κάνοντας την απόδοσή του μη συγκρίσιμη. (Fiber Optics Tytorial, 2014), (Mohammad Abdul Matin, 2018)

3.1.2 Ενισχυτές ιών με πρόσμειξη ερβίου (EDFAs)



NEPT-EC



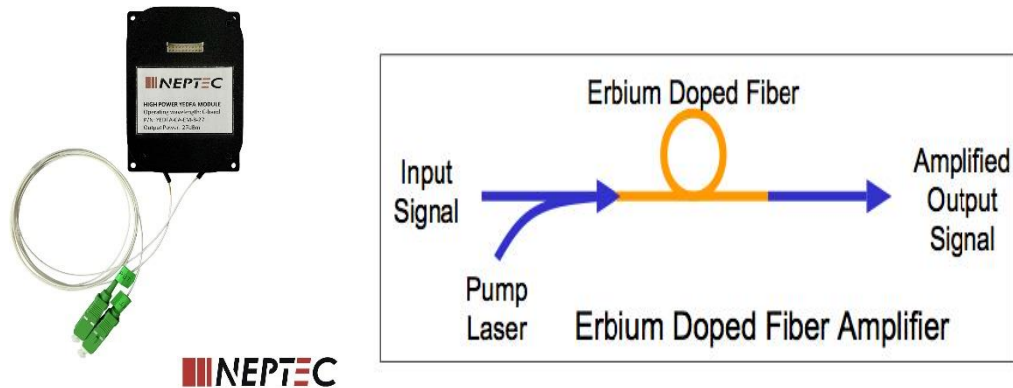


Αυτοί οι ενισχυτές οπτικών ινών βασίζονται στις μονότροπες ίνες και είναι οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι και πιο σημαντικοί ενισχυτές στο πλαίσιο της επικοινωνίας με οπτικές ίνες. Κατασκευάζονται από ίνες με πρόσμειξη ερβίου (EDF), ένα λέιζερ αντλίας και έναν συνδυαστή WDM. Ένα άλλο χαρακτηριστικό τους είναι ότι το EDFA μπορεί να ενισχύσει πολλαπλά οπτικά σήματα ταυτόχρονα, και έτσι μπορεί να συνδυαστεί με ευκολία με την τεχνολογία WDM. Οι ενισχυτές αυτοί μπορούν να παρέχουν ενίσχυση λέιζερ μέσω διεγερμένης εκπομπής όταν αντλείται οπτικά με άλλο φως που εγχέεται στην ίνα και αυτό είναι και το βασικό τους στοιχείο. Δουλεύουν καλύτερα στην περιοχή 1535-1560 nm και η δυνατότητα απολαβής είναι μεγαλύτερη των 30dB. Στην ουσία όλα αυτά επιτυγχάνονται λόγω του ερβίου που είναι ένα χημικό στοιχείο μετάλλου με ιδιότητες φθορισμού. (FiberLabs Inc, 2021), (Rp Photonics)

3.1.3 Ενισχυτής Fiber Raman (FRA)

Ο οπτικός ενισχυτής Raman (FRA) ενισχύει το σήμα με διεγερμένη σκέδαση Raman (SRS). Το SRS είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που χρησιμοποιείται για να επεκτείνει του εύρος συχνοτήτων των λέιζερ. Στην πραγματικότητα το SRS αντιπροσωπεύει μια μη γραμμική αλληλεπίδραση μεταξύ ενός υψηλού και χαμηλού μήκους κύματος, που επιτυγχάνεται μέσω μιας διεργασίας ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Το FRA γενικότερα χωρίζεται σε δύο τύπους, το DRA και το LRA. Στο DRA, η ενίσχυση Raman επιτυγχάνεται εντός του κύματος διάδοσης στην ίδια οπτική ίνα και για αυτό ονομάζεται και «κατανεμημένη ενίσχυση Raman». Το LRA η αλλιώς «ομαδοποιημένη ενίσχυση» χρησιμοποιείται ένα μικρότερο μήκος κυματοδηγού για την παροχή ενίσχυσης. Οι ενισχυτές Raman μπορούν να παράγουν κέρδος 40dB και χρησιμοποιούνται κυρίως σε ζώνες όπου οι ενισχυτές ίνας με πρόσμειξη ερβίου EDFA δεν μπορούν να καλύψουν. (Mohammad Abdul Matin, 2018), (Fiber Optics Tytorial, 2014)

3.2 Ενισχυτές λέιζερ



Οι περισσότεροι οπτικοί ενισχυτές είναι ενισχυτές με λέιζερ, όπου τα ιόντα ή μόρια διεγείρονται από το φως σήματος για να εκπέμψουν περισσότερο φως στις ίδιες λειτουργίες ακτινοβολίας. Για την ενίσχυση με λέιζερ χρησιμοποιούνται σε μαζική μορφή οι κρύσταλλοι και γυαλιά λέιζερ (μονωτήρες) ή ορισμένοι τύποι κυματοδηγών όπως οι οπτικές ίνες. Ένας ιδιαίτερα σημαντικός τύπος ενισχυτή λέιζερ είναι ο ενισχυτής ινών με πρόσμειξη ερβίου (Erbium-doped Fiber Amplifiers), ο οποίος χρησιμοποιείται κυρίως για επικοινωνίες οπτικών ινών και στον οποίο έγινε αναφορά πιο πάνω. (ScienceDirect, 2018), (Mohammad Abdul Matin, 2018)

3.3 Ενισχυτές που βασίζονται σε οπτικές μη γραμμικότητες

Για την οπτική ενίσχυση χρησιμοποιούνται και άλλοι φυσικοί μηχανισμοί που βασίζονται σε οπτικές μη γραμμικότητες. Οι οπτικοί παραμετρικοί ενισχυτές βασίζονται συνήθως σε ένα μέσο με μη γραμμικότητα αλλά υπάρχουν και συσκευές παραμετρικής ίνας που χρησιμοποιούν τη μη γραμμικότητα μιας ίνας. Επίσης οι ενισχυτές Raman και οι ενισχυτές Brillouin είναι τύποι μη γραμμικών ενισχυτών. ενισχυτών οι οποίοι εκμεταλλεύονται την καθυστερημένη μη γραμμική απόκριση ενός μέσου παρέχοντας έτσι κέρδος μόνο εφόσον υπάρχει το φως της αντλίας σε αντίθεση με τους ενισχυτές λέιζερ οι οποίοι μπορούν να αποθηκεύσουν κάποια ποσότητα ενέργειας. (ScienceDirect, 2018), (Mohammad Abdul Matin, 2018)



3.4 Υπερταχείς ενισχυτές

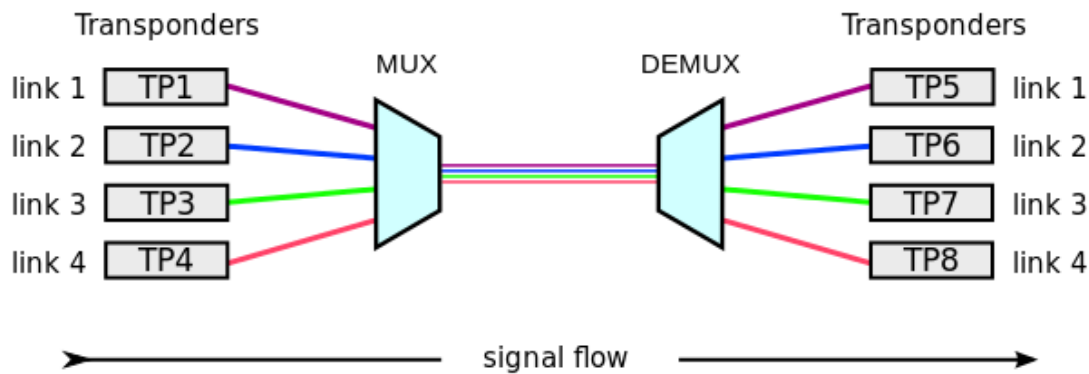
Ενισχυτές διαφορετικών ειδών μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση πάρα πολύ μικρών παλμών με διάρκεια picosecond ή μικρότερη. Αυτοί οι ενισχυτές χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση παλμικών συρμών υψηλού ρυθμού επανάληψης (ο αριθμός των παλμών που εκπέμπονται ανά δευτερόλεπτο) οδηγώντας σε υψηλή μέση ισχύ ενώ η ενέργεια παλμού παραμένει μέτρια. Σε άλλες περιπτώσεις, ένα πολύ υψηλότερο κέρδος εφαρμόζεται σε παλμούς με χαμηλότερους ρυθμούς επανάληψης, οδηγώντας σε υψηλές ενέργειες παλμών και αντίστοιχα τεράστιες δυνάμεις αιχμής. Ένα ουσιαστικό σημείο είναι η ικανότητα ενός ενισχυτή λέιζερ να αποθηκεύει κάποια ποσότητα ενέργειας αντλίας έως ότου ο ενισχυμένος παλμός να



εξάγει ενέργεια led. (ScienceDirect, 2018), (Mohammad Abdul Matin, 2018)

4. Πολυπλεξία και αποπολυπλεξία

wavelength-division multiplexing (WDM)



4.1 Ορισμός της πολυπλεξίας και της αποπολυπλεξίας

Η πολυπλεξία και η αποπολυπλεξία στο πεδίο μετάδοσης δικτύου έχουν κοινές ορολογίες. Για την πολυπλεξία των φωτεινών σημάτων σε μία μόνο ζεύξη οπτικών ινών υπάρχουν τρεις κύριες διαφορετικές τεχνικές: 1) OTDM πολυπλεξία οπτικής διαίρεσης χρόνου 2) CDM πολυπλεξία διαίρεσης κώδικα 3) WDM πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος. Το WDM προσφέρει τη δυνατότητα εκπομπής αρκετών εκατοντάδων gigabit ανά sec σε κάθε οπτική ίνα καθώς και αμφίδρομη εκπομπή στην ίδια ίνα. Τα συστήματα WDM χωρίζονται σε δύο κύρια διαφορετικά μοτίβα μήκους κύματος, το CWDM και το DWDM. Το CDWM παρέχει έως και 18 κανάλια σε πολλαπλά παράθυρα μετάδοσης ινών πυριτίδας. Ενώ, το DWDM χρησιμοποιεί το παράθυρο μετάδοσης C-band (1530nm-1565nm), αλλά με πιο πυκνή απόσταση καναλιών. (Fiber Optic Network Products, 2018), (Andy Bateman, 2000)

4.1.1 Πολυπλεξία

Το Multiplexing (Muxing) είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται στον τομέα της δικτύωσης υπολογιστών και στον τομέα των επικοινωνιών. Η πολυπλεξία είναι η διαδικασία συλλογής δεδομένων από διαφορετικές διεργασίες εφαρμογών που επιτρέπει να μεταδίδονται μέσα από την ίδια γραμμή επικοινωνίας. Σκοπός της είναι



να επιλέξει μία από τις γραμμές εισόδου και να την μεταδώσει την έξοδο. Στην πολυπλεξία μπορούν να ενσωματωθούν πολλά κανάλια χαμηλής ταχύτητας σε ένα μόνο κανάλι υψηλής ταχύτητας για την μετάδοση. Οι φορείς επικοινωνίας, με τη χρήση της πολυπλεξίας μπορούν να αποφύγουν τη διατήρηση πολλαπλών γραμμών, επομένως εξοικονομείται αποτελεσματικά το κόστος λειτουργίας.

Ο πολυπλέκτης (Mux) είναι μία συσκευή που εκτελεί τη διαδικασία πολυπλεξίας. Είναι ένα εξάρτημα υλικού που συνδυάζει πολλαπλά αναλογικά ή ψηφιακά σήματα εισόδου σε μία ενιαία γραμμή μετάδοσης.

4.1.2 Αποπολυπλεξία

Η αποπολυπλεξία (Demuxing) είναι ένας όρος που σχετίζεται με την πολυπλεξία και είναι το ακριβώς αντίστροφο με την διαδικασία της πολυπλεξίας. Το Demultiplex είναι μια διαδικασία που διαχωρίζει πολλαπλά σήματα μήκους κύματος που μεταδίδονται σε μία ίνα. Τα σήματα οπτικού φορέα διαφορετικών μηκών κύματος στο άκρο λήψης διαχωρίζονται από έναν αποπολυπλέκτη που είναι ένα συνδυαστικό κύκλωμα. Αυτός λαμβάνει πληροφορίες σε μία γραμμή εισόδου και τις μεταδίδει σε μία από τις πιθανές γραμμές εξόδου.

Αν και η αποπολυπλεξία είναι το αντίστροφο της διαδικασίας της πολυπλεξίας, δεν είναι το αντίθετο της πολυπλεξίας. Το αντίθετο της πολυπλεξίας είναι η αντίστροφη πολυπλεξία (iMuxing), η οποία διασπά μια ροή δεδομένων σε πολλές σχετικές ροές δεδομένων. Έτσι, η διαφορά μεταξύ της αποπολυπλεξίας και της αντίστροφης πολυπλεξίας είναι ότι οι ροές εξόδου της αποπολυπλεξίας δεν σχετίζονται, ενώ οι ροές εξόδου της αντίστροφης πολυπλεξίας σχετίζονται.

4.1.3 Διαφορά μεταξύ πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας

Η διαφορά μεταξύ της πολυπλεξίας και της αποπολυπλεξίας μπορεί να φανεί και από τους ορισμούς. Όπως είδαμε και πιο πριν η πολυπλεξία είναι μια μέθοδος ή τεχνική όπου δύο και περισσότερα σήματα συνδυάζονται σε ένα σήμα που ταξιδεύει σε ένα



μέσο. Η αποπολυπλεξία είναι το αντίστροφο της πολυπλεξίας, στην οποία ένα πολυπλεξικό σήμα αποσυντίθεται σε μεμονωμένα σήματα.

Επιπλέον μπορούμε να κατανοήσουμε περισσότερα σχετικά με τη διαφορά μεταξύ της πολυπλεξίας και της αποπολυπλεξίας από συσκευές πολυπλέκτη και αποπολυπλέκτη που εκτελούν την αντίστοιχη διαδικασία. Οι συσκευές αυτές αναφέρονται παρακάτω:

4.1.4 Πολυπλέκτης (Mux):

- **Στο σύστημα επικοινωνίας:** Αύξηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος επικοινωνίας επιτρέποντας τη μετάδοση δεδομένων, όπως η μετάδοση δεδομένων ήχου και βίντεο.
- **Στη μνήμη του υπολογιστή:** Διατήρηση μεγάλης ποσότητας μνήμης στους υπολογιστές και μείωση των χάλκινων γραμμών που απαιτούνται για τη σύνδεση της μνήμης και με άλλα μέρη του υπολογιστή.
- **Στο τηλεφωνικό Δίκτυο:** Ενσωμάτωση πολλαπλών σημάτων ήχου σε μία μόνο γραμμή μετάδοσης. (Fiber Optic Network Products, 2018), (Scaler Topics, 2022), (Glsun, 2022)

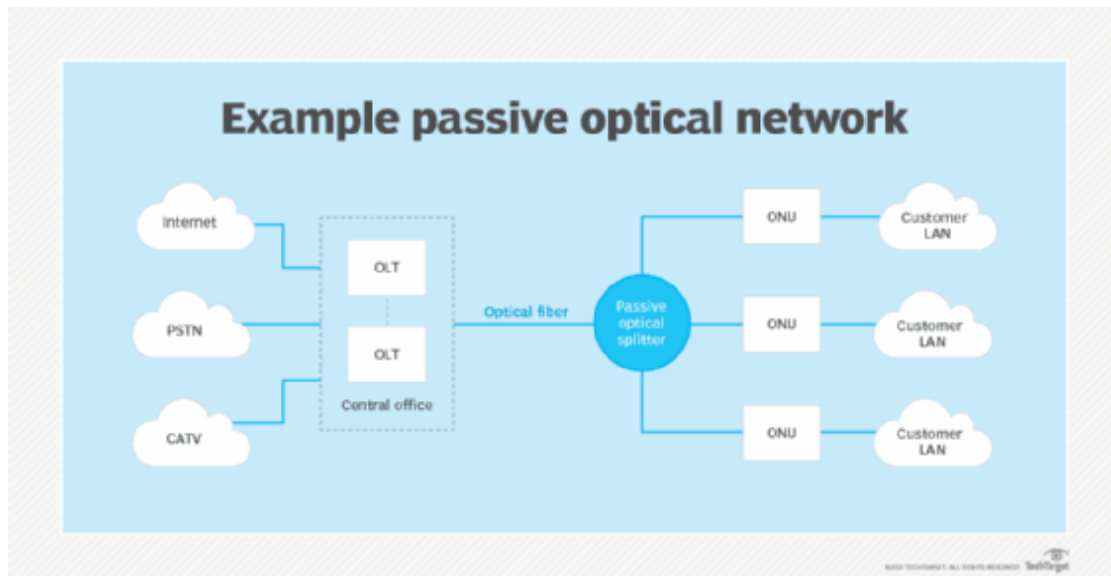
4.1.5 Αποπολυπλέκτης (Demux):

- **Στο σύστημα επικοινωνίας:** Λαμβάνει τα σήματα εξόδου από τον πολυπλέκτη και τα μετατρέπει ξανά στην αρχική μορφή στο άκρο του δέκτη.
- **Στην αριθμητική λογική μονάδα:** Η έξοδος της αριθμητικής λογικής μονάδας τροφοδοτείται ως είσοδος στο Demux και το ο/ρ του Demux συνδέεται σε πολλούς καταχωρητές.
- **Σε σειριακό παράλληλο μετατροπέα:** Ο μετατροπέας σειριακής σε παράλληλη χρησιμοποιείται για την αναμόρφωση παράλληλων δεδομένων. Σε αυτή τη μέθοδο, τα σειριακά δεδομένα δίνονται ως είσοδος στο Demux και ένας μετρητής συνδέεται στο Demux για να ανιχνεύει το σήμα δεδομένων στο ο/ρ του Demux. Όταν όλα τα σήματα δεδομένων αποθηκεύονται, ή έξοδος του Demux μπορεί να διαβαστεί παράλληλα. (Fiber Optic Network Products, 2018), (Scaler Topics, 2022), (Glsun, 2022)



Συμπερασματικά η πολυπλεξία και η αποπολυπλεξία είναι δύο τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται ευρέως στο CWDM και στο DWDM. Η συσκευή που χρησιμοποιείται για την πολυπλεξία είναι ένας πολυπλέκτης (Mux) και η συσκευή που χρησιμοποιείται για την αποπολυπλεξία είναι ένας πολυπλέκτης (Demux).

5. Παθητικό οπτικό δίκτυο (Passive Optical Network/PON)



5.1 Παθητικό και Ενεργό οπτικό δίκτυο (PON/AON)

Ένα παθητικό οπτικό δίκτυο (PON) είναι ένα δίκτυο οπτικών ινών που χρησιμοποιεί μια αρχιτεκτονική (point-to-multipoint / p2p) καθώς και οπτικούς διαχωριστές (splitters) από ένα σημείο σε πολλαπλά σημεία χρήστη. Επίσης το δίκτυο αυτό λέγεται παθητικό γιατί τα splitters των οπτικών ινών λειτουργούν χωρίς να χρειάζονται τροφοδοσία.

Εκτός από τα παθητικά οπτικά δίκτυα (PON) υπάρχουν και τα ενεργά οπτικά δίκτυα (AON). Οι διαφορές τους είναι στον αριθμό των οπτικών ινών που απαιτούνται ανά χρήστη και το στοιχείο διαχωριστή (splitter) που χρησιμοποιείται στις αρχιτεκτονικές PON. Τα AON χρησιμοποιούν ένα ενεργό δρομολογητή (router) για τη διανομή δεδομένων από τον πάροχο υπηρεσιών στους χρήστες και κάθε υπηρεσία χρήστη απαιτεί μια αποκλειστική ίνα και θύρα δρομολογητή / διακόπτη (router / switch port). Ενώ τα PON χρησιμοποιούν ένα router / switch port και μία ίνα μεταξύ του router / switch και του splitter για να εξυπηρετήσουν πολλούς συνδρομητές. Δηλαδή ένα PON είναι εγγενώς αποδοτικό από την άποψη του κόστους λειτουργίας εφόσον χρησιμοποιεί λιγότερες θύρες δρομολογητή και συνδέσεις οπτικών ινών για την εξυπηρέτηση των



συνδρομητών από ένα ΑΟΝ. Τέλος επειδή η αρχιτεκτονική PON ελαχιστοποιεί πιθανά σημεία αστοχίας αυτό την καθιστά ιδανική για παρόχους υπηρεσιών που χρειάζονται γρήγορη και αξιόπιστη συνδεσιμότητα. (Juniper.Networks), (Cisco), (Fiber Optic Solutions)

5.2 Στοιχεία και συσκευές PON

Οι οπτικές ίνες και οι διαχωριστές είναι τα πραγματικά <<παθητικά>> δομικά στοιχεία του PON, χωρίς να απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια. Οι οπτικοί διαχωριστές δεν είναι επιλεκτικοί ως προς το μήκος κύματος και απλώς διαιρούν τυχαία οπτικά μήκη κύματος στο downstream. Βέβαια ο διαχωρισμός ενός οπτικού σήματος συνεπάγεται και απώλεια ισχύος που εξαρτάται από τον αριθμό των τρόπων διάσπασης ενός σήματος. Οι διαχωριστές δεν απαιτούν καμία ψύξη ή άλλη συνεχή συντήρηση που είναι εγγενής στα ενεργά εξαρτήματα του δικτύου (όπως οι οπτικοί ενισχυτές) και μπορούν να διαρκέσουν για δεκαετίες αν δεν διαταραχθούν. Εκτός από τα παθητικά στοιχεία, απαιτούνται ενεργές τερματικές συσκευές για την πλήρη δημιουργία του δικτύου PON.

Το τερματικό οπτικής γραμμής (OLT) είναι το σημείο εκκίνησης για το παθητικό οπτικό δίκτυο. Συνδέεται με διακόπτη πυρήνα μέσω βυσμάτων Ethernet. Η κύρια λειτουργία του OLT είναι να μετατρέπει, να πλαισιώνει και να μεταδίδει σήματα για το δίκτυο PON και να συντονίζει την πολυπλεξία του τερματικού οπτικού δικτύου (ONT) για την κοινή μετάδοση upstream. Το ONT είναι η τροφοδοτούμενη συσκευή του συστήματος παθητικού δικτύου στο απέναντι άκρο (χρήστη) του δικτύου και περιλαμβάνει θύρες Ethernet για συνδεσιμότητα οικιακής συσκευής ή δικτύου. (Viavi), (Cisco)

5.3 Πως λειτουργεί το PON;

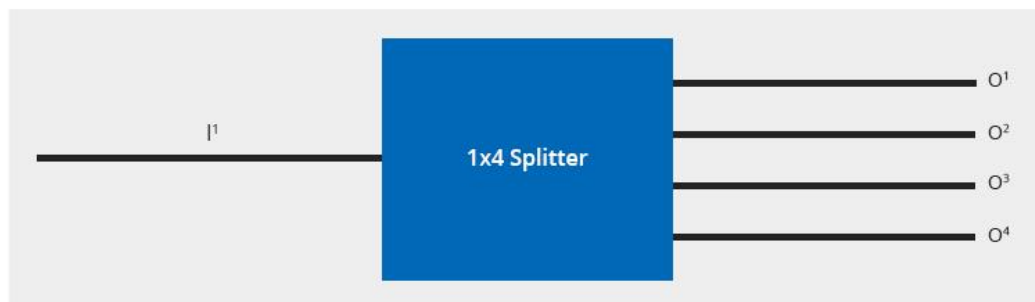
Σε ένα δίκτυο PON, μια συσκευή που ονομάζεται τερματικό οπτικής γραμμής (OLT) τοποθετείται στο κεντρικό άκρο του δικτύου. Ένα καλώδιο οπτικών ινών εκτείνεται από το OLT σε έναν μη τροφοδοτούμενο (παθητικό) διαχωριστή οπτικής δέσμης, ο οποίος πολλαπλασιάζει το σήμα και το αναμεταδίδει σε πολλά τερματικά



οπτικού δικτύου (ONT). Οι συσκευές του τελικού χρήστη όπως υπολογιστές και τηλέφωνα είναι συνδεδεμένες στα ONT.

Δεδομένου ότι η λειτουργία διαχωρισμού είναι μια εκπομπή ένα προς πολλά της ίδιας ροής δεδομένων, τα ONT είναι υπεύθυνα για το φιλτράρισμα των πακέτων που προορίζονται για τις διάφορες συνδεδεμένες συσκευές τελικού σημείου. Η κρυπτογράφηση διασφαλίζει ότι κάθε ONT διαβάζει μόνο τα περιεχόμενα που απευθύνονται στα τελικά σημεία που συνδέονται με αυτό. (Cisco), (Juniper.Networks)

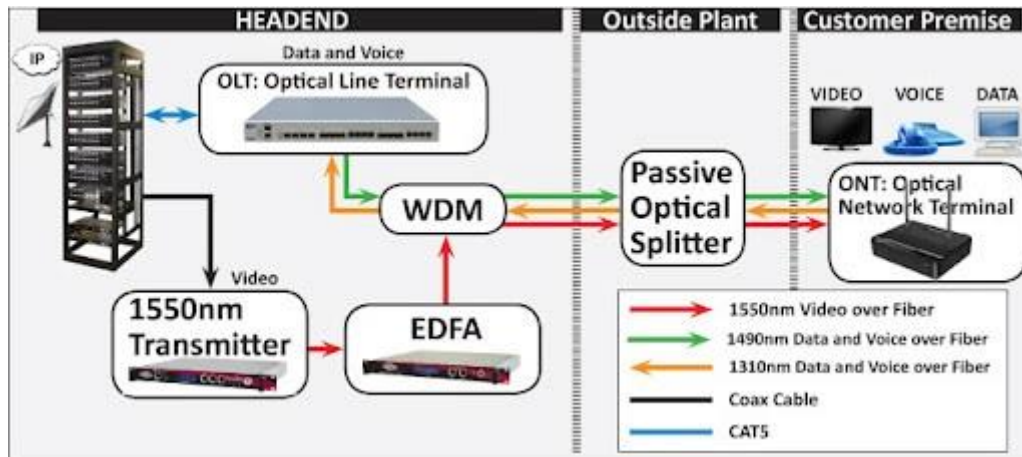
5.4 Παθητική οπτική διάσπαση



Οι οπτικοί διαχωριστές λαμβάνουν μια ενιαία πηγή φωτός (ένα μόνο σκέλος οπτικών ινών), τη διαθλούν και την αντιγράφουν πολλές φορές σε <<εξερχόμενες>> ίνες. Συγκεκριμένα, ένας παθητικός οπτικός διαχωριστής (passive optical splitter) μπορεί να διαχωρίσει μια προσπίπτουσα δέσμη φωτός σε πολλές δέσμες φωτός σε μια συγκεκριμένη αναλογία. Για παράδειγμα η διαμόρφωση διαχωρισμού 1x4 διαχωρίζει μια προσπίπτουσα δέσμη φωτός από ένα μόνο καλώδιο ινών εισόδου σε 4 δέσμες φωτός και γίνεται μετάδοση, μέσω τεσσάρων μεμονωμένων ινών εξόδου. Άρα εάν το καλώδιο οπτικών ινών εισόδου φέρει εύρος ζώνης 1000 Mbps κάθε χρήστης στο τέλος των ινών εξόδου θα μπορεί να χρησιμοποιήσει το δίκτυο με εύρος ζώνης 250 Mbps. Ένα άλλο παράδειγμα που είναι λίγο πιο περίπλοκο αφορά τη διαμόρφωση διαχωρισμού αλλά αυτή τη φορά με διαχωριστή 2x64. Εδώ υπάρχουν δύο ακροδέκτες εισόδου και εξήντα τέσσερις ακροδέκτες εξόδου. Η λειτουργία του είναι να χωρίζει δύο προσπίπτουσες δέσμες φωτός από δύο μεμονωμένα καλώδια ινών εισόδου σε

εξήντα τέσσερις δέσμες φωτός και να τις μεταδίδει μέσω εξήντα τεσσάρων ελαφρών μεμονωμένων ινών εξόδου. (Fs |community, 2021), (Cisco)

5.5 WDM και TDM



Επειδή το PON χρησιμοποιεί το ίδιο σκέλος ίνας για την αποστολή και την λήψη δεδομένων, το splitter λειτουργεί επίσης και ως οπτικός συνδυαστής (combiner) που λαμβάνει κίνηση δεδομένων από τις ίδιες συνδεδεμένες τελικές συσκευές. Για να το πετύχει αυτό, το PON χρησιμοποιεί δύο διαφορετικούς τύπους πολυπλεξίας: την διαίρεση μήκους κύματος και την διαίρεση του χρόνου.

Η Πολύπλεξη με Διαίρεση Μήκους Κύματος (Wavelength Division Multiplexing, WDM) έκανε δυνατή την αποστολή διάφορων ανεξάρτητα διαμορφωμένων οπτικών φορέων στην ίδια ίνα. Η τεχνική WDM λοιπόν προσφέρει τη δυνατότητα εκπομπής αρκετών εκατοντάδων gigabit ανά sec σε κάθε οπτική ίνα καθώς και αμφίδρομη εκπομπή στην ίδια ίνα. Επίσης χρησιμοποιεί διαφορετικά μήκη κύματος για κάθε κατεύθυνση: το μήκος κύματος 1490 νανομέτρων (nm) για την κίνηση downstream και το μήκος κύματος 1310nm για το upstream. Το μήκος κύματος 1550nm προορίζεται συνήθως RF(αναλογικό) βίντεο.

Η πολύπλεξη με διαίρεση χρόνου (TDM) επιτρέπει σε πολλαπλές τελικές συσκευές να μεταδίδουν και να λαμβάνουν ανεξάρτητα σήματα σε μία μόνο ίνα δεσμεύοντας χρονοθυρίδες σε μία ροή δεδομένων. Το PON χρησιμοποιεί δύο τέτοιες τεχνολογίες TDM για μεταγενέστερη κυκλοφορία και πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (TDMA) για κυκλοφορία upstream.



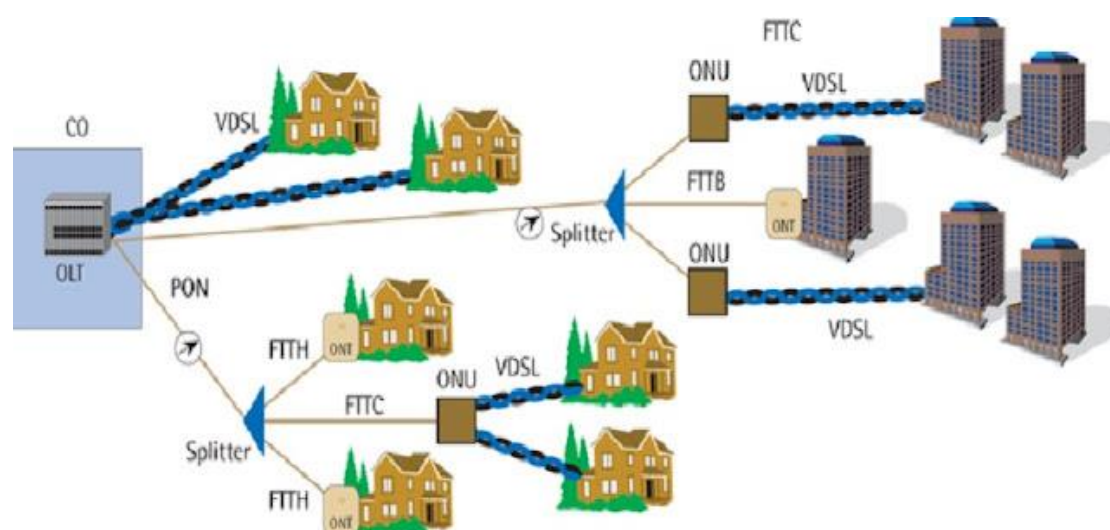
Στην Πολύπλεξη με Διαίρεση Χρόνου (Time Division Multiple Access, TDMA) ο χρήστης έχει πρόσβαση σε ένα modem που λειτουργεί με ρυθμό αρκετές φορές γρηγορότερο από αυτόν που απαιτείται για την αποστολή των δεδομένων του, και έτσι μπορεί να αποστείλει την πληροφορία του σε μία χρονοθυρίδα που είναι μικρότερη από την ελάχιστη διάρκεια του μηνύματός του.

Ως παθητική συσκευή, ο διαχωριστής λειτουργεί ως σημείο διανομής, με την ενιαία τροφοδοσία μεταγενέστερων δεδομένων που μεταδίδονται σε όλα τα συνδεδεμένα τελικά σημεία ONT. Το ONT δέχεται πακέτα που έχουν εκχωρηθεί στο κανάλι TDM του. Φιλτράρει και απορρίπτει πακέτα που προορίζονται για άλλα ONT.

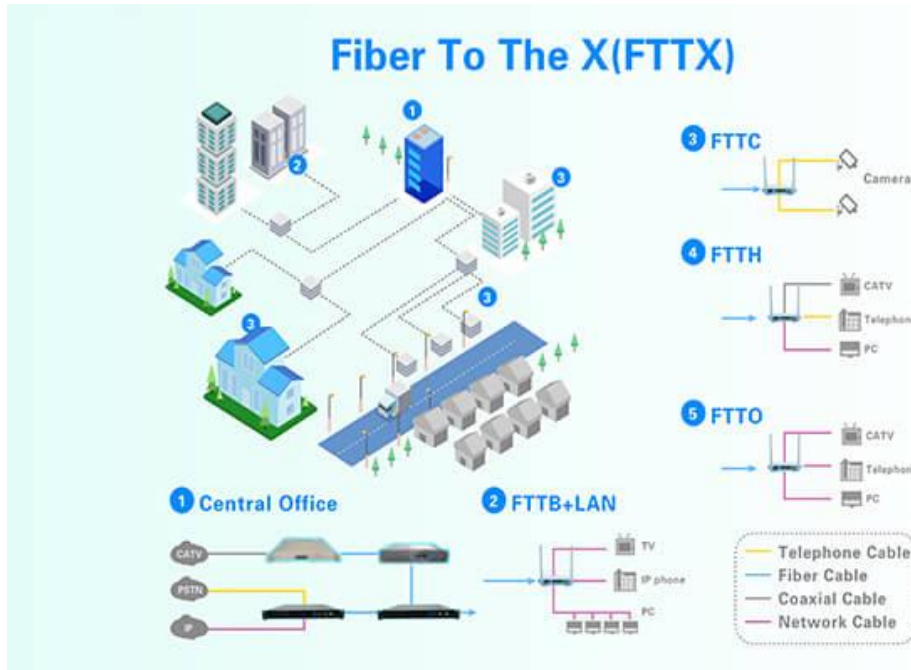
Συμπερασματικά:

- Στο TDM, η χωρητικότητα που προκύπτει είναι το άθροισμα ή το άθροισμα όλων των σημάτων / καναλιών εισόδου. Στο WDM, κάθε κανάλι έχει το δικό του εύρος ζώνης γιατί κάθε σήμα μεταδίδεται ανεξάρτητα από τα άλλα.
- Στο WDM, όλα τα σήματα θα φτάνουν ταυτόχρονα ενώ στο TDM θα φτάνουν το ένα μετά το άλλο. (RF Wireless World, 2012), (Andy Bateman, 2000), (Cisco)

6. Αρχιτεκτονικές Δικτύου Πρόσβασης



6.1 Τι είναι το Fiber to the x (FTTx);



Το Fiber to the x είναι ένας συλλογικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει διάφορες τοπολογίες / αρχιτεκτονικές οπτικών ινών που κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το που τερματίζει η ίνα. Αυτές οι αρχιτεκτονικές χρησιμοποιούν οπτική ίνα είτε για ένα μέρος είτε για όλη τη συνδεσιμότητα του τελευταίου χιλιομέτρου τους. Το 'x' στο 'FTTx' αντιπροσωπεύει το σημείο τερματισμού της ίνας που ανάλογα με την αρχιτεκτονική αλλάζει και γράμμα. Θα μπορούσε να είναι ένα σπίτι, μία καμπίνα ή οποιαδήποτε εγκατάσταση στον τελικό χρήστη. Κατά συνέπεια, το FTTx θα μπορούσε να είναι Fiber to the Home (FTTH), Fiber to the Building (FTTB), Fiber to the Premises (FTTP) και Fiber to the Curb (FTTC). Το FTTx είναι ένα κεντρικό στοιχείο της πρόσβασης επόμενης γενιάς (NGA), το οποίο χαρακτηρίζει την εξέλιξη της ευρυζωνικής υποδομής. Μέσω μιας σημαντικής αναβάθμισης στην διαθέσιμη ευρυζωνική σύνδεση, κάνει μια σταδιακή αλλαγή στην ταχύτητα και την ποιότητα των υπηρεσιών.

Η αρχιτεκτονική δικτύου Fiber to the x (FTTx) βρίσκει τη χρήση της στη συνδεσιμότητα Last-mile. Το δίκτυο απλώνεται από την εγκατάσταση του τελικού



χρήστη στην άκρη του δικτύου της κινητής τηλεφωνίας. Μπορεί να προσφέρει ταχύτερη και καλύτερη συνδεσιμότητα σε σπίτια και επιχειρήσεις σε όλο τον κόσμο.

Το FTTx έχει πολλά πλεονεκτήματα που σχετίζονται με την ταχύτητα και τη χωρητικότητα. Αυτός είναι και ο λόγος που τα δίκτυα που βασιζόνταν σε χαλκό αντικαθίστανται με το FTTx. Άλλα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν τους υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης και τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Το FTTx φέρνει την ίνα πιο κοντά στον τελικό χρήστη. Αυτό βοηθά στην αξιοποίηση των πιο πρόσφατων τεχνικών κατασκευής, σύνδεσης και μετάδοσης.

Το FTTx προσφέρει ένα δίκτυο οπτικών ινών που μπορεί να ικανοποιήσει όλες τις απαιτήσεις για υψηλότερο εύρος ζώνης και ταχύτητα δικτύου που έχουν δημιουργηθεί με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και συγκεκριμένα των έξυπνων πόλεων, του 5G και του cloud computing.. Επιπλέον, βοηθά στην επίτευξη υψηλής χωρητικότητας και σταθερής συνδεσιμότητας. Τέλος, βοηθά επίσης στην παροχή μετάδοσης σήματος σε μεγάλες αποστάσεις και ανθεκτικότητα απέναντι στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. (Fs |community, 2020), (Tehcno Pedia), (V-SOL Blog, 2022)

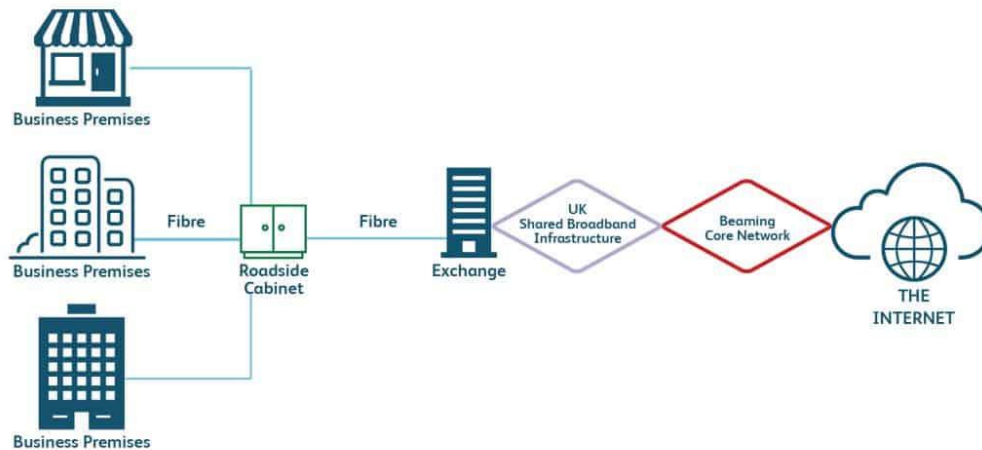
6.2 Τύποι σχεδίασης δικτύου FTTx;

Η αρχιτεκτονική Fiber to the x μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε δύο μεγάλες ομάδες: Fiber to the Premises (FTTP) και Fiber to the Cabinet (FTTC). Αυτές οι ομάδες θα μπορούσαν να χωριστούν περαιτέρω σε πολλαπλές υποομάδες. (V-SOL Blog, 2022)

6.3 Fiber to the Premises (FTTP)

Σε αυτόν τον τύπο αρχιτεκτονικής, η οπτική ίνα τρέχει σε ένα οπτικό δίκτυο διανομής (ODN). Η ίνα ξεκινάει συνήθως από το κεντρικό γραφείο μέχρι τις εγκαταστάσεις του συνδρομητή.

Το FTTP μπορεί να κατηγοριοποιηθεί με βάση το τελικό σημείο της ίνας. (CableOrganizer)



6.3.1 Fiber to the Home (FTTH):



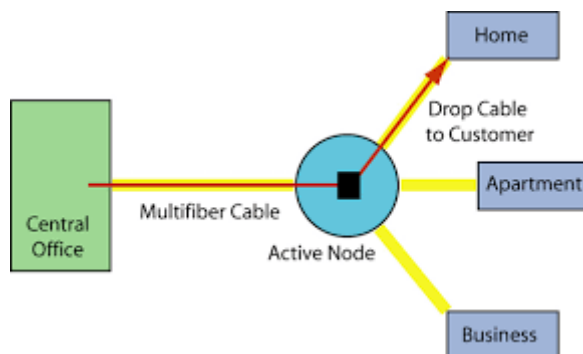
Σε αυτόν τον τύπο αρχιτεκτονικής δικτύου, η ίνα φτάνει απευθείας στον χώρο του τελικού χρήστη στον χώρο διαβίωσης (σπίτι). Τις περισσότερες φορές, χρησιμοποιείται για οικιακή ευρυζωνική εγκατάσταση. Το δίκτυο οπτικών ινών απλώνεται από τα κεντρικά γραφεία μέχρι το σπίτι. Τα καλώδια οπτικών ινών καταλήγουν στο όριο του σπιτιού και έτσι με αυτόν τον τρόπο μεμονωμένες κατοικίες, καθώς και γραφεία μπορούν να χρησιμοποιήσουν το δίκτυο πιο αποτελεσματικά. Οι δομές δικτύου FTTH θα μπορούσαν να είναι οικιακά, ενεργά δίκτυα αστεριών και παθητικά οπτικά δίκτυα (PON). Προς το παρόν, είναι μία από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες εφαρμογές παγκοσμίως. (Splicer Market, 2022), (Tech Target, 2020), (Fs |community, 2020), (Techno Pedia), (V-SOL Blog, 2022)



6.3.2 FTTH-Home Run:

Αυτή η αρχιτεκτονική χρησιμοποιεί μια ίνα που τρέχει από το κεντρικό γραφείο (CO) απευθείας στην κατοικία των πελατών. Αυτό χρησιμοποιείται κυρίως σε ορισμένες από τις μικρές εγκαταστάσεις, όπως περιγραφόμενες κοινότητες με δύο ίνες. Το ένα ψηφιακό για Internet Voip, το άλλο για αναλογική (ATV). Αυτό είναι επίσης γνωστό και ως δίκτυο point-to-point(p2p). (Conniq.com), (Fs |community, 2020)

6.3.3 FTTH-Active Star:



Αυτός ο τύπος δικτύου αξιοποιεί την οπτική ίνα από το κεντρικό γραφείο σε ένα τοπικό ενεργό κόμβο που μεταφέρει πολυπλεξικά σήματα. Αυτά τα σήματα στη συνέχεια διανέμονται σε όλους τους πελάτες. Περιέχει ένα καλώδιο πολλαπλών ινών που οδηγεί από το κεντρικό γραφείο σε έναν διακόπτη τοπικού δικτύου. (Conniq.com), (Fs |community, 2020)

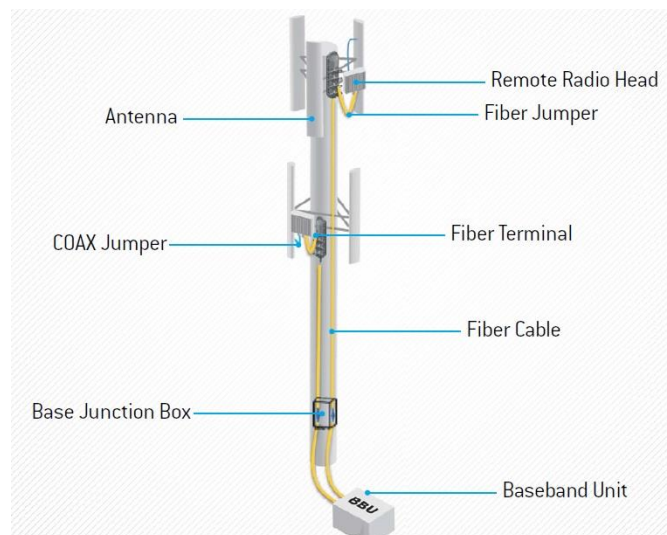
6.3.4 FTTH-PON:

Αυτή η αρχιτεκτονική περιλαμβάνει ένα παθητικό οπτικό δίκτυο (PON). Πολλοί πελάτες μπορούν να μοιράζονται την ίδια σύνδεση, χωρίς να χρειάζεται να εμπλακούν ενεργά στοιχεία (δηλαδή, στοιχεία που μετασχηματίζουν ή παράγουν φως μέσω μιας οπτικής-ηλεκτρικής-οπτικής μετατροπής). Απαιτείται ένας διαχωριστής PON για αυτόν τον τύπο αρχιτεκτονικής. Η κατευθυντικότητα ενός διαχωριστή PON μπορεί να



περιγραφεί ως αμφίδρομη. Μπορεί να στείλει σήματα downstream από το κεντρικό γραφείο, σταλμένα ως εκπομπή στους χρήστες. Τέλος, οι χρήστες μπορούν επίσης να στέλνουν σήματα upstream. Αυτά μπορούν στη συνέχεια να συνδυαστούν με μία ίνα για να επικοινωνήσουν ξανά με το κεντρικό γραφείο. Ο διαχωριστής PON μειώνει σημαντικά το κόστος των συνδέσεων με την κοινή χρήση. (Conniq.com), (Fs |community, 2020)

6.3.5 Fiber to the Antenna (FTTA):

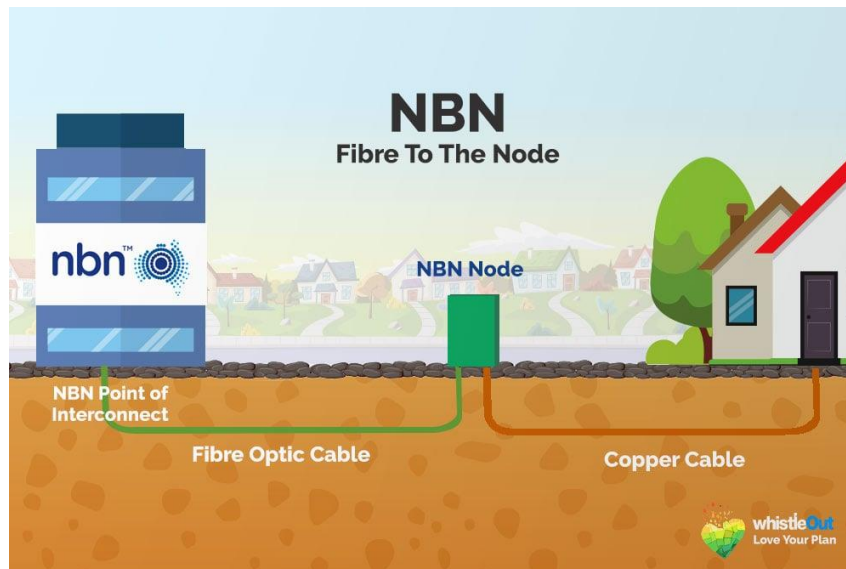


Αυτή η αρχιτεκτονική δικτύου χρησιμοποιεί καλώδιο οπτικών ινών για τη διανομή σημάτων από μια μονάδα βασικής ζώνης (BBU) σε μια κεφαλή απομακρυσμένου ραδιοφώνου (RRH) κοντά στην κορυφή ενός πύργου κινητής τηλεφωνίας, που αναφέρεται ως “Fronthaul” στο 5G. (Fs |community, 2020)

6.3.6 Fiber to the Node (FTTN):

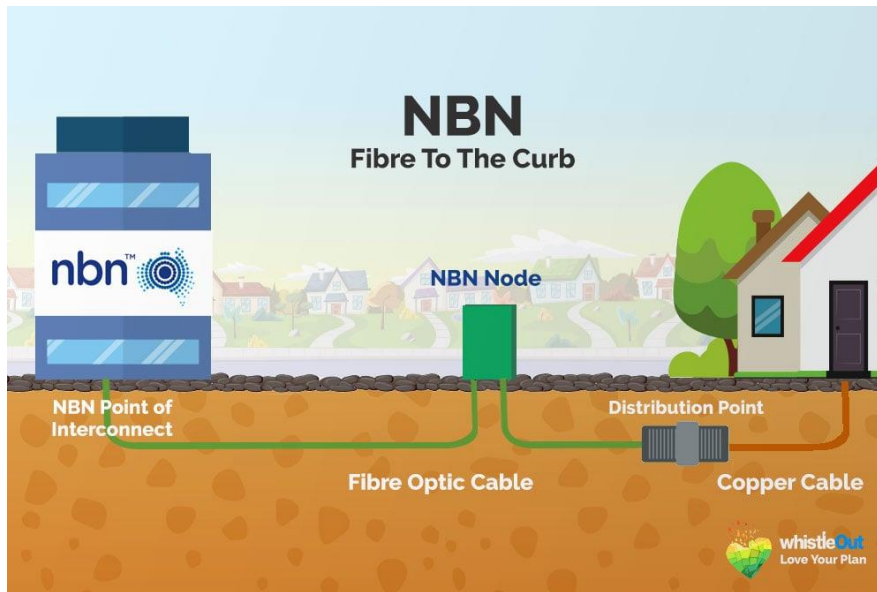
Σε αυτήν την αρχιτεκτονική δικτύου, η οπτική ίνα τερματίζει σε έναν απομακρυσμένο κόμβο, που ονομάζεται κόμβος πρόσβασης πολλαπλών υπηρεσιών (MSAN), που συνήθως βρίσκεται σε μια καμπίνα. Ο πολυπλέκτης πρόσβασης που βρίσκεται εκεί μεταφέρει τη συγκεντρωτική κίνηση της γειτονιάς. Ο κόμβος πρόσβασης συνδέεται με τον απομακρυσμένο κόμβο μέσω οπτικού καλωδίου και στη

συνέχεια από τον απομακρυσμένο κόμβο στις εγκαταστάσεις του τελικού χρήστη μέσω του υπάρχοντος δικτύου διανομής που βασίζεται σε χάλκινη υποδομή και τεχνολογία VDSL. (Splicer Market, 2022), (Fs |community, 2020), (Tehcno Pedia), (V-SOL Blog, 2022)

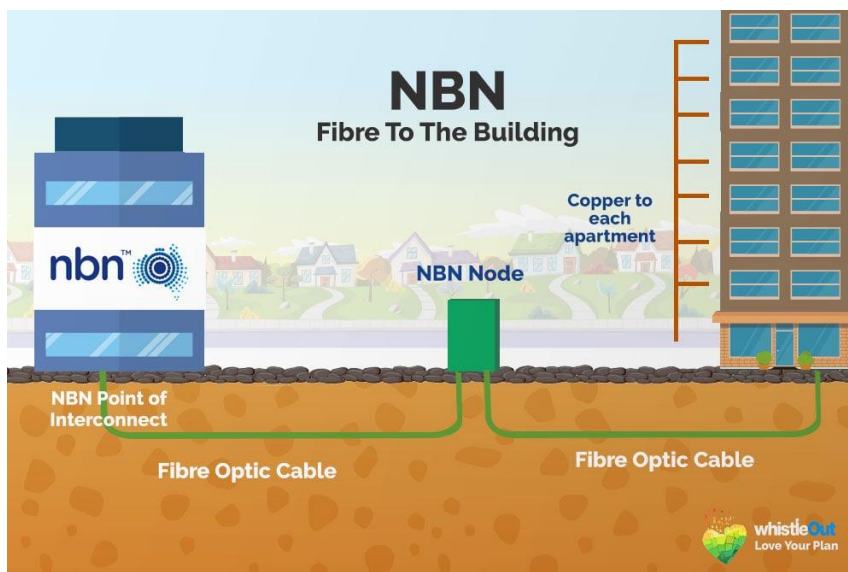


6.3.7 Fiber to the Curb/FTTC (FTTdp- Fiber to the Distribution Point):

Αυτή η αρχιτεκτονική μοιάζει πολύ με την FTTN, αλλά η καμπίνα βρίσκεται πιο κοντά στις εγκαταστάσεις του χρήστη, συνήθως σε απόσταση 300 μέτρων. Η σύνδεση με τους χρήστες βασίζεται σε προηγμένες τεχνολογίες με βάση τον χαλκό, όπως το VDSL2 ή το VDSL2 Vectoring. (Splicer Market, 2022), (Fs |community, 2020), (Tehcno Pedia), (V-SOL Blog, 2022)



6.3.8 Fiber to the Building/Business (FTTB):



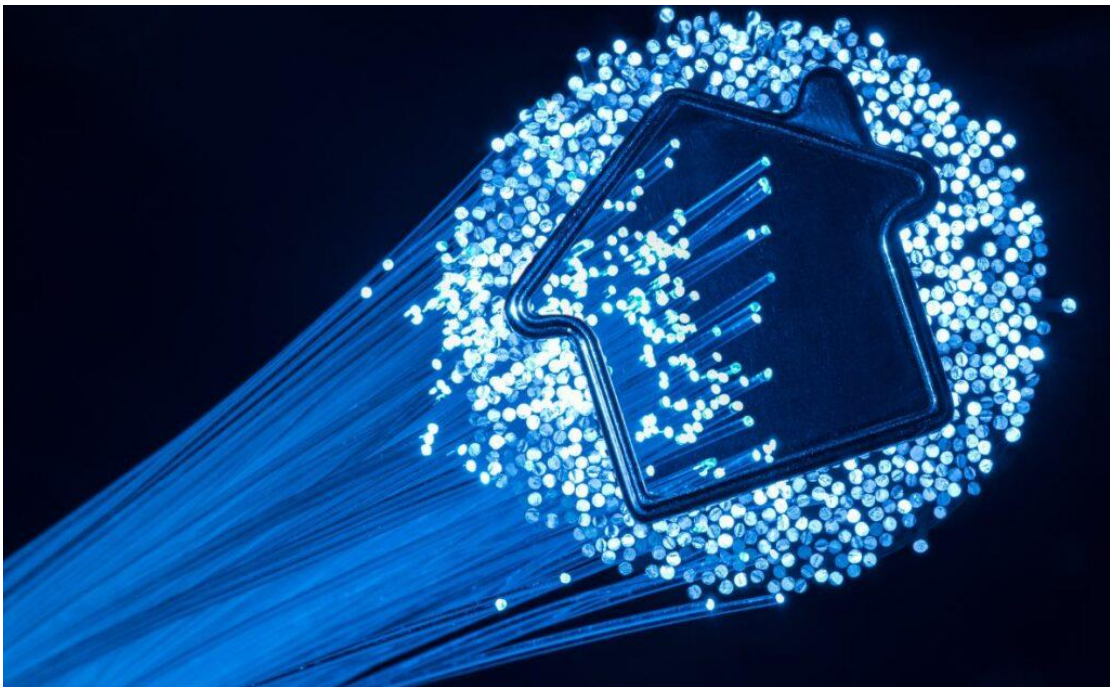
Αυτή η αρχιτεκτονική χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη ινών στο κτίριο. Σε αυτόν τον τύπο δικτύου, το οπτικό καλώδιο καταλήγει απευθείας στο κτίριο. Μια εγκατάσταση FTTB χρησιμοποιείται συχνά για τη σύνδεση πολυκατοικιών ή άλλων μεγάλων κτιρίων. Οι πάροχοι υπηρεσιών φέρνουν ένα καλώδιο οπτικών ινών σε έναν



κόμβο μέσα στην αίθουσα επικοινωνίας ενός κτιρίου. Από εκεί, μπορούν να αξιοποιήσουν την υπάρχουσα καλωδίωση για να παρέχουν συνδεσιμότητα δικτύου σε κάθε γραφείο ή διαμέρισμα εντός του συνολικού κτιρίου. Αυτό μοιάζει πολύ με ένα FTTH παρόλο που εξακολουθεί να διαθέτει αρχιτεκτονική κόμβου.

Κάποιες άλλες αρχιτεκτονικές που μερικές μοιάζουν με τις παραπάνω ή είναι παραπλήσιες είναι οι εξής: FTTO (Fiber To The Office), FTTU (Fiber To The User), FTTD (Fiber To The Desktop) (Splicer Market, 2022), (Fs |community, 2020), (Techno Pedia), (V-SOL Blog, 2022)

6.4 Τι είναι το FTTH: Fiber to the Home;



Το FTTH είναι η ίνα που φτάνει στην οικεία του χρήστη. Σε αυτό το δίκτυο, η οπτική ίνα συνδέεται απευθείας με μεμονωμένες κατοικίες η πολυκατοικίες. Το FTTH περιλαμβάνει τόσο PON όσο και λύσεις που βασίζονται σε P2P Ethernet. Οι λύσεις Fiber-to-the-Node (FTTN) δεν περιλαμβάνονται στο τμήμα FTTH. Αντίθετα, αυτά παρακολουθούνται σύμφωνα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται στη



συνδεσιμότητα του τελευταίου χιλιομέτρου(συνήθως VDSL). Το FTTH είναι ένα αποτελεσματικό και οικονομικό υποκατάστατο της υπάρχουσας υποδομής χαλκού. Αυτή η τεχνολογία είναι αρκετά αποτελεσματική ώστε να παρέχει πολύ υψηλότερο εύρος ζώνης σε καταναλωτές και επιχειρήσεις αφήνοντας χώρο για το εύρος ζώνης και για μελλοντικές απαιτήσεις που θα θέσουν οι νέες υπηρεσίες. (Splicer Market, 2022), (Tech Target, 2020), (Fs |community, 2020), (Tehcno Pedia), (V-SOL Blog, 2022), (DgtlInfa)

6.5 Ποια είναι η διαφορά μεταξύ FTTx και FTTH;

Το FTTx αναφέρεται σε όλους τους τύπους υποδομής οπτικών ινών, συμπεριλαμβανομένων των FTTH, FTTP, FTTC και FTTN, ενώ το FTTH αναφέρεται στο Fiber to the Home και είναι συνώνυμο του FTTP. Ένα κοινό πράγμα και στα δύο είναι ένα καλώδιο οπτικών ινών που τρέχει απευθείας από τον πάροχο υπηρεσιών διαδικτύου (ISP) σε μια τοποθεσία κατοικίας ή επιχείρησης. (DgtlInfa)



7 Πληροφορίες από την μετάβαση στην πόλη των Χανίων

7.1 Εγκατάσταση του δικτύου

Με την υπ' αριθμ. 591 Ομόφωνη Απόφαση του Δημοτικού Συμβουλίου Χανίων, ξεκίνησε επίσημα από την Πέμπτη 10/10/2019 η εφαρμογή των μέτρων ρύθμισης της κυκλοφορίας για την εκτέλεση του έργου “ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ (NGA) ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΕΠΙΚΡΑΤΕΙΑΣ” από τον Ο.Τ.Ε. Α.Ε.

Όπως επισημαίνεται από τον ΟΤΕ Α.Ε. στόχος του έργου, που προβλέπει την κατασκευή 44 φρεατίων και την τοποθέτηση 20 καμπινών, είναι η εξασφάλιση υψηλών ταχυτήτων και καλύτερης ποιότητας πρόσβαση στο διαδίκτυο για 1.605 κτίρια, δίνοντας τη δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο οπτικών ινών σε 6.148 οικιακούς και 1.669 εμπορικούς πελάτες.

Ο σχεδιασμός για την τοποθέτηση των οπτικών ινών στην Κρήτη και πιο συγκεκριμένα στην πόλη των Χανίων ξεκίνησε το 2018 και υπολογίζουν ότι θα έχει ολοκληρωθεί μέχρι το 2026-2027. Το συνολικό μήκος του δικτύου που έχει ήδη κατασκευαστεί μέχρι σήμερα είναι περίπου 100 Km και θα κατασκευαστούν άλλα 300 Km τα επόμενα τρία με τέσσερα χρόνια. Όταν ολοκληρωθεί το έργο αυτό οι οπτικές θα καλύπτουν όλη την πόλη των Χανίων (2 αστικά κέντρα ΟΤΕ). Έτσι έχει απλουστευτεί η καθημερινότητα των πολιτών και των τοπικών επιχειρήσεων, καθώς μπορούν να διακινούνται μεγάλα αρχεία πολύ γρήγορα και παράλληλα ο χρήστης να κάνει πολλές εργασίες και με πολλές ηλεκτρονικές συσκευές ταυτόχρονα-

Πανελλαδικά, μέσα στο έτος 2019 με 2020 ξεπέρασαν τις 250.000 οι γραμμές Fiber to the Home. Τριάντα έξι νέες περιοχές σε όλη την Ελλάδα έχουν πλέον πρόσβαση σε 100% οπτική ίνα μέχρι το σπίτι (FTTH) μέσω του δικτύου της COSMOTE. Από την αρχή του 2019 μέχρι τα τέλη του 2020, έχουν προστεθεί περισσότερες από 100.000 νέες γραμμές FTTH, μια αύξηση 70% σε σχέση με τα τέλη του 2019, παρά τις δυσκολίες στην ανάπτυξη δικτύων λόγω της πανδημίας. Σήμερα οι συνδέσεις FTTH έχουν φτάσει Τις 650.000 έφτασαν τα νοικοκυριά και οι επιχειρήσεις σε όλη την Ελλάδα που έχουν πρόσβαση σε 100% οπτική ίνα μέχρι το σπίτι (FTTH)



μέσω του COSMOTE Fiber, του μεγαλύτερου δικτύου οπτικών ινών στη χώρα. Επιταχύνοντας την υλοποίηση του επενδυτικού του πλάνου για την αναβάθμιση της χώρας, που ξεπερνά τα 3 δισ. ευρώ, ο Όμιλος ΟΤΕ προχωρά δυναμικά για να καλύψει περίπου τα 2/3 των γραμμών της χώρας με οπτική ίνα, φέρνοντας το FTTH σε 1 εκατομμύριο νοικοκυριά και επιχειρήσεις μέσα στο 2022, και σε 3 εκατομμύρια μέχρι το 2027. Πρόκειται για τη μεγαλύτερη επένδυση που έχει γίνει τις τελευταίες δεκαετίες στην Ελλάδα για τηλεπικοινωνιακές υποδομές.

Οι νέες περιοχές που απέκτησαν πρόσβαση σε υποδομή FTTH μέσω COSMOTE Fiber-ανά περιφέρεια- είναι:

Ανατολική Μακεδονία & Θράκη: Δράμα, Καβάλα και Κομοτηνή

Αττική: Αγία Παρασκευή, Άνοιξη, Διόνυσος, Εκάλη, Καματερό, Κερατέα, Κορωπί, Μαρκόπουλο, Νέα Μάκρη, Πικέρμι, Σαρωνίδα και Χαϊδάρι

Βόρειο Αιγαίο: Σάμος

Δυτική Μακεδονία: Καστοριά και Πτολεμαΐδα

Θεσσαλία: Τρίκαλα

Κεντρική Μακεδονία: Γιαννιτσά, Έδεσσα, Κιλκίς, Νάουσα και Σέρρες. Στη Θεσσαλονίκη, η υποδομή FTTH έφτασε για πρώτη φορά στο δήμο Επανομής, ενώ στο δήμο Ωραιοκάστρου επεκτάθηκε σε περισσότερα νοικοκυριά κι επιχειρήσεις.

Κρήτη: Άγιος Νικόλαος, Ιεράπετρα και νέες περιοχές του δήμου Χανίων

Νότιο Αιγαίο: Ιαλυσός και δήμος Ρόδου

Πελοπόννησος: Κόρινθος, Μεσσήνη, Πύργος Ηλείας και Τρίπολη

Στερεά Ελλάδα: Λαμία και Χαλκίδα

«Η επέκταση του δικτύου Fiber to the Home στην ελληνική επικράτεια αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα έργα αναβάθμισης τηλεπικοινωνιακών υποδομών των τελευταίων δεκαετιών. Όπου φθάνει η οπτική ίνα μέχρι την πρίζα, εγκαινιάζεται μία νέα ψηφιακή εποχή για τα νοικοκυριά και τις επιχειρήσεις της περιοχής με



απεριόριστες δυνατότητες συνδεσιμότητας και αξιοποίησης καινοτόμων τεχνολογικών εφαρμογών. Το επενδυτικό πλάνο της εταιρίας ανέρχεται στο ύψος των €2 δισ. την τετραετία, για την ανάπτυξη υπερσύγχρονων δικτύων.

Οι οπτικές ίνες που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- Μονότροπες.
- Καλώδια 96'' για τα κεντρικά (Feeder).
- Καλώδια 24'' για τις καμπίνες.
- Καλώδια 12'' ή 4'' για τον τελικό χρήστη.

Το δίκτυο σήμερα είναι παθητικό (FTTH) δίκτυο GPON με φίλτρα στις καμπίνες και στα σπίτια και δεν προβλέπεται να γίνει ενεργητικό (FTTx) με την συγκεκριμένη αρχιτεκτονική. Οι καμπίνες το μόνο πράγμα που έχουν μέσα είναι τα φίλτρα γιατί ο ενεργός εξοπλισμός υπάρχει μόνο στο DSLAM του κέντρου. Όσον αφορά το μητροπολιτικό δίκτυο των οπτικών ινών στα Χανιά το MAN έχει περίπου 150 χρήστες και είναι ένα από τα μεγαλύτερα δίκτυα στην Ελλάδα. Χρησιμοποιεί ενεργό εξοπλισμό (switch) στους κόμβους αλλά και κεντρικά καθώς και στους τελικούς χρήστες, οπότε στην ουσία είναι ένα LAN.

7.2 Πείραμα ανίχνευσης σεισμικής δραστηριότητας

Το δίκτυο οπτικών ινών στην πόλη των Χανίων εκτός από τις τυπικές υπηρεσίες φαίνεται ότι θα προσφέρει και πιο εξειδικευμένες. Μετά τις τροποποιήσεις που έγιναν σε αυτό θα προσπαθήσει να καταγράψει την σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή αλλά και να διακρίνει από πού προέρχεται. Ενσωματώνει την τεχνολογία Distributed Acoustic Sensing με την οποία ένα καλώδιο οπτικών ινών μπορεί να ανιχνεύει σε 24ωρη βάση ακόμη και τις πιο ανεπαίσθητες κινήσεις και μεταβολές που συμβαίνουν γύρω του.

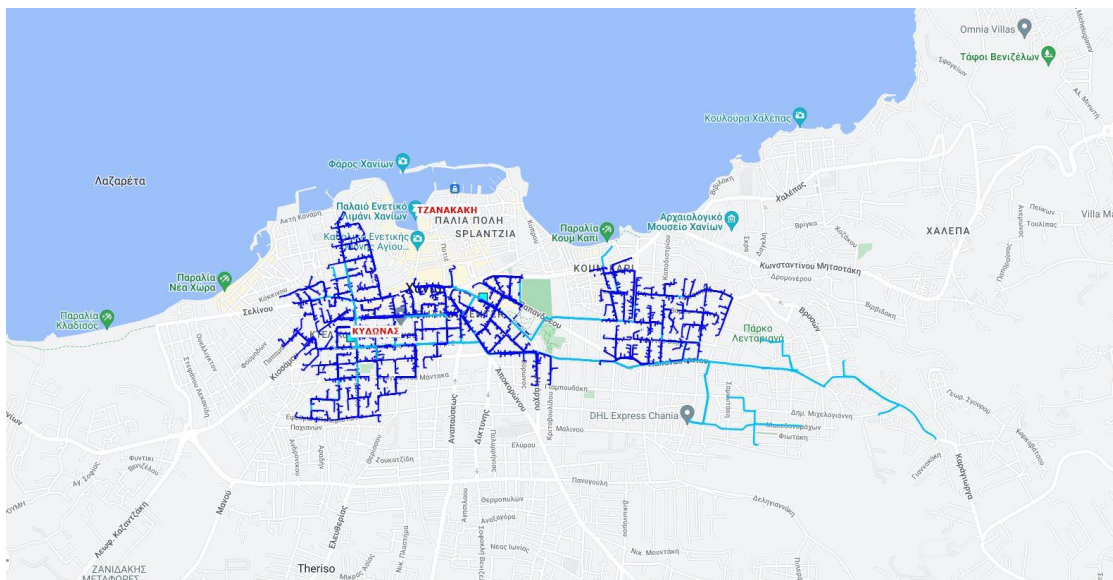
Με αυτόν τον τρόπο ενδεχομένως να δίνεται η δυνατότητα εντοπισμού σεισμικών γεγονότων. Με ειδικές έξυπνες τεχνικές γίνεται διαχωρισμός της σεισμικής δραστηριότητας από άλλου είδους πηγές. Η χρήση των δικτύων οπτικών ινών (ειδικά σε αστικό περιβάλλον) μπορούν να προσφέρουν σεισμολογικές υπηρεσίες με τεράστιες δυνατότητες αφού τέτοια δίκτυα είναι εγκατεστημένα σε μεγάλη έκταση στις



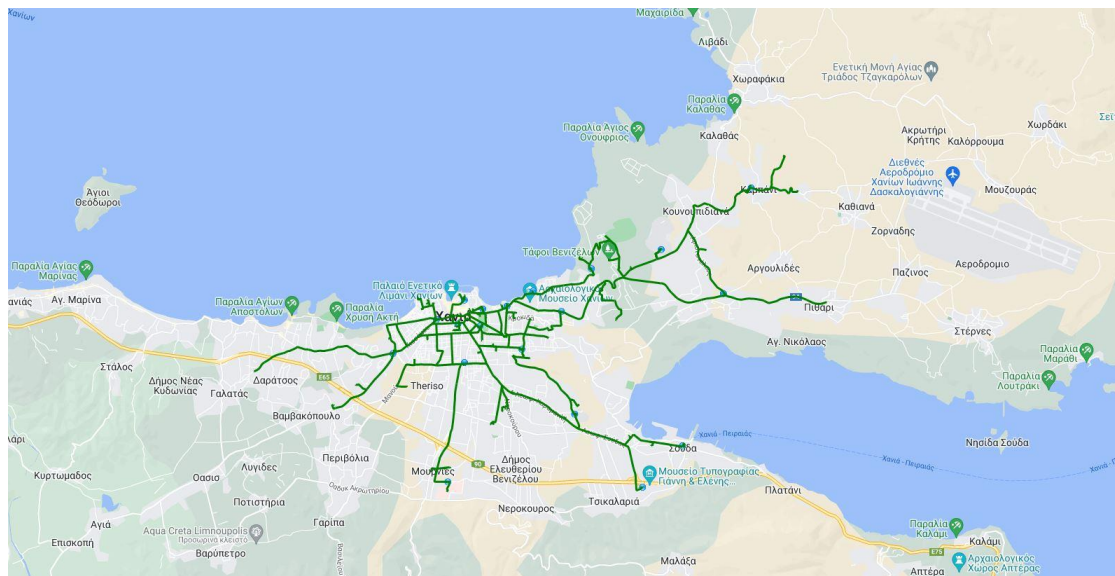
περισσότερες περιοχές του ανεπτυγμένου κόσμου αλλά ταυτόχρονα μπορούν να δημιουργήσουν και πυκνότητα δικτύων που τα συμβατικά συστήματα αδυνατούν να υλοποιήσουν.

Το πείραμα που διερευνά τις δυνατότητες παρατήρησης στη σεισμολογία της επόμενης δεκαετίας διεξάγεται από το Ινστιτούτο με τη συμπαράσταση του Δήμου Χανίων που πρόσφερε τη χρήση του Μητροπολιτικού Δικτύου Οπτικών Ινών και με τη βοήθεια του ΟΤΕ Χανίων που συνέδραμε στην τεχνική υποστήριξη του πειράματος. (ertnews)

Παρακάτω βλέπουμε δυο φωτογραφίες από δύο μακρινούς χάρτες της περιοχής από το GIS.



Στην φωτογραφία αυτή βλέπουμε τις οπτικές ίνες που έχουν εγκατασταθεί στα Χανιά.



Στην φωτογραφία αυτή βλέπουμε το μητροπολιτικό δίκτυο οπτικών ινών (MAN) του Δήμου Χανίων.

Στις φωτογραφίες που ακολουθούν βλέπουμε πως είναι μια καμπίνα μέσα και με πόση τάξη είναι τοποθετημένες οι οπτικές ίνες.





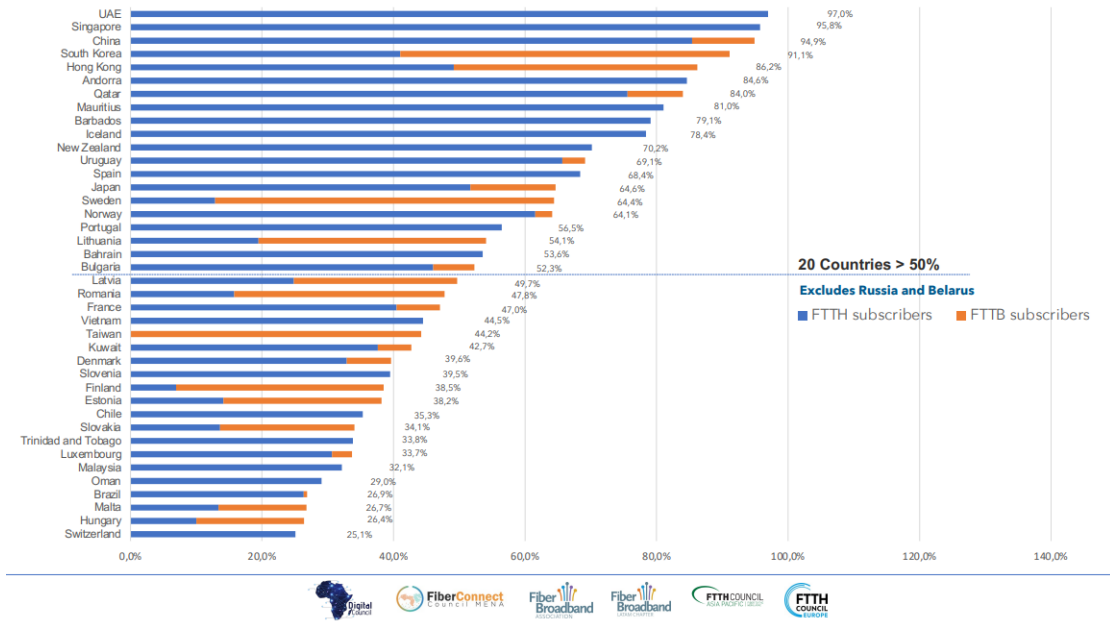




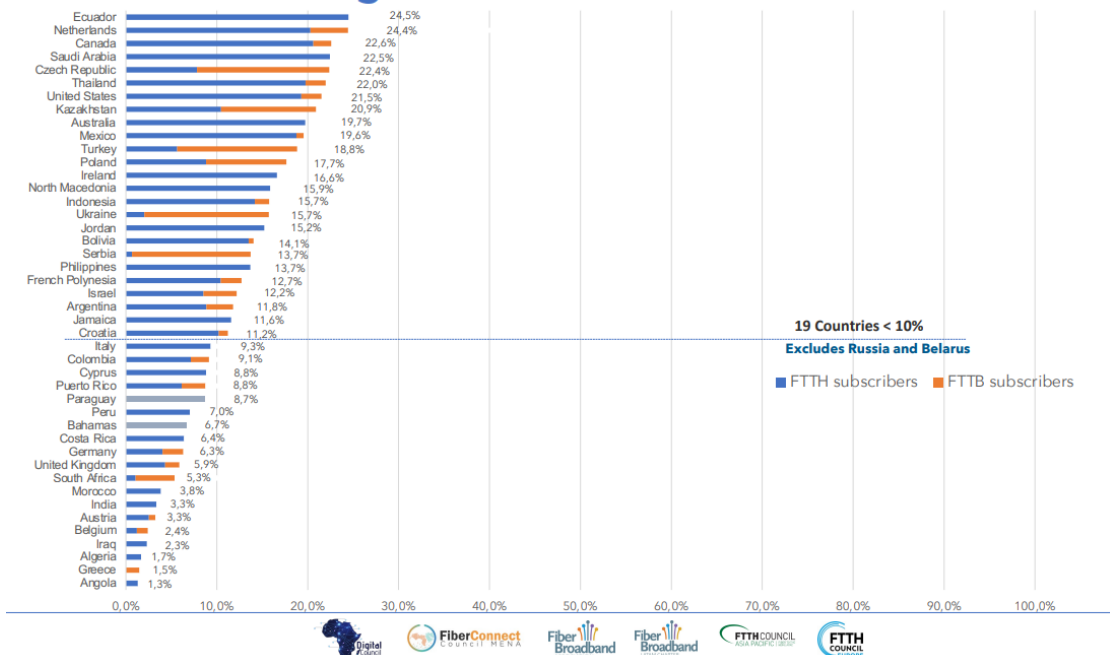


8. Η ανάπτυξη του FTTH/FTTB παγκόσμια

Global Ranking - FTTH/B Markets - September 2021 – Countries with more than 25% penetration



Global Ranking - FTTH/B Markets - September 2021 – Countries with less than 25% penetration





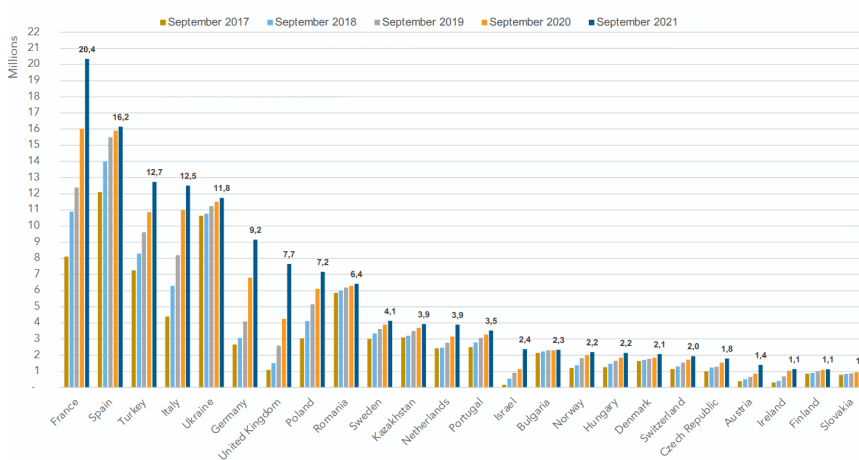
Στοιχεία του 2021 δείχνουν ότι 20 χώρες έχουν επιτύχει ποσοστό διείσδυσης στην αρχιτεκτονική FTTH περισσότερο από 50%. Την παγκόσμια κατάταξη οδηγούν τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (ΗΑΕ) και είναι η εξής:

- Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (ΗΑΕ), (97%)
- Σιγκαπούρη, (95,8%)
- Κίνα, (94,9%)
- Νότια Κορέα, (91,1%)
- Χονγκ Κονγκ, (86,2%) (E&, 2022)

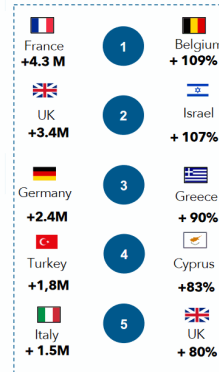
Πρόοδος των οπτικών ιών στην Ευρώπη

FTTH/B Homes Passed - EU39 Ranking

EU27+UK ranking in terms of FTTH/B Homes passed over time (in million homes)
Data comparison between Sept. 2017 and Sept. 2021



5 fastest growing markets (in both volume and %)
Data from Sept. 2020 to Sept. 2021 (in terms of FTTH/B Homes Passed)



Μια έκθεση από το Συμβούλιο FTTH Europe επιβεβαίωσε τη συνεχή πρόοδο της ανάπτυξης δικτύων οπτικών ιών σε ολόκληρη την περιοχή, με τη συνδεσιμότητα πλήρους ίνας να αποτελεί σαφή προτεραιότητα για τις αρχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), τις εθνικές κυβερνήσεις και τους παράγοντες της αγοράς σε 39 χώρες στην Ευρώπη.

Με βάση τα πιο πρόσφατα διαθέσιμα δεδομένα από τον Σεπτέμβριο του 2021, ο βιομηχανικός οργανισμός, ο οποίος έχει αποστολή να προωθήσει την πανταχού παρούσα συνδεσιμότητα πλήρους βάσης οπτικών ιών σε ολόκληρη την Ευρώπη,



διαπίστωσε ότι ο συνολικός αριθμός κατοικιών πέρασε με fibre-to-the-home (FTTH) και το fibre-to-the-building (FTTB) τις 39 χώρες και ανήλθαν συνολικά σε σχεδόν 198,4 εκατομμύρια σπίτια τον Σεπτέμβριο του 2021, σε σύγκριση με 176,3 εκατομμύρια τον Σεπτέμβριο του 2020.

Οι κυριότερες μετακινήσεις όσον αφορά τα σπίτια που πέρασαν σε απόλυτους αριθμούς ήταν:

- Γαλλία (αύξηση 4,3 εκατομμυρίων)
- Ηνωμένο Βασίλειο (άνοδος 3,4 εκατομμύρια)
- Γερμανία (άνοδος 2,4 εκατομμύρια)
- Ιταλία (άνοδος 1,5 εκατομμύρια)

Σε ό,τι αφορά τους ετήσιους ρυθμούς ανάπτυξης στα σπίτια που πέρασαν, επικεφαλής της λίστας ήταν το Βέλγιο, σημειώνοντας αύξηση 109%, μετά η Ελλάδα (άνοδος 90%), η Κύπρος (άνοδος 83%), το Ηνωμένο Βασίλειο (άνοδος 80%) και η Αυστρία (άνοδος 62%).

Το ποσοστό κάλυψης FTTH/B στις 39 χώρες ανέρχεται πλέον στο 57%, αυξημένο κατά 4,5%, και το ποσοστό κάλυψης στο Ηνωμένο Βασίλειο έφτασε σχεδόν το ήμισυ του συνόλου των κατοικιών (48,5%), αυξημένο κατά 4,6 ποσοστιαίες μονάδες σε ετήσια βάση. Το Συμβούλιο Ευρώπης του FTTH είπε ότι αυτά τα δεδομένα επιβεβαιώνουν τη συνεχή ανοδική τάση που παρατηρείται εδώ και αρκετά χρόνια.

Ο αριθμός των συνδρομητών FTTH και FTTB στην περιοχή της Νορβηγίας έφτασε τα 96 εκατομμύρια, με το EU27+UK (Ευρωπαϊκή Ένωση και Ηνωμένο Βασίλειο) να αντιπροσωπεύει το 60%. Οι πέντε ταχύτερα αναπτυσσόμενες αγορές όσον αφορά τους νέους συνδρομητές ήταν:

- 1 Γαλλία (αύξηση 3,8 εκατ.)
- 2 Ισπανία (άνοδος 1,2 εκατ.)
- 3 Ρουμανία (άνοδος 1 εκατ.)
- 4 Ιταλία (αύξηση 820.000)
- 5 Ηνωμένο Βασίλειο (άνοδος 765.000).

Μέχρι τον Σεπτέμβριο του 2021, το ποσοστό απορρόφησης FTTH/B στην EE39 είχε αυξηθεί στο 48,5%, αυξημένο κατά 3,6 ποσοστιαίες μονάδες σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος. Η ανάπτυξη ήταν ακόμη πιο γρήγορη στην EE27+HB, όπου το ποσοστό απορρόφησης έφτασε το 52,4%, αυξημένο κατά 5,6 ποσοστιαίες μονάδες.



Εξετάζοντας τους τύπους εταιρειών που προμήθευαν τις υποδομές δικτύωσης, η μελέτη διαπίστωσε ότι οι εναλλακτικοί πάροχοι υπηρεσιών Διαδικτύου (ISP) – altnets – εξακολουθούν να αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των παικτών FTTH/B, με περίπου το 57% των συνολικών κατοικιών στην ΕΕ39 περνούν από τέτοιες εταιρείες και περίπου το 39% από τους κατεστημένους παρόχους υπηρεσιών Διαδικτύου, με το υπόλοιπο 4% να είναι δήμοι/υπηρεσίες κοινής ωφέλειας. Συνολικά, υπάρχει μια ισχυρή τάση επιτάχυνσης της ανάπτυξης ινών με σταθερή δέσμευση να καλύψει τόσο τις αστικές όσο και τις αγροτικές περιοχές.

Όσον αφορά τις κατοικίες που πρέπει να καλυφθούν ακόμη, τρεις χώρες αντιπροσώπευαν το 58% του συνολικού αριθμού των προς κάλυψη νοικοκυριών – η Γερμανία με περισσότερα από 32 εκατομμύρια, το Ηνωμένο Βασίλειο με περισσότερα από 21 εκατομμύρια και η Ιταλία με περισσότερα από 13 εκατομμύρια. Η μελέτη σημείωσε ότι ενώ αυτές οι περιοχές είχαν ισχυρές υποδομές δικτύου χαλκού όλες έδειξαν σαφή σημάδια προόδου το 2022.

Για τρίτη συνεχή χρονιά, η Ισλανδία βρέθηκε στην κορυφή της ευρωπαϊκής κατάταξης διείσδυσης FTTH/B με ποσοστό διείσδυσης 78,4%, ακολουθούμενη από την Ισπανία (68,4%) και τη Σουηδία (64,4%). Επτά χώρες πέρασαν το όριο του ποσοστού διείσδυσης 50% – Ισλανδία, Ισπανία, Σουηδία, Πορτογαλία, Νορβηγία, Ρουμανία και Λετονία. Συνολικά, οι χώρες της Ανατολικής Ευρώπης και οι σκανδιναβικές χώρες παρουσίασαν σχετικά υψηλότερα ποσοστά διείσδυσης, κυρίως λόγω μιας προληπτικής κρατικής παρέμβασης που ευνοεί την επέκταση των ινών.

«Τα δεδομένα από το πιο πρόσφατο Market Panorama επιβεβαιώνουν ότι η ανάπτυξη ινών προχωρά σταθερά με ολοένα και πιο γρήγορο ρυθμό», δήλωσε ο Eric Festraets, πρόεδρος του συμβουλίου FTTH (FTTH Council Europe). «Μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι βρισκόμαστε στο σωστό δρόμο για την επίτευξη των φιλόδοξων στόχων συνδεσιμότητας της ΕΕ που έχουν τεθεί από τις στρατηγικές Gigabit Society 2025 και Digital Compass 2030, ωστόσο η τρέχουσα δυναμική πρέπει να διατηρηθεί και για να συμβεί αυτό, υποστήριξη στην πολιτική και το ρυθμιστικό επίπεδο θα είναι το κλειδί».

Ο Vincent Garnier, γενικός διευθυντής του FTTH Council Europe, πρόσθεσε: «Τα δεδομένα δείχνουν ξεκάθαρα ότι επιτυγχάνουμε μεγάλη πρόοδο όσον αφορά την

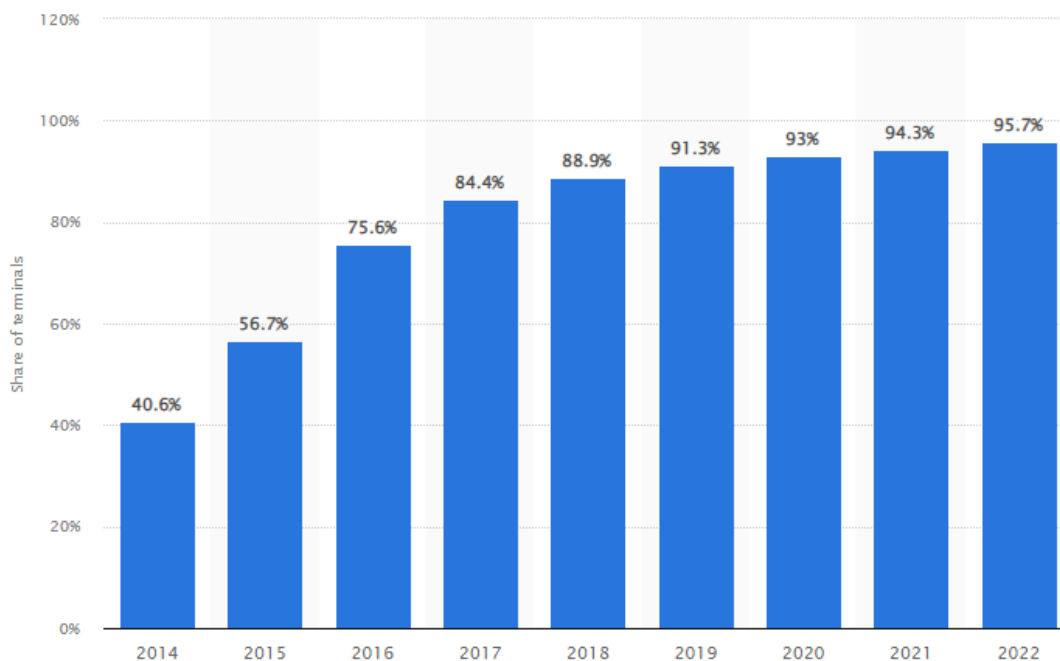


ανάπτυξη ινών, συμβάλλοντας έτσι στη δίδυμη ψηφιακή και πράσινη μετάβαση, που θα αναδιαμορφώσει τον τρόπο εργασίας των Ευρωπαίων. ζήσει και να κάνει επιχειρήσεις. Το FTTH θα είναι το κλειδί για την επίτευξη των φιλόδοξων στόχων της ΕΕ για το κλίμα και τη βιωσιμότητα. Επιπλέον, η πανδημία Covid-19 οδήγησε σε περισσότερη κίνηση δεδομένων και περισσότερη ζήτηση, καταδεικνύοντας ξεκάθαρα την ανάγκη εντατικοποίησης της ανάπτυξης και υιοθέτησης του FTTH».

Συνολικά μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι χώρες της Ανατολικής Ευρώπης και οι Σκανδιναβικές χώρες βάση και των παραπάνω παρουσιάζουν σχετικά υψηλότερα ποσοστά διείσδυσης. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω μια προληπτικής κρατικής παρέμβασης που ευνοεί την επέκταση των ινών. (ComputerWeekly, 2022)

Γενικότερα στοιχεία:

Κίνα



Η Κίνα το 2014 είχε ποσοστό διείσδυσης 40,6% και μέσα σε 8 χρόνια έφτασε το 95,7%, δηλαδή αύξηση περίπου 55%. Αυτό το ποσοστό ισοδυναμεί με περίπου 103 εκατομμύρια συνδέσεις FTTH. (Statista, 2022)

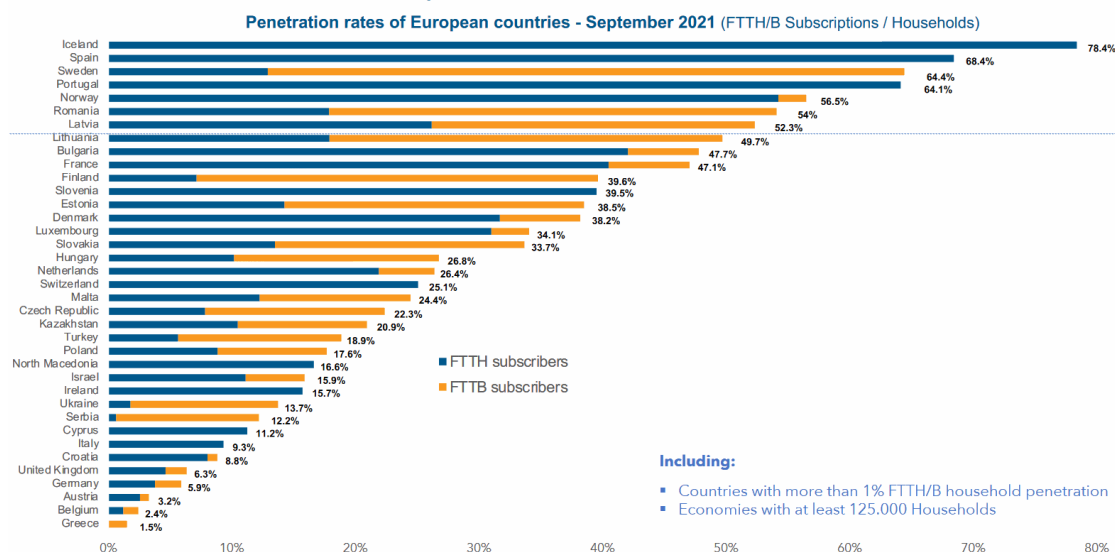


Ηνωμένο Βασίλειο

Στις αρχές του 2022 περίπου το 30% του Ηνωμένου Βασιλείου καλύπτονταν από ένα πλήρες δίκτυο οπτικών ινών. Πίσω στο 2019 το ΗΒ είχε ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης FTTP 22,8%, ο οποίος έφτασε στο 50,8% το 2020, μετά 64% το 2021 και το 2022 έφτασε μέχρι και το 80%.

Το 2022 το ΗΒ είχε ποσοστό διείσδυσης FTTH στην αγορά 6,3% (από 3,7% που είχε το 2021), ποσοστό κάλυψης 26,6% από 15,1% ή αλλιώς 7,7 εκατομμύρια σπίτια. Ετήσια αύξηση συνδρομητών κατά 73%. (ISPreview, 2022)

European Ranking FTTH/B Markets - September 2021



Ο παράγοντας των οπτικών ινών

Οι αναπτύξεις δικτύων όλων των ινών θα είναι μια ισχυρή τάση μέχρι το 2027. Σύμφωνα με την RVA LLC, η ευρυζωνική οπτική ίνα ξεπερνά πλέον περισσότερα από



60,5 εκατομμύρια σπίτια μόνο στις ΗΠΑ – αντιπροσωπεύοντας αύξηση 12 τοις εκατό το 2021. Η ερευνητική εταιρεία αποδίδει την ανάπτυξη οπτικών ινών σε μεγαλύτερη αποδοχή από οποιαδήποτε άλλη άλλη ευρυζωνική τεχνολογία – καλωδιακή, δορυφορική ή ασύρματη – όσον αφορά τη χωρητικότητα, την αξιοπιστία, τον λανθάνοντα χρόνο και την ικανοποίηση των πελατών.

Μια έρευνα RVA αποκάλυψε ότι η ευρυζωνική σύνδεση που βασίζεται σε ίνες έχει και άλλα θετικά χαρακτηριστικά: μέση καθαρή βαθμολογία υποκινητή 20 τοις εκατό, υψηλή αξιοπιστία με βάση τις αναφερόμενες διακοπές λειτουργίας και τις υψηλότερες ταχύτητες και τη χαμηλότερη καθυστέρηση βάσει δοκιμών τυχαίας ταχύτητας. Ο Mike Render, πρόεδρος της RVA, είπε ότι «τα οφέλη έχουν δημιουργήσει ανταγωνισμό μεταξύ πιο διαφορετικών μεγεθών και τύπων παρόχων υπηρεσιών που τώρα αγωνίζονται για να προσεγγίσουν περισσότερους συνδρομητές με οπτικές ίνες».

Η επιτάχυνση της μετανάστευσης του χαλκού στις ίνες οδηγεί επίσης στην ανάπτυξη της ίνας στο σπίτι (FTTH). Η Heynen αναμένει ότι αυτή η τάση θα επιταχυνθεί το 2022 λόγω των νέων επενδύσεων τερματικού οπτικής γραμμής (OLT) που υποστηρίζουν συμμετρικές ταχύτητες 1 Gbps και έως 10 Gbps. «Οι φορείς εκμετάλλευσης σε όλη τη Βόρεια Αμερική, την EMEA, την Καραϊβική και τη Λατινική Αμερική άλλαξαν μεγαλύτερο μέρος του capex τους προς την επέκταση των δικτύων οπτικών ινών τους» (BroadbandCommunities, 2022)



Πηγές:

- 1 (Coolweb.gr,2013) Ανακτήθηκε από: <https://coolweb.gr/ti-einai-optikes-ines-pos-leitourgoun/>
- 2 (Woodford and Chris, 2006/2020) Fiber optics. Ανακτήθηκε από: <https://www.explainthatstuff.com/fiberoptics.html>
- 3 (Anderson, 2020) Fibre Optic Manufacturing Excellence. Ανακτήθηκε από: <https://www.andcorp.com.au/fibre-optics-make-use-of-a-glass-fibre-that-is-thin-transparent-flexible-and-compact/>
- 4 (Toppr.com, 2022) Ανακτήθηκε από: <https://www.toppr.com/ask/question/with-the-help-of-neat-ray-diagram-discuss-the-construction-and-working-of-optical-fibre/>
- 5 (OmniSecu.com) Ανακτήθηκε από: <https://www.omniseclu.com/basic-networking/structure-of-fiber-optic-cable-foc.php>
- 6 (Rp Photonics) Ανακτήθηκε από: https://www.rp-photonics.com/fiber_core.html
- 7 (Ad-net.com.tw, 2016) Ανακτήθηκε από: <https://www.ad-net.com.tw/structure-of-fiber-optics-cable/>
- 8 (Sites.google.com) Ανακτήθηκε από: <https://sites.google.com/site/optikesinesyolo/epilogos>
- 9 (Labman) Ανακτήθηκε από: <http://labman.phys.utk.edu/phys222core/modules/m7/optical-fibers.html>
- 10 (Belden, 2022) Ανακτήθηκε από: https://beldencables-emea.com/en/products/cable_basics/fiber-optic-cable/index.phtml
- 11 (Rp Photonics) Ανακτήθηκε από: https://www.rp-photonics.com/single_mode_fibers.html
- 12 (Techopedia) Ανακτήθηκε από: <https://www.techopedia.com/definition/13288/single-mode-fiber>
- 13 (Newport.com) Ανακτήθηκε από: newport.com/c/single_mode_optical_fibers



- 14 (Cleerline, 2019) Ανακτήθηκε από:
<https://cleerlinefiber.com/2019/03/19/singlemode-vs-multimode-fiber-optic-cables/>
- 15 (Fs |community, 2022) Ανακτήθηκε από:
<https://community.fs.com/blog/single-mode-cabling-cost-vs-multimode-cabling-cost.html>
- 16 (TecgLogix, 2020) Ανακτήθηκε από:
<https://www.tlnetworx.com/blogs/news/single-mode-vs-multimode-fiber-whats-the-difference>
- 17 (Fs |community, 2021) Ανακτήθηκε από:
<https://community.fs.com/blog/types-of-optical-fiber-dispersion-and-compensation-strategies.html>
- 18 (Fosco) Ανακτήθηκε από: <https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95051206-fiber-dispersion-and-optical-dispersion-an-overview>
- 19 (Circuit Globe) Ανακτήθηκε από: <https://circuitglobe.com/dispersion-in-optical-fiber.html>
- 20 (Cabits services) Ανακτήθηκε από: <https://www.cabits.com/fibre-optic-cable-advantages-disadvantages/>
- 21 (ScienceDirect, 2018) Ανακτήθηκε από:
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/signal-optical-power>
- 22 (Mohammad Abdul Matin, 2018) Telecommunication Networks.
- 23 (Fiber Optic Network Products, 2018) Ανακτήθηκε από:
<https://www.fiberopticsshare.com/multiplexing-and-demultiplexing-differences.html>
- 24 (Scaler Topics, 2022) Ανακτήθηκε από:
<https://www.scaler.com/topics/multiplexing-and-demultiplexing-in-computer-networks/>
- 25 (Glsun, 2022) Ανακτήθηκε από: <https://www.glsun.com/article-p104-mux-and-demux-in-wdm.html>
- 26 (Juniper.Networks) Ανακτήθηκε από: <https://www.juniper.net/gb/en/research-topics/what-is-pon.html>



- 27 (Cisco) Ανακτήθηκε από: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/switches/what-is-passive-optical-networking.html>
- 28 (Fiber Optic Solutions) Ανακτήθηκε από: <https://www.fiber-optic-solutions.com/intro-optical-network-pon.html>
- 29 (Techno Pedia) Ανακτήθηκε από: <https://www.technopediasite.com/2018/12/fttx-network-architectures-and.html>
- 30 (V-SOL Blog, 2022) Ανακτήθηκε από: <https://www.vsolcn.com/blogs-detail/what-is-ftp-ftth-fttc-fttx-21>
- 31 (Splicer Market, 2022) Ανακτήθηκε από: <https://www.splicemarket.com/blogs/news/comparison-between-ftth-fttc-fttn-and-fttx>
- 32 (Tech Target, 2020) Ανακτήθηκε από: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/fiber-to-the-home>
- 33 (Fosco) Ανακτήθηκε από: <https://community.fs.com/blog/types-of-optical-fiber-dispersion-and-compensation-strategies.html>
- 34 (Σπυριδούλα Μαργαρίτη | Ελευθέριος Στεργίου, 2007) Τοπικά και Αστικά Δίκτυα (LAN-MAN)
- 35 (Techno Pedia) Ανακτήθηκε από: <https://www.technopediasite.com/2020/07/types-of-optical-amplifiers.html>
- 36 (Fiber Optics Tytorial, 2014) Ανακτήθηκε από: <https://www.fiber-optic-tutorial.com/comparison-of-different-optical-amplifiers.html>
- 37 (FiberLabs Inc, 2021) Ανακτήθηκε από: <https://www.fiberlabs.com/glossary/erbium-doped-fiber-amplifier/>
- 38 (Rp Photonics) Ανακτήθηκε από: https://www.rp-photonics.com/erbium_doped_fiber_amplifiers.html
- 39 (Andy Bateman, 2000) Ψηφιακές Επικοινωνίες
- 40 (Viavi) Ανακτήθηκε από: <https://www.viavisolutions.com/en-us/passive-optical-network-pon>
- 41 (Fs |community, 2021) Ανακτήθηκε από: <https://community.fs.com/blog/what-is-a-fiber-optic-splitter-2.html>



- 42 (RF Wireless World, 2012) Ανακτήθηκε από: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/TDM-vs-WDM.html>
- 43 (Conniq.com) Ανακτήθηκε από: http://www.conniq.com/InternetAccess_FTTN-architecture.htm
- 44 (Fs |community, 2020) Ανακτήθηκε από: <https://community.fs.com/blog/a-comprehensive-understanding-of-fttx-network.html>
- 45 (CableOrganizer) Ανακτήθηκε από: <https://www.cableorganizer.com/learning-center/articles/fiber-optics-tutorial/understanding-ftp.html>
- 46 (DgtlInfra) Ανακτήθηκε από: <https://dgtlinfra.com/fiber-to-the-home-ftth/>
- 47 (ERTNEWS, 2021) Ανακτήθηκε από: <https://www.ertnews.gr/perifereiakoi-stathmoi/chania/peiramatiki-efarmogi-sta-chania-gia-ti-chrisi-optikon-inon-poy-mporoy-n-na-leitoyrgisoyn-kai-os-seismografoi-audio/>
- 48 (E&, 2022) Ανακτήθηκε από: <https://eand.com/en/news/25-05-2022-ftth-penetration.jsp>
- 49 (ComputerWeekly, 2022) Ανακτήθηκε από: <https://www.computerweekly.com/news/252520601/Steady-growth-for-fibre-networks-across-Europe-over-next-five-years>
- 50 (Capital, 2022) Ανακτήθηκε από: <https://www.capital.gr/epixeiriseis/3630732/cosmote-se-650-000-spitia-kai-epixeiriseis-eftase-i-optiki-ina>
- 51 (OT, 2023) Ανακτήθηκε από: <https://www.ot.gr/2023/01/11/epixeiriseis/tilepikoinonies/optikes-ines-pos-tha-ftasoun-se-810-000-noikokyria-kai-epixeiriseis/>
- 52 (Statista, 2022) Ανακτήθηκε από: <https://www.statista.com/statistics/990270/china-share-of-ftth-access-among-all-types-of-fixed-line-broadband-access/>
- 53 (ISPreview, 2022) Ανακτήθηκε από: <https://www.ispreview.co.uk/index.php/2022/05/2022-full-fibre-country-ranking-sees-uk-overtake-germany.html>
- 54 (BroadbandCommunities, 2022) Ανακτήθηκε από: <https://www.bbcmag.com/community-broadband/fiber-will-mostly-dominate-broadband-in-2022>



Λίστα εικόνων:

1. <https://www.hp.com/us-en/shop/tech-takes/top-10-advantages-fiber-optic-internet-connections>
2. <https://www.thefoa.org/tech/ref/basic/fiber.html>
3. <https://medium.com/@fiberstoreorenda/comparison-between-mmf-and-smf-optical-cables-757f108a4e6e>
4. https://www.modularphotonics.com/resources_modaldispersion/
5. <https://community.fs.com/blog/types-of-optical-fiber-dispersion-and-compensation-strategies.html>
6. <https://community.fs.com/blog/types-of-optical-fiber-dispersion-and-compensation-strategies.html>
7. <https://montclairfiber.com/product/edfa-standard-optical-amplifier/>
8. <https://www.neptecos.com/product/ytterbium-erbium-doped-fiber-amplifier-yedfa/>
9. <http://gr.opticalpatchcable.com/news/comparison-of-different-types-of-optical-ampli-24242332.html>
10. https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=13086#ad-image-0
11. <https://www.fiber-optic-solutions.com/what-is-wdm.html>
12. <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/passive-optical-network-PON>
13. <https://blog.router-switch.com/2021/10/olt-and-ont-difference/>
14. <https://www.technopedia.site.com/2018/12/fttx-network-architectures-and.html>
15. <https://www.hanlan-tech.com/show-95.html>
16. <https://www.beaming.co.uk/knowledge-base/whats-the-difference-between-a-fibre-optic-leased-line-ftp/>
17. <https://openfiber.it/en/technologies/ftth/ftth-fiber/>
18. <https://zh-tw.facebook.com/debasis1402/photos/fttx-architectureactive-star-networkan-active-star-network-uses-fiber-from-the-c/1048078991948885/>



19. <https://forum.huawei.com/enterprise/en/ftta-1/thread/822495-100181>
20. <https://www.whistleout.com.au/Broadband/Guides/nbn-fttn-everything-you-need-to-know>
21. <https://www.whistleout.com.au/Broadband/Guides/nbn-fttdp-everything-you-need-to-know>
22. <https://www.whistleout.com.au/Broadband/Guides/nbn-fttb-everything-you-need-to-know>
23. <https://community.fs.com/blog/what-is-a-fiber-optic-splitter-2.html>
24. <https://www.key4biz.it/wp-content/uploads/2022/05/Global-Ranking-2022.pdf>
25. <https://www.statista.com/statistics/990270/china-share-of-ftth-access-among-all-types-of-fixed-line-broadband-access/>
26. <https://www.ispreview.co.uk/index.php/2022/05/2022-full-fibre-country-ranking-sees-uk-overtake-germany.html>