



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΡΓΟΥ ΝΓΑ ΕΚΑΛΗΣ

Εκπόνηση: Κάτσινος Απόστολος

Επιβλέπων Καθηγητής: Κος Ευθύμογλου Γεώργιος

Πειραιάς, Φεβρουάριος 2018

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κ Γεώργιο Ευθύμογλου για την καθοδήγηση και τις συμβουλές του κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους φίλους μου για την βοήθεια και την συμπαράστασή τους, καθώς και όλους όσους βοήθησαν παρέχοντάς μου σημαντικές πληροφορίες για την ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Ενα μεγάλο ευχαριστώ στην γυναίκα μου για την αμέριστη συμπαράσταση και υπομονή της καθ' όλη την διάρκεια της φοίτησής μου.

Τέλος την εργασία μου την αφιερώνω στην γυναίκα μου Παναγιώτα και στον γιο μου Γεώργιο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ραγδαία αύξηση της χρήσης του διαδικτύου έχει δημιουργήσει ολοένα και μεγαλύτερη ζήτηση για κατασκευή ευρυζωνικών δικτύων. Τα δίκτυα οπτικών ινών είναι μια κατηγορία ευρυζωνικών δικτύων που υπόσχονται ευέλικτες και ικανές συνθήκες να υποστηρίξουν πληθώρα υπηρεσιών με θεωρητικά απεριόριστη χωρητικότητα σε αρκετά μεγάλο εύρος ζώνης. Επιπλέον, τα οπτικά δίκτυα δεν καλύπτουν μόνο το βασικό δίκτυο κορμού, αλλά μπορούν να εκτείνονται μέχρι την κατοικία των τελικών χρηστών. Συνεπώς, τα οπτικά δίκτυα πρόσβασης FTTx και οι διάφορες τεχνολογίες τους εφαρμόζονται στις δικτυακές υποδομές που αναπτύσσονται από το κεντρικό γραφείο του δικτύου της περιοχής κάλυψης μέχρι το συνδρομητή.

Η παρούσα εργασία μελετά τα FTTH δίκτυα και συγκεκριμένα τα οφέλη που προσφέρουν τόσο στην οικονομία όσο και στους χρήστες. Γίνεται, επίσης, αναφορά σε τεχνικά θέματα που αφορούν αυτά τα δίκτυα οπτικών ινών, όπως οι υποδομές, οι σωληνώσεις, τα καλώδια, οι τάφροι, κ.λπ. Τα στοιχεία αυτά προκαλούν τα υψηλότερα κόστη στο δίκτυο πρόσβασης (κόστη CAPEX) και για αυτό το λόγο δίνεται ιδιαίτερη έμφαση, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζονται και τα OPEX κόστη. Τέλος, στην εργασία παρουσιάζεται μια οικονομική μελέτη σε υπό κατασκευή FTTC δίκτυο, στην οποία πραγματοποιείται ανάλυση του κόστους του έργου, καθώς και των χρηματορικών, προκειμένου να αξιολογηθεί η αποδοτικότητα του έργου. Το έργο κατασκευάζεται σε περιοχή της Ανατολικής Αττικής και περιλαμβάνει εγκατάσταση οπτικής ίνας από το κεντρικό γραφείο (CO) μέχρι τα καφάο και αλλαγή των παλαιών καφάο σε νέου τύπου καμπίνες FTTC.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΤΗΤΑ	8
2.1. Εισαγωγή – Ορισμός της Ευρυζωνικότητας	8
2.2. Ευρυζωνικές τεχνολογίες	9
2.3. Η ανάγκη για Ευρυζωνικότητα	12
2.4. Πλεονεκτήματα Ευρυζωνικότητας	13
2.4.1. Οικονομικά και Τεχνολογικά οφέλη.....	13
2.4.2. Κοινωνικά οφέλη.....	14
2.4.3. Οφέλη για τον δημόσιο και ιδιωτικό τομέα	15
2.5. Η σημασία της Ευρυζωνικότητας	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΟΠΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	18
3.1. Εισαγωγή.....	18
3.2. Θέματα μετάδοσης στα οπτικά δίκτυα	19
3.2.1. Στοιχεία οπτικών συνδέσμων.....	20
3.2.2. Τύποι οπτικής ίνας	25
3.3. Εφαρμογές οπτικών δικτύων	26
3.4. Τοπολογίες AON/PON οπτικών δικτύων	27
3.5. Πλεονεκτήματα και περιορισμοί δικτύων οπτικών ινών	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ FTTx	32
4.1. Εισαγωγή.....	32
4.2. Κατηγορίες – τοπολογίες δικτύων FTTx.....	33
4.3. Δομή δικτύων FTTx.....	36
4.4. Τεχνολογική υποδομή ενός δικτύου FTTx.....	39
4.4.1. Μέθοδοι κατασκευής τάφρων	39
4.4.2. Υποδομή σωληνώσεων	40
4.4.3. Μέθοδοι εγκατάστασης καλωδίων σωλήνων.....	41
4.4.4. Συστοιχίες μικρο-σωληνώσεων (Microduct bundles)	42
4.4.5. Τύποι καλωδίων σωλήνων	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΔΙΚΤΥΟΥ FTTx	45
5.1. Εισαγωγή.....	45
5.2. Παράγοντες οικονομικών δραστηριοτήτων των FTTx δικτύων	46
5.3. Ορισμός CAPEX.....	47
5.3.1. Παράγοντες που διαμορφώνουν το κόστος CAPEX ενός δικτύου FTTx.....	48

5.4.	Ορισμός ΟΡΕΧ.....	49
5.4.1.	Παράγοντες που διαμορφώνουν το κόστος ΟΡΕΧ ενός δικτύου FTTx	50
5.5.	Μείωση κόστους ενός δικτύου FTTx.....	51
5.6.	Επιχειρησιακή μελέτη δικτύου FTTx	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....		57
6.1.	Στόχοι χρηματοοικονομικής ανάλυσης και αξιολόγησης της επένδυσης	57
6.2.	Περιγραφή έργου	57
6.3.	Ανάλυση συνολικού κόστους επένδυσης	58
6.4.	Ανάλυση λογιστικών καταστάσεων	60
6.5.	Χρηματοοικονομική αξιολόγηση επένδυσης.....	62
6.5.1.	Μέθοδος επανείσπραξης του κόστους επένδυσης	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		66

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

Στη σύγχρονη εποχή της παγκοσμιοποίησης με την ανάπτυξη της κοινωνίας των πληροφοριών και την εκρηκτική εξέλιξη της τεχνολογίας τα δίκτυα νέας γενιάς και οι ψηφιακές υποδομές αποτελούν το μέλλον της τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής, κυρίως λόγω του τεράστιου εύρους ζώνης και των υψηλών ρυθμών μετάδοσης που παρέχουν, υποστηρίζοντας τόσο τις σημερινές, όσο και τις μελλοντικές εφαρμογές καθώς και τις προσφερόμενες μέσα από αυτές υπηρεσίες. Ένα Δίκτυο Νέας Γενιάς (NGN)¹ είναι ένα δίκτυο βασισμένο στη μετάδοση πακέτων, ικανό να παρέχει τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες και ικανό να κάνει χρήση πολλαπλών ευρυζωνικών και QoS-enabled² τεχνολογιών μεταφοράς και στο οποίο οι λειτουργίες που σχετίζονται με τις υπηρεσίες είναι ανεξάρτητες από τις υποκείμενες τεχνολογίες που σχετίζονται με τη μεταφορά. Προσφέρει απεριόριστη πρόσβαση των χρηστών σε διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών και υποστηρίζει γενικευμένη κινητικότητα η οποία επιτρέπει συνεχή και καθολική παροχή υπηρεσιών στους χρήστες.

Οι τεχνολογίες αιχμής, τα δίκτυα νέας γενιάς και οι ψηφιακές υποδομές είναι απολύτως απαραίτητα για την αναβάθμιση της ποιότητας ζωής, εξασφαλίζοντας αποδοτικότερες υποδομές, οι οποίες θα κληθούν να ικανοποιήσουν όλες τις μελλοντικές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και σε ταχύτητα όλων των σύγχρονων εφαρμογών που απαιτούν ένα τεράστιο πλήθος συναλλαγών.

Τα δίκτυα νέας γενιάς δύνανται να αναπτυχθούν οικονομικά και αποδοτικά χρησιμοποιώντας σύνθετες λύσεις κυρίως για την εγκατάσταση της παθητικής τους υποδομής. Ο όρος NGA³ αναφέρεται σε Δίκτυα Πρόσβασης Νέας Γενιάς, μια νέα προσέγγιση στην αρχιτεκτονική ενός «μελλοντικού» δικτύου πρόσβασης, που θα άρει τους περιορισμούς του παραδοσιακού χάλκινου δικτύου σε εύρος ζώνης, προσφέροντας στους συνδρομητές του την δυνατότητα για ταχύτητες αρκετά υψηλές, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες τους για τα επόμενα πενήντα έτη. Σχετίζεται στενά με τον όρο NGN, που αναφέρεται στην γενική δομή του Δικτύου Νέας Γενιάς, και αναμένεται, μελλοντικά, να μετατρέψει την πολύπλοκη δικτυακή δομή του υφιστάμενου παραδοσιακού δικτύου TDM⁴, σε ένα ενιαίο δίκτυο βασισμένο στο πρωτόκολλο IP.

¹ New Generation Network – NGN: Δίκτυα Νέας Γενιάς

² Quality Of Service enabled – QoS enabled : Ποιότητα Υπηρεσίας πχ. jitter (θόρυβος), packet loss ratio (απώλεια πακέτων) κτλ.

³ New Generation Access – NGA: Πρόσβαση Νέας Γενιάς

⁴ Time Division Multiplexing – TDM: Πολύπλεξη Διαίρεσης Χρόνου

Οι περισσότεροι διεθνείς εξειδικευμένοι φορείς και οργανισμοί συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι το μέλλον ανήκει κυρίως στα δίκτυα πρόσβασης οπτικών ινών (FTTx)⁵. Πιο συγκεκριμένα διαπιστώθηκε ότι τα FTTH⁶ δίκτυα παρέχουν την καλύτερη απόδοση ανά τελικό χρήστη αναφορικά με το εύρος ζώνης και την διατηρησιμότητα τους και ως εκ τούτου θα επικρατήσουν στο μέλλον έναντι όλων των άλλων εναλλακτικών λύσεων.

Πλέον, την τελευταία δεκαετία ο καταγισμός από κάθε είδους πληροφορίες και εικόνες σε συνδυασμό με τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για νέες υπηρεσίες με μεγάλο εύρος ζώνης οδήγησαν τους τηλεπικοινωνιακούς φορείς και παρόχους στην αλλαγή του τηλεπικοινωνιακού τους δικτύου πρόσβασης από το παραδοσιακό δίκτυο διανομής χαλκού σε εκείνο που χρησιμοποιεί τις σύγχρονες λύσεις των οπτικών ινών. Η ίνα φθάνει πλέον στο χώρο του και ανοίγει νέους ορίζοντες για την ανάπτυξη της επιχειρηματικότητας αλλά και με την πρόσβαση σε νέες υπηρεσίες και σε υψηλού επιπέδου ψυχαγωγία.

⁵ FTTx (Fiber to the x): οποιαδήποτε αρχιτεκτονική που χρησιμοποιεί οπτική ίνα για την αντικατάσταση μέρους ή όλου του χαλκού ή άλλων τεχνολογιών σε ένα δίκτυο

⁶ FTTH (Fiber-to-the-Home): Οπτική ίνα μέχρι το σπίτι

Κεφάλαιο 2 - Ευρυζωνικότητα

2.1 Εισαγωγή – Ορισμός της Ευρυζωνικότητας

Είναι αρκετά συχνό φαινόμενο ακόμα και σήμερα να συγχέεται η έννοια της ευρυζωνικότητας, καθώς δε γίνεται άμεσα αντιληπτή από πολλούς ανθρώπους, οι οποίοι συχνά θεωρούν ότι είναι κάποια συγκεκριμένη ταχύτητα σύνδεσης είτε ένα συγκεκριμένο σύνολο υπηρεσιών. Εντούτοις, στην πραγματικότητα είναι κάτι διαφορετικό, αφού ο όρος δεν αναφέρεται σε συγκεκριμένη ταχύτητα ή υπηρεσία. Αντιθέτως, η ευρυζωνικότητα συνδυάζει το εύρος ζώνης (χωρητικότητα) με την ταχύτητα μιας σύνδεσης.

Με τον όρο Ευρυζωνικότητα εννοείται ένα προηγμένο και καινοτόμο περιβάλλον, από κοινωνική και τεχνολογική άποψη, το οποίο αποτελείται από γρήγορες συνδέσεις με το Διαδίκτυο και κατάλληλες δικτυακές υποδομές για την ανάπτυξη νέων ευρυζωνικών εφαρμογών και υπηρεσιών. [1]. Μάλιστα, λόγω της συνεχόμενης αλλαγής των ευρυζωνικών τεχνολογιών, ο ορισμός της ευρυζωνικότητας συνεχώς εξελίσσεται. Από τηλεπικοινωνιακής άποψης, οι ευρυζωνικές τεχνολογίες είναι η μετεξέλιξη των υπαρχόντων ISDN δικτύων, τα οποία καλούνται πλέον ISDN στενού εύρους ζώνης (narrow band ISDN). Η συνδεσιμότητα των παρεχόμενων ευρυζωνικών υπηρεσιών αποτελεί ένα βασικό στοιχείο έτσι ώστε να καταστούν οι ΤΠΕ⁷ διαθέσιμοι πόροι οικονομικά προσιτοί και ταυτόχρονα αξιόπιστοι για πολίτες και επιχειρήσεις σε όλο τον κόσμο [2].

Αναλυτικότερα, η Ευρυζωνικότητα ορίζεται με ευρεία έννοια ως το προηγμένο, εφικτό και καινοτόμο από πολιτική, κοινωνική, οικονομική και τεχνολογική άποψη περιβάλλον, αποτελούμενο από:

- Την παροχή γρήγορων συνδέσεων στο Διαδίκτυο σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού, με ανταγωνιστικές τιμές (με τη μορφή καταναλωτικού αγαθού), χωρίς εγγενείς περιορισμούς στα συστήματα μετάδοσης και τον τερματικό εξοπλισμό των επικοινωνούντων άκρων
- Την κατάλληλη δικτυακή υποδομή που: α) επιτρέπει την κατανεμημένη ανάπτυξη υπαρχόντων και μελλοντικών δικτυακών εφαρμογών και πληροφοριακών υπηρεσιών, β) δίνει τη δυνατότητα αδιάλειπτης σύνδεσης των χρηστών σε αυτές γ) ικανοποιεί τις εκάστοτε ανάγκες των εφαρμογών σε εύρος ζώνης, αναδραστικότητα και διαθεσιμότητα, και δ) είναι ικανή να αναβαθμίζεται συνεχώς και με μικρό επιπλέον κόστος ώστε να εξακολουθεί να ικανοποιεί τις ανάγκες όπως αυτές αυξάνουν και μετεξελίσσονται με ρυθμό και κόστος που επιτάσσονται από την πρόοδο της πληροφορικής και της τεχνολογίας επικοινωνιών

⁷ ΤΠΕ (ICT): Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (Information and Communication Technology) είναι το σύνολο των επαγγελματικών χώρων οι οποίοι σχετίζονται με τη μελέτη, σχεδίαση, ανάπτυξη, υλοποίηση, συντήρηση και διαχείριση υπολογιστικών πληροφοριακών συστημάτων, κυρίως αναφορικά με εφαρμογές λογισμικού και υλικού υπολογιστών

- Τη δυνατότητα του πολίτη να επιλέγει α) ανάμεσα σε εναλλακτικές προσφορές σύνδεσης που ταιριάζουν στον εξοπλισμό του, β) μεταξύ διαφόρων δικτυακών εφαρμογών και γ) μεταξύ διαφόρων υπηρεσιών πληροφόρησης και ψυχαγωγίας και με πιθανή συμμετοχή του ίδιου του πολίτη στην παροχή περιεχομένου, εφαρμογών και υπηρεσιών
- Το κατάλληλο ρυθμιστικό πλαίσιο αποτελούμενο από πολιτικές, μέτρα, πρωτοβουλίες, άμεσες και έμμεσες παρεμβάσεις, αναγκαίες για την ενδυνάμωση της καινοτομίας, την προστασία του ανταγωνισμού και την εγγύηση σοβαρής ισορροπημένης οικονομικής ανάπτυξης ικανής να προέλθει από τη γενικευμένη συμμετοχή στην Ευρυζωνικότητα και την Κοινωνία της Πληροφορίας [1].

2.2 Ευρυζωνικές τεχνολογίες

Ορισμένες από τις πιο διαδεδομένες ευρυζωνικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι:

DSL (Digital subscriber line):

Πρόκειται για την πιο συνηθισμένη ευρυζωνική πλατφόρμα στον κόσμο σήμερα. Η τεχνολογία DSL χρησιμοποιεί διαφορετικές συχνότητες για να διαχωρίσει τις υπηρεσίες δεδομένων και φωνής που χρησιμοποιούν την ίδια τυπική τηλεφωνική γραμμή. Αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες έχουν ταυτόχρονη δυνατότητα να βρίσκονται στο διαδίκτυο αλλά και να μιλούν στο τηλεφωνικό δίκτυο, χρησιμοποιώντας μόνο μια τηλεφωνική γραμμή. Όπως όλες οι ευρυζωνικές τεχνολογίες, η DSL προσφέρει υψηλότερες ταχύτητες και καλύτερη ποιότητα για τη μετάδοση φωνής, δεδομένων και εικόνων. Η DSL είναι μια εξατομικευμένη υπηρεσία, όπου κάθε χρήστης έχει το δικό του κύκλωμα προς το τηλεφωνικό κέντρο. Αυτό σημαίνει ότι το διαθέσιμο στο χρήστη εύρος ζώνης και η ταχύτητα των υπηρεσιών δεν ποικίλουν ανάλογα με τον αριθμό των συνδρομητών/ χρηστών σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

xDSL:

Το “x” στη συγκεκριμένη συντομογραφία σημαίνει την ύπαρξη πολλών και διαφορετικών DSL προδιαγραφών, οι οποίες καλύπτουν διαφορετικές ανάγκες. Με τις τεχνολογίες αυτές, η επικοινωνία γίνεται εξ’ ολοκλήρου ψηφιακά με τη χρήση εξελιγμένων τεχνικών διαμόρφωσης σήματος. Έτσι, είναι δυνατή η χρήση πολύ μεγαλύτερου εύρους ζώνης σε σχέση με την απλή DSL τεχνολογία, γεγονός που συνεπάγεται μεγαλύτερες ταχύτητες για τις ανάγκες που καλύπτει η εκάστοτε “x” τεχνολογία. Οι πιο διαδεδομένες xDSL τεχνολογίες είναι οι ADSL (Asymmetric DSL), HDSL (High Speed DSL), IDSL (ISDN – DSL), RADSL (Rate – adaptive DSL), SDSL (Symmetric DSL) και VDSL (Very High Speed DSL), η κάθε μια με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά.

Καλωδιακά μόντεμ:

Τα καλωδιακά μόντεμ είναι επίσης μια πολύ δημοφιλής ευρυζωνική τεχνολογία, η οποία έχει ανθίσει σε περιοχές με ανεπτυγμένα δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης. Τα καλωδιακά δίκτυα είναι ικανά να μεταφέρουν διαφορετικά κανάλια πάνω στο ίδιο φυσικό μέσο (καλώδιο). Αρχικά, τα κανάλια αυτά μεταφέρουν το σήμα από διαφορετικούς τηλεοπτικούς σταθμούς. Στις μέρες μας, πέρα από τα προαναφερθέντα τηλεοπτικά σήματα, ένα κανάλι στέλνει δεδομένα σε χρήστες από το διαδίκτυο και κάποιο άλλο κανάλι στέλνει δεδομένα από τους χρήστες στο διαδίκτυο. Η κύρια διαφορά μεταξύ DSL και καλωδιακής τεχνολογίας είναι ότι στην καλωδιακή όλοι οι συνδρομητές μιας μικρής περιοχής διαμοιράζονται τα ίδια κανάλια για την αποστολή και λήψη δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι το εύρος ζώνης και η ταχύτητα εξυπηρέτησης των αναγκών ενός χρήστη είναι άμεση συνάρτηση του εύρους ζώνης που καταναλίσκουν οι γειτονικοί συνδρομητές εκείνη τη χρονική στιγμή.

Καλώδια οπτικών ινών:

Αντίθετα με τις DSL και καλωδιακές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν χάλκινα σύρματα (συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων), η τεχνολογία οπτικών ινών χρησιμοποιεί λέιζερ για να μεταδώσει παλμούς φωτός μέσω εξαιρετικά λεπτών μερών πυριτίου. Επειδή το φως χρησιμοποιεί υψηλές συχνότητες, οι οπτικές ίνες μπορούν να μεταφέρουν πολλαπλάσιο αριθμό (αρκετές χιλιάδες φορές) των δεδομένων που μεταφέρουν τα ραδιοκύματα ή τα ηλεκτρικά σήματα. Θεωρητικά, οι οπτικές ίνες μπορούν να παρέχουν σχεδόν απεριόριστο δυναμικό εύρους ζώνης και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται για συνδέσεις μεγάλου εύρους ζώνης μεταξύ πόλεων ή για επιβαρυμένες επικοινωνιακά περιοχές. Το κόστος εγκατάστασης οπτικών ινών έκανε πιο παλιά, απαγορευτική τη χρήση τους για τη διασύνδεση σπιτιών ή ακόμα και μικρών κοινωνιών, αλλά πλέον οι τιμές έχουν πέσει αρκετά σε βαθμό που σε διάφορες οικονομίες οι χρήστες μπορούν να συνδεθούν με το διαδίκτυο με ταχύτητες ακόμα και 20 φορές μεγαλύτερες από τις ταχύτερες DSL και cable modem συνδέσεις.

Ασύρματα δίκτυα (WLANs και Wi – Fi):

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLANs) είναι τοπικά δίκτυα τα οποία χρησιμοποιούν ασύρματα ηλεκτρομαγνητικά κύματα για να μεταδώσουν και να λάβουν δεδομένα. Κινητές συσκευές έχουν πρόσβαση στο δίκτυο συνδεδεμένες μέσω ραδιοκυμάτων με ένα ενσύρματο σημείο πρόσβασης (access point), το οποίο αποστέλλει και λαμβάνει δεδομένα. Τα WLANs είναι ένας αποδοτικός τρόπος για τη διαμοίραση ασύρματης πρόσβασης στο διαδίκτυο, μέσω μιας ευρυζωνικής σύνδεσης, εντός απόστασης 100 μέτρων. Είναι επίσης μια συνεχώς αυξανόμενης χρήσης μέθοδος για την παροχή ευρυζωνικών συνδέσεων μεγάλων αποστάσεων (με τη χρήση ειδικού εξοπλισμού που αυξάνει τη δυνατή απόσταση μεταξύ των σημείων σύνδεσης) σε αγροτικές περιοχές για αναπτυσσόμενα κράτη. Ο πιο συνηθισμένος τύπος WLAN τεχνολογίας είναι γνωστός

ως Wi-Fi. Αν και η Wi-Fi τεχνολογία ανήκει στην κατηγορία WLAN δεν είναι συνώνυμη με αυτή. Άλλες WLAN τεχνολογίες είναι οι Home RF2, HiperLAN2 και 802.11a.

LMDS (Local Multipoint Distribution System):

Πρόκειται για μια ασύρματη ευρυζωνική τεχνολογία, που χρησιμοποιείται για μετάδοση φωνής και δεδομένων, υπηρεσίες διαδικτύου και τηλεοπτικές υπηρεσίες. Είναι ένα σύστημα απευθείας μικροκυματικής μετάδοσης από μια τοπικά κεντρική κεραία προς το σπίτι ή την επιχείρηση. Χρησιμοποιεί πολύ υψηλές συχνότητες (συνήθως από την περιοχή των 25 GHz και άνω) και έχει κυψελοειδή δικτυακή αρχιτεκτονική. Εντούτοις, δε μπορεί να παράσχει κινητές υπηρεσίες. Οι ταχύτητες μετάδοσης που μπορεί να υποστηρίξει η LDMS αγγίζουν τα 1.5 Gbps για μετάδοση δεδομένων προς το χρήστη και τα 200 Mbps από το χρήστη προς το δίκτυο. Θεωρείται ότι είναι μια εναλλακτική λύση αντί της εγκατάστασης οπτικών ινών κι αυτό γιατί έχει πολύ χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης.

Δορυφορική ευρυζωνική πρόσβαση (satellites):

Με την τεχνολογία αυτή είναι δυνατή η εκπομπή μέσω δορυφορικών συνδέσεων. Για τη σύνδεση με το διαδίκτυο απαιτείται η χρήση δορυφορικής κεραίας («πιάτο»). Υπάρχουν 2 είδη δορυφορικής ευρυζωνικής πρόσβασης: Η one – way και two – way δορυφορική πρόσβαση. Η one – way επιτρέπει μονόδρομη επικοινωνία με το διαδίκτυο (μόνο download), ενώ η two – way επιτρέπει αμφίδρομη (download και upload), με μεγαλύτερα όμως κόστη εξοπλισμών και εγκαταστάσεων. Ένας δορυφόρος μπορεί να μεταδίδει ροές δεδομένων από πολλαπλά κανάλια ήχου, βίντεο και δεδομένων σε ταχύτητες που κυμαίνονται από 400 Kbps ως 19 Mbps. Δυστυχώς, η τεχνολογία των μόντεμ είναι τέτοια που περιορίζει τους αποδοτικούς ρυθμούς δεδομένων για το χρήστη στα 400 Kbps. Πλεονεκτήματα της δορυφορικής ευρυζωνικής πρόσβασης είναι ότι μπορεί να είναι διαθέσιμη παντού και ότι είναι δυνατόν να εξυπηρετείται ένας πολύ μεγάλος αριθμός χρηστών, οι οποίοι βρίσκονται εντός του «πεδίου δράσης» (“footprint”) του δορυφόρου. Στα μειονεκτήματά της καταγράφονται το μεγάλο κόστος για ένα χρήστη λόγω των ακριβών μηχανημάτων που απαιτούνται (απόκτηση δορυφορικού πιάτου κ.λπ.), το ότι η one – way πρόσβαση απαιτεί την ύπαρξη και άλλης σύνδεσης (dial – up ή ISDN) για την αίτηση για δεδομένα από το διαδίκτυο, καθώς και το ότι οι δορυφορικές συνδέσεις είναι δυνατόν να επηρεαστούν από καιρικά φαινόμενα όπως η έντονη και συνεχής βροχόπτωση.

Κατά συνέπεια, η ευρυζωνικότητα μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες τεχνικές. Από αυτές ξεχωρίζει και υπερισχύει έναντι των υπολοίπων η τεχνική των οπτικών ινών, καθώς παρέχει απεριόριστες δυνατότητες εύρους ζώνης, έχει μεγάλη αξιοπιστία και είναι σχετικά φθηνή στην εγκατάσταση της. Ωστόσο αξίζει να επισημανθεί ότι υπάρχουν και πολλές ασύρματες τεχνολογίες, όπως και τεχνολογίες χαλκού οι οποίες

αναπτύσσονται με επίσης μεγάλους ρυθμούς και ορισμένες από αυτές έχουν μέχρι στιγμής καταφέρει να ανταποκριθούν στις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις από την μεριά των καταναλωτών [3].

2.3 Η ανάγκη για Ευρυζωνικότητα

Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που συντελούν στην ανάγκη για ευρυζωνικές επικοινωνίες είναι οι συνεχείς αλλαγές στις ανάγκες και απαιτήσεις των χρηστών. Οι ραγδαία αναπτυσσόμενες ανάγκες διακίνησης δεδομένων έχουν ως αποτέλεσμα τις αντίστοιχες αλλαγές στις ανάγκες και απαιτήσεις των χρηστών, κυρίως για ταχύτερη ανταλλαγή δεδομένων καθώς ο όγκος τους αυξανόταν με ταχύτατους ρυθμούς. Είναι προφανές ότι το χαμηλό κόστος και η αυξανόμενη χρήση των υπολογιστών βοήθησε την πρόσβαση εκατομμυρίων χρηστών στο διαδίκτυο, οι οποίοι όμως δεν παρουσιάζουν τις ίδιες ανάγκες και απαιτήσεις ως προς τη χρήση. Η ευρυζωνικότητα δύναται να ανταποκριθεί σε αυτή την πρόκληση μέσω ενός μεγάλου πλήθους υπηρεσιών.

Τα ευρυζωνικά δίκτυα μπορούν να προσπελαστούν μέσω μίας ποικιλίας ενσύρματων και ασύρματων υπηρεσιών, κάθε μία από τις οποίες προσφέρει μοναδικά πλεονεκτήματα στην ταχύτητα, την αξιοπιστία και το προσιτό κόστος. Οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στις ευρυζωνικές υπηρεσίες και εφαρμογές όπως η τηλεφωνία με εικόνα (video telephony) και οι χαμηλού κόστους τηλεδιασκέψεις μέσω μιας μεγάλης ποικιλίας εξοπλισμού, όπως επιτραπέζιοι και φορητοί υπολογιστές, netbook, κινητά τηλέφωνα και smartphones.

Επιπρόσθετα, ο ολοένα και αυξανόμενος ανταγωνισμός των εταιρειών παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών επιτείνει την ανάγκη για ευρυζωνικότητα. Στις ανταγωνιστικές αγορές, η διαμάχη των εταιρειών για περισσότερους πελάτες και άρα μεγαλύτερα κέρδη, τις οδηγεί στην προσφορά ολοένα και πιο σύγχρονων υπηρεσιών, οι οποίες δεν είναι δυνατόν να ικανοποιηθούν μέσα από τα παλαιότερα δίκτυα επικοινωνιών. Κατά συνέπεια, οι Πάροχοι Υπηρεσιών Διαδικτύου τέτοιων υπηρεσιών αναγκάζονται να σχεδιάσουν τις στρατηγικές τους με τέτοιο τρόπο, ώστε να παρέχουν τις υπηρεσίες τους με τον καλύτερο δυνατό τρόπο και να καλύπτουν εφαρμογές μεγάλου εύρους ζώνης.

Τέλος, η συνεχής ελάττωση του κόστους του εξοπλισμού για την επεξεργασία και διακίνηση πληροφοριών παρέχει τη δυνατότητα σε όλο και μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού να αποκτήσουν διαδικτυακές συνδέσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη συμφόρηση των υπάρχοντων δικτύων, τα οποία αδυνατούν να καλύψουν τις νέες και αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών, καθώς και την ανάγκη για δίκτυα με ικανότητα μετάδοσης δεδομένων σε ρυθμούς γρηγορότερους από τα αρχικά ψηφιακά δίκτυα ενοποιημένων υπηρεσιών (ISDN).

2.4 Πλεονεκτήματα Ευρυζωνικότητας

2.4.1. Οικονομικά και Τεχνολογικά οφέλη

Η σημασία της ευρυζωνικότητας για την ανάπτυξη της Οικονομίας και γενικότερα της Κοινωνίας της Πληροφορίας γίνεται άμεσα αντιληπτή μέσα από το γεγονός ότι οι περισσότερες χώρες παγκοσμίως έχουν θέσει ως ένα από τους κυριάρχους στόχους τους την όσο το δυνατό μεγαλύτερη ανάπτυξη της ευρυζωνικής πρόσβασης, καθώς και την παροχή σε όσο το δυνατόν περισσότερους πολίτες και επιχειρήσεις. Ένας από τους κύριους λόγους είναι ότι η ευρυζωνικότητα μπορεί να βοηθήσει τις χώρες να προσελκύσουν, να εκπαιδεύσουν και να διατηρήσουν μία δημιουργική τάξη εργαζομένων, καθώς η παρουσία της οδηγεί σε νέα επιχειρηματικά μοντέλα και νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες. Ταυτόχρονα, άλλα οικονομικά οφέλη της ευρυζωνικότητας περιλαμβάνουν τη δημιουργία και τη διευκόλυνση του εμπορίου, τη μείωση του κόστους με τις διεθνείς επικοινωνίες και τη μεγαλύτερη πρόσβαση στις διεθνείς αγορές. Συνολικά, η ανάπτυξη των κατάλληλων ευρυζωνικών υποδομών βελτιώνει σημαντικά τις συνθήκες της αγοράς, προωθεί την καινοτομία στην παροχή δικτυακών υπηρεσιών και εφαρμογών και αυξάνει την επιχειρηματικότητα ιδιαίτερα ότι αφορά τις νέες τεχνολογίες.

Επιπρόσθετα, σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες τα ευρυζωνικά δίκτυα παρέχουν μοναδικά τεχνολογικά πλεονεκτήματα που επιτρέπουν στις αναδυόμενες οικονομίες να διέλθουν με ανταγωνιστικό τρόπο στις διεθνείς αγορές. Μερικά ενδεικτικά οφέλη των ευρυζωνικών συνδέσεων περιγράφονται παρακάτω:

- Απανταχού πρόσβαση: τα ευρυζωνικά δίκτυα είναι πάντα σε λειτουργία και διαθέσιμα για χρήση
- Προηγμένες εφαρμογές πολυμέσων: οι υψηλές ευρυζωνικές ταχύτητες επιτρέπουν την εύκολη πρόσβαση σε on-line βίντεο, διαδραστικές εφαρμογές, παιχνίδια και άλλες πολυμεσικές εφαρμογές
- Μείωση κόστους: η περιήγηση στο Web, το e-mail και άλλες on-line δραστηριότητες μπορούν να αυξήσουν την παραγωγικότητα της εργασίας και να μειώσουν το κόστος συλλογής πληροφοριών
- Βελτιωμένη επικοινωνία: Τα ευρυζωνικά δίκτυα επιτρέπουν επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, μέσω e-mail, instant messaging, Voice-over-Internet Protocol (VoIP). Με τον τρόπο αυτό οι επιχειρήσεις μπορούν να επικοινωνούν πιο συχνά και με χαμηλότερο κόστος με τους πελάτες τους προμηθευτές και συνεργάτες σε όλο τον κόσμο
- Βελτίωση της αποτελεσματικότητας της ενέργειας: η ευρυζωνικότητα μειώνει τις ανάγκες μετακίνησης και οδηγεί έτσι σε μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και μεγαλύτερη συνολική ενεργειακή απόδοση [2].

2.4.2. Κοινωνικά οφέλη

Τα κοινωνικά οφέλη της ευρυζωνικής τεχνολογίας είναι δύσκολο να αποτυπωθούν, αλλά μπορούν να γίνουν αντιληπτά αν παρουσιαστούν οι τομείς στους οποίους βρίσκουν εφαρμογή οι ευρυζωνικές υπηρεσίες.

Με τα ευρυζωνικά δίκτυα, οι πολίτες/ χρήστες αποκτούν πρόσβαση σε μια μεγάλη ποικιλία εξελιγμένων υπηρεσιών όπως οι τηλε-υπηρεσίες (e-services), π.χ. τηλε-εργασία, τηλε-εκπαίδευση, τηλε-ιατρική, τηλε-συνεδρίαση, κλπ., δικτυακές υπηρεσίες ανάμεσα σε ισότιμους κόμβους (peer-to-peer networking services), αλληλεπιδραστικά παιχνίδια, καθώς και ένα μεγάλο σύνολο υπηρεσιών που σχετίζονται με την παροχή πληροφοριών, ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων αλλά και εμπορικών συναλλαγών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η χρήση του ευρυζωνικού δικτύου επιτρέπει τον εντοπισμό νέων προϊόντων και προμηθευτών, την ευκολότερη επικοινωνία με συνεργάτες και πελάτες, την αμεσότερη προβολή προϊόντων και υπηρεσιών χωρίς γεωγραφικούς περιορισμούς, καθώς και την ευκολότερη πραγματοποίηση συναλλαγών με το Δημόσιο, τράπεζες κ.λ.π. Ταυτόχρονα, τα ευρυζωνικά δίκτυα παρέχουν αποτελεσματικά και λιγότερα δαπανηρά βασικές δημόσιες υπηρεσίες, όπως η κοινωνική περίθαλψη, η εκπαίδευση, η δημόσια ασφάλεια καθώς και υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης (όπως π.χ. παροχή ιατρικών συμβουλών από απόσταση σε απομακρυσμένα ιατρεία ή κέντρα υγείας), μειώνοντας το ψηφιακό χάσμα.

Με αυτό τον τρόπο είναι εμφανές ότι επηρεάζεται η ζωή των πολιτών τόσο στις απλές καθημερινές συνήθειες όπως η διαπροσωπική επικοινωνία, η εργασία, η εκπαίδευση και η ψυχαγωγία όσο και σε περισσότερο πολύπλοκες όπως το εμπόριο, οι συναλλαγές, η συλλογή και επεξεργασία πληροφοριών και η συμμετοχή σε ένα πιο εξελιγμένο σύστημα υγείας. Με τη σύνδεση των πολιτών μεταξύ τους, όπως επίσης και των επιχειρήσεων, των κοινωνικών υπηρεσιών αλλά και γενικότερα των κυβερνήσεων, οι ευρυζωνικές υπηρεσίες βοηθούν τους ανθρώπους να γίνουν πιο ενημερωμένοι και πιο ενεργοί, κάτι που οδηγεί σε καλύτερη ποιότητα ζωής και περισσότερες προσωπικές και επαγγελματικές ευκαιρίες.

Επιπροσθέτως, η ευρυζωνικότητα μπορεί να μειώσει τις βλαβερές συνέπειες της αστικοποίησης με διάφορους τρόπους όπως: α) αύξηση των οικονομικών ευκαιριών στις αγροτικές περιοχές, παρέχοντας την δυνατότητα σε πολίτες απομακρυσμένων περιοχών να εργάζονται από το σπίτι β) βελτίωση της εκπαίδευσης, επειδή η ευρυζωνική πρόσβαση δίνει την δυνατότητα στους ανθρώπους της υπαίθρου να εκπαιδευτούν στις νέες τεχνολογίες χωρίς να απαιτείται η μετακίνηση τους σε αστικές περιοχές και γ) βελτίωση της αστικής ζωής, επειδή η ευρυζωνικότητα βελτιώνει την παραγωγικότητα, μειώνοντας

παράλληλα τις απαιτήσεις σε ενέργεια, την ηχορύπανση και την εκπομπή καυσαερίων (λόγω της μείωσης των μετακινήσεων) [2].

Συμπερασματικά, η ανάπτυξη ευρυζωνικών δικτυακών υποδομών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την καθημερινή ζωή των πολιτών. Επιπλέον, μπορεί να βοηθήσει την ανάπτυξη της Κοινωνίας της Πληροφορίας, η οποία θα αντιμετωπίζει με αποτελεσματικότητα τις ανάγκες των πολιτών αλλά και θα γεφυρώνει το ψηφιακό χάσμα που αντιμετωπίζουν κοινωνικές και γεωγραφικά αποκλεισμένες ομάδες.

2.4.3. Οφέλη για τον δημόσιο και ιδιωτικό τομέα

Η εγκατάσταση ευρυζωνικών δικτύων και υποδομών σε μια χώρα μπορεί να επιφέρει σημαντικές αλλαγές τόσο στο δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά το δημόσιο χώρο, η διάδοση των ευρυζωνικών υποδομών και υπηρεσιών επιφέρει μεγάλες αλλαγές στη λειτουργία, την αποτελεσματικότητα και την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών, καθώς παρέχει τη δυνατότητα μιας αποδοτικότερης αλληλεπίδρασης μεταξύ δημόσιων υπηρεσιών και πολιτών μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών. Συγκεκριμένα, απλοποιούνται και βελτιώνονται σε σημαντικό βαθμό οι παρεχόμενες κρατικές υπηρεσίες προς τους πολίτες και τις επιχειρήσεις.

Ταυτόχρονα, οι υποδομές αυτές, μέσω της αξιοποίησης των υπηρεσιών που εισάγουν, προσφέρουν τη δυνατότητα αξιοποίησης νέων εφαρμογών και υπηρεσιών, που δρουν θετικά στην ανάπτυξη εκπαιδευτικών και ερευνητικών δραστηριοτήτων πραγματικά υψηλής ποιότητας. Αντίστοιχες σημαντικές συνέπειες εμφανίζονται και στον τομέα της υγείας, καθώς με τα ευρυζωνικά δίκτυα μπορούν να παρασχεθούν υπηρεσίες υψηλού επιπέδου ακόμα και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές μιας χώρας.

Ένα σημαντικό στοιχείο όλων των παγκόσμιων οικονομιών είναι το γεγονός ότι οι δημόσιες υπηρεσίες αποτελούν συνήθως τον καλύτερο πελάτη που αποφέρει τα μεγαλύτερα έσοδα στους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς, διότι καταβάλλουν σημαντικά τέλη. Η ανάπτυξη και εγκατάσταση των ευρυζωνικών υποδομών προσφέρει τη δυνατότητα για καλύτερες και φθηνότερες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες, συμβάλλοντας στη δημιουργία νέων επιχειρηματικών σχημάτων μεταξύ δημόσιων και ιδιωτικών φορέων.

Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα του Δημοσίου Τομέα λόγω της χρήσης της ευρυζωνικότητας είναι τα εξής [4]:

- Εξοικονόμηση χρόνου με τη χρήση αυτόματων διαδικασιών,
- Μείωση ανάγκης για εργασίες διαχείρισης,
- Μείωση γραφειοκρατίας με παράλληλη αύξηση της ικανοποίησης των εργαζομένων,
- Βελτίωση της εικόνας της Δημόσιας Διοίκησης,
- Ενίσχυση της ομαδικότητας και συνεργασίας,

- Καλύτερα εκπαιδευμένοι υπάλληλοι,
- Ευκολότερη και ταχύτερη διάχυση της πληροφορίας.

Όσον αφορά τον ιδιωτικό τομέα, οι επιχειρήσεις έχουν τη δυνατότητα να πετύχουν μια μεγαλύτερη οικονομική ανάπτυξη μέσω της χρήσης των ευρυζωνικών δικτύων. Μέσω των νέων υπηρεσιών και εφαρμογών της ευρυζωνικότητας επιτυγχάνεται απλοποίηση του τρόπου εισαγωγής των επιχειρήσεων στο νέο ψηφιακό περιβάλλον και υλοποίηση νέων μηχανισμών διαφήμισης και προώθησης προϊόντων και υπηρεσιών. Ταυτόχρονα, τον πιο ουσιαστικό ρόλο για την ανάπτυξη των επιχειρήσεων διαδραματίζει το γεγονός ότι η γεωγραφική έδρα τους δεν έχει ουσιαστικά καμία σημασία, καθώς λόγω της ευρυζωνικότητας θα είναι πλέον ευκολότερο να κινηθούν και στις πιο απομακρυσμένες από αυτές γεωγραφικές περιοχές μέσω του ηλεκτρονικού εμπορίου, ένα είδος εμπορίου με δυναμική ικανή να ανατρέψει τα σημερινά δεδομένα αναφορικά με την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων παγκοσμίως.

2.5 Η σημασία της Ευρυζωνικότητας

Είναι γεγονός ότι πολλές προηγμένες χώρες κινούνται δραστήρια προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης και εγκατάστασης ευρυζωνικών υποδομών. Αυτό καταδεικνύει ότι έχει γίνει πλέον κατανοητή η πολύπλευρη σημασία που αναμένεται να έχουν στο μέλλον αυτού του είδους τα δίκτυα όχι μόνο στην ανάπτυξη της οικονομίας αλλά και στην αντιμετώπιση τεχνολογικών αποκλεισμών πολιτών σε απομακρυσμένες περιοχές. Παρά όμως το γεγονός ότι είναι προφανής και διεθνώς αναγνωρισμένη η συσχέτιση μεταξύ ευρυζωνικότητας και οικονομικής ανάπτυξης, εντούτοις οι αλλαγές συντελούνται με αργούς ρυθμούς, καθώς είναι δύσκολο να υλοποιηθούν στην αρχή.

Ωστόσο, η εισαγωγή των επιθυμητών ευρυζωνικών υπηρεσιών σε τομείς όπως η δημόσια διοίκηση, υγεία και παιδεία, είναι πιθανόν να διαφοροποιήσει προς το καλύτερο την παρούσα κατάσταση. Η πολιτεία με το διττό της ρόλο ως πρωταρχικός φορέας της ευρυζωνικής ανάπτυξης και ταυτόχρονα ως χρήστης τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, άρα και πελάτης, δύναται να αποτελέσει ένα σημαντικό μοχλό πίεσης προς τις επιχειρήσεις προκειμένου να καλύψει τις ολοένα και αυξανόμενες ανάγκες της.

Η ανάπτυξη των ευρυζωνικών δικτύων και υποδομών θεωρείται στρατηγικής σημασίας για τις σύγχρονες χώρες και έχει τεθεί ως κυρίαρχος στόχος τόσο από τον ευρωπαϊκό Οργανισμό για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη (ΟΟΣΑ), όσο και από την κοινή ευρωπαϊκή πολιτική για την υλοποίηση της

Κοινωνίας της Πληροφορίας⁸ [5]. Η ευρεία χρήση της ευρυζωνικότητας μπορεί να δώσει ώθηση στις οικονομικές δραστηριότητες (e-Commerce), στις σύγχρονες δικτυακές δημόσιες υπηρεσίες και στις καθημερινές συναλλαγές των πολιτών όχι μόνο με τις δημόσιες αλλά και με τις ιδιωτικές υπηρεσίες (e-Banking, e-Government), στην αναβάθμιση των υπηρεσιών μάθησης που παρέχονται σε απομονωμένες περιοχές μιας χώρας (e-Learning), καθώς και στην εξασφάλιση της άμεσης πρόσβασης στην επιστημονική γνώση και την ενημέρωση (ηλεκτρονικά media, blogging, διαδικτυακές κοινότητες).

Συμπερασματικά, η ευρυζωνικότητα θεωρείται ζωτικής σημασίας για τις χώρες διεθνώς, καθώς η κατάλληλη επιλογή επενδύσεων για την ανάπτυξη των υποδομών των τηλεπικοινωνιών μπορεί να επεκτείνει σε αρκετά μεγάλο βαθμό τις παραγωγικές δυνατότητες της οικονομίας. Τα ευρυζωνικά δίκτυα, λειτουργούν ως πλατφόρμα επικοινωνίας και συναλλαγής και μπορούν να βελτιώσουν την παραγωγικότητα, να αυξήσουν τις δημόσιες και τις ιδιωτικές επενδύσεις, οι οποίες εξαρτώνται από τηλεπικοινωνίες υψηλής ταχύτητας, καθώς και να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των ανθρώπων.

⁸ Το σχέδιο δράσης eEurope 2005, που εγκρίθηκε από τους αρχηγούς κρατών και κυβερνήσεων στο Ευρωπαϊκό Συμβούλιο της Σεβίλλης τον Ιούνιο του 2002, θέτει την ευρυζωνική πρόσβαση σημαντική προτεραιότητα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Κεφάλαιο 3 – Οπτική Τεχνολογία

3.1 Εισαγωγή

Η ταχύτατη μετάδοσης δεδομένων αποτελεί σήμερα μια επιτακτική ανάγκη, τόσο σε μια σύνδεση Internet υψηλής ταχύτητας, όσο και για την υλοποίηση των τηλεφωνικών συνδέσεων Voice over IP. Η καλύτερη επιλογή για την κάλυψη των υψηλών σημερινών αναγκών σε εύρος ζώνης (bandwidth), δεν είναι άλλη από τη χρήση ενός δικτύου οπτικών ινών. Οι οπτικές ίνες (optical fibers) χρησιμοποιούνται ευρέως στην οπτική επικοινωνία, που επιτρέπει μετάδοση για μεγαλύτερες αποστάσεις και σε μεγαλύτερη ταχύτητα ανταλλαγής δεδομένων από άλλες μορφές επικοινωνιών. Συγκεκριμένα, μεταδίδουν φωτεινά σήματα σε μεγάλες αποστάσεις με μηδενικές σχεδόν απώλειες, ενώ η ταχύτητα μετάδοσης πλησιάζει αυτή με την οποία διαδίδεται το φως.

Οι οπτικές ίνες μπορούν να περιγραφούν σαν ένα μέσο για τη μεταφορά πληροφορίας από ένα σημείο σε κάποιο άλλο με τη μορφή φωτός. Είναι ειδικά νήματα που έχουν κατασκευαστεί από γυαλί με πάρα πολύ λεπτή διάμετρο και αποτελούν τα πλέον κατάλληλα μέσα για την οδήγηση της οπτικής δέσμης που μεταφέρει την πληροφορία σε ψηφιακή μορφή [6]. Στα οπτικά δίκτυα η μετάδοση γίνεται μέσω οπτικών καλωδίων και δεν είναι ηλεκτρική όπως γίνεται με τα καλώδια χαλκού, ενώ το σήμα έχει οπτική μορφή με τη χρήση κατάλληλων διατάξεων όπως π.χ. οπτικοί ενισχυτές και φίλτρα με αποτέλεσμα την αύξηση του εύρους ζώνης της οπτικής ζεύξης [7].

Οι επικοινωνίες οπτικών ινών είναι βασισμένες στην αρχή ότι το φως σε ένα γυάλινο μέσο μπορεί να μεταφέρει περισσότερο όγκο πληροφορίας σε μεγαλύτερες αποστάσεις απ'ότι τα ηλεκτρικά σήματα μπορούν να φέρουν σε έναν χάλκινο ή ένα ομοαξονικό μέσο. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται αντί των μεταλλικών συρμάτων επειδή τα δεδομένα ταξιδεύουν μαζί τους με λιγότερη απώλεια, και επηρεάζονται λιγότερο από τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

Στην πραγματικότητα η μεγάλη πρόκληση για τους επιστήμονες ήταν να δημιουργήσουν ένα γυαλί τόσο καθαρό που ένα τοις εκατό του φωτός θα διατηρούταν στο τέλος ενός χιλιομέτρου (km), της υπάρχουσας ανεπανάληπτης απόστασης μετάδοσης για τα τηλεφωνικά συστήματα βασισμένα στο χαλκό. Από την άποψη της μείωσης, αυτό το ένα τοις εκατό διατήρησης του φωτός μεταφράζεται σε 20 decibels ανά χιλιόμετρο (DB/km) του γυάλινου υλικού.

Παρά τις έρευνες και τις προσπάθειες των επιστημόνων τη δεκαετία του '60 η ανακάλυψη έγινε το 1970, όταν οι επιστήμονες Corning οι Δρs Robert Maurer, Donald Keck, και Peter Schultz δημιούργησαν μια ίνα με μετρημένη εξασθένιση λιγότερη από 20 DB ανά χλμ. Ήταν το καθαρότερο γυαλί που έγινε ποτέ [8]. Αυτή η ανακάλυψη των επιστημόνων αποτέλεσε το έναυσμα για την εμπορευματοποίηση της τεχνολογίας οπτικών

ινών. Από τότε και μέχρι σήμερα η τεχνολογία εξελίσσεται διαρκώς από την άποψη απόδοσης, ποιότητας, συνέπειας και εφαρμογών.

Η καθαρότητα της σημερινής ίνας γυαλιού, σε συνδυασμό με τα βελτιωμένα ηλεκτρονικά συστήματα, επιτρέπει στην ίνα να διαβιβάσει τα ψηφιοποιημένα φωτεινά σήματα αρκετά καλά σε απόσταση μεγαλύτερη των 100 χιλιομέτρων χωρίς ενίσχυση. Με λίγες απώλειες μετάδοσης, χαμηλή παρέμβαση και δυνατότητα υψηλού εύρους ζώνης η οπτική ίνα θεωρείται αδιαμφισβήτητα ένα σχεδόν ιδανικό μέσο μετάδοσης.

Τα οπτικά δίκτυα υψηλής χωρητικότητας έχουν γνωρίσει μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες, γιατί προσφέρουν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης (bandwidth), το οποίο δεν μπορεί να επιτευχθεί από καμία άλλη τεχνολογία. Η οπτική ίνα έχει αποδείξει ότι έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης κατά μήκος μεγάλων αποστάσεων. Συνεπώς τα δίκτυα που χρησιμοποιούν οπτικές ίνες είναι σε θέση να ανταποκριθούν σε μεγάλες απαιτήσεις χωρητικότητας, ταχύτητας και απόστασης.

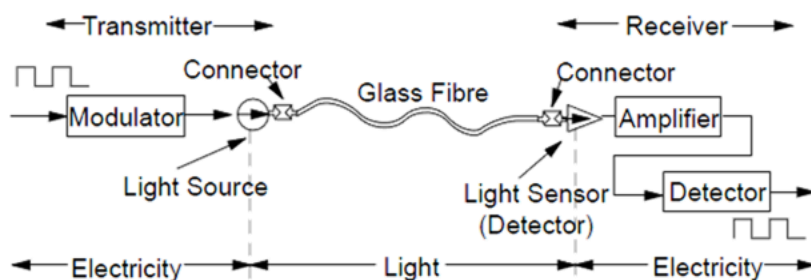
3.2 Θέματα μετάδοσης στα οπτικά δίκτυα

Στην αρχή η τεχνολογία των οπτικών ινών χρησιμοποιήθηκε για την μετάδοση υπεραστικών και υπερατλαντικών σημάτων ταχύτητας έως 560 Mbps. Στη συνέχεια όμως η διεύρυνση των οπτικών ινών στα δίκτυα κορμού επιταχύνθηκε με την υλοποίηση των πρώτων οπτικών ενισχυτών, οι οποίοι επέτρεψαν την ενίσχυση σημάτων απευθείας σε οπτικό επίπεδο, κάτι που έδωσε την δυνατότητα υλοποίησης οπτικών δικτύων σε μεγάλες αποστάσεις.

Σε ένα οπτικό σύστημα, η μεταδιδόμενη πληροφορία (φωνή, βίντεο ή άλλα δεδομένα) οδηγείται μέσω των ινών με τον εξής τρόπο: Η πληροφορία κωδικοποιείται σε ηλεκτρικά σήματα, τα οποία μετατρέπονται σε σήματα φωτός (οπτικά σήματα). Έπειτα, αυτά ταξιδεύουν στην οπτική ίνα μέχρι να συναντήσουν ένα ανιχνευτή (detector), ο οποίος τα μετατρέπει στην μορφή των αρχικών ηλεκτρικών σημάτων. Σε μερικά σημεία της διαδρομής είναι δυνατόν να δρομολογηθεί σε άλλα κανάλια εάν χρειάζεται, με τη βοήθεια διατάξεων (κυκλωμάτων) μεταγωγής. Τέλος, τα ηλεκτρικά σήματα αποκωδικοποιούνται σε πληροφορία με μορφή φωνής, βίντεο ή άλλων δεδομένων. Στα πραγματικά συστήματα το οπτικό σήμα υφίσταται εξασθένηση κατά τη μετάδοσή του, λόγω του ότι χρησιμοποιούνται ίνες μεγάλου μήκους.

Τα βασικά συστατικά που διαμορφώνουν το οπτικό σύστημα συνοψίζονται ως:

- Πομπός (transmitter): Μετατρέπει την αρχική πληροφορία, όπως φωνή, δεδομένα ή βίντεο που κωδικοποιούνται με ηλεκτρικά σήματα σε σήματα φωτός και έπειτα τα στέλνει μέσω της οπτικής ίνας.
- Καλώδιο οπτικής ίνας: Το μέσο στο οποίο μεταδίδεται το σήμα.
- Δέκτης (receiver): Δέχεται το οπτικό σήμα και το μετατρέπει ξανά σε διαμορφωμένο ηλεκτρικό σήμα.
- Υπόλοιπα στοιχεία: Πρόκειται για παθητικές οπτικές και ενεργητικές συσκευές, που χρησιμεύουν στη διαδικασία αποστολής και λήψης του οπτικού σήματος.



Εικόνα 1: Οπτική μετάδοση [Πηγή: Sura, 2002]

3.2.1. Στοιχεία οπτικών συνδέσμων

Πομπός:

Ο πομπός (transmitter) δέχεται κωδικοποιημένα ηλεκτρικά σήματα και τα προωθεί σαν οπτικά σήματα με διαμόρφωση μέσω της ίνας. Ένας οπτικός πομπός μπορεί να είναι LED (Light Emitting Diodes) ή Διοδικά laser. Συνήθως τα LEDs είναι πιο συνηθισμένα και οικονομικά στη χρήση. Μια συσκευή φωτοδιόδου LED μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή των οπτικών σημάτων, καθώς χρησιμοποιώντας ένα φακό, τα οπτικά σήματα έπειτα διοχετεύονται μέσα στο καλώδιο της οπτικής ίνας. Έχουν το πλεονέκτημα της μετατροπής ρεύματος σε φως σε ετεροεπαφές ημιαγωγού, ενώ μειονεκτούν ως προς τη χαμηλή παραγόμενη οπτική ισχύος. Χρησιμοποιούνται συνήθως όταν δεν υπάρχουν απαιτήσεις σχετικά με την απόσταση μετάδοσης. Σε αντίθεση με το LED η τεχνολογία με λέιζερ είναι πιο ακριβή, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις. Χαρακτηρίζονται από υψηλή παραγόμενη οπτική ισχύ, αλλά εμφανίζουν μεγάλη χρωματική διασπορά.

Οι πομποί εκπέμπουν φως σε συγκεκριμένες κυματομορφές. Αυτοί με τα LEDs σε εύρος 850 και 1310 nm με συχνότητα 200 MHz ή λιγότερο, ενώ εκείνοι με τα λέιζερ σε εύρος 1310 ή 1550 nm με συχνότητα 1 GHz και

περισσότερο. Ο ρυθμός των δεδομένων που μπορούν οι σύγχρονοι πομποί να υποστηρίξουν είναι μέχρι 10 Gbps.

Οι απώλειες της ισχύος κατά την διάδοση των σημάτων μέσα σε οπτικά συστήματα επικοινωνιών, επιβάλλουν την περιοδική ενίσχυσή τους. Οι οπτικοί ενισχυτές είναι απαραίτητοι μόνο σε συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων και αναλαμβάνουν την ενίσχυση του οπτικού σήματος εισόδου σε τακτικά διαστήματα, αλλά προσθέτουν –όπως όλοι οι ενισχυτές- θόρυβο. Διαθέτουν ειδικά κυκλώματα, τα οποία όταν λάβουν την εξασθενημένη φωτεινή πληροφορία, εκπέμπουν το σήμα εκ νέου, με πλήρη ισχύ. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες οπτικών ενισχυτών, που χρησιμοποιούνται όπως π.χ. ο ενισχυτής ισχύος, ο ενισχυτής γραμμής (in-line amplifier) που χαρακτηρίζεται από χαμηλό θόρυβο και ο προενισχυτής (pre-amplifier) που χαρακτηρίζεται επίσης από χαμηλό θόρυβο και υψηλό κέρδος.

Οπτική ίνα:

Μια οπτική ίνα συνήθως είναι κατασκευασμένη από γυαλί, ενώ πολλές φορές χρησιμοποιείται και πλαστικό και κάποιες είναι βασισμένες στο πυρίτιο. Αποτελεί ένα κυματοδηγός κυλινδρικής διατομής στον οποίο έχουμε μετάδοση φωτός. Το φως είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η λειτουργία μιας οπτικής ίνας είναι βασισμένη στην αρχή της ολικής εσωτερικής αντανάκλασης. Το φως ανακλάται ή διαθλάται (αλλάζει την κατεύθυνσή του διαπερνώντας ένα διαφορετικό μέσο), ανάλογα με τη γωνία στην οποία χτυπά μια επιφάνεια. Η διεύθυνση μετάδοσης της ενέργειας του φωτός είναι πάντα ευθύγραμμη, εφόσον δεν παρεμβάλλονται εμπόδια και αποτελεί μία ακτίνα φωτός.

Η ακτίνα φωτός, που μεταφέρει την πληροφορία, μεταδίδεται μέσω του πυρήνα της οπτικής ίνας. Η φωτεινή αυτή δέσμη οδεύει, με διαδοχικές ανακλάσεις στα τοιχώματα της ίνας, από το ένα προς το άλλο άκρο. Η επιτυχία της μετάδοσης αυτής οφείλεται στο γεγονός ότι το σήμα υφίσταται ολικές ανακλάσεις με αποτέλεσμα η ενέργεια της φωτεινής δέσμης να παραμένει εγκλωβισμένη στην οπτική ίνα.

Τα συστατικά μέσα σε μια οπτική ίνα αποτελούνται από υλικά διαφορετικών δεικτών διάθλασης ώστε να περιορίζουν – οδηγούν το φως. Η οπτική ίνα τοποθετείται μέσα σε ένα καλώδιο (καλώδιο οπτικής ίνας) ώστε να της παρέχεται μηχανική και περιβαλλοντική προστασία, καθώς είναι ευαίσθητη και μπορεί να σπάσει εύκολα. Το πλήθος των ινών σε ένα καλώδιο οπτικής ίνας εξαρτάται από την εφαρμογή που μας ενδιαφέρει, στη ουσία δηλαδή την χωρητικότητα που πρέπει να διασφαλιστεί.

Η δημιουργία μιας οπτικής ίνας πραγματοποιείται σε τρία βήματα, που είναι ο σχηματισμός ενός αρχικού υάλινου κυλίνδρου, η τομή των ινών από τον κύλινδρο αυτό, καθώς και η δοκιμή για την αντοχή τους, αλλά και για την σωστή λειτουργία τους. Στο πρώτο στάδιο, γίνονται όλες οι απαραίτητες χημικές διαδικασίες για τον σχηματισμό του καθαρού γυαλιού, ενώ ειδικός εξοπλισμός αναλαμβάνει να απομακρύνει από τον υάλινο κύλινδρο όλα τα ξένα σώματα, που θα είχαν ως αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης της οπτικής

ίνας. Όπως αντιλαμβάνεται εύκολα κανείς, πρόκειται για το κυριότερο βήμα για τη δημιουργία των οπτικών ινών.

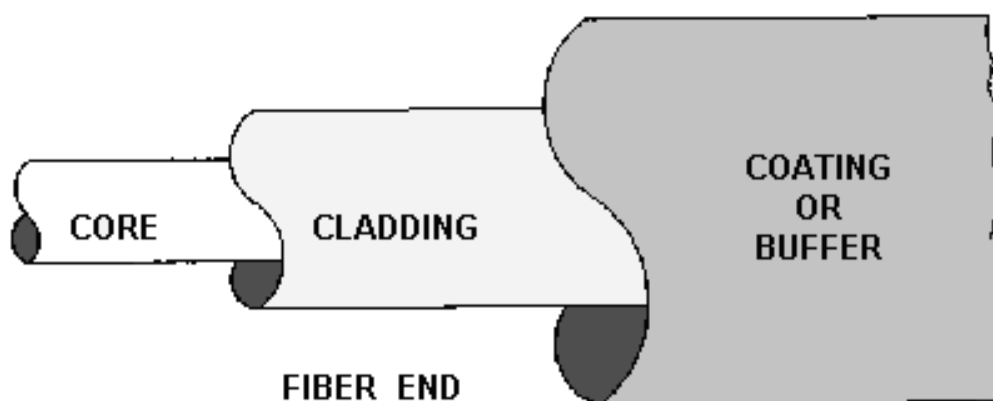
Αφού δημιουργηθεί ο αρχικός κύλινδρος, στη συνέχεια τοποθετείται σε μια συσκευή η οποία έχει το σχήμα πύργου και αναλαμβάνει τη δημιουργία των μικροσκοπικών ινών. Ο πύργος αυτός λιώνει το γυαλί σε θερμοκρασία περίπου 2.300 βαθμών Κελσίου και στη συνέχεια αυτό ρέει κατακόρυφα από μικρές οπές, οπότε και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

Στο τελικό στάδιο, η οπτική ίνα περνά από ένα σύνολο ελέγχων που εξασφαλίζουν ότι είναι σε θέση να διατεθεί προς χρήση, χωρίς να προξηνηθούν τυχόν προβλήματα κατά τη χρήση της. Στα τεστ αυτά περιλαμβάνεται ο έλεγχος αντοχής κατά ενδεχόμενης θραύσης, το σωστό της σχήμα αλλά και η μέτρηση της διαφάνειας, καθώς από αυτή εξαρτάται η σωστή μετάδοση του φωτεινού σήματος. Καταγράφεται επίσης η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, η συμπεριφορά της οπτικής ίνας στα διάφορα μήκη κύματος (χρώματα) του φωτός που μεταδίδει, καθώς και οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος στις οποίες δύναται αυτή να λειτουργήσει σωστά. Όταν όλοι αυτοί οι έλεγχοι ολοκληρωθούν επιτυχώς, η οπτική ίνα πλέον διατίθεται στο εμπόριο για χρήση από τις εταιρείες παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών [11].

Μια τυπική οπτική ίνα αποτελείται από τα εξής (εικόνα 2):

- **Πυρήνας (core):** Ο πυρήνας είναι η κεντρική περιοχή της οπτικής ίνας μέσα από την οποία το φως ταξιδεύει και μεταφέρει την πληροφορία. Κατασκευάζεται από γυαλί ικανό να μεταφέρει φωτεινή δέσμη συγκεκριμένου μήκους κύματος με πολύ λίγες απώλειες. Τα συνηθισμένα μεγέθη πυρήνα στις τηλεπικοινωνίες είναι 8.3 μm (μονότροπες ίνες), 50 μm και 62.5 μm (πολύτροπες ίνες).
- **Επένδυση (cladding):** Την οπτική ίνα περιβάλλει ειδική επίστρωση υλικού, το οποίο ονομάζεται cladding ή buffer. Είναι φτιαγμένο από γυαλί αλλά έχει μικρότερο δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα. Αυτό αναγκάζει το φως να μην περνάει την επένδυση και να μένει στην περιοχή του πυρήνα, καθώς το υλικό συμβάλλει στη συνεχή ανάκλαση της φωτεινής δέσμης, η οποία θα πέσει μέσα στην οπτική ίνα. Η διάμετρος της επένδυσης, που περικλείει τον πυρήνα είναι 125 μm. Η επένδυση μαζί με τον πυρήνα κατασκευάζονται μαζί ως ενιαίο κομμάτι γυαλιού πυριτίου με ελαφρώς διαφορετικές συνθέσεις και δεν μπορούν να ξεχωριστούν το ένα από το άλλο. Το γυαλί δεν έχει τρύπα στον πυρήνα, αλλά είναι απολύτως στερεό.
- **Επίστρωση (coating):** Το επίστρωση είναι το εξωτερικό στρώμα της ίνας, που περιβάλλει τη δέσμη των συνθετικών ινών. Αποτελείται από πλαστικό και προστατεύει την ίνα από την υγρασία και τις

ζημιές, όπως πιθανά τραβήγματα, όπου είναι επικίνδυνο να σπάσει το γυαλί της ίνας. Το επίστρωμα είναι συνήθως ένα υπεριώδες (UV) ειδικό ακρυλικό υλικό, που εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής της ίνας για να παρέχει τη φυσική και περιβαλλοντική προστασία για την ίνα. Κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης, το επίστρωμα απομακρύνεται από την επένδυση για να επιτρέψει την κατάληξή του σε ένα οπτικό σύστημα μετάδοσης. Τα τυπικά μεγέθη επιστρώματος είναι 250 μm ή 900 μm .



Εικόνα 2: Δομή οπτικής ίνας (Πηγή: Naval, 1998)

Για την προστασία των οπτικών ινών υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από τύπους καλωδίων, ώστε να καλύπτονται περιπτώσεις εγκατάστασης μέσα σε κτίρια, υπόγειους αγωγούς, εξωτερικούς στύλους, υποθαλάσσιους αγωγούς, κ.λπ. Συγκεκριμένα, εντοπίζονται τρεις βασικοί τύποι καλωδίων, τα καλώδια «σφιχτής δομής» (tight buffered cables) τα καλώδια «χαλαρού σωλήνα» (loose tube cables) και τα καλώδια «χαλαρού σωλήνα με gel» (loose tube with gel filler). Στα πρώτα το εξωτερικό περίβλημα του καλωδίου συγκρατεί τις ίνες σε μια σφιχτή δομή. Τέτοιου τύπου κατασκευές χρησιμοποιούνται κυρίως σε καλώδια εσωτερικού χώρου. Στα loose tube το περίβλημα δε συγκρατεί τις ίνες οπότε αυτές είναι ελεύθερες να κινούνται μέσα σ' αυτό. Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου είναι ότι οι ίνες δεν δέχονται τα φορτία εφελκυσμού και κάμψης του περιβλήματος. Τέλος, τα καλώδια χαλαρού σωλήνα με gel είναι όπως και αυτά του προηγούμενου τύπου, με τη μόνη διαφορά ότι περιέχουν και gel στο εσωτερικό του πλαστικού σωλήνα. Το gel προστατεύει από την υγρασία αλλά και από τον τραυματισμό των ινών μεταξύ τους. Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν παράγωγα πετρελαίου για gel. Τα gel αυτά όμως παρουσίαζαν μεγάλη μεταβολή στο ιξώδες τους με την αλλαγή της θερμοκρασίας κάτι που προκαλούσε πολλά προβλήματα. Έτσι αντικαταστάθηκαν από gel σιλικόνης αρχικά και έπειτα από συνθετικά τα οποία έχουν ιξώδες ανεξάρτητο της θερμοκρασίας. Για καλύτερη προστασία τα περισσότερα υπόγεια καλώδια εξωτερικού χώρου είναι τύπου loose tube with gel filler [7].

Εν κατακλείδι, η τεχνολογία που προσφέρουν οι οπτικές ίνες καθιστά εφικτή την οπτική διασύνδεση σε όλα τα είδη δικτύων, παρέχοντας τεράστιους ρυθμούς μετάδοσης και κοινή υποδομή για μια μεγάλη γκάμα υπηρεσιών.

Δέκτης:

Στην απέναντι πλευρά από τον πομπό βρίσκεται ο δέκτης (receiver), που χρησιμοποιεί έναν φωτοανιχνευτή, ο οποίος λαμβάνει το φωτεινό σήμα και το μετατρέπει ξανά στην αρχική του μορφή, δηλαδή σε ψηφιακά δεδομένα. Όπως και ο πομπός, βρίσκεται σε άμεση επαφή με το καλώδιο οπτικών ινών και χρησιμοποιεί φωτοδιόδους για να ανιχνεύσει το λαμβανόμενο σήμα. Ζητούμενο είναι το μήκος κύματος που αναγνωρίζει ο δέκτης να είναι παρόμοιο με αυτό που στάλθηκε από τον πομπό. Σημαντικά χαρακτηριστικά είναι το ποσοστό λάθους ψηφίων (BER – Bit Error Rate) για τα ψηφιακά συστήματα, που είναι το ποσοστό λαθών μεταξύ πομπού και δέκτη, η αναλογία σήματος προς θόρυβο (SNR – Signal to Noise Ratio) για τα αναλογικά συστήματα, που δηλώνει την ισχύ του σήματος σε σχέση με το θόρυβο, ο κορεσμός (saturation), που δείχνει τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να δεχθεί, καθώς υπερβολική ισχύς σημαίνει παραμόρφωση στο σήμα και η ευαισθησία (sensitivity) που είναι η ελάχιστη ισχύς που πρέπει να υπάρχει σε ένα εισερχόμενο σήμα.

Υπόλοιπα στοιχεία:

Τα υπόλοιπα στοιχεία που συμπληρώνουν μια οπτική σύνδεση είναι:

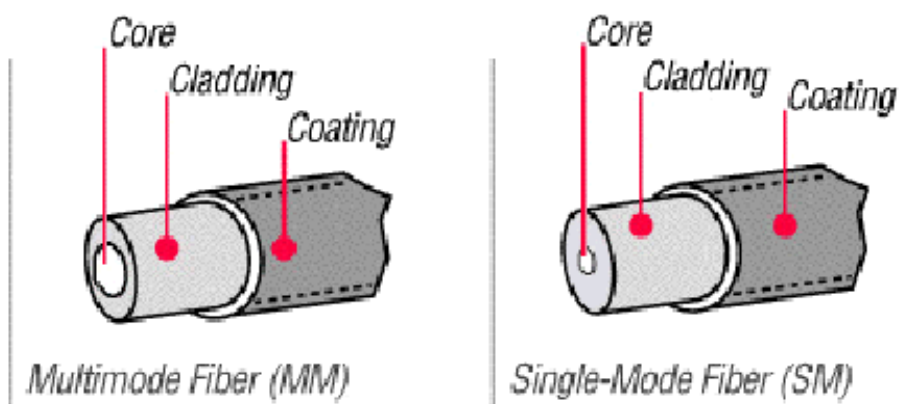
- Παθητικές συσκευές, οι οποίες δεν έχουν ανάγκη ηλεκτρικής ενέργειας και οι οποίες μπορούν να συνδέουν καλώδια (συνδετήρες – connectors), να συγκολλούν ίνες (splices), να απομονώνουν μη επιθυμητά οπτικά σήματα, να φιλτράρουν συγκεκριμένο επιθυμητά οπτικά σήματα, να προωθούν ορισμένο ποσοστό φωτός (couplers).
- Οπτικοί ενισχυτές. Μετά από κάποιο σημαντικό διάστημα που έχει διανύσει ένα οπτικό σήμα κατά μήκος της ίνας εξασθενεί λόγω απώλειας ισχύος του, όπως ήδη αναφέρθηκε, με αποτέλεσμα σε αυτό το σημείο είναι αναγκαία η παρουσία ενός ενισχυτή για το σήμα. Η πιο συνηθισμένη διαδικασία είναι το οπτικό σήμα να μετατραπεί σε ηλεκτρικό, να ενισχυθεί ηλεκτρικά και να μετατραπεί πάλι πίσω σε οπτικό. Η ανακάλυψη των οπτικών ενισχυτών, που ενισχύουν το σήμα μόνο σε οπτικό επίπεδο βοήθησε στην αποφυγή συμφορήσεων στις μεταδόσεις.
- Ενεργές συσκευές. Οι συσκευές λέιζερ και οι οπτικοί ενισχυτές που απαιτούν ηλεκτρικό ρεύμα για τη λειτουργία τους ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία από αυτές τις συσκευές όπως διαμορφωτές οπτικού σήματος, οπτικά φίλτρα επιλογής κυματοσειράς, οπτικοί εξασθενητές (attenuators) και οπτικοί μεταγωγείς (switches).

3.2.2. Τύποι οπτικής ίνας

Η οπτική ίνα αποτελείται από δύο διηλεκτρικά: τον πυρήνα (core) και την επένδυση (cladding). Είναι και τα δύο φτιαγμένα από γυαλί αλλά η επένδυση έχει μικρότερο δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα. Αυτή ακριβώς η συνθήκη εξασφαλίζει τη δυνατότητα συνεχόμενων ολικών εσωτερικών ανακλάσεων του οπτικού σήματος εντός της οπτικής ίνας.

Μόλις το φως εισέρχεται στην οπτική ίνα με κάποια γωνία, ταξιδεύει σε ένα μονοπάτι που αποκαλείται τρόπος (mode). Ανάλογα με τον τύπο της ίνας δύναται να υπάρχουν από έναν μέχρι εκατοντάδες τρόπους, καθώς το πλήθος των τρόπων σε μια ίνα είναι συνάρτηση της διαμέτρου του πυρήνα και του μήκους κύματος. Κάθε τρόπος φέρει ένα ποσοστό φωτός από το σήμα που εισέρχεται.

Υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται σήμερα: οι πολύτροπες (multimode) και οι μονότροπες (single-mode). Και οι δύο αυτές κατηγορίες ενεργούν σαν μέσο μετάδοσης για το φως, αλλά λειτουργούν με διαφορετικούς τρόπους, έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και εξυπηρετούν διαφορετικές εφαρμογές. Οι διαφορετικοί τρόποι αναγκάζουν τις ακτίνες να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να περιορίζεται ο μέγιστος ρυθμός από bits σε μία τέτοια ίνα.



Εικόνα 3: Κατηγορίες οπτικής ίνας (Πηγή: Sura, 2002)

Μονότροπη ίνα:

Η μονότροπη ίνα επιτρέπει μόνο ένα μονοπάτι ή τρόπο (mode), ώστε το φως να διέρχεται στην ίνα. Η διάμετρος της κεντρικής ίνας είναι πολύ μικρή και πλησιάζει περίπου το επίπεδο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου σήματος. Τυπικά, το μέγεθος του πυρήνα είναι 8.3 μm. Λόγω του μικρού μεγέθους του πυρήνα της υπάρχει μόνο ένας δυνατός τρόπος μετάδοσης του οπτικού σήματος, ο αξονικός. Το φως που περιέχεται στον πυρήνα αναγκάζεται να ταξιδέψει σε ευθεία γραμμή. Η μονότροπη ίνα έχει γενικά μεγαλύτερη ικανότητα να μεταφέρει πληροφορία ακόμα και σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις, με

αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται ευρέως. Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές με μικρές απώλειες σήματος και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, όπως σε μεγάλες εκτάσεις, όπου η απόσταση μεταξύ επαναληπτών/ενισχυτών πρέπει να μεγιστοποιηθεί. Ωστόσο, η μονότροπη ίνα τείνει να είναι ακριβότερη από την πολύτροπη. Οι μονότροπες ακτίνες που υπάρχουν ήδη μπορούν να μεταδίδουν δεδομένα με ταχύτητα 50 Gbps για 100 km χωρίς ενίσχυση. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμη υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων για κοντινότερες αποστάσεις. Οι μονότροπες ίνες είναι κίτρινες στο χρώμα για να ξεχωρίζουν.

Πολύτροπη ίνα:

Οι πολύτροπες οπτικές ίνες ήταν οι πρώτες που χρησιμοποιήθηκαν στο εμπόριο. Η πολύτροπη ίνα επιτρέπει περισσότερους από έναν τρόπους για οπτική μετάδοση, για την ακρίβεια επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση πολλών ρυθμών ταλάντωσης (modes) μέσω της οπτικής ίνας. Τα κοινά μεγέθη του πυρήνα είναι 50 και 62.5 μm. Σε πυρήνες οπτικών ινών αυτού του μεγέθους, το φως μπορεί να χωριστεί σε πολλαπλά μονοπάτια. Ο ρυθμός της διαμόρφωσης σε αυτόν τον τύπο ίνας μπορεί να φτάσει μέχρι 200 Mb/s και σε αποστάσεις μικρότερες των 100 μέτρων το εύρος ζώνης είναι ουσιαστικά απεριόριστο. Κατά συνέπεια, οι πολύτροπες οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα μετάδοσης για μικρές αποστάσεις, όπως τοπικά δίκτυα και δίκτυα πρόσβασης. Επίσης, είναι αρκετά οικονομικές, αφού χρησιμοποιούνται με φθηνούς συνδετήρες (connectors) και LED πομπούς. Για να ξεχωρίζουν, οι πολύτροπες ίνες είναι χρώματος πορτοκαλί.

Συμπερασματικά, οι μονότροπες οπτικές ίνες επιτρέπουν την μετάδοση μόνο ενός ρυθμού ταλάντωσης στον πυρήνα της οπτικής ίνας και έχουν μικρότερο πυρήνα συγκριτικά με τις πολύτροπες. Κατά συνέπεια, έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα σε σχέση με τις πολύτροπες και μεταδίδουν ευθύγραμμο το οπτικό σήμα, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις. Ωστόσο, λόγω των αυστηρότερων ορίων ανοχής που απαιτούνται για την διέλευση φωτός διαμέσου της μονότροπης ίνας οι μονότροποι εκπομποί, δέκτες, ενισχυτές, καθώς και άλλα εξαρτήματα είναι ακριβότερα από τον αντίστοιχο εξοπλισμό των πολύτροπων ινών.

3.3 Εφαρμογές οπτικών δικτύων

Τα οπτικά δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο τηλεπικοινωνιών, διότι είναι ευέλικτα και ιδιαίτερα επωφελή για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων, καθότι το φως διαδίδεται μέσα από την ίνα με μικρή εξασθένηση συγκρινόμενο με τη μεγαλύτερη εξασθένηση του σήματος των ηλεκτρικών καλωδίων. Αυτό επιτρέπει να εκτίνονται σε μεγάλες αποστάσεις με λίγους επαναλήπτες αναμετάδοσης. Λόγω των

πολλαπλών πλεονεκτημάτων, που εμφανίζουν, η χρήση των συστημάτων καλωδιώσεων με οπτικές ίνες συνεχώς αυξάνεται.

Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται στα τοπικά δίκτυα για επικοινωνίες δεδομένων μεγάλων ταχυτήτων (Local Area Networks – LANs). Τα LANs διασύνδεουν χρήστες σε περιορισμένες περιοχές, όπως δωμάτια, διαμερίσματα, κτίρια, γραφεία, χώρους εργοστασίου και άλλους χώρους με κοντινό εύρος κάλυψης. Αυτό συμβαίνει, διότι η ίνα εξοικονομεί χώρο διότι μια ενιαία ίνα μπορεί να μεταφέρει πολύ περισσότερα δεδομένα από ένα ενιαίο ηλεκτρικό καλώδιο. Επιπλέον, γίνεται πλέον χρήση τους και στα Νέα Αστικά Δίκτυα (Metropolitan Area Networks - MANs) που αναπτύσσονται τελευταία και καλύπτουν μεγαλύτερες περιοχές από ένα τοπικό δίκτυο. Τα MANs μπορούν να καλύπτουν κτίρια που βρίσκονται σε διάφορα οικοδομικά τετράγωνα μιας πόλης ή και της περιοχής που περιβάλλει την πόλη.

Επιπρόσθετα, χρησιμοποιούνται στις συνδέσεις που πραγματοποιούνται σε βιομηχανικές περιοχές με υψηλό επίπεδο ηλεκτρομαγνητικών θορύβων. Οι οπτικές ίνες δεν επηρεάζονται από ηλεκτρικές παρεμβολές, αποτρέποντας έτσι την εμφάνιση φαινομένων crosstalk και την παρεμβολή περιβαλλοντικού θορύβου. Αντίστοιχα, επειδή οι ίνες, δεν αφήνουν τα δεδομένα να διαρρεύσουν, αφού υπάρχουν συγκεντρωτικές διπλού πυρήνα ομόκεντρες, η υποκλοπή πληροφοριών (wiretapping) είναι πιο δύσκολη σε σύγκριση με τις ηλεκτρικές συνδέσεις. Κατά συνέπεια, τα δίκτυα οπτικών ινών χρησιμοποιούνται σε μεταδόσεις με υψηλές απαιτήσεις ασφάλειας, που απαιτούν για παράδειγμα οι κρατικές υπηρεσίες πληροφοριών, οι στρατιωτικές εφαρμογές κλπ.

Τέλος, γίνεται χρήση τους σε επίγειες και υποθαλάσσιες συνδέσεις τηλεπικοινωνιακών συστημάτων μακρινών αποστάσεων, υποκαθιστώντας τα ομοαξονικά καλώδια, τις μικροκυματικές ζεύξεις και τους δορυφόρους. Δεδομένου ότι τα καλώδια οπτικών ινών είναι μη ηλεκτρικά, μπορούν να γεφυρώσουν περιοχές όπου η διαφορά του ηλεκτρικού δυναμικού είναι μεγάλη ή σε περιβάλλον με εύφλεκτα αέρια χωρίς τον κίνδυνο ανάφλεξης.

3.4 Τοπολογίες AON/PON οπτικών δικτύων

Οι τηλεπικοινωνιακοί φορείς για την κάλυψη των αναγκών των τελικών χρηστών οφείλουν να επιλέξουν ανάμεσα σε δύο διαθέσιμες τοπολογίες οπτικών δικτύων. Η κατηγοριοποίηση σχετίζεται με τη χρήση ενεργού εξοπλισμού (Active Ethernet) ή τη χρήση παθητικού εξοπλισμού (Passive Optical Networks - PONs) στο τμήμα από το κεντρικό καταναλωτή του δικτύου μέχρι τον τελικό καταναλωτή. Οι τεχνολογίες FTTx είναι δύο : Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical network – PON) και Ενεργό Οπτικό Δίκτυο (Active Optical Network - AON).

Παθητικά οπτικά δίκτυα πρόσβασης (PONs - passive optical networks): Σε ένα PON η ανταλλαγή δεδομένων γίνεται μεταξύ του Οπτικού Τερματιστή Γραμμής (Optical Line Termination – OLT) και μιας Οπτικής Μονάδας Δικτύου (Optical Network Units – ONU) ή ενός Οπτικού Τερματιστή Δικτύου (Optical Network Termination – ONT). Η ανταλλαγή δεδομένων σε ένα PON είναι σημείου προς πολλαπλά σημεία για το ρεύμα καθόδου, τα οποία δεν περιέχουν ενεργά στοιχεία, δηλαδή δεν γίνεται μετατροπή του σήματος από οπτικό σε ηλεκτρικό, από την πηγή μέχρι τον προορισμό του. Τα μόνα στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι παθητικοί ζεύκτες (couplers) και διαχωριστές (splitters) στους κόμβους διανομής για την πολλαπλή μετάδοση ενός σήματος σε πολλές οπτικές μονάδες δικτύου και δεν απαιτούν την ύπαρξη ενεργών στοιχείων μεταξύ του τελικού χρήστη και του κέντρου μεταγωγής (Central Office). Οι κυριότερες γενιές της τεχνολογίας των παθητικών οπτικών δικτύων (PON) είναι: ATM παθητικών οπτικών δικτύων (APON), Broadband PON (BPON), Ethernet PON (EPON) και Gigabit (GPON), οι διαφορές μεταξύ των οποίων είναι η ταχύτητα λειτουργίας και ο τύπος της επεξεργασίας των πακέτων. Τα πλεονεκτήματα των παθητικών οπτικών δικτύων είναι α) Καλύπτουν πλήρως τις ανάγκες για υπηρεσίες των τελικών χρηστών και ελαχιστοποιούν τις κεφαλαιουχικές δαπάνες και β) περιορίζουν την πολυπλοκότητα και τις λειτουργικές δαπάνες [13].

Ενεργά οπτικά δίκτυα πρόσβασης (AONs – active optical networks): Στην συγκεκριμένη τεχνολογία η υποδομή αποτελείται από στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση των δεδομένων πάνω από την παθητική υποδομή και τέτοια στοιχεία είναι μεταγωγείς (switches), διαχωριστή ή διαμεριστή (splitter) και δρομολογητές (routers) οι οποίοι εγκαθίστανται στο κέντρο μεταγωγής και παρέχουν ένα πλήθος από αξιόπιστες και γρήγορες υπηρεσίες, διασφαλίζοντας ένα μεγάλο εύρος ζώνης που έχει την ικανότητα να υποστηρίξει όλες τις μελλοντικές απαιτήσεις [13]. Επίσης η τεχνολογία AON επιτρέπει τη δημιουργία οπτικών δακτυλίων, όπου παρέχεται η δυνατότητα προστασίας του δικτύου μέσω της μετάδοσης του σήματος σε δυο διαδρομές και παρόλο που απαιτούν μεγαλύτερο αριθμό οπτικών ινών, παρέχουν την δυνατότητα μίας ανεξάρτητης και μεμονωμένης πρόσβασης σε κάθε χρήστη.

Συνοπτικά, η ομοιότητα των τεχνολογιών AON και PON έγκειται στην κατασκευή της υποδομής πρόσβασης και η διαφορά τους εντοπίζεται κυρίως στον τρόπο υλοποίησης της διάταξης όπου τερματίζει το δίκτυο διανομής και από την οποία ξεκινούν οι υψηλού εύρους ζώνης συνδέσεις και φτάνουν μέχρι το συνδρομητή [14]. Ανάμεσα στο κεντρικό γραφείο (CO) και το συνδρομητή στο μεν AON υπάρχουν μόνο ενεργά οπτικά στοιχεία, τα οποία χρειάζονται ηλεκτρικό ρεύμα, ενώ στο PON παρεμβάλλονται μόνο παθητικά οπτικά στοιχεία, τα οποία λειτουργούν χωρίς ρεύμα και χρειάζονται ελάχιστη ή καθόλου συντήρηση. Τέλος, εκτιμάται ότι το κόστος του ενεργού εξοπλισμού που απαιτείται για την υλοποίηση ενός

δικτύου AON είναι πολύ μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ενός PON, το οποίο μάλιστα θεωρείται δυσανάλογο ως προς το απαιτούμενο εύρος ζώνης και τις παρεχόμενες υπηρεσίες, που προσφέρει.

3.5 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί δικτύων οπτικών ινών

Η τεχνολογία των οπτικών ινών έχει γνωρίσει μεγάλη άνθιση στις σύγχρονες τηλεπικοινωνίες, εξαιτίας κάποιων ιδιοτήτων των οπτικών ινών που δεν είχαν τα προϋπάρχοντα μέσα μετάδοσης, όπως για παράδειγμα τα παραδοσιακά καλώδια χαλκού. Η χρήση οπτικών συστημάτων, εκτός από να παρέχει συνδέσμους μετάδοσης με αρκετά υψηλές χωρητικότητες, παρουσιάζει κάποια σημαντικά οφέλη, έτσι ώστε να προτιμούνται τα δίκτυα οπτικών ινών έναντι άλλων παραδοσιακών δικτύων. Κάποια από τα πλεονεκτήματα αυτών των δικτύων συνοψίζονται στα κατωτέρω:

- **Υψηλό εύρος ζώνης:** Το εύρος ζώνης (bandwidth) στα οπτικά δίκτυα είναι σχεδόν απεριόριστο. Έχουν αρκετά μεγαλύτερο εύρος από τα δίκτυα χαλκού και ξεπερνούν κατά εκατοντάδες φορές αυτό ενός κοινού καλωδίου. Συγκριτικά με τα δορυφορικά δίκτυα εκτός από το μεγαλύτερο εύρος έχουν και μικρότερη καθυστέρηση (round trip), με αποτέλεσμα περισσότερη πληροφορία να μπορεί να μεταδοθεί από ένα απλό καλώδιο, άρα και συνολικά λιγότερα καλώδια για κάποιο δεδομένο ποσό πληροφορίας. Οι υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, εξασφαλίζουν ταχύτητες της τάξεως των Gbps, που με τη σειρά τους προσφέρουν αστραπιαία διαμεταγωγή δεδομένων και αξιόπιστες υπηρεσίες τηλεφωνίας μέσω πρωτοκόλλου IP.
- **Μεγάλη απόσταση μετάδοσης:** Τα καλώδια οπτικών ινών έχουν πολύ μικρότερες απώλειες σε σχέση με τα καλώδια χαλκού. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα μπορούν να αποσταλούν σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις χωρίς την παρέμβαση άλλων συσκευών.
- **Μικρός αριθμός επαναληπτών:** Ως συνέπεια της μεγάλης απόστασης μετάδοσης που έχουν τα οπτικά δίκτυα, λίγοι επαναλήπτες (repeaters) και αναγεννητές σήματος απαιτούνται στα δίκτυα αυτά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι χάρη στην υψηλή ποιότητα του γυαλιού που χρησιμοποιείται ως μέσο μετάδοσης υπάρχει μικρή εξασθένιση του σήματος λόγω απόστασης (attenuation) και διασπορά (dispersion). Ακόμα και στην περίπτωση όμως που υπάρξει εξασθένιση σήματος, αυτό ενισχύεται πολύ εύκολα μέσω των κατάλληλων ενισχυτών.
- **Μικρές διαστάσεις και βάρος:** Τα οπτικά καλώδια είναι αρκετά μικρότερα και ελαφρύτερα σε σχέση με ηλεκτρικά καλώδια. Ένα σύστημα με οπτικά καλώδια μπορεί να εκτελέσει ακριβώς την ίδια εργασία και να μεταφέρει πολύ περισσότερα δεδομένα συγκριτικά με ένα πολύ μεγαλύτερο και βαρύτερο σύστημα που αποτελείται από χάλκινα καλώδια. Για να γίνει αντιληπτή η διαφορά στο βάρος τους ενδεικτικά αναφέρεται ότι 1000 χάλκινα καλώδια ζυγίζουν περίπου 8000 κιλά/km, ενώ 912 οπτικές ίνες 495 κιλά/km, ενώ οι τελευταίες καταλαμβάνουν πολύ μικρότερο χώρο. Έτσι,

απαιτείται πολύ λιγότερος χώρος για την υλοποίηση ενός δικτύου οπτικών ινών. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε δίκτυα αστικών περιοχών που είναι αναγκαίο να καλυφθούν πολλοί πελάτες σε σχετικά λίγα τετραγωνικά.

- Χαμηλό κόστος υλικών: Για την ίδια χωρητικότητα μεταδόσεων τα οπτικά καλώδια είναι πολύ φθηνότερα από τα αντίστοιχα χάλκινα, διότι η δημιουργία ενός καλωδίου οπτικών ινών είναι πιο συμφέρουσα οικονομικά σε σχέση με ένα χάλκινο καλώδιο ίδιας απόστασης και δυνατοτήτων. Κατά συνέπεια, αυτό ωφελεί αρχικά τους πάροχους υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών, οι οποίοι με μικρότερο κόστος παρέχουν ποιοτικές υπηρεσίες και εν συνεχεία τον ίδιο τον καταναλωτή. Η μείωση των αναγκών απόσβεσης εξόδων των παροχών επιβαρύνει με μικρότερες χρεώσεις τους καταναλωτές για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούν.
- Αυξημένη ασφάλεια και υψηλή διαθεσιμότητα: Λόγω κάποιων προβλημάτων που εμφανίζονται στις συνδέσεις με ηλεκτρικά στοιχεία, οι οπτικές συνδέσεις φαίνεται να είναι απόλυτα ασφαλείς σε αυτόν τον τομέα. Τα οπτικά καλώδια δεν εμφανίζουν προβλήματα σπινθηρισμών ή άλλων φαινομένων από υψηλή τάση που μπορούν να εμφανίσουν τα δίκτυα χαλκού. Η ανθεκτική κατασκευή των σύγχρονων οπτικών καλωδίων μειώνει στο ελάχιστο το ενδεχόμενο εξωτερικής ζημιάς. Ωστόσο, πρέπει να παίρνονται μέτρα για την προστασία των ματιών από την ακτίνα λέιζερ.
- Αμιγώς ψηφιακό σήμα και αυξημένη ασφάλεια του μεταδιδόμενου σήματος: Μια οπτική ίνα εξασφαλίζει υψηλότερη ποιότητα επικοινωνίας και αποφυγή προβλημάτων που θα προέκυπταν σε μια αναλογική μετάδοση. Οι οπτικές ίνες μεταδίδουν τις φωτεινές αναλαμπές με υψηλή αξιοπιστία, μεταφέροντας τα bytes με πολύ μικρότερες αλλοιώσεις σε σχέση με αυτές ενός κοινού καλωδίου δικτύου, ή μιας ασύρματης σύνδεσης δεδομένων. Συγχρόνως, προσφέρει υψηλό βαθμό ασφάλειας των δεδομένων, αφού το οπτικό σήμα περιορίζεται μέσα στην ίνα και τυχόν εκπομπές ή διαρροές απορροφώνται από το επίστρωμα γύρω από την ίνα. Αντιθέτως, στα καλώδια χαλκού μπορούν αρκετά εύκολα τα οπτικά σήματα να υποκλαπούν. Έτσι, τα οπτικά δίκτυα κρίνονται απαραίτητα σε εφαρμογές με σημαντική την ασφάλεια της πληροφορίας, όπως οικονομικά, νομικά, κυβερνητικά και στρατιωτικά συστήματα.
- Μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια: Αυτό οφείλεται αφενός στο γεγονός ότι γίνεται χρήση φωτεινών δεσμών, που απαιτούν πολύ μικρότερη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με το ηλεκτρικό σήμα και αφετέρου στο ότι δεν υπάρχουν σημαντικές απώλειες σήματος.
- Εύκολη αναβάθμιση δικτύων: Λόγω της θεωρητικά απεριόριστης χωρητικότητας των οπτικών ινών, τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα μπορούν εύκολα να αναβαθμιστούν χωρίς να γίνεται αλλαγή των ινών. Το μόνο που χρειάζεται είναι να γίνει αναβάθμιση των ηλεκτρονικών στοιχείων, λέιζερ, LEDs που βρίσκονται στα άκρα του δικτύου και παράγουν τα οπτικά σήματα.

Εντούτοις, εντοπίζονται και κάποιοι περιορισμοί όσον αφορά τη χρήση των οπτικών ινών σε δίκτυα, που είναι:

- Κόστος πομπών και δεκτών: Καθώς η τεχνολογία των οπτικών ινών είναι σχετικά καινούρια, το κόστος κάποιων εξαρτημάτων στα οπτικά δίκτυα είναι αυξημένο, όπως οι πομποί και οι δέκτες.
- Μικρή ανάπτυξη των δικτύων: Λόγω της πρόσφατης τεχνολογίας, δεν έχουν τυποποιηθεί ακόμα σε μεγάλο βαθμό.
- Δυσκολία συγκόλλησης και συνένωσης καλωδίων: Η διαδικασία συγκόλλησης και συνένωσης των καλωδίων επιτυγχάνεται με ειδικό εξοπλισμό και απαιτείται υψηλή ακρίβεια για να μην υπάρχει απώλεια σήματος.
- Αυξημένες απαιτήσεις ως προς την κάμψη των καλωδίων: Λόγω του φαινομένου της ολικής εσωτερικής ανάκλασης, υπάρχει μια συγκεκριμένη γωνία κατά την οποία μπορούμε να κάμψουμε ένα καλώδιο οπτικής ίνας, αφού ξεπερνώντας αυτό το όριο, το φως δεν μπορεί να ανακλαστεί ολικά.

Κεφάλαιο 4 – Δίκτυα πρόσβασης FTTX

4.1 Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας ο κόσμος των τηλεπικοινωνιών έχει αλλάξει σημαντικά εξαιτίας της δικτύωσης των υπολογιστών και της αύξησης της κίνησης του παγκόσμιου δικτυακού ιστού, του Διαδικτύου, που πραγματοποιήθηκε αφενός λόγω της αύξησης του τελικού αριθμού χρηστών και αφετέρου λόγω των διαφόρων προόδων στις μεγάλης ταχύτητας και μεγάλης χωρητικότητας ευρυζωνικές τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών. Ταυτόχρονα, η ανάπτυξη των δικτύων πρόσβασης επεκτείνεται ολοένα και περισσότερο χάρη στην αύξηση του παρεχόμενου εύρους ζώνης σε κάθε χρήστη.

Οι πιο συνηθισμένες τεχνολογίες που ήταν υλοποιημένες μέχρι πριν λίγα χρόνια είναι η DSL (Digital Subscriber line – Ψηφιακή συνδρομητική γραμμή), η τεχνολογία καλωδιακών μόντεμ (cable modem) και τα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης. Η πιο πρόσφατη τεχνολογία DSL, που είναι το VDSL, αν και μπορεί να προσφέρει ασυμμετρικές μεγάλες ταχύτητες μέχρι και 52 Mbps στην αποστολή και λήψη από το χρήστη αντίστοιχα, εντούτοις η απόσταση περιορίζει αυτού τους είδους την τεχνολογία, διότι σε μεγάλες αποστάσεις η ταχύτητα μειώνεται. Αντίστοιχα, τα καλωδιακά μόντεμ με βάση τα νεότερα πρότυπά τους υπόσχονται ταχύτητες που κυμαίνονται από 30 μέχρι και 40 Mbps για αποστολή και λήψη από το χρήστη, αλλά λόγω της τεχνολογίας του συστήματος που βασίζεται στην εκπομπή (broadcast), το εύρος αυτό διανέμεται μεταξύ ομάδας συνδρομητών. Ομοίως, η ταχύτητα στα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης μπορεί να είναι συμμετρική μέχρι 134.4 Mbps, ωστόσο το πρότυπο ορίζει οπτική επαφή στα δίκτυα αυτά (line of sight). Στα ασύρματα δίκτυα χωρίς οπτική θέα, η ταχύτητα περιορίζεται στα 75 Mbps. Κατά συνέπεια, όπως και στα καλωδιακά μόντεμ το εύρος μοιράζεται μεταξύ ομάδων συνδρομητών.

Σε αυτό το πλαίσιο κάνουν την εμφάνισή τους τα FTTx δίκτυα (Fiber to the x), όπως ονομάζονται τα δίκτυα πρόσβασης των πελατών με χρήση οπτικών ινών. Τα οπτικά δίκτυα υψηλής χωρητικότητας έχουν γνωρίσει αξιοσημείωτη ανάπτυξη διότι παρέχουν ευρυζωνικές υπηρεσίες σε αρκετά μεγαλύτερες αποστάσεις, το οποίο δεν είναι δυνατόν να προσεγγιστεί από οποιαδήποτε άλλη προηγούμενη τεχνολογία μετάδοσης.

Επιπλέον, σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι συντέλεσαν στην χρήση και ανάπτυξη των οπτικών δικτύων πέρα από τις ανάγκες των χρηστών για μεγαλύτερη ταχύτητα και μεγαλύτερο εύρος ζώνης είναι:

- Το υψηλό κόστος του χαλκού. Τα καλώδια οπτικών ινών, εκτός του ότι έχουν μικρότερο κόστος συγκριτικά με τα προηγούμενα είδη καλωδίων, παρουσιάζουν μικρό μέγεθος και βάρος, έχουν μεγαλύτερη προστασία από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και παρουσιάζουν μικρή εξασθένηση σήματος σε μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Τα συνολικά μειωμένα κόστη των FTTx δικτύων οδηγούν σε οικονομικά υλοποιήσιμα δίκτυα.

- Βελτίωση και σταθεροποίηση των δικτύων πρόσβασης.
- Καλύτερος ανταγωνισμός στην αγορά λόγω της κατάργησης μονοπωλίων στις τεχνολογίες των τωρινών παραδοσιακών δικτύων πρόσβασης.

Εν κατακλείδι, χωρίς την εφεύρεση των λέιζερ και των συστημάτων επικοινωνίας οπτικών ινών, η παρούσα παγκόσμια υποδομή τηλεπικοινωνιών που συνδέει όλες τις ηπείρους και αποτελεί τον παγκόσμιο ιστό θα ήταν αδύνατη.

4.2 Κατηγορίες - τοπολογίες δικτύων FTTx

Τα FTTx δίκτυα παρέχουν πρόσβαση σε αρκετά μεγαλύτερες αποστάσεις σε σχέση με τις προηγούμενες τεχνολογίες. Η τεχνολογία που κάνει χρήση οπτικής ίνας μέχρι ένα ορισμένο σημείο του δικτύου πρόσβασης καλείται FTTx (Fiber To The x). Ο όρος x στο FTTx δίκτυο αναφέρεται στην τοποθεσία όπου καταλήγει το τελικό σημείο της οπτικής ίνας κοντά στον πελάτη και το οποίο μπορεί να είναι η γειτονιά ή το κράσπεδο του πεζοδρομίου. Το σημείο αυτό είναι η οπτικοηλεκτρονική διασύνδεση και συνήθως βρίσκεται μέσα σε κάποιο είδος εξοπλισμού μετάδοσης, που ονομάζεται Οπτική Μονάδα Δικτύου (Optical Network Unit – ONU) ή Οπτικό Τερματικό Δικτύου (Optical Network Terminal – ONT) [15].

Τα ONU και ONT ωστόσο δεν είναι ακριβώς ίδια, αφού το ONU χρησιμοποιείται όταν η οπτική ίνα καταλήγει σε τηλεπικοινωνιακές καμπίνες (cabinets), ενώ το ONT όταν η ίνα φτάνει μέσα στο κτίσμα του πελάτη. Συνεπώς, για τα FTTH (οπτική ίνα μέχρι το σπίτι) μιλάμε πάντα για ONT στο άκρο της οπτικής ίνας του δικτύου. Το εναρκτήριο σημείο για τα δίκτυα πρόσβασης ή αλλιώς FTTx δίκτυα βρίσκεται μέσα στο Κεντρικό Γραφείο (CO), που πολλές φορές αναφέρεται σαν σημείο παρουσίας του FTTx (POP). Ουσιαστικά, ορίζοντας τις διάφορες παραλλαγές του FTTx, ορίζεται και το τελικό σημείο που φτάνει η οπτική ίνα.

Οι διάφορες παραλλαγές με τις οποίες εμφανίζονται τα FTTx δίκτυα σε σχέση με το τελικό σημείο όπου καταλήγει η ίνα, είναι οι παρακάτω [16.]:

- FTTB (Fiber To The Business – Οπτική ίνα μέχρι την επιχείρηση): Το τελικό σημείο της οπτικής ίνας βρίσκεται σε μια επιχείρηση.
- FTTB (Fiber To The Building – Οπτική ίνα μέχρι το κτίριο): Η ίνα εδώ φτάνει στο όριο του κτιρίου, όπως παράδειγμα στο υπόγειο σε μια πολυκατοικία, με την τελική σύνδεση όμως των διαφορετικών κατοικιών να γίνεται με εναλλακτικούς τρόπους. Σύμφωνα με τον ορισμό του FTTH Council, ως “Fiber to the Building (FTTB)” ορίζεται η τηλεπικοινωνιακή αρχιτεκτονική σύμφωνα με την οποία, επικοινωνιακή οδός εκτείνεται με χρήση αποκλειστικά οπτικού καλωδίου από τον εξοπλισμό μεταγωγής ενός δικτυακού παρόχου έως τουλάχιστον το όριο της ιδιοκτησίας που περιβάλλει το χώρο διαμονής ή εργασίας ενός ή περισσότερων χρηστών και τερματίζεται πριν από

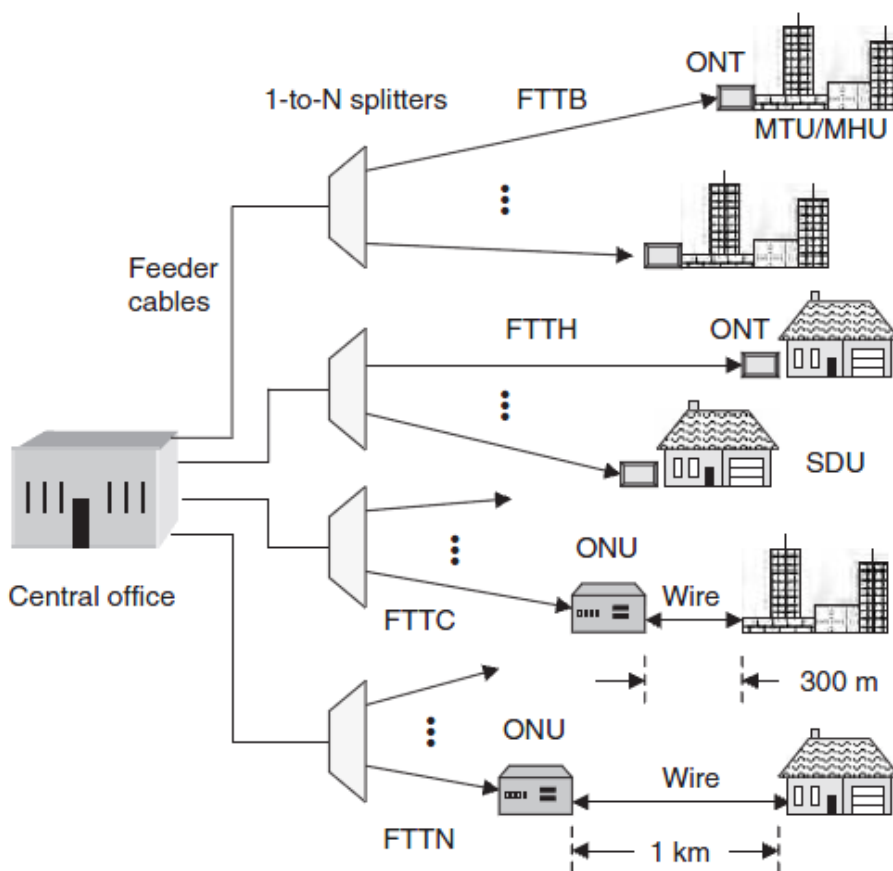
τον καθαυτό χώρο διαμονής ή εργασίας του καθενός από τους παραπάνω χρήστες. Στην πραγματικότητα η ίνα τερματίζει σε κατάλληλο χώρο κοντά στην είσοδο μεγάλων κτιριακών συγκροτημάτων και από εκεί οι συνδρομητές εξυπηρετούνται με την εσωτερική καλωδίωση του κτιρίου, όπως ομοαξονικό καλώδιο, συνεστραμμένα ζεύγη χαλκού ή ασύρματη ζεύξη. Η προαναφερθείσα επικοινωνιακή οδός παρέχεται με σκοπό την εξυπηρέτηση τηλεπικοινωνιακής κίνησης από και προς έναν ή περισσότερους χρήστες, για μία ή περισσότερες υπηρεσίες και από ή προς ένα ή περισσότερους παρόχους υπηρεσιών.

- FTTC (Fiber To The Curb or Cabinet – Οπτική ίνα μέχρι το ρείθρο ή την καμπίνα): Η οπτική ίνα τερματίζει φθάνει μέχρι τον υπαίθριο καταναμητή (τηλεπικοινωνιακή καμπίνα), συνήθως λιγότερο από 300 μέτρα από το κτίριο του πελάτη και οι συνδρομητές εξυπηρετούνται από εκεί με το υπάρχον δίκτυο χαλκού.
- FTTH (Fiber To The Home – Οπτική ίνα μέχρι το σπίτι)⁹: Σύμφωνα με τον ορισμό του FTTH Council [17], ως “Fiber to the Home (FTTH)” ορίζεται η τηλεπικοινωνιακή αρχιτεκτονική σύμφωνα με την οποία μία επικοινωνιακή οδός εκτείνεται με χρήση αποκλειστικά οπτικού μέσου από τον εξοπλισμό μεταγωγής ενός δικτυακού παρόχου έως το χώρο διαμονής ή εργασίας κάθε χρήστη. Υποδηλώνει την πλήρη ανάπτυξη ινο-οπτικού δικτύου μέχρι την ιδιοκτησία του συνδρομητή, όπου και τοποθετείται η τερματική οπτικοηλεκτρική διάταξη για τη μετατροπή του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό. Η οπτική ίνα τερματίζεται εντός του καθαυτού χώρου διαμονής ή εργασίας του καθενός από τους παραπάνω χρήστες. Η προαναφερθείσα επικοινωνιακή οδός παρέχεται με σκοπό την εξυπηρέτηση τηλεπικοινωνιακής κίνησης από και προς ένα ή περισσότερους χρήστες, για μία ή περισσότερες υπηρεσίες και από ή προς ένα ή περισσότερους παρόχους υπηρεσιών.
- FTTLA (Fiber To The Last Amplifier – Οπτική ίνα μέχρι τον πρώτο ενισχυτή): Σε δίκτυα που χρησιμοποιούν αρκετούς ενισχυτές σήματος, η τεχνολογία FTTLA σκοπεύει στην αντικατάσταση των ομοαξονικών καλωδίων πριν τον τελευταίο ενισχυτή κοντά τις κατοικίες των συνδρομητών. Χρησιμοποιείται κυρίως για να αντικαταστήσει σταδιακά με οπτική ίνα τα υπάρχοντα ομοαξονικά καλώδια που υπάρχουν στην αρχιτεκτονική CATV.
- FTTN (Fiber To The Node or Neighborhood – Οπτική ίνα μέχρι τον κόμβο ή τη γειτονιά): Μοιάζει με το FTTC, με τη διαφορά ότι η καμπίνα όπου καταλήγει η οπτική ίνα, να βρίσκεται σε πιο μακρινή απόσταση από την κατοικία και συγκεκριμένα έως και αρκετά χιλιόμετρα.

⁹ Ο διαχωρισμός μεταξύ FTTH και FTTB (building) είναι αρκετά λεπτός. Για παράδειγμα, όταν ένα Οπτικό Τερματικό Δικτύου (ONT) βρίσκεται σε μια ενιαία μονάδα κατοικιών, τότε το FTTH συμπίπτει με το FTTB. Όταν όμως το ONT τοποθετείται κάπου μέσα σε ένα από τα διαμερίσματα, τότε μιλάμε μόνο για FTTB.

- FTTO (Fiber To The Office – Οπτική ίνα μέχρι το γραφείο): Παρόμοια περίπτωση με το Fiber To The Business, όπου υπάρχει οπτική ίνα μέχρι το γραφείο κάποιου εταιρικού πελάτη μιας επιχείρησης.
- FTTP (Fiber To The Premises) – Οπτική ίνα μέχρι τα όρια ενός κτίσματος: Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται σε διάφορα πλαίσια: Είτε σαν γενικός όρος για τα FTTH και FTTB, ή σε δίκτυα πρόσβασης που περιλαμβάνουν τόσο σπίτια αλλά και μικρές επιχειρήσεις.

Από όλα τα δίκτυα πρόσβασης οπτικών ινών FTTx, τα πιο σημαντικά και αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι τα FTTB, FTTC, FTTH, FTTN. Κάποιες από τις παραπάνω παραλλαγές φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



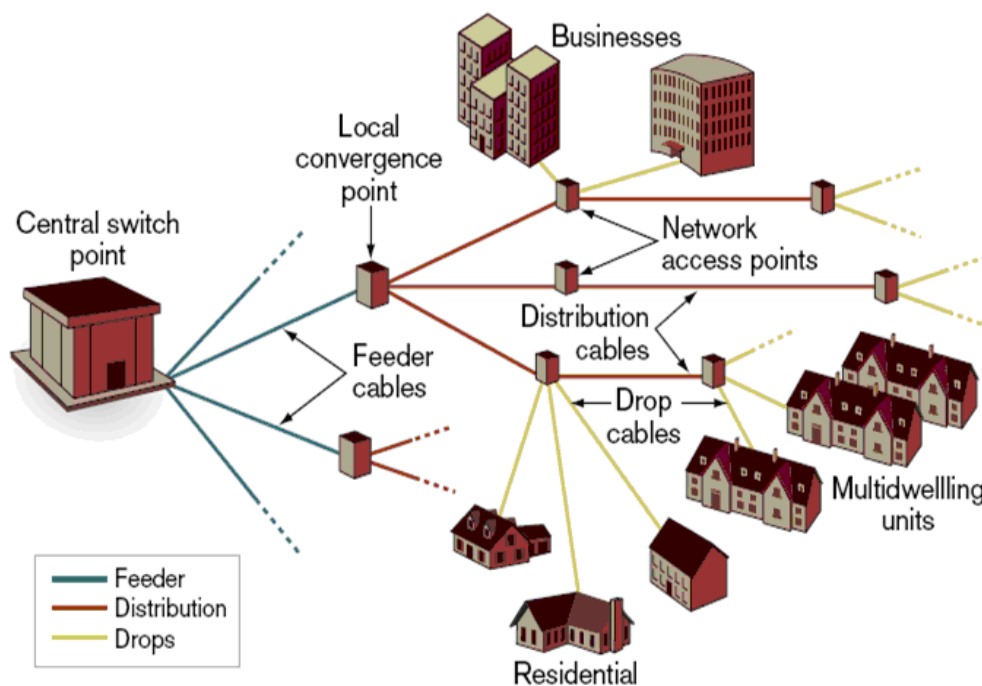
Εικόνα 4: Παραλλαγές δικτύων FTTx (Πηγή: Keiser, 2006)

Ο βασικός παράγοντας διαφοροποίησης των ανωτέρων αρχιτεκτονικών είναι το σημείο τερματισμού της οπτικής ίνας. Πιο συγκεκριμένα, όσο πιο κοντά φτάνει στο συνδρομητή, τόσο περισσότερο αξιοποιούνται τα πλεονεκτήματά της. Όλα τα FTTx δίκτυα βασίζονται στις αρχές των PONs (Passive Optical Networks). Το PON είναι ένας από τους τρόπους κατανομής των πόρων σε περίπτωση που οι χρήστες δεν χρησιμοποιούν μεγάλο όγκο δεδομένων.

4.3 Δομή δικτύων FTTx

Ένα δίκτυο FTTx αποτελείται κάποια βασικά δομικά στοιχεία, που αφορούν τον τύπο και τη συγκέντρωση των καλωδίων στο δίκτυο. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τέσσερα διακριτά τμήματα, από τη στιγμή που γίνεται η έναρξη του δικτύου στο κεντρικό γραφείο (CO) και μέχρι να καταλήξει στο συνδρομητή. Η τεχνική που ακολουθείται για την ανάπτυξη των δικτύων FTTx είναι η διάνοιξη τάφρων, ο αριθμός και το μέγεθος των οποίων επιλέγονται ανά περίπτωση.

Ένα δίκτυο FTTx περιλαμβάνει τα εξής: α) Τμήμα Τροφοδοσίας (Feeder Segment), όπου οι οπτικές ίνες ξεκινούν από το Κεντρικό Γραφείο (CO) μέχρι το Δίκτυο Διανομής, β) Δίκτυο Διανομής (Distribution Network), γ) Τμήμα Καλωδίων Πρόσβασης Συνδρομητών (Drop Cable Segment) που αποτελεί το τελικό τμήμα του δικτύου ανάμεσα στο Δίκτυο Διανομής και το κτίριο του συνδρομητή και δ) Τμήμα ανάμεσα στην υπάρχουσα οπτική ίνα και το συνδρομητή (Lead In).



Εικόνα 5: Βασική δομή δικτύου FTTx (Πηγή: Keiser, 2006)

Πιο αναλυτικά, το κεντρικό γραφείο (Central Office – CO) πολύ συχνά αναφέρεται και σαν σημείο παρουσίας του δικτύου (point of presence – POP) ή κεντρικό σημείο μεταγωγής (central switch point), και λειτουργεί ως το αναγκαίο σημείο για την πορεία των οπτικών ινών μέχρι τους συνδρομητές. Η λειτουργία του αφορά τη στέγαση όλων των ενεργών εξοπλισμών μετάδοσης, τη διαχείριση όλων των γραμμών τερματισμού των οπτικών ινών και τη διευκόλυνση της διασύνδεσης μεταξύ οπτικών ινών και ενεργού εξοπλισμού. Το φυσικό μέγεθος του χώρου καθορίζεται ανά περίπτωση με βάση το μέγεθος και τη

χωρητικότητα του δικτύου FTTH που δύναται να καλύψει μια περιοχή τη δεδομένη στιγμή ή πρόκειται να καλύψει στο μέλλον, συμπεριλαμβανομένων και πιθανών αναβαθμίσεων. Ένα κεντρικό γραφείο μπορεί να είναι είτε μέρος ενός υπάρχοντος κτιρίου ή να αποτελεί μια καινούρια υποδομή. Τα κύρια καλώδια του εξωτερικού μητροπολιτικού δικτύου που εισέρχονται στο γραφείο τερματίζουν στον ενεργό εξοπλισμό που είναι εγκατεστημένος και από εκεί φεύγουν τα καλώδια προς το δίκτυο FTTH. Για τη συντήρηση των οπτικών ινών και την αποφυγή βλαβών στα ευαίσθητα κυκλώματα των ινών είναι απαραίτητα τα ράφια τερματισμού ινών, καθώς και ξεχωριστές καμπίνες (cabinets).

Το Δίκτυο Διανομής (Distribution Network) αναφέρεται στο σύστημα του δικτύου που διατρέχει από το κεντρικό γραφείο μέχρι τα σημεία πρόσβασης των συνδρομητών. Καλύπτει μεγάλη απόσταση αρκετών χιλιομέτρων και αποτελείται από αρκετά μεγάλο πλήθος σωληνώσεων με καλώδια ινών, ώστε να παρέχουν την κατάλληλη βασική χωρητικότητα σε ένα FTTH δίκτυο. Αντίστοιχα, οι σωληνώσεις ή αλλιώς τα καλώδια τροφοδοσίας (feeder cabling) του δικτύου αποτελούνται από μεγάλο πλήθος οπτικών ινών ανά καλώδια. Τα καλώδια τροφοδοσίας αυτά πρέπει να διασπώνται σε μικρότερα καλώδια διανομής που κατευθύνονται προς τις περιοχές των κατοικιών των συνδρομητών, ώστε να πραγματοποιείται διαμόρφωση ή επαναδιαμόρφωση των οπτικών ινών και να γίνεται καλύτερα η συντήρηση του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται σε ειδικά σημεία στο FTTH δίκτυο, που συχνά αναφέρονται ως τοπικά σημεία σύγκλισης (local convergence point – LCP). Αν και η αρχιτεκτονική ενός FTTH δικτύου επηρεάζει σημαντικά την υποδομή των σημείων σύγκλισης, σε γενικές γραμμές η θέση των τοπικών σημείων σύγκλισης μπορεί να καθοριστεί από παράγοντες, όπως η θέση των αγωγών/σωληνώσεων αλλά και του κεντρικού γραφείου. Τα καλώδια διανομής (distribution cabling) φεύγουν από τα τοπικά σημεία σύγκλισης του δικτύου FTTH και κατευθύνονται μέχρι κάποιο σημείο κοντά στους συνδρομητές (σημεία πρόσβασης συνδρομητών). Τα καλώδια διανομής συνήθως αποτελούνται από μεσαίο πλήθος σωληνώσεων και καλωδίων οπτικών ινών, στοχεύοντας στην κάλυψη συγκεκριμένου αριθμού κτιρίων μέσα σε ένα FTTH δίκτυο κι όχι όλων των κατοικιών. Γενικότερα, για τα υπόγεια δίκτυα επιβάλλεται η σωστή χρήση κατάλληλου πλήθους και μεγέθους σωληνώσεων (ducts), ώστε να καλυφθεί το δίκτυο αλλά και να υποστηρίζονται επιπλέον σωληνώσεις για την επέκταση και συντήρηση του δικτύου. Επιπλέον, στα εναέρια δίκτυα πρέπει να υπάρχουν δομές στύλων, που θα καλύπτουν την χωρητικότητα του επιθυμητού δικτύου, ενώ τα τμήματα υπαρχουσών υποδομών, όπως υπάρχοντα δίκτυα κοινής ωφέλειας, μπορούν να βοηθήσουν για τον περιορισμό των κοστών.

Οι οπτικές ίνες χωρίζονται σε διάφορα σημεία συγκέντρωσης στο FTTH δίκτυο πριν την τελική τοποθέτησή τους στο κτίριο του συνδρομητή, τα οποία απαρτίζουν το τμήμα Καλωδίων Πρόσβασης Συνδρομητών (Drop Cable Segment) πρόσβασης των συνδρομητών (network access points – NAP). Τα τμήματα αυτά τοποθετούνται σε βέλτιστα σημεία, επιτρέποντας το μέγιστο διαμοιρασμό των τελικών καλωδίων πρόσβασης και τη γρήγορη σύνδεση ή επαναδιαμόρφωση των οπτικών κυκλωμάτων στα τελικά καλώδια

πρόσβασης των συνδρομητών. Σε αυτά τα σημεία τα καλώδια διανομής διαχωρίζονται μεταξύ τους και ενώνονται με τα τελικά καλώδια πρόσβασης, ώστε να εξυπηρετήσουν διαφορετικούς συνδρομητές. Η μονάδα στο τμήμα Καλωδίων Πρόσβασης Συνδρομητών μπορεί να έχει τη μορφή ενός υπόγειου ή εναέριου τοποθετημένου κιβωτίου συγκόλλησης καλωδίων (cable joint closure), ενώ κάποιες φορές χρησιμοποιείται κάποια καμπίνα κοντά στην άκρη του δρόμου (street pedestal cabinet), ώστε να προστίθενται εύκολα νέοι τελικοί χρήστες στο δίκτυο πρόσβασης. Σε κάθε περίπτωση, αυτό που είναι αναγκαίο να τηρηθεί είναι η είσοδος και η μετέπειτα επανείσοδος στο τμήμα αυτό να διασφαλίζει την διαμόρφωση ή επαναδιαμόρφωση των ινών, καθώς και την εύκολη πραγματοποίηση συντήρησης και ελέγχου στο δίκτυο.

Τέλος, το τμήμα ανάμεσα στην υπάρχουσα οπτική ίνα και το συνδρομητή (Lead In) διαμορφώνει τον τελικό εξωτερικό σύνδεσμο προς τις κατοικίες των χρηστών του FTTx δικτύου. Ξεκινάνε από τους κόμβους πρόσβασης των συνδρομητών και καταλήγουν στα κτίρια των πελατών σε απόσταση μικρότερη από 500 μέτρα και συχνά ακόμα λιγότερη για τις πυκνοκατοικημένες περιοχές. Τα καλώδια πρόσβασης περιέχουν συνήθως μία οπτική ίνα ή ένα ζευγάρι ινών (μια ίνα για το upstream και μια για το downstream) για μια κατοικία ενός κτιρίου και παρέχουν τη μόνη απευθείας σύνδεση του εξωτερικού δικτύου με τον συνδρομητή. Όσον αφορά τις κατοικίες των συνδρομητών, τα καλώδια πρόσβασης τερματίζουν στην κατοικία και δρομολογούνται σε ένα κουτί τερματισμού που βρίσκεται σε κάποιο σημείο στην είσοδο του κτιρίου. Αυτή η τερματική μονάδα είναι τμήμα της Οπτικής μονάδας δικτύου – ONU. Αν η μονάδα είναι εντός του κτιρίου (Optical Network Terminal – ONT) οι οπτικές ίνες εισέρχονται στο κτίριο μέσω μιας κατάλληλης εισαγωγής καλωδίων και στη συνέχεια ρυθμίζονται μέσα στο κτίριο στο ONT. Αν το ONU τοποθετείται εξωτερικά μέσα στο κουτί τερματισμού, τότε τα τελικά καλώδια πρόσβασης των συνδρομητών (drop cables) τερματίζουν με παρόμοιο τρόπο όπως με τα άλλα δίκτυα κοινής ωφέλειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι και στις δύο περιπτώσεις παρατηρείται μηδενική έως ελάχιστη εσωτερική οπτική καλωδίωση. Μόνο σε περιπτώσεις δικτύων με πολυκατοικίες/ πολλαπλές μονάδες κατοικιών υπάρχουν περισσότερα εσωτερικά καλώδια συνδρομητών (internal cabling), που τοποθετούνται και διαμερίζονται ανάλογα την περίπτωση.

Ο βασικός παράγοντας διαφοροποίησης των δικτύων οπτικής ίνας θεωρείται ο τελικός προορισμός της τελικής ίνας, διότι σε όλες τις περιπτώσεις FTTx δικτύων με εξαίρεση το FTTH δίκτυο χρησιμοποιείται ως υλικό ο χαλκός, ο οποίος περιορίζει τις δυνατότητες του δικτύου. Αντίθετα η κατασκευή των δικτύων FTTH υλοποιείται με οπτική ίνα ακόμη και το τελικό τμήμα ανάμεσα στην υπάρχουσα ίνα και το συνδρομητή (Lead In).

Τέλος, όσον αφορά την επιλογή της τοπολογίας ενός δικτύου FTTx, υπάρχουν δύο εναλλακτικές περιπτώσεις:

α) P2P ή PtP (Point-to-Point, σημείο προς σημείο): όπου ο κάθε χρήσης είναι απευθείας συνδεδεμένος με το Κεντρικό Γραφείο (CO) του παρόχου μέσω μιας δικής του dedicated οπτικής ίνας. Σύμφωνα με αυτή τη διάταξη κάθε σπίτι διαθέτει μία αφιερωμένη γραμμή οπτικής ίνας κατευθείαν από το τηλεφωνικό κέντρο. Η διάταξη αυτή παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι γίνεται καλύτερη αξιοποίηση της οπτικής ίνας, αφού σε αυτή αντιστοιχεί μόνο ένας συνδρομητής και γίνεται χρήση του μεγαλύτερου δυνατού εύρους ζώνης (χωρίς την παρουσία ενεργών διατάξεων πολύπλεξης). Η χρήση της όμως δεν ενδείκνυται αφού απαιτεί μεγαλύτερο αριθμό οπτικών ινών και κατά συνέπεια απαιτεί περισσότερες εργασίες διάνοιξης τάφρων και παρουσιάζει μία τεράστια συμφόρηση από καλώδια οπτικής ίνας από την πλευρά του τηλεφωνικού κέντρου. Δεν υπάρχει δίκτυο διανομής, διότι η οπτική ίνα φτάνει στον τελικό χρήστη χωρίς την ύπαρξη ενδιάμεσου εξοπλισμού και για προφανείς λόγους η τοπολογία αυτή εμφανίζεται μόνο σε FTTH δίκτυα, καθώς σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις είναι απαραίτητη η ύπαρξη σημείων διανομής [19].

β) PtMP (Point-to-MultiPoint, σημείο προς πολλαπλά σημεία): όπου υπάρχουν κάποια σημεία συγκέντρωσης προκειμένου ενώ ξεκινάει μια οπτική ίνα από το Κεντρικό Γραφείο (CO) αυτή να διαχωρίζεται εν συνεχεία σε πολλές οπτικές ίνες με βήματα διπλασιασμού και αυτές να οδηγούνται σε περισσότερους συνδρομητές και χρήστες. Αυτή η τοπολογία πλεονεκτεί ως προς το χαμηλότερο κόστος, ενώ μειονεκτεί ως προς τα θέματα ασφάλειας των μεταφερόμενων δεδομένων.

4.4 Τεχνολογική υποδομή ενός δικτύου FTTx

4.4.1 Μέθοδοι κατασκευής τάφρων

Ένα σημαντικό κομμάτι στην ανάπτυξη των υπόγειων υποδομών σε ένα δίκτυο FTTH, ή γενικότερα FTTx, είναι η κατασκευή των τάφρων (χαντάκια) μέσα από τα οποία θα περνάει όλο το πλήθος των οπτικών καλωδίων. Η τάφος ή αλλιώς χαντάκι περιλαμβάνει την υποδομή εκείνη μέσα στην οποία εγκαθίστανται όλες οι σωληνώσεις ενός υπόγειου δικτύου. Σε ένα δίκτυο FTTx το μεγαλύτερο κομμάτι του κόστους κατασκευής του οφείλεται στα έργα εκσκαφής/αποκατάστασης σε δημόσιους κοινόχρηστους χώρους (δρόμοι). Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η εύρεση μεθόδων, οι οποίες να μπορούν να μειώσουν το εν λόγω κόστος, ώστε να υπάρξει σημαντική μείωση στη κατασκευή ολόκληρου του οπτικού δικτύου πρόσβασης. Επιπλέον, ο ακριβής καθορισμός του τύπου της τάφρου θα πρέπει να προκύψει μετά από λεπτομερή έρευνα των περιοχών, όπου θα δημιουργηθούν οπτικές υποδομές ώστε να μην υπάρχουν μελλοντικά προβλήματα τόσο στις νέες όσο και στις υφιστάμενες υπόγειες εγκαταστάσεις, όπως για παράδειγμα η αποφυγή κατασκευής νέων εγκαταστάσεων πάνω από υφιστάμενες υπόγειες εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε μεγαλύτερο βάθος. Σε πολλά δίκτυα πρόσβασης για μείωση του συνολικού κόστους κατασκευής και του χρόνου εκτέλεσης ενός έργου FTTx τα καλώδια τρέχουν κάτω από τα πεζοδρόμια σε τάφρους (trenches) που χρησιμοποιούν το οδικό δίκτυο ως ένα φυσικό οδηγό για την προσέγγιση των πελατών.

Οι σημαντικότερες μέθοδοι κατασκευής τάφρων και εγκατάστασης οπτικών υποδομών που χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές δικτύων πρόσβασης είναι οι εξής [20]:

α) Μέθοδος Mini-Trenching (μικροτάφρου): αποτελείται από τομές ανοικτού τύπου στην άκρη του δρόμου ή σε πεζοδρόμια, οι οποίες κατασκευάζονται με την χρήση μηχανημάτων τύπου trencher. Το μηχάνημα αυτό έχει ειδικό τροχό διάνοιξης (με τα κατάλληλα κοπτικά εξαρτήματα) και κατασκευάζει τάφρο τυποποιημένων διαστάσεων, σε μια ευθεία γραμμή στον ελάχιστο δυνατό χρόνο. Μετά τη διάνοιξη και τον καθαρισμό της τάφρου τοποθετούνται οι κατάλληλες σωληνώσεις των οπτικών ινών σε αγωγούς. Μετά την τοποθέτηση των σωλήνων γίνεται η πλήρωση του χαντακιού, ενώ η τελευταία στρώση περιλαμβάνει την αποκατάσταση του ασφαλτικού της επιφανείας στην αρχική της μορφή. Τα πλεονεκτήματά αυτής της μεθόδου συνοπτικά εντοπίζονται στην ταχύτητα εκτέλεσης του έργου, στο συνολικό χαμηλό κόστος, στις σημαντικά μειωμένες επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην περιορισμένη αναστάτωση των οδικών μεταφορών.

β) Μέθοδος Micro-Trenching (κάθετης ένθετης οπτικής καλωδίωσης): πραγματοποιείται με μικρές εγκοπές σε ρηχό βάθος μέσω μιας λεπτής κοπής με «τροχό». Δε χρησιμοποιεί αυλάκωμα μέσω των οδοστρωμάτων και των πεζοδρομίων και έτσι δεν επηρεάζει το οδόστρωμα. Μόλις τοποθετηθεί ο αγωγός, η τομή αποκαθίσταται αμέσως καλυπτόμενη με τα κατάλληλα υλικά αποκατάστασης. Οι εγκαταστάσεις του συγκεκριμένου συστήματος στα οδοστρώματα είναι διακριτικές, ενώ οι ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις στα πεζοδρόμια και σε λεωφόρους είναι ουσιαστικά αόρατες. Η μέθοδος micro – trencher αλλάζει τον τρόπο που τοποθετούνται τα καλώδια οπτικών ινών, συνδυάζοντας την ευκολία στη χρήση και την ταχύτητα της τοποθέτησης. Τα πλεονεκτήματά της είναι ότι έχει πολύ χαμηλό αντίκτυπο στους πεζούς, την κυκλοφορία οχημάτων και τη δραστηριότητα των εμπορικών ζωνών, αποτελώντας μια ελκυστική λύση για την οπτική καλωδίωση μέχρι το τελευταίο χιλιόμετρο.

4.4.2 Υποδομή σωληνώσεων

Η συμβατική υποδομή σωληνώσεων ή αγωγών αποτελεί από τις πιο συνηθισμένες μεθόδους υπόγειας εγκατάστασης καλωδίων και περιλαμβάνει μια μεγάλη κύρια σωλήνωση (duct), που περιέχει μικρότερες υποσωληνώσεις (για τη μεμονωμένη εγκατάσταση καλωδίων), στην οποία τα καλώδια σταδιακά έλκονται το ένα πάνω από το άλλο όσο το δίκτυο αναπτύσσεται ή μια μικρότερη κύρια σωλήνωση για την εγκατάσταση ενός μόνο απλού καλωδίου οπτικών ινών. Η εγκατάσταση των σωληνώσεων απαιτεί την ευκολότερη και ασφαλέστερη μέθοδο επέκτασης, ώστε να επιτρέπει μελλοντική πρόσβαση και αναδιαμόρφωση. Όπως συμβαίνει και στη μέθοδο άμεσου ενταφιασμού είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη τα υπόλοιπα ενταφιασμένα δίκτυα κοινής ωφελείας για ευκολία στην εγκατάσταση, μείωση του κόστους κατασκευής και αποφυγή τεχνικών προβλημάτων. Η αποδοτικότητα στην εγκατάσταση των

καλωδίων στις σωληνώσεις βασίζεται σε αρκετά μεγάλο βαθμό στην ποιότητα της τοποθέτησης των ίδιων των σωληνώσεων. Τα σημαντικότερα στοιχεία της υποδομής αυτής θεωρούνται οι σωληνώσεις και πιθανές υποσωληνώσεις, τα καλώδια εντός των σωληνώσεων και τα κιβώτια διακλαδώσεων (branch-off closures).

Η περίπτωση της χρήσης μιας απλής σωλήνωσης πλεονεκτεί ως προς τη μεγιστοποίηση του πλήθους των καλωδίων που μπορούν να εγκατασταθούν σε αντίθεση με τις πλήρεις σωληνώσεις που καθιστούν δύσκολη την εξαγωγή παλιότερων καλωδίων και την τοποθέτηση νέων. Η χρήση υποσωληνώσεων μειώνει το συνολικό πλήθος καλωδίων που μπορούν να εγκατασταθούν, αλλά μπορούν να αφαιρεθούν ευκολότερα και να προστεθούν νέα καλώδια. Επιπλέον, επιτρέπει τη χρήση τεχνικών εμφύσησης και έλξης, δεδομένου ότι είναι ευκολότερο να ληφθεί μια αεροστεγής σύνδεση στις υποσωληνώσεις. Τα καλώδια στις σωληνώσεις μπορούν να εγκατασταθούν με έλξη, εμφύσηση και επίπλευση.

Η συμβατική υποδομή σωληνώσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλη την έκταση ενός FTTH δικτύου όσον αφορά την υπόγεια ανάπτυξή του και το πλήθος τους καθορίζεται τόσο από το μέγεθος της περιοχής του δικτύου όσο και από το πλήθος των καλωδίων που χρησιμοποιούνται. Επίσης, είναι ωφέλιμο να γίνεται εκτίμηση για χρήση μιας κύριας σωλήνωσης με δυνατότητα να εγκαθίστανται περισσότερα από ένα καλώδια, ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής χωρητικότητα. Το πιο συνηθισμένο υλικό, που χρησιμοποιείται στις σωληνώσεις είναι το HDPE (υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο – high density polyethylene).

4.4.3 Μέθοδοι εγκατάστασης καλωδίων σωλήνων

Η συμβατική υποδομή σωληνώσεων/ σωλήνων/ αγωγών είναι από τις πιο συνηθισμένες μεθόδους υπόγειας εγκατάστασης καλωδίων και περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός δικτύου σωληνώσεων ώστε να επιτρέπεται η μετέπειτα εγκατάσταση καλωδίων με τεχνικές έλξης (pulling), εμφύσησης (blowing) και επίπλευσης (floating).

Στην έλξη για να τραβηχτούν καλώδια σε μια σωλήνωση πρέπει να υπάρχει ένα προεγκατεστημένο σχοινί έλξης ή να μπορεί να εγκατασταθεί πριν την έλξη του καλωδίου. Κατά την εγκατάσταση καλωδίων με έλξη πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι μηχανικές και περιβαλλοντικές τους αντοχές σύμφωνα με τις προδιαγραφές του προμηθευτή, ενώ δεν πρέπει να υπερβαίνονται τα όριά τους. Το φορτίο εφελκυσμού αντιπροσωπεύει τη μέγιστη δύναμη εφελκυσμού που επιτρέπεται να εφαρμοστεί σε ένα καλώδιο κατά τη διαδικασία εγκατάστασης και εξασφαλίζει ότι οι όποιες καταπονήσεις μεταδίδονται στις ίνες βρίσκονται εντός των ορίων ασφαλείας. Η χρήση στροφέα και μηχανικής ασφάλειας προστατεύουν το καλώδιο σε περίπτωση υπέρβασης της δύναμης έλξης. Επιπλέον, Για να υπάρχει δυνατότητα εγκατάστασης καλωδίων μεγάλου μήκους το καλώδιο οπτικών ινών επιβάλλεται να έχει επαρκή ονομαστική αντοχή για το πρόσθετο απαιτούμενο φορτίο έλξης ή να υπάρχουν ενδιάμεσα σημεία πρόσβασης στο καλώδιο κατά την

εγκατάσταση, από όπου θα πραγματοποιείται βοηθητική έλξη ή θα υπάρχουν ενδιάμεσες βοηθητικές διατάξεις έλξης.

Αν και μέχρι πρότινος η πιο συνηθισμένη μέθοδος ήταν τα καλώδια να εγκαθίστανται στις σωληνώσεις με την έλξη, εντούτοις πλέον ένα σημαντικό ποσοστό καλωδίων εγκαθίστανται με εμφύσηση, διότι είναι γρηγορότερη διαδικασία συγκριτικά με την έλξη και επιτρέπει την εγκατάσταση μεγαλύτερων συνεχόμενων μηκών καλωδίων. Σε περίπτωση μάλιστα που γίνει πρόβλεψη και εγκατασταθούν εφεδρικοί σωλήνες, τότε υπάρχει η μελλοντική δυνατότητα εγκατάστασης αντίστοιχων καλωδίων, όταν αυξηθεί η ζήτηση. Κατά την εμφύσηση καλωδίων, είναι σημαντικό το δίκτυο των σωληνώσεων να είναι αεροστεγές σε όλο του το μήκος, ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη παροχή αέρα σε όλες τις σωληνώσεις. Υπό αυτό το πρίσμα, απαιτείται κατάλληλος αεροσυμπιεστής στο τέρμα του εξοπλισμού καλωδίωσης του τμήματος σωλήνωσης, που να είναι συνδεδεμένος με τη συσκευή εμφύσησης και η υδραυλική πίεση στη συσκευή αυτή πρέπει να ελέγχεται συνεχώς με αυστηρά κριτήρια, ώστε να μην προκληθεί ζημιά στο καλώδιο. Επίσης, το εσωτερικό τμήμα των υποσωληνώσεων πρέπει να εξασφαλίζει χαμηλή τριβή με τα καλώδια και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές εμφύσησης καλωδίου.

Τέλος, η επίπλευση θεωρείται μια εναλλακτική μέθοδος της εμφύσησης, καθώς μπορεί να πραγματοποιηθεί με μηχανήματα που είναι αρχικά σχεδιασμένα για εμφύσηση με τη μόνη διαφορά ότι το νερό αντικαταστατά τον αέρα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, διότι τα περισσότερα υπόγεια καλώδια εξωτερικής τοποθέτησης εκτίθενται σε νερό για μεγάλο χρονικό διάστημα. Συγκριτικά με την εμφύσηση, η επίπλευση επιτρέπει την τοποθέτηση τμημάτων καλωδίων σημαντικά μεγαλύτερου μήκους στις σωληνώσεις και αποτελεί πιο ασφαλή διαδικασία όσον αφορά την αφαίρεση των καλωδίων από τις σωληνώσεις, δεδομένου ότι η αφαίρεση καλωδίου με εμφύσηση είναι μια επικίνδυνη διαδικασία, καθιστώντας έτσι εφικτή την επαναχρησιμοποίηση των καλωδίων. Επιπλέον, η εγκατάσταση καλωδίων με εμφύσηση μπορεί να είναι γρηγορότερη από την έλξη, επιτρέποντας μεγαλύτερα μήκη. Λόγω των ανωτέρω πλεονεκτημάτων της η επίπλευση μπορεί να αποδειχθεί πολύ αποτελεσματική μέθοδος για την εγκατάσταση καλωδίων σε πολλές περιπτώσεις.

4.4.4 Συστοιχίες μικρο-σωληνώσεων (Microduct bundles)

Μια υποδομή που αρχίζει να χρησιμοποιείται όλο και πιο συχνά μαζί με τα συστήματα σωληνώσεων είναι αυτή των συστοιχιών μικροσωληνώσεων (microducts), στις οποίες εγκαθίστανται καλώδια ινών, τα οποία ονομάζονται αντιστοιχώς ως καλώδια μικροσωληνώσεων ή μικροκαλώδια (microcables). Οι συστοιχίες μικροσωληνώσεων χρησιμοποιούνται συστηματικά σε δίκτυα που πρόκειται να ικανοποιήσουν άμεσα ή μελλοντικά αυξημένη πυκνότητα συνδέσεων μεταξύ κύριων κόμβων, κόμβων διανομής και πρόσβασης αλλά και σε τελικές συνδέσεις προς μεμονωμένους χρήστες. Χρησιμοποιείται η μέθοδος της εμφύσησης

καλωδίων οπτικών ινών μικρής διαμέτρου μέσω δικτύου σωληνώσεων προς τους τελικούς χρήστες. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι με τη χρήση της μπορεί να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των συνδέσμων και των συγκολλήσεων καλωδίων οπτικών ινών μεγάλου μήκους στο δίκτυο των μικροσωληνώσεων.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με παραδοσιακές υποδομές σωληνώσεων, υποδομές άμεσου ενταφιασμού ή εναέριες και κατά συνέπεια οι μικροσωληνώσεις πρέπει να τοποθετούνται σε κατασκευές σχεδιασμένες για οποιαδήποτε από αυτές τις μεθόδους. Οι μικροσωληνώσεις έχουν διαστάσεις σύμφωνα με την κύρια σωλήνωση υποδοχής τους αλλά και τα καλώδια που θα εγκατασταθούν σε αυτές. Σε αντίθεση με τις συμβατικές σωληνώσεις, οι μικροσωληνώσεις πρέπει να ταιριάζουν πιστά με τα καλώδια οπτικών ινών που θα χρησιμοποιηθούν για να εξασφαλιστεί η συμβατότητα κατά την εγκατάσταση.

Οι μικροσωληνώσεις είναι μικρές, ευέλικτες και ελαφριές διατάξεις. Σε ένα παραδοσιακό σύστημα σωληνώσεων με κύριες σωληνώσεις και υποσωληνώσεις (subducts), οι μικροσωληνώσεις μπορούν να προεγκαθίστανται ή να εμφυσούνται στις υποσωληνώσεις. Κάποιοι τύποι μικροσωληνώσεων είναι:

- Thick – walled (πυκνών τοιχωμάτων), οι οποίες είναι εύκολες στη σύνδεση και αποτελούν την καλύτερη λύση για τοποθέτηση σε περιοχές με μεγάλες αυξομειώσεις θερμοκρασίας.
- Tight – bundled (στενής δέσμης), οι οποίες προσφέρουν μεγαλύτερο πλήθος μικροσωληνώσεων σε μια κύρια σωλήνωση και παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία μεγεθών, ώστε να εξυπηρετούν διαφορετικούς τύπους καλωδίων. Ωστόσο, προκειμένου να μην κάμπτονται έχουν στοιχειώδη επικάλυψη, γεγονός που τις κάνει αρκετά ευάλωτες σε θερμοκρασιακές αλλαγές.
- Loose – bundled (χαλαρής δέσμης), οι οποίες παρουσιάζουν μεγάλη μηχανική αντοχή. Μέσω αυτού του τύπου μικροσωληνώσεων μπορούν να εμφυσηθούν καλώδια σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις. Μπορούν είτε να είναι προεγκατεστημένες σε HDPE σωληνώσεις είτε να εμφυσούνται σε αυτές για μεγαλύτερη ευελιξία.

4.4.5 Τύποι καλωδίων σωλήνων

Υπάρχει ευρεία ποικιλία καλωδίων για χρήση σε δίκτυο σωλήνων ενός οπτικού δικτύου ανάλογα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης, από τα οποία τα πιο σημαντικοί είναι τα κατωτέρω [21]:

- Τύποι καλωδίων για υποδομή με σωλήνες: αναφορικά με τους τύπους καλωδίων που χρησιμοποιούνται μέσα στις σωληνώσεις, όταν τα καλώδια έλκονται πρέπει να είναι ανθεκτικότερα από τα καλώδια που εμφυσούνται, λόγω της μεγαλύτερης πίεσης που ασκείται. Τα εμφυσημένα καλώδια πρέπει να είναι σχετικά ελαφριά σε βάρος και με κατάλληλο βαθμό ακαμψίας, έτσι ώστε

να εμφυσούνται με ευκολία. Η παρουσία των σωληνώσεων βοηθάει για τις καταπονήσεις που δέχονται τα καλώδια και προσφέρει μεγάλο βαθμό προστασίας σύνθλιψης, με εξαίρεση τα σημεία εισόδου του καλωδίου στα φρεάτια. Τα καλώδια για τοποθέτηση μέσα σε σωλήνα συνήθως είναι με περίβλημα όχι μεταλλικό, ώστε να μην υπάρχει ανάγκη γείωσης για αντικεραυνική προστασία, καθώς και για περιβαλλοντικούς λόγους. Ωστόσο, μπορεί να περιέχουν μεταλλικά στοιχεία για μεγαλύτερη αντοχή, για απομακρυσμένη ανίχνευση από το έδαφος ή για αυξημένη προστασία από υγρασία. Επίσης, τα καλώδια σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχουν σε ενδεχόμενο μακροχρόνιο πλημμύρισμα με νερό και σποραδικό πάγωμα. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία καλωδίων, όλα όμως βασίζονται σε συγκεκριμένους τύπους. Ο πιο συνηθισμένος τύπος είναι ο θάλαμος ελεύθερης τοποθέτησης (loose tube), που αποτελείται από έναν πλαστικό θάλαμο με τον απαιτούμενο αριθμό ινών μαζί με ένα συστατικό πλήρωσης του θαλάμου (επίστρωση) που προστατεύει τις ίνες και τις βοηθά να κινούνται εντός του θαλάμου καθώς το καλώδιο διαστέλλεται ή συστέλλεται λόγω των περιβαλλοντικών και μηχανικών συνθηκών. Άλλοι τύποι είναι πολλές ίνες σε μορφή ταινίας (ribbon) ή εντός λεπτού εύκολα απογυμνωμένου θαλάμου επικάλυψης. Τυπικά, οι θάλαμοι που περιέχουν ξεχωριστές ίνες ή πολλαπλές ταινίες περιβάλλονται από ένα κεντρικό στοιχείο καλωδίου που αποτελείται από ένα ενισχυτικό στέλεχος με πλαστικό περίβλημα.

- Τύποι καλωδίων για υποδομή σε μικρο-σωλήνες: αναφορικά με τους τύπους καλωδίων που χρησιμοποιούνται μέσα σε μικρό-σωλήνες, πρέπει να είναι μικρά και ελαφριά, που τυπικά απαιτούν τη μικροσωλήνωση για προστασία. Με άλλα λόγια πρέπει η μικροσωλήνωση και το καλώδιο να συμπεριφέρονται μαζί ως σύστημα και το μέγεθος του σωλήνα επιλέγεται ώστε να ταιριάζει με το καλώδιο και τον απαιτούμενο αριθμό ινών και να εξασφαλιστεί η συμβατότητα κατά την εγκατάσταση. Τα καλώδια εγκαθίστανται με εμφύσηση. Και οι δύο τύποι καλωδίου φέρουν ειδικά εξωτερικά περιβλήματα για να υποβοηθείται η εμφύσησή τους. Η απόσταση που επιτυγχάνεται με την εμφύσηση εξαρτάται από τις μικροσωληνώσεις, τον εξοπλισμό εγκατάστασης καθώς και τη δυσκολία της διαδρομής όπου γίνεται η εμφύσηση. Σε γενικές γραμμές όσο η οπτική ίνα φτάνει προς το τελικό σημείο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα μικρότερες μικροσωληνώσεις, καθώς η απόσταση εμφύσησης γίνεται μικρότερη.

Κεφάλαιο 5 – Στοιχεία διαμόρφωσης κόστους δικτύου FTTX

5.1 Εισαγωγή

Η μοντελοποίηση κατασκευής και λειτουργίας ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης αποτελεί ένα ιδιαίτερο και δύσκολο έργο, διότι από τη μία απαιτεί τη μέγιστη δυνατή προσέγγιση της πραγματικότητας και από την άλλη υπάρχει έλλειψη μεγάλης σχετικής δραστηριότητας διεθνώς, γεγονός που δυσκολεύει την αξιολόγηση αυτών των δικτύων. Είναι πασιφανές ότι η λεπτομερής περιγραφή των όσο το δυνατόν περισσότερων παραγόντων μπορεί να οδηγήσει σε αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα, ενώ η αντίθετη περίπτωση, όπου σημαντικές συντελεστές δεν λαμβάνονται υπόψη, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές αστοχίες. Για παράδειγμα σε ένα μοντέλο δικτύου με μεγάλο αριθμό κόμβων είναι απαραίτητη η αναγνώριση όλων εκείνων των παραμέτρων, που θα συμβάλλουν στη λήψη σωστών οικονομικών αποφάσεων. Διαφορετικά ένας Τηλεπικοινωνιακός φορέας, που θα κατασκευάσει ένα τέτοιο οπτικό δίκτυο, αν δεν αναγνωριστούν οι διάφοροι παράμετροι και δεν βελτιωθούν ως προς το κόστος τότε διατρέχει τον κίνδυνο να επιλέξει μια ακατάλληλη τεχνολογική στρατηγική.

Οι μεταφορείς και οι φορείς παροχής υπηρεσιών έχουν χρησιμοποιήσει συνολικά διάφορες στρατηγικές στο σχεδιασμό των δικτύων. Μερικές από τις βασικές επιχειρησιακές παραμέτρους που οδηγούν στο σχεδιασμό οπτικών δικτύων περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Χαμηλές κύριες δαπάνες (CAPEX)
- Χαμηλές λειτουργικές δαπάνες (OPEX)
- Χαμηλό συνολικό κόστος της ιδιοκτησίας (TCO)
- Γρήγορη επιστροφή της επένδυσης (ROI)

Τα δίκτυα κατασκευάζονται, ώστε να εγγυηθούν με βάση τον τρόπο που χτίζονται και χρησιμοποιούνται ένα χαμηλό TCO, όπου ο όρος TCO (Total Cost of Ownership) μπορεί να οριστεί ως το άθροισμα των CAPEX και OPEX. Μερικοί χειριστές προτιμούν το ελάχιστο πρότυπο CAPEX εναντίον του ελάχιστου μοντέλου TCO. Για το ελάχιστο πρότυπο CAPEX ο πάροχος υπηρεσιών στοχεύει στη χαμηλότερη αρχική προσφορά από τους προμηθευτές, εφ' όσον καλύπτει τις απαιτήσεις, σε μια προσπάθεια να ξεκινήσει και να επεκταθεί η υποδομή του. Συνήθως, ελάχιστη προσοχή δίνεται στις λειτουργικές δαπάνες, τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα δικτύων, και τη διαχείριση στοιχείων. Στο ελάχιστο πρότυπο TCO, ο φορέας παροχής υπηρεσιών στοχεύει στο ελαχιστοποιημένο OPEX και CAPEX για την αρχιτεκτονική ενός δικτύου, γεγονός που απαιτεί βραχύ και μεσοπρόθεσμο προγραμματισμό.

Κατά κανόνα αποτελεί βασικό στόχο τα έσοδα να υπερβαίνουν τα έξοδα σε κάποια μορφή (υπειρέχονται παράγοντες όπως αποσβέσεις, φόροι, τόκοι, πληθωρισμός κτλ). Μέσα από μια εκτενή και αποτελεσματική

ανάλυση τόσο των εξόδων όσο και των εσόδων μπορεί να προκύψει το συμπέρασμα κατά πόσο αξίζει οικονομικά ή όχι η κατασκευή ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης. Το σαφές πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι ενώ τα έξοδα μπορούν να προβλεφτούν σε ένα αρκετά μεγάλο βαθμό, άλλα όχι σε απόλυτο διότι μπορεί να υπάρξουν τροποποιήσεις στο κόστος του απαιτούμενου εξοπλισμού ή στο εργατικό κόστος, αντίθετα τα έσοδα είναι σίγουρα αδύνατο να προσδιοριστούν με ακρίβεια μιας και είναι συνάρτηση του αριθμού των χρηστών- πελατών, καθώς και του ύψους της συνδρομητικής βάσης.

Κατά συνέπεια, η ανάπτυξη ενός τέτοιου δικτύου απαιτεί σημαντικές αρχικές επενδύσεις κεφαλαίων και ταυτόχρονα θεωρείται ζωτικής σημασίας για μία επιχείρηση η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας που βελτιστοποιεί τις κεφαλαιουχικές δαπάνες της (capital expenses) αλλά και τις δαπάνες απόσβεσης. Οι απαιτήσεις και οι τοπολογίες των Παρόχων υπηρεσιών δικτύων ποικίλουν σημαντικά και ως εκ τούτου η μοντελοποίηση του δικτύου πρέπει να είναι προσαρμοσμένη στα χαρακτηριστικά των Παρόχων. Τέλος, όταν μοντελοποιούνται τα οικονομικά στοιχεία ενός οπτικού δικτύου, είναι προτιμότερη η θεώρηση ενός μοντέλου συνολικού κόστους ιδιοκτησίας (TCO) παρά η σύγκριση μεμονωμένων στοιχείων κόστους.

5.2 Παράγοντες οικονομικών δραστηριοτήτων των FTTX δικτύων

Τα έσοδα και τα αντίστοιχα έξοδα διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης, όπως ήδη αναφέρθηκε. Είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον και αξιοσημείωτο το γεγονός κατά το οποίο αν και τα οπτικά δίκτυα είναι αρκετά προηγμένα από τεχνολογικής απόψεως, εντούτοις εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από έργα χαμηλής τεχνολογίας, όπως τη διάνοιξη τάφρων, τα οποία εκτιμάται ότι διαμορφώνουν περίπου τα $\frac{3}{4}$ του ολικού κόστους κατασκευής. Στην πραγματικότητα το κόστος της διάνοιξης τάφρων είναι σε απόλυτη συνάρτηση με τις εργατοώρες που θα διατεθούν για αυτή. Επιπλέον, υπάρχει τεράστια διαφορά στο κόστος κατασκευής τους ανάμεσα σε ένα FTTH και ένα FTTB δίκτυο. Παρ' όλο που έχουν ταυτόσημη αρχιτεκτονική και συνεπώς τα χιλιόμετρα των δικτύων είναι ακριβώς τα ίδια μέχρι την είσοδο του κτιρίου του συνδρομητή, εντούτοις η διαδρομή από αυτό το σημείο και μέχρι το χώρο του τελευταίου μπορεί να χρειαστεί πάρα πολύ χρόνο, που μεταφράζεται και σε χρήμα, καθυστερώντας σημαντικά την ολοκλήρωση του έργου και αυξάνοντας κατά πολύ το κόστος της κατασκευής. Αυτοί οι λόγοι συμβάλλουν στην κατασκευή ενός FTTB δικτύου έναντι ενός FTTH.

Επιπροσθέτως, ένα δίκτυο πρόσβασης οπτικών ινών αποτελείται από πληθώρα επιμέρους υλικών στοιχείων, όπου κάθε στοιχείο ξεχωριστά έχει διαφορετικό κόστος και διαφορετική διάρκεια ζωής. Εκτός όμως από τα υλικά αποτελείται και από φυσικούς παράγοντες όπως πάροχοι, ενοικιαστές, χρήστες αλλά και υπηρεσίες που προσφέρονται στο δίκτυο αυτό. Κατά συνέπεια, προκύπτουν αρκετοί παράγοντες που

συνεισφέρουν είτε σαν έσοδα είτε έξοδα σε ένα FTTH δίκτυο ή σαν οικονομικές δραστηριότητες γενικότερα. Ενδεικτικά μπορούν να ομαδοποιηθούν στις εξής κατηγορίες [22]:

- Παθητική υποδομή: Αποτελεί τη φυσική υποδομή η οποία χρησιμοποιείται για την παροχή ευρυζωνικής πρόσβασης και συνήθως αποτελείται από αγωγούς, σωληνώσεις, φρεάτια, καλώδια οπτικών ινών, οπτικούς κατανεμητές, χώρους φιλοξενίας των κόμβων διασύνδεσης, κ.λπ.
- Ενεργή υποδομή: Αποτελείται από τα στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων πάνω στην παθητική υποδομή. Τέτοια στοιχεία είναι π.χ. οι μεταγωγείς (switches) και οι δρομολογητές (routers).
- Παροχή υπηρεσιών: Είναι οι υπηρεσίες οι οποίες παρέχονται στους πελάτες όπως για παράδειγμα η πρόσβαση στο διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες, η τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (high definition TV), τηλεφωνία με χρήση βίντεο, βίντεο κατά απαίτηση κ.λπ.
- Εταιρεία λειτουργίας του δικτύου: Λειτουργεί την παθητική υποδομή και πιθανόν και την ενεργή υποδομή του δικτύου. Ανάλογα με το επιχειρηματικό μοντέλο, η εταιρεία αυτή πουλά πρόσβαση σε άλλες εταιρείες οι οποίες με τη σειρά τους παρέχουν υπηρεσίες στους πελάτες ή μπορεί να παρέχει και η ίδια απευθείας υπηρεσίες στους πελάτες. Επίσης, η εταιρεία αυτή μπορεί να είναι ο ιδιοκτήτης της παθητικής υποδομής ή μπορεί να έχει σχετικό συμβόλαιο με τον ιδιοκτήτη της υποδομής.
- Πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών και πάροχοι περιεχομένου: Οι εταιρείες αυτές παρέχουν υπηρεσίες και περιεχόμενο στους τελικούς χρήστες.
- Δημόσιος τομέας, οικιακοί και εταιρικοί χρήστες: Αποτελούν τους τελικούς χρήστες (συνδρομητές) και αποτελούνται από όλες τις επιχειρήσεις, τους κατοίκους και τους οργανισμούς του δημόσιου τομέα στην περιοχή την οποία εξυπηρετεί το ευρυζωνικό δίκτυο.

Εκτός, από τους παράγοντες που διαμορφώνουν τις οικονομικές δραστηριότητες των FTTH δικτύων υπάρχουν και δύο βασικά οικονομικά μεγέθη που σχετίζονται με τα δίκτυα FTTH, τα οποία είναι τα κόστη CAPEX και OPEX.

5.3 Ορισμός CAPEX

Ως CAPEX, ορίζονται οι δαπάνες και τα κόστη που σχετίζονται με την κατασκευή ή την επέκταση του πάγιου ενεργητικού, δηλαδή των σταθερών πόρων, όπως για παράδειγμα η υποδομή του δικτύου, οι οποίες υπόκεινται σε μείωση κατά τη διάρκεια της οικονομικής ζωής ενός προγράμματος ή ενός έργου. Με άλλα λόγια οι κεφαλαιουχικές δαπάνες ή το CAPEX είναι τα κεφάλαια που χρησιμοποιεί μια επιχείρηση για να

αποκτήσει, να αναβαθμίσει και να διατηρήσει φυσικά περιουσιακά στοιχεία όπως ακίνητα, βιομηχανικά κτίρια ή εξοπλισμό.

Το CAPEX χρησιμοποιείται συχνά για την ανάληψη νέων έργων ή επενδύσεων από την επιχείρηση. Αυτός ο τύπος χρηματοοικονομικών εξόδων πραγματοποιείται επίσης από εταιρείες προκειμένου να διατηρήσουν ή να αυξήσουν το εύρος των δραστηριοτήτων τους. Η ανάλυση του CAPEX βασίζεται γενικά στις φυσικές και λογικές απαιτήσεις σε πόρους. Η κατασκευή ενός δικτύου, η υλοποίηση δικτυακών συσκευών και η απόκτηση συστημάτων λογισμικού περιλαμβάνουν σημαντικά χρηματικά ποσά για την αγορά απαραίτητων συσκευών ή πληροφοριακών συστημάτων.

Στα ευρυζωνικά δίκτυα, το κόστος CAPEX αποτελείται από τα κατωτέρω:

- Παθητικό εξοπλισμό: περιλαμβάνει εγκατάσταση σωληνώσεων, μικροσωληνώσεων, καταναμητών και οπτικών ινών, εργασίες εκσκαφής, δημιουργία φρεατίων, κ.λ.π.
- Ενεργό εξοπλισμό: περιλαμβάνει μεταγωγείς (switches), δρομολογητές (routers) και δέκτες (transceivers), κ.λ.π.
- Εργασίες: περιλαμβάνει εκσκαφές, συγκολλήσεις, αποκαταστάσεις, κ.λ.π.

Οι τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία έχουν οδηγήσει σε σημαντική μείωση του κόστους υλοποίησης των ευρυζωνικών δικτύων. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι τα τελευταία 5 χρόνια το κόστος έχει μειωθεί κατά 40% με 50%, γεγονός που οφείλεται στους παρακάτω λόγους:

- Διαθεσιμότητα από άκρο σε άκρο (end-to-end) λύσεων για την υλοποίηση ευρυζωνικών δικτύων.
- Εισαγωγή της τεχνολογίας tube-in-tube με τη χρήση μικροσωληνώσεων όπου οι οπτικές ίνες εισάγονται λίγο πριν χρησιμοποιηθούν και όχι από την αρχή της υλοποίησης του ευρυζωνικού δικτύου.
- Νέας γενιάς υψηλής χωρητικότητας συσκευές διασύνδεσης.

5.3.1 Παράγοντες που διαμορφώνουν το κόστος CAPEX ενός δικτύου FTTX

Το δίκτυο οπτικών ινών έχει αρκετά σημαντικό αρχικό κόστος κατασκευής και εγκατάστασης παθητικού εξοπλισμού, το οποίο κατ' εκτίμηση αγγίζει το 70% του συνολικού κόστους. Το κόστος CAPEX για την κατασκευή του παθητικού εξοπλισμού περιλαμβάνει:

- Το κόστος δημιουργίας του δικτύου, το οποίο περιλαμβάνει τις εργασίες εκσκαφής, τη δημιουργία φρεατίων, την προμήθεια και εγκατάσταση μικροσωληνώσεων ή σωληνώσεων και την προμήθεια και εγκατάσταση οπτικών ινών.

- Το κόστος δημιουργίας των κόμβων του δικτύου, το οποίο περιλαμβάνει την προμήθεια και εγκατάσταση των χώρων στέγασης των κόμβων, την προμήθεια και εγκατάσταση ικριωμάτων παθητικού και ενεργού, τον απαραίτητο ενεργό εξοπλισμό, διατάξεις κλιματισμού και UPS και συστήματα ελέγχου πρόσβασης.
- Το κόστος τοποθέτησης παθητικού εξοπλισμού στους χρήστες, το οποίο περιλαμβάνει την προμήθεια και εγκατάσταση επιτοιχίων κιβωτίων τερματισμού. Επίσης, ανάλογα με την πολιτική που θα ακολουθηθεί, μπορεί να προβλέπεται και η εγκατάσταση ενεργού εξοπλισμού σε επιλεγμένους χρήστες.
- Το κόστος εγκατάστασης τυχόν ασύρματου εξοπλισμού για τη διασύνδεση κάποιων σημείων στο δίκτυο. Το κόστος αυτό περιλαμβάνει το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης ιστών για την εγκατάσταση κεραιών, κεραιές καθώς και τον απαραίτητο ενεργό εξοπλισμό.

Το συνολικό κόστος δημιουργίας του οπτικού δικτύου προκύπτει από το άθροισμα των παραπάνω επιμέρους κοστών. Αναπόφευκτα τα κυρίαρχα κόστη σε ένα νέο δίκτυο FTTH είναι οι οικοδομικές εργασίες, οι αγωγοί και τα καλώδια. Αξίζει να επισημανθεί ότι στις ημιαστικές και αγροτικές περιοχές εξαιτίας των μεγαλύτερων αποστάσεων τα καλώδια και οι αγωγοί έχουν υψηλότερο κόστος CAPEX από ότι το συνολικό κόστος ανάπτυξης του FTTH σε αστικό περιβάλλον. Επιπλέον, φαίνονται οι παράγοντες κόστους ενός δικτύου FTTH ποικίλουν ανάλογα με το τμήμα του δικτύου που μελετάται, όπως π.χ. το κεντρικό γραφείο (CO), η διανομή ή τα έξοδα εγκατάστασης μίας οικίας. Τέλος, οι παράγοντες που δρουν καταλυτικά και αυξάνουν τα προαναφερθέντα κόστη επένδυσης ενός τέτοιου δικτύου είναι η χαμηλότερη πυκνότητα νοικοκυριών, οι υψηλότερες γραμμικές αποστάσεις μεταξύ τους, ο μικρότερος αριθμός σπιτιών που υποστηρίζονται ανά κεντρικό γραφείο (CO), οι περισσότερες υπόγειες συσκευές και οι ακριβότερες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες, ανάλογα με τις προτιμήσεις των συνδρομητών.

5.4 Ορισμός OPEX

Ως κόστος OPEX, ορίζονται οι δαπάνες που είναι απαραίτητες για τη διεύθυνση της επιχείρησης ή του εξοπλισμού και ταυτόχρονα αναγκαίες για να διατηρήσουν τις προσφερόμενες υπηρεσίες. Προκύπτει από το τρέχον κόστος που μια επιχείρηση πληρώνει για να εκτελέσει τις βασικές της δραστηριότητες. Γενικά, ως κόστος OPEX μπορούν να οριστούν όλα εκείνα τα στοιχεία δαπανών, τα οποία δεν συμπεριλαμβάνονται στο αντίστοιχο κόστος CAPEX. Στην πραγματικότητα, τα όρια ανάμεσα στο CAPEX και OPEX δεν είναι πάντα σαφώς καθορισμένα. Ορισμένες δαπάνες, όπως εκείνες που σχετίζονται με το λογισμικό, για παράδειγμα, είναι στα όρια ανάμεσα στο CAPEX και το OPEX, επειδή συσχετίζονται και με τα δύο. Κατά συνέπεια, τα κόστη για την αγορά συστημάτων υλικού και λογισμικού ορίζονται ως CAPEX, αλλά η λειτουργία και η συντήρηση αυτών των συστημάτων, οι δαπάνες που σχετίζονται με το εργατικό δυναμικό και οι δαπάνες ανανέωσης αδειών συμπεριλαμβάνονται στο OPEX.

Στα ευρυζωνικά δίκτυα, το κόστος OPEX αποτελείται από τα κατωτέρω:

- Κόστος το οποίο σχετίζεται με τον εξοπλισμό, για παράδειγμα η προληπτική συντήρηση, η κατανάλωση ενέργειας, το κόστος χρήσης χώρων (ενοίκια), κ.λπ.
- Κόστος το οποίο σχετίζεται με το χρήστη, για παράδειγμα η εγκατάσταση εξοπλισμού, η χρέωση, το κέντρο λειτουργίας δικτύου, κ.λπ.

Καθώς τα λειτουργικά έξοδα αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του τακτικού κόστους συνήθως εξετάζονται τρόποι μείωσης των λειτουργικών εξόδων, χωρίς όμως να προκαλούν σημαντική πτώση στην ποιότητα ή την παραγωγή.

5.4.1 Παράγοντες που διαμορφώνουν το κόστος OPEX ενός δικτύου FTTH

Τα έξοδα λειτουργίας (OPEX) αποτελούν έναν εν' γένει μικρότερο παράγοντα κόστους συγκριτικά με τα έξοδα κατασκευής ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης και καλύπτουν ποικίλους ρόλους σε ένα δίκτυο FTTH, όπως το διαχειριστή υπηρεσιών, το διαχειριστή δικτύων, τον υπεύθυνο υπηρεσιών, τον πάροχο υπηρεσιών κ.λπ. Επιπλέον, αφορούν διαφορετικά είδη έργων που απασχολούνται είτε με τη δημιουργία νέων υπηρεσιών ή προϊόντων είτε με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών και πλατφορμών. Τα ετήσια έξοδα συντήρησης θεωρούνται πρακτικά σταθερά και συνήθως περιλαμβάνουν τα μισθώματα, έξοδα συντήρησης, μισθοδοσίας, παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, κλιματισμού κ.α.

Τα στοιχεία OPEX σχετίζονται με ανάλυση ταμειακών ροών (cash flow analysis) και ενδεικτικά είναι:

- Συντήρηση του εξοπλισμού και των συσκευών. Περιλαμβάνει όλες τις επαναλαμβανόμενες δαπάνες που είναι απαραίτητες για τη συνεχή λειτουργία των δικτύων και των υπηρεσιών, τη συντήρηση και την επιδιόρθωση. Ωστόσο, οι νέες επενδύσεις σε νεότερες εκδόσεις του εξοπλισμού με αναβαθμισμένες λειτουργικότητες θεωρούνται ότι εντάσσονται στο CAPEX.
- Άδειες εξοπλισμού και λογισμικού, υπεργολαβίες συντήρησης (maintenance outsourcing) και περιλαμβάνει ετήσιες δαπάνες από τον πάροχο στον προμηθευτή εξοπλισμού μετά την αγορά του αντίστοιχου εξοπλισμού.
- Ενοίκιο φυσικών δικτυακών χώρων. Τα συγκεκριμένα στοιχεία είναι σχετικά με τους παρόχους υπηρεσιών ή τους εικονικούς χειριστές (virtual operators) που δεν κατέχουν τις δικτυακές πλατφόρμες ή τις υποδομές, αλλά τις νοικιάζουν από άλλους. Επίσης, τα μισθώματα αναφέρονται στη μίσθωση του κεντρικού γραφείου (CO) και σε πιθανή ετήσια πληρωμή κάποιου OTA για τα δικαιώματα διέλευσης.

- Διαχείριση δικτύων. Περιλαμβάνει την επίβλεψη και τον έλεγχο των στοιχείων του δικτύου, καθώς και την εφαρμογή συστημάτων υποστήριξης λειτουργίας.
- Διαχείριση υπηρεσιών και ανάπτυξη προϊόντων. Περιλαμβάνει την επίβλεψη και τον έλεγχο των υπηρεσιών και της ποιότητας και ταυτόχρονα το σχεδιασμό και την ανάπτυξη των δικτύων και των υπηρεσιών
- Μισθοδοσία: Μεταξύ άλλων περιλαμβάνει την εξυπηρέτηση πελατών, τηλεφωνική και τεχνική υποστήριξη, χειρισμό καταγγελιών, συλλογή δεδομένων, χρέωση, τιμολόγηση, λειτουργία γραφείων βοήθειας και λειτουργία διαχείρισης σχέσεων πελατών. Το κόστος μισθοδοσίας εξαρτάται από το πλήθος των εργαζομένων και προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους ετήσιων αποδοχών όλων των εργαζομένων.
- Πωλήσεις, μάρκετινγκ και απόκτηση πελατών. Αυτό το στοιχείο προορίζεται για να καλύψει τις δραστηριότητες που αφορούν τη λιανική και χονδρική αγορά και επιμερίζεται σε κόστος απόκτησης πελατών, κόστος διαφήμισης και Marketing.

5.5 Μείωση κόστους ενός δικτύου FTTH

Τα έξοδα λειτουργίας του οπτικού δικτύου οπτικών ινών είναι συγκριτικά λιγότερα από τα έξοδα κατασκευής του και περιλαμβάνουν τις δαπάνες για μισθώματα, έξοδα συντήρησης, μισθοδοσίας, παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, κλιματισμού κ.τ.λ. Τα μισθώματα αναφέρονται στη μίσθωση του Κεντρικού Γραφείου ή ακόμα και σε κάποια πιθανή ετήσια πληρωμή κάποιου Δήμου για τα δικαιώματα διέλευσης. Το κόστος μισθοδοσίας εξαρτάται από το πλήθος των εργαζομένων και προκύπτει από τις ετήσιες αποδοχές των εργαζομένων. Επιπλέον, συνυπολογίζεται ένα ποσοστό περίπου του 10% επί των συνολικών των λειτουργικών εξόδων για τα λοιπά λειτουργικά έξοδα. Γενικότερα, τα ετήσια έξοδα συντήρησης θεωρούνται σταθερά και υπολογίζονται στο 0.5% περίπου της συνολικής αξίας του αντίστοιχου εξοπλισμού, ενώ για τον ενεργό οπτικό εξοπλισμό ανέρχονται στο 8%.

Ως επί το πλείστον, το πλαίσιο της οικονομικής μοντελοποίησης περιλαμβάνει βελτιστοποίηση τόσο των επενδύσεων κεφαλαίου (CAPEX) όσο και των επενδυτικών εξόδων (OPEX) για τις τεχνολογικές επιλογές που εφαρμόζονται στα δίκτυα οπτικών ινών. Τα έσοδα των υπηρεσιών που υποστηρίζονται από τις επιλογές πρόσβασης είναι κοινά και ως εκ τούτου δεν συμπεριλαμβάνονται σε αυτό το μοντέλο.

Συγκεκριμένα, για να κρατηθεί σε χαμηλά επίπεδα το κόστος CAPEX πρέπει:

- να γίνει ένας προσεκτικός σχεδιασμός του δικτύου (planning) και των απαιτούμενων υλικών του (logistics)

- να γίνει χρήση ευέλικτων και ασφαλών τεχνικών στην εγκατάσταση οπτικών ινών, όπως για παράδειγμα υλοποίηση του δικτύου με χρήση μικροσωληνώσεων
- να υπάρξει μία ισχυρή διείσδυση του δικτύου σε μεγάλο αριθμό χρηστών/συνδέσεων, ώστε να μειωθεί το κόστος CAPEX/πελάτη κ.λ.π.

Αντίστοιχα, προκειμένου να κρατηθεί χαμηλά το κόστος OPEX, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω θέματα:

- Χρήσης self-service portals.
- Χρήση outsourcing για τις υπηρεσίες που έχουν σχέση με το περιεχόμενο.
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.
- Η ισχυρή διείσδυση του δικτύου οδηγεί σε μείωση του OPEX ανά πελάτη.
- Χρήση «ασφαλών» πολιτικών στην εγκατάσταση οπτικών ινών (π.χ. υλοποίηση του δικτύου με χρήση συστοιχιών μικροσωληνώσεων).
- Χρήση εξοπλισμού με μεγάλη διάρκεια ζωής. Αυτό σχετίζεται και με το CAPEX, καθώς ενδεχόμενη χρήση τέτοιου εξοπλισμού μεγαλώνει το CAPEX.

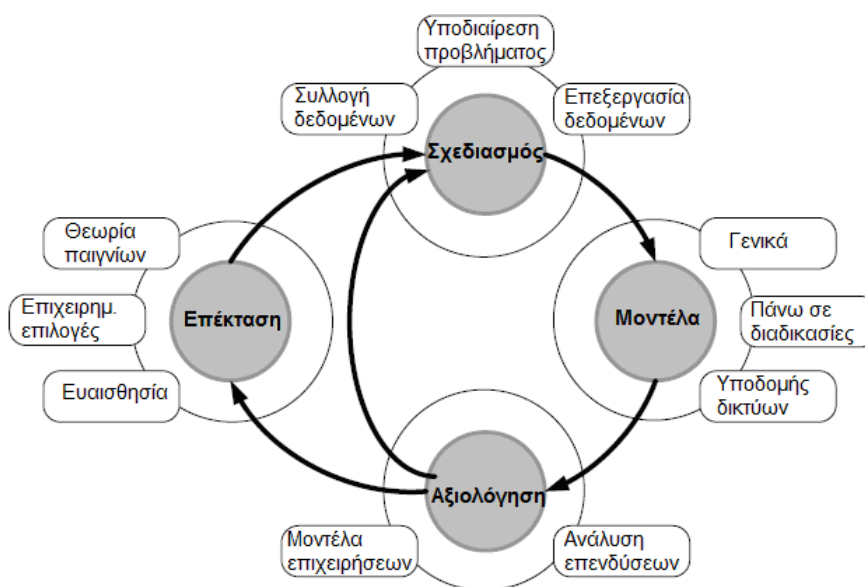
Τέλος, το συνολικό κόστος για την κατασκευή ενός ευρυζωνικού δικτύου εξαρτάται από τον εξοπλισμό, ο οποίος προσφέρεται στους τελικούς χρήστες, τη χρέωση της διασύνδεσης στο δίκτυο και τον έλεγχο και τη συντήρηση του δικτύου. Στην πραγματικότητα το ποσό της χρηματοδότησης του δικτύου εξαρτάται σημαντικά από το ποσό το οποίο είναι διατεθειμένοι οι χρήστες του δικτύου να πληρώσουν για την χρήση του, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ώστε να υπάρχει υψηλή διείσδυση και κατά συνέπεια χαμηλό CAPEX και OPEX ανά διασυνδεδεμένο χρήστη.

5.6 Επιχειρησιακή μελέτη δικτύου FTTH

Η ανάγκη να κρατηθούν χαμηλά τα κόστη των στοιχείων CAPEX και OPEX, οδηγεί τις επιχειρήσεις στη χρήση μεθοδολογιών για την κατασκευή επιχειρησιακού πλάνου για την ανάπτυξη ενός δικτύου FTTH. Ως επιχειρησιακό πλάνο ή επιχειρησιακή μελέτη (business case) ορίζεται η συλλογή των περιγραφικών και αναλυτικών πληροφοριών σχετικά με την επένδυση σε πόρους και οι δυνατότητες για την κατασκευή και συντήρηση ενός έργου. Βασίζεται κυρίως στον κύκλο πλάνο – ενέργεια – έλεγχος – δράση (PDCA cycle – plan, do, check, act), που περιγράφηκε αρχικά από τον Shewhart και επεκτάθηκε εν συνεχεία από τον Deming. Η κυκλική φύση των προσεγγίσεων είναι σημαντική, γιατί επιτρέπει τη σταδιακή βελτίωση των επιχειρησιακών πλάνων μέσω έρευνας.

Ο κύκλος Deming αποτελείται από 4 φάσεις: πλάνο (plan), ενέργεια (do), έλεγχος (check) και δράση (act). Στόχος είναι να αυξάνεται η ποιότητα της παραγωγικής διαδικασίας με αλλαγές πάνω σε αυτή. Συγκεκριμένα, το πρώτο στάδιο (plan) καθορίζει το πεδίο δράσης του επιχειρησιακού σχεδίου. Ξεκινάει με ένα πλάνο, που περιέχει το σκοπό του σχεδίου, τα στοιχεία που θα ληφθούν υπόψη, καθώς και την προέλευση των δεδομένων εισόδου και εν συνεχεία προχωράει στην υλοποίηση του (do). Στη φάση του ελέγχου (check) τα αποτελέσματα της αλλαγής μετρώνται, αναλύονται και ερμηνεύονται, προκειμένου να προσδιοριστεί αν υπάρχει βελτίωση. Στο τελευταίο στάδιο (act) οι δυνατότητες για βελτίωση εξάγονται και ανατροφοδοτούν τον κύκλο, ώστε να υπάρχει ένας συνεχής κύκλος βελτίωσης του αρχικού επιχειρησιακού σχεδίου.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη ενός έργου FTTH προσαρμόζει τον Deming κύκλο στην τεχνοοικονομική αποτίμηση ενός επιχειρησιακού πλάνου (business case) [23], [24]. Το πλάνο (plan) συμπίπτει με τη φάση του Σχεδιασμού, ενώ στην επόμενη φάση είναι το Μοντέλο, που αναφέρεται στις απαραίτητες υλοποιήσεις των υπολογιστικών μοντέλων και συμπίπτει με το στάδιο ενέργεια (do) του κύκλου Deming. Ο έλεγχος από την άποψη των επιχειρησιακών πλάνων, περιλαμβάνει την τεχνοοικονομική αξιολόγηση, που πραγματοποιείται είτε με παραδοσιακές μεθόδους αξιολόγησης (φάση Αξιολόγηση) είτε προηγμένες μεθόδους (φάση Επέκταση)¹⁰. Τέλος, το βήμα δράση (acting) του κύκλου Deming θα μπορούσε να σχετιστεί με την αναφορά ή δημοσίευση των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 4: Μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στην τεχνοοικονομική μελέτη ενός δικτύου FTTH (Πηγή: Casier, 2009)

¹⁰ Σε πολλές περιπτώσεις οι παραδοσιακές μέθοδοι αξιολόγησης είναι επαρκείς για την εκτίμηση ενός επιχειρησιακού πλάνου κι έτσι ο κύκλος σταματάει σε αυτή τη φάση. Το στάδιο της επέκτασης είναι αναγκαίο όταν θέλουμε βελτίωση του πλάνου. Όταν γίνει επέκταση κάποια στιγμή, μεταγενέστερα συμβαίνει σπανιότερα.

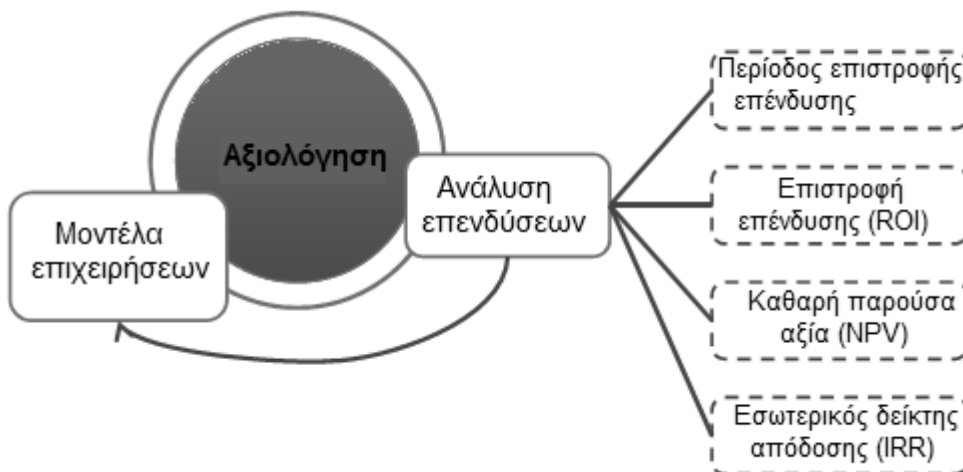
Στο πρώτο στάδιο στη φάση του σχεδιασμού καθορίζεται το πεδίο δράσης του επιχειρησιακού σχεδίου και ο σκοπός του, ενώ καθορίζεται και η προέλευση των δεδομένων εισόδου. Τόσο το αρχικό πρόβλημα όσο και το σύνολο των δεδομένων μπορούν να χωριστούν σε υποκατηγορίες για καλύτερη επεξεργασία. Στη φάση αυτή επίσης, ορίζονται το επίπεδο λεπτομέρειας και ο χρονικός ορίζοντας σχεδιασμού του έργου. Η συλλογή δεδομένων και η ανάπτυξη του γνωστικού υποβάθρου για την μελέτη του επιχειρησιακού σχεδίου είναι δύσκολη διαδικασία. Ωστόσο, είναι εμφανές ότι όσο περισσότερη πληροφορία είναι διαθέσιμη προς μελέτη και επεξεργασία, τόσο περισσότερο ρεαλιστική είναι η παρουσίαση του προβλήματος και πιο αξιόπιστη η λύση που θα προκύψει, επιφέροντας πραγματική βελτίωση. Τα δεδομένα εισόδου που ενδιαφέρουν για την ανάπτυξη ενός δικτύου FTTH αφορούν κυρίως τρεις κατηγορίες:

- **Περιοχή:** είναι πρακτικά αδύνατο ένα δίκτυο να αναπτυχθεί σε μία μεγάλη περιοχή εξαιτίας νομικών και πρακτικών περιορισμών, όπως απαραίτητες άδειες για εγκαταστάσεις, περιορισμός χρόνου και εργατικού δυναμικού, με αποτέλεσμα να γίνεται προσεκτική επιλογή των περιοχών όπου θα αναπτυχθεί το δίκτυο. Επίσης, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι υποδομές, που αφορούν υπάρχοντα δίκτυα και εξοπλισμούς ή επανάχρηση εγκαταστάσεων
- **Αγορά:** αφορά τους συμμετέχοντες (πελάτες, ενοικιαστές δικτύου, διαχειριστές δικτύου, πάροχοι) και τους χρήστες (οικιακοί, εμπορικοί, βιομηχανικοί) που θα εξυπηρετούνται από το οπτικό δίκτυο, καθώς και τους τύπους υπηρεσιών που μπορεί να παρέχει το δίκτυο (π.χ. triple play, εύρος δεδομένων, τηλεδιάσκεψη κ.λ.π)
- **Τεχνολογία:** επιλέγεται η τεχνολογία του οπτικού δικτύου που θα χρησιμοποιηθεί (π.χ. Home Run, AON, PON κ.λ.π). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και οι δαπάνες του δικτύου, τόσο οι κεφαλαιουχικές (CAPEX) όσο και οι λειτουργικές (OPEX), οι οποίες με τη σειρά τους υποδιαιρούνται σε κατηγορίες όπως δαπάνες εξοπλισμού (π.χ. CAPEX: γη, κτίρια, παθητικές συσκευές, εξοπλισμός και OPEX: κατανάλωση ενέργειας) και δραστηριοτήτων (π.χ. CAPEX: εγκατάσταση δικτύου και OPEX: συντήρηση και επιδιόρθωση δικτύου).

Το δεύτερο στάδιο (Do) στο επιχειρησιακό πλάνο είναι η φάση μοντελοποίησης. Η μοντελοποίηση είναι απαραίτητη για τον ακριβή προσδιορισμό των δαπανών αλλά και εσόδων στο έργο. Χρησιμοποιούνται δύο προσεγγίσεις: την πάνω προς τα κάτω (top – down) και την κάτω προς τα πάνω (bottom – up). Επίσης, ορίζεται το επίπεδο λεπτομέρειας στη μοντελοποίηση. Αξίζει να επισημανθεί ότι τόσο η προσέγγιση της μοντελοποίησης όσο και το επίπεδο λεπτομέρειας επηρεάζονται από τη διαθεσιμότητα των πηγών δεδομένων, δεδομένου ότι λεπτομερείς πληροφορίες για το προσωπικό και το χρονοδιάγραμμα των εργασιών επιτρέπουν πιο εξειδικευμένη μοντελοποίηση. Η καλύτερη στρατηγική επικεντρώνεται αρχικά στην ακριβή μοντελοποίηση των στοιχείων που έχουν το μεγαλύτερο κόστος και μειώνει τη λεπτομέρεια καθώς μελετά πιο οικονομικά στοιχεία. Ωστόσο, επειδή είναι δύσκολο να αποφασιστεί εκ των προτέρων ποια είναι η μεγαλύτερη συνιστώσα του κόστους, συνήθως χρησιμοποιούνται εμπειρικές και θεωρητικές

προβλέψεις, ενώ η επαναληπτική προσέγγιση βοηθάει στην προσαρμογή των μοντέλων και την απόκτηση εμπειρίας.

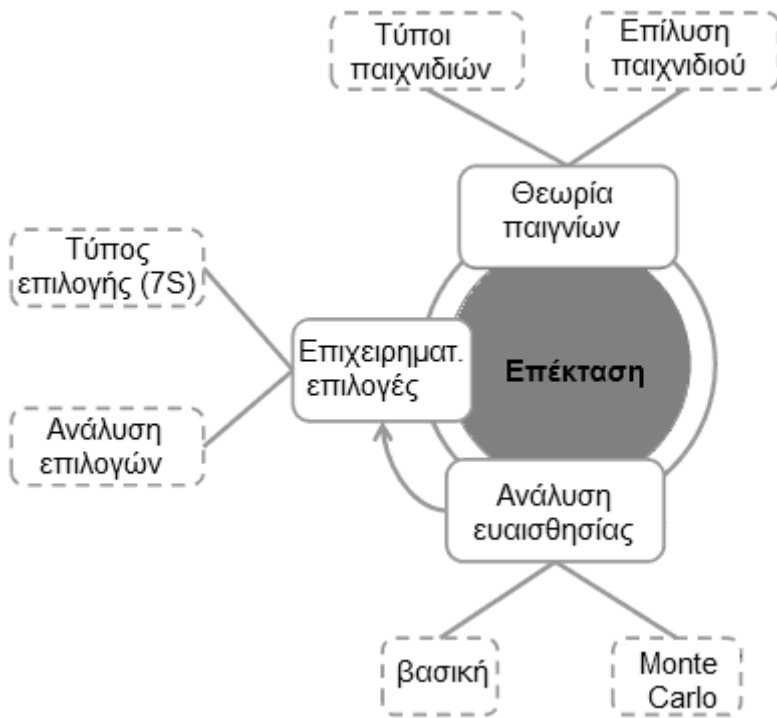
Το τρίτο στάδιο (check) είναι αυτό της αξιολόγησης. Σε αυτό γίνεται η ανάλυση των επενδύσεων, δηλαδή η ανάλυση των ταμειακών ροών για κάθε χρονική στιγμή, προκειμένου να αξιολογηθεί η αποδοτικότητα του έργου, το ετήσιο κόστος της επένδυσης και τα κέρδη. Επενδύοντας μεγάλα χρηματικά ποσά σε ένα έργο, ένας Πάροχος αξιώνει ανάκτηση των ποσών μετά το τέλος του έργου, με τη μορφή κερδών. Το κέρδος αυτό εκφράζεται ως ποσοστό % για κάθε χρόνο. Το κέρδος που αναμένει κάποιος όταν επενδύσει σε ένα τέτοιο έργο εξαρτάται από το ρίσκο του έργου και το μέγεθος της επένδυσης. Λαμβάνοντας υπόψη τις επενδύσεις μιας εταιρίας, το ελάχιστο κέρδος καθορίζεται από το επιτόκιο που η εταιρία είναι διαθέσιμη να πληρώσει για να χρηματοδοτήσει τους πόρους της. Το κέρδος συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 8 και 11% [25], είναι κάπου και αντικατοπτρίζεται στα αποτελέσματα μέσω ταμειακών ροών προεξόφλησης (Discounted Cash Flow – DCF), που συνυπολογίζουν την αξία των ροών με την πάροδο του χρόνου.



Εικόνα 7: Φάση αξιολόγησης της μεθοδολογίας (Πηγή: C.L.O.V., 2009)

Το τέταρτο στάδιο (act) είναι αυτό της δράσης. Σε αυτή τη φάση υπολογίζονται οι ταμειακές ροές και η καθαρή παρούσα αξία, ώστε να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις με άλλες μελέτες για να βρεθεί πόσο αποδοτικό είναι το έργο. Ωστόσο, μπορούν να γίνουν επεκτάσεις ή εκλεπτύνσεις σε διάφορες κατευθύνσεις. Μια κατεύθυνση προέρχεται από το γεγονός ότι δεν έχουμε πληροφορίες για αβεβαιότητες και κινδύνους στο έργο (π.χ. θα αυξηθούν/μειωθούν οι τιμές των εξοπλισμών, θα υπάρχουν περισσότεροι/λιγότεροι πελάτες κ.λπ.), με αποτέλεσμα να γίνεται χρήση της ανάλυσης ευαισθησίας (sensitivity analysis). Η ανάλυση ευαισθησίας είναι απαιτούμενη ειδικά όταν υπάρχουν αβεβαιότητες για κάποιες παραμέτρους εισόδου (διείσδυση έργου, κόστη CAPEX και OPEX, έσοδα), ενώ προσφέρει μια ευρύτερη άποψη πάνω στους κινδύνους του έργου. Μια άλλη δυσκολία που προκύπτει είναι η αβεβαιότητα και οι εσκεμμένες ενέργειες που γίνονται για την αντιμετώπιση της, όπου τότε

χρησιμοποιούνται αναλύσεις πραγματικών επιχειρηματικών επίλογων (real options valuation). Τέλος, εφαρμόζονται μέθοδοι θεωρίας παιγνίων (game theory), αφού μια εταιρεία λειτουργεί σε ανταγωνιστικό αλλά και συνεργατικό επίπεδο και πρέπει να διαλέγει μια συγκεκριμένη υπόθεση στον τρόπο που υλοποιεί κάποιο έργο της.



Εικόνα 7: Φάση επέκτασης της μεθοδολογίας (Πηγή: : C.L.O.V., 2009)

Κεφάλαιο 6 – Χρηματοοικονομική ανάλυση και αξιολόγηση της επένδυσης

6.1 Στόχοι χρηματοοικονομικής ανάλυσης και αξιολόγησης της επένδυσης

Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται η χρηματοοικονομική ανάλυση και η αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου το οποίο προτείνεται. Στόχος της ανάλυσης αυτής είναι ο εντοπισμός των ενδεχόμενων αδυναμιών σε χρηματοοικονομικό επίπεδο και η εφαρμογή των απαραίτητων βελτιώσεων, ώστε να αντισταθμιστεί ο επιχειρηματικός κίνδυνος.

Σε πρώτη φάση, η χρηματοοικονομική ανάλυση περιλαμβάνει την εκτίμηση των απαιτούμενων εισροών, καθώς και των προβλεπόμενων εκροών που συνεπάγονται της επένδυσης. Ο κυριότερος παράγοντας στην περίπτωση αυτή είναι η μεταμόρφωση των χρηματοοικονομικών πόρων σε παραγωγικό ενεργητικό, το οποίο θα αντιπροσωπεύεται από τις πάγιες επενδύσεις και το καθαρό κεφάλαιο κίνησης, καθώς και η δημιουργία ρευστότητας κάνοντας χρήση αυτού του ενεργητικού.

Εν συνεχεία, η μετατροπή των χρηματοοικονομικών πόρων σε παραγωγικό ενεργητικό, που αντιστοιχεί στη χρηματοδότηση της επένδυσης, περιλαμβάνει το σχεδιασμό κατάλληλης χρηματοοικονομικής δομής, λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες κάτω από τις οποίες τα κεφάλαια θα μπορούσαν να διατεθούν. Η αξιολόγηση, λοιπόν, της επένδυσης αποτελείται από το σχεδιασμό και την ανάλυση εναλλακτικών σχεδίων εκροών με στόχο την επιλογή εκείνου που προσφέρει τη μέγιστη δυνατή απόδοση επί του επενδύμενου κεφαλαίου.

Σε τελική ανάλυση, η αξιολόγηση της επένδυσης παρέχει μια συνολική εικόνα, ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο το επενδυτικό πρόγραμμα είναι χρηματοοικονομικά εφικτό και εναρμονίζεται με το υπάρχον επιχειρηματικό περιβάλλον, στα πλαίσια του οποίου προβλέπεται να υλοποιηθεί. Με τον τρόπο αυτό, εκτιμάται η βιωσιμότητα του επενδυτικού σχεδίου και κατ' επέκταση, προσδιορίζεται η ελκυστικότητα της προτεινόμενης επένδυσης για κάθε πιθανό επενδυτή.

6.2 Περιγραφή έργου

Στην παρούσα εργασία αναλύεται μία μελέτη περίπτωσης για την κατασκευή και εμπορική αξιοποίηση ενός μελλοντικού δικτύου FTTC στην περιοχή της Εκάλης, που ευρίσκεται στα βόρεια προάστια της Αθήνας και συγκεκριμένα στην Ανατολική Αττική. Η Εκάλη εντάσσεται στα πλαίσια της συνεχούς αναβάθμισης και αναδιάρθρωσης των δικτύων πρόσβασης και γενικότερης προώθησης των νέων τεχνολογιών επικοινωνίας στην κοινωνία, ακολουθώντας τις τεχνολογικές εξελίξεις.

Με το υπό μελέτη έργο γίνεται αναβάθμιση του δικτύου σε επιλεγμένα καφάο του Αστικού Κέντρου της Εκάλης για την υποστήριξη ευρυζωνικών υπηρεσιών παρούσας και μελλοντικής τεχνολογίας, ενώ περιλαμβάνει εγκατάσταση οπτικής ίνας από το κεντρικό γραφείο (CO) μέχρι τα καφάο (FTTC), με σκοπό να

παρέχονται μεγαλύτερες ταχύτητες πρόσβασης στους χρήστες/συνδρομητές. Συγκεκριμένα, στην κατασκευή περιλαμβάνονται κατάργηση μερικών υπαίθριων κατανεμητών με νέες μονάδες οπτικού δικτύου και με ταυτόχρονη εξυπηρέτηση των συνδρομητών από τις νέες καμπίνες. Επιπλέον, πραγματοποιείται σύνδεση των νέων Μονάδων Οπτικού Δικτύου με το Αστικό κέντρο μέσω Οπτικών Καλωδίων με παράλληλη λειτουργία των υφιστάμενων Καλωδίων Κυρίου Δικτύου. Τέλος, το υφιστάμενο Δίκτυο Διανομής των υπαίθριων κατανεμητών θα υποστηρίζεται από τις νέες μονάδες οπτικού δικτύου.

Το νέο Δίκτυο Οπτικής πρόσβασης ακολουθεί την αρχιτεκτονική Point-to-Multipoint. Για την υλοποίηση της κατασκευής του συγκεκριμένου έργου θα χρησιμοποιηθούν υλικά παλαιάς και νέας τεχνολογίας (πολυσωλήνια, μικροσωληνώσεις και μικροκαλώδια). Στη διαδρομή του Οπτικού Καλωδίου κατασκευάζεται Μικροτάφρος με δυνατότητες ικανοποίησης μελλοντικών Τηλεπικοινωνιακών αναγκών. Κατά μήκος του δικτύου όπως επίσης και σε κάθε κομβικό σημείο του υπάρχουν εγκατεστημένα φρεάτια που εξυπηρετούν τις ανάγκες πρόσβασης σε αυτά. Τέλος, θα αξιοποιηθούν και κάποιες από τις υφιστάμενες σωληνώσεις. Μετά την υλοποίηση της μελέτης οι υπηρεσίες ευρυζωνικότητας θα παρέχονται από το Οπτικό Δίκτυο.

6.3 Ανάλυση συνολικού κόστους επένδυσης

Η αξιολόγηση του παρόντος έργου προϋποθέτει τις αξιόπιστες εκτιμήσεις του κόστους, ώστε να ελεγχθούν όλα εκείνα τα στοιχεία του, που έχουν επίδραση στη χρηματοοικονομική εφικτότητα του επενδυτικού σχεδίου. Αναλυτικότερα, το συνολικό κόστος της επένδυσης προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

Κόστος Επένδυσης = Πάγιο Ενεργητικό + Καθαρό Κεφάλαιο Κίνησης

Το Πάγιο Ενεργητικό αποτελείται από τις πάγιες επενδύσεις (πόροι για την κατασκευή του οπτικού δικτύου και την αγορά αντίστοιχου τεχνολογικού εξοπλισμού). Ο υπολογισμός του κόστους για την κάλυψη των απαιτούμενων σημείων προϋποθέτει να σκαφτούν χαντάκια μέσα στα οποία θα τοποθετηθούν σωληνώσεις, οι οποίες θα περιέχουν τα απαιτούμενα καλώδια από το κεντρικό γραφείο (CO) μέχρι τα σημεία συγκέντρωσης. Στον υπολογισμό του κόστους προστίθεται επιπλέον από το κόστος ανάπτυξης καλωδίωσης στο δίκτυο, οι χωματουργικές και δικτυακές εργασίες, καθώς και το κόστος του νέου εξοπλισμού, που αγορά εβδομήντα (70) νέες τύπου καμπίνων FTTC. Το πάγιο ενεργητικό του υπό μελέτη έργου μέσω περαιτέρω έρευνας αναλύεται στον πίνακα 1 που ακολουθεί, όπου παρουσιάζονται αναλυτικά τα χρηματοοικονομικά κόστη υλοποίησης του δικτύου FTTC στην περιοχή της Εκάλης.

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ	ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΕΡΓΟΛΑΒΙΚΗ ΔΑΠΑΝΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΝΕΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ (€)
ΚΑΛΩΔΙΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	65744	ΔΙΑΝΟΙΞΗ- ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΙΚΡΟΤΑΦΡΟΥ	101584	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΜΠΙΝΩΝ	70
ΠΛΑΣΤΙΚΟΙ ΣΩΛΗΝΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ	36834	ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΩΛΗΝΩΝ	175994	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΜΠΙΝΑΣ	8000
ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ	928,48	ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗ - ΣΦΡΑΓΙΣΗ ΤΑΦΡΟΥ - ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΟΥ	152376		
ΥΛΙΚΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ	4817,4	ΑΠΡΟΒΛΕΠΤΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ (10%)	42994		
ΟΠΤΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΕΜΗΤΕΣ ΤΥΠΟΥ Α, Β, Γ	8436,12				
ΛΟΙΠΑ ΥΛΙΚΑ	848,68				
ΜΕΡΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ	117608,7		472948		560000
ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΟΥ					1150557

Πίνακας 1: Κόστος έργου - Πάγιο Ενεργητικό

Για την εκτέλεση των εργασιών αυτών με βάση τα ανωτέρω προκύπτει ότι χρειάζεται δαπάνη αξίας 1.150.557 Ευρώ. Στον προϋπολογισμό αυτό δεν συμπεριλαμβάνονται οι μισθοί του μόνιμου προσωπικού και τα έκτακτα ημερομίσθια.

Το Καθαρό Κεφάλαιο Κίνησης αντιστοιχεί στους πόρους που χρειάζονται για να λειτουργήσει μια εταιρεία ολικά ή μερικά (αγορά πρώτων υλών, εφοδίων κλπ.) και προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

Καθαρό Κεφάλαιο Κίνησης = Τρέχον Ενεργητικό — Τρέχον Παθητικό

Το Τρέχον Ενεργητικό ισούται με το άθροισμα των αποθεμάτων, των προπληρωμένων στοιχείων, των εισπρακτέων λογαριασμών και των μετρητών, ενώ το Τρέχον Παθητικό αποτελείται από τους πληρωτέους λογαριασμούς.

Στο σημείο αυτό, όμως, κρίνεται σκόπιμο να υπολογιστούν οι συνολικές ετήσιες αποσβέσεις του πάγιου ενεργητικού, οι οποίες ακολουθούν τη γραμμική (σταθερή) μέθοδο, κατά την οποία το αποσβεστέο κόστος (ισούται με το συνολικό αρχικό κόστος κτήσεως, αφού σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία η υπολειμματική αξία των παγίων θεωρείται ότι είναι ίση με το μηδέν) διαιρείται με τον αριθμό των ετών της ωφέλιμης διάρκειας ζωής (5 έτη) και το ποσό που προκύπτει αποτελεί το ετήσιο ποσό της απόσβεσης. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα ανωτέρω, παρατίθεται ο ακόλουθος τύπος υπολογισμού της ετήσιας απόσβεσης:

$$\text{Ετήσια Απόσβεση} = \text{Αξία Κτήσης Παγίου Στοιχείου} / \text{Ωφέλιμη Ζωή}$$

Αντικαθιστώντας τις αντίστοιχες τιμές του τύπου, προκύπτει ότι η ετήσια απόσβεση θα είναι ίση με:

$$\text{Ετήσια Απόσβεση} = 1.150.557 / 5 = 230.111,40 \text{ €}$$

6.4 Ανάλυση λογιστικών καταστάσεων

Προκειμένου να λάβει χώρα η χρηματοοικονομική ανάλυση του υπό ανάλυση έργου, κρίνεται απαραίτητη η παρουσίαση των πιθανών εσόδων από τις πωλήσεις που αφορούν το συγκεκριμένο δίκτυο. Η αξία της συνδρομής προκύπτει με βάση την τιμολόγηση αντίστοιχων δικτύων σε άλλες περιοχές της Ελλάδας, υπολογίζοντας ένα μέσο όρο ανάμεσα σε επιλογές προγραμμάτων με ταχύτητες από 30 έως 100 Mbps. Ο αριθμός των χρηστών έχει υπολογισθεί να αυξάνεται σταδιακά από χρόνο σε χρόνο, λαμβάνοντας υπόψη τη ζήτηση που έχουν τα δίκτυα αυτά από τους χρήστες/συνδρομητές μέχρι να φτάσουν το μέγιστο αριθμό, που μπορούν να εξυπηρετήσουν οι νέου τύπου καμπίνες. Τα αποτελέσματα των εσόδων για τα πρώτα πέντε έτη αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα:

	1 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	2 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	3 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	4 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	5 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΕΤΩΝ
ΧΡΗΣΤΕΣ	2000	5000	8000	10000	12000	
ΑΞΙΑ ΣΥΝΔΡΟΜΗΣ	40	40	40	40	40	
ΣΥΝΟΛΟ	80.000	200.000	320.000	400.000	480.000	1.480.000

Πίνακας 2: Έσοδα από πωλήσεις

Επιπροσθέτως, για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης, θεωρείται εξαιρετικά χρήσιμη η κατασκευή ενός Πίνακα Χρηματικών Ροών, ο οποίος να περιγράφει τις μεταβολές τόσο των μονίμων κεφαλαίων, όσο και των προσωρινών ή μεταβλητών κεφαλαίων (αν υπάρχουν), διευκολύνοντας έτσι το χρηματοδοτικό προγραμματισμό του σχεδίου. Υπό αυτό το πρίσμα, οι προβλεπόμενες χρηματικές ροές, που αφορούν το

υπό κατασκευή έργο (και όχι το σύνολο της εταιρείας διαχείρισης του οπτικού δικτύου πρόσβασης)
 παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί:

	ΠΟΣΟ (€)	ΠΟΣΟ (€)	ΠΟΣΟ (€)	ΠΟΣΟ (€)	ΠΟΣΟ (€)	ΠΟΣΟ (€)
A. ΧΡΗΜΑΤΙΚΕΣ ΕΙΣΡΟΕΣ	0	80000	200000	320000	400000	480000
Σύνολο χρηματικών πόρων	0	0	0	0	0	0
Έσοδα από πωλήσεις	0	80000	200000	320000	400000	480000
B. ΧΡΗΜΑΤΙΚΕΣ ΕΚΡΟΕΣ	1150557	194929,312	231399,352	268203,406	293808,268	319894,105
Σύνολο παγίου ενεργητικού	1150557	0	0	0	0	0
Κόστος Συντήρησης	0	11760,87	14113,04	16935,65	20322,78	24387,34
Απόσβεση παγίου ενεργητικού	0	230.111,4	230.111,4	230.111,4	230.111,4	230.111,4
Φόρος εισοδήματος	0	-46942,958	-12825,088	21156,3555	43374,0878	65395,3654
Γ. ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ (A – B)	1150557	-114929,31	-31399,352	51796,5945	106191,732	160105,895
Δ. ΣΥΣΣΩΡΕΥΜΕΝΟ ΤΑΜΕΙΑΚΟ ΥΠΟΛΟΙΠΟ	0	-114.929	-146.329	-94.532	11.660	171.766

Πίνακας 3: Χρηματικές Ροές

6.5 Χρηματοοικονομική αξιολόγηση επένδυσης

6.5.1 Μέθοδος Επανείσπραξης του Κόστους Επένδυσης

Η μέθοδος Επανείσπραξης του Κόστους της Επένδυσης (payback period method) δίνει τον αριθμό των ετών που απαιτούνται για να επανεισπραχθεί το κόστος του κεφαλαίου της αρχικής επένδυσης, μέσω των καθαρών ταμειακών ροών του προγράμματος. Η συγκεκριμένη μέθοδος παρέχει μια ένδειξη του κινδύνου και της ρευστότητας της επένδυσης, σύμφωνα με την οποία όσο βραχύτερη είναι η περίοδος επανείσπραξης τόσο λιγότερο επικίνδυνη είναι η επένδυση. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή δε λαμβάνει υπόψη το μέγεθος και το χρόνο πραγματοποίησης των καθαρών ταμειακών ροών (ΚΤΡ) κατά τη διάρκεια της περιόδου επανείσπραξης, την οποία θεωρεί ως ενιαίο σύνολο και για το λόγο αυτό θα ήταν χρήσιμο να χρησιμοποιείται παράλληλα με άλλες μεθόδους αξιολόγησης της επένδυσης.

Αρχικά υπολογίζονται οι ετήσιες καθαρές ταμειακές ροές (ΚΤΡ) που προβλέπεται να εμφανίσει η υπό μελέτη εταιρεία. Η ΚΤΡ της επένδυσης για κάθε εξεταζόμενο έτος ορίζεται ως εξής:

Καθαρή Ταμειακή Ροή = Ταμειακές Εισροές — Ταμειακές Εκροές ή

Καθαρή Ταμειακή Ροή = Καθαρά Κέρδη + Αποσβέσεις

Οι ταμειακές εισροές περιλαμβάνουν τα διάφορα οφέλη που προσδοκούνται από την επένδυση (πωλήσεις), ενώ στις ταμειακές εκροές περιλαμβάνεται κάθε ταμειακή εκροή που πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια ζωής του επενδυτικού σχεδίου. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα ανωτέρω, ακολουθούν οι πίνακες υπολογισμού των καθαρών κερδών και των καθαρών ταμειακών ροών της επιχείρησης, όπως προβλέπεται να διαμορφωθούν κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου:

ΕΤΟΣ	ΠΩΛΗΣΕΙΣ (€)	ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ (€)	ΚΕΡΔΗ ΠΡΟ ΦΟΡΩΝ (€)	ΦΟΡΟΣ (€)	ΚΑΘΑΡΑ ΚΕΡΔΗ (€)
2018	80000	11760,87	68239,13	19789,3477	48449,782
2019	200000	14113,04	185886,96	53907,2184	131979,74
2020	320000	16935,65	303064,35	87888,6615	215175,69
2021	400000	20322,78	379677,22	110106,394	269570,83
2022	480000	24387,34	455612,66	132127,671	323484,99

Πίνακας 4: Συνολικά Καθαρά κέρδη

ΕΤΟΣ	ΚΑΘΑΡΑ ΚΕΡΔΗ (€)	ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ (€)	ΚΤΡ (€)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΤΡ (€)
2018	48449,782	230.111,40	-114.929,31	-114.929,31
2019	131979,74	230.111,40	-31.399,35	-146.328,66
2020	215175,69	230.111,40	51.796,59	-94.532,07
2021	269570,83	230.111,40	106.191,73	11.659,66
2022	323484,99	230.111,40	160.105,89	171.765,56

Πίνακας 5: Καθαρές Ταμειακές Ροές

Όπως λοιπόν προκύπτει από τον ανωτέρω πίνακα, η περίοδος επανείσπραξης του κόστους της επένδυσης θα είναι προς το τέλος περίπου του τέταρτου χρόνου. Συνεπώς, βάσει της μεθόδου επανείσπραξης του κόστους, η παρούσα επένδυση κρίνεται ιδιαίτερα ελκυστική αφού, ήδη από τον προτελευταίο χρόνο μελέτης το κόστος επένδυσης έχει επιστραφεί και πλέον αρχίζει να αποφέρει κέρδη ιδιαίτερα από τον πέμπτο χρόνο και μετά.

Κεφάλαιο 7 – Συμπεράσματα

Η ζήτηση μεγαλύτερων ευρυζωνικών χωρητικοτήτων συνεχίζει να αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου και είναι σαφές ότι τα οπτικά δίκτυα πρόσβασης αποτελούν το μέλλον όχι μόνο των δικτύων πρόσβασης αλλά και των Τηλεπικοινωνιών γενικότερα. Για αυτό το λόγο άλλωστε έχουν χαρακτηριστεί και ως Δίκτυα Επόμενης Γενιάς. (Next Generation Networks –NGN). Οι υπάρχουσες υποδομές δικτύων πρόσβασης εμφανίζουν όλο και περισσότερο σημάδια συμφόρησης αδυνατώντας να ανταπεξέλθουν σε αυτή την εξέλιξη, ειδικά στις ανεπτυγμένες χώρες, με αποτέλεσμα πολλοί πάροχοι να προσπαθούν να αναβαθμίσουν τα δίκτυα πρόσβασής τους. Η χρήση οπτικών ινών σαν μέσο μετάδοσης κρίνεται ως η καταλληλότερη λύση, διότι οι δυνατότητες που έχουν αυτά τα δίκτυα είναι πρακτικά απεριόριστες, καθώς προσφέρουν υψηλότερο εύρος χωρητικότητας με πιο αποδοτικό τρόπο συγκρινόμενα με τις τωρινές τεχνολογίες. Συνεπώς, τα FTTx δίκτυα αποτελούν το επόμενο βήμα της εξέλιξης της ψηφιακής εποχής.

Ωστόσο, η πολυπλοκότητα και τα κόστη για την τεχνική ανάπτυξη ενός FTTx έργου είναι σημαντικά και επιφυλάσσουν ιδιαίτερες δυσκολίες τόσο οικονομικής όσο και τεχνολογικής φύσεως. Οι τεράστιες επενδύσεις σε δίκτυα FTTx που απαιτούνται για να μπορέσουν να υλοποιηθούν είναι ένα αρκετά δύσκολο επίτευγμα για τις επιχειρήσεις, δεδομένου η αύξηση συνδρομητών δεν είναι αρκετή για να επιφέρει ικανοποιητικό κέρδος. Ο πιο σημαντικός παράγοντας υποδομών σε ένα οπτικό δίκτυο πρόσβασης από την άποψη του κόστους είναι η φυσική εγκατάσταση των οπτικών ινών στο εξωτερικό δίκτυο και σε περίπτωση κατά την οποία το δίκτυο πρέπει να είναι πλήρως υπόγειο, το κόστος για την εγκατάσταση των τάφρων υπερβαίνει το κόστος όλων των άλλων υποδομών και εξοπλισμών. Επιπλέον, τα σκαπτικά έργα που απαιτούνται για την κατασκευή ενός εκτεταμένου τέτοιου δικτύου αναστατώνουν σε μεγάλο βαθμό τη ζωή σε ένα αστικό κέντρο για όσο χρονικό διάστημα διαρκούν. Συγχρόνως, μπορεί να προκύψουν γραφειοκρατικά ζητήματα όπως για παράδειγμα σχετικά με τα δικαιώματα διέλευσης, που επιλύονται μέσα από την τροποποίηση της σχετικής νομοθεσίας. Εντούτοις, τόσο οι τεχνικές δυσκολίες όσο και πιθανά γραφειοκρατικά ζητήματα είναι εύκολα να ξεπεραστούν εάν υπάρχουν διαθέσιμα τα απαιτούμενα κεφάλαια για την επένδυση ενός τέτοιου έργου.

Προκειμένου οι επιχειρήσεις να παρέχουν τα απαιτούμενα κεφάλαια για την κατασκευή δικτύων FTTx είναι ωφέλιμο και χρήσιμο να μελετώνται τα στοιχεία που συνθέτουν τα έξοδα OPEX ή αλλιώς τις λειτουργικές δαπάνες που είναι απαραίτητες για την επένδυση ενός τέτοιου έργου. Ένα σημαντικό βήμα προς αυτή την κατεύθυνση είναι η συστηματική μελέτη και μοντελοποίηση των στοιχείων OPEX με βάση υπάρχοντα έργα και με τελικό σκοπό τον ακριβή προσδιορισμό των κοστών τους. Επιπρόσθετα, ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να μελετηθεί σε ένα FTTx έργο είναι τα έσοδα σε αυτό. Λαμβάνοντας υπόψη τα κόστη του δικτύου, θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένα μοντέλο βασισμένο σε δημογραφικά και άλλα στοιχεία, που θα εκτιμά την πιθανή αποδοχή και διεύθυνση του δικτύου ανά περιοχή και θα υπολογίζει τον καλύτερο τρόπο για την

χρονική ανάπτυξη του δικτύου. Μέσα από αυτή τη διαδικασία επιδιώκεται να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή αποδοτικότητα ενός τέτοιου έργου, ώστε να αποφέρει τα ανάλογα κέρδη και να ωθήσει κατά συνέπεια τις επιχειρήσεις στην επένδυση και κατασκευή νέων δικτύων FTTx.

Μέσα από την οικονομική μελέτη σε υπό κατασκευή FTTC δίκτυο, που αναλύθηκε στην παρούσα εργασία, γίνεται εμφανές ότι το κόστος για την ανάπτυξη των τάφρων είναι από τα επικρατέστερα έξοδα, ενώ το συνολικό κόστος της υποδομής εξαρτάται σημαντικά από τον τύπο και το είδος των σωληνώσεων και των καλωδίων. Επιπλέον αξιολογήθηκε η αποδοτικότητα του έργου και προκύπτει το συμπέρασμα ότι είναι εφικτή η συγκεκριμένη επένδυση, γεγονός που κάνει πιο ελκυστική την κατασκευή του και μπορεί να δράσει καταλυτικά στη δημιουργία περισσότερων δικτύων οπτικών ινών. Αξίζει να σημειωθεί ότι τέτοιου είδους έργα αν συνδυαστούν με στρατηγικές επέκτασης των δικτύων και αύξησης των νέων συνδέσεων, τότε οι επενδύσεις μπορούν να είναι πλήρως βιώσιμες παρά το αρχικό κόστος κατασκευής τους.

Εν κατακλείδι, η ανάπτυξη δικτύων FTTx είναι απαραίτητη όχι μόνο για την οικονομία και τις επιχειρήσεις αλλά για όλο το κοινωνικό σύνολο και για αυτό τα όποια προβλήματα υπάρχουν δεν πρέπει να αποθαρρύνουν τους μελλοντικούς επενδυτές. Επίσης, είναι σημαντικό να αναπτυχθούν οπτικά δίκτυα πρόσβασης με ισότιμη αντιμετώπιση προς όλους τους παρόχους προς όφελος των συνδρομητών. Τέλος, είναι απαραίτητο να γίνονται περαιτέρω έρευνες σχετικά με τα οπτικά δίκτυα, ώστε να βρεθούν νέοι οικονομικότεροι τρόποι για την κατασκευή των FTTx δικτύων με απώτερο στόχο ακόμα περισσότερα κέρδη για τους επενδυτές, που θα συμβάλλει αντίστοιχα στη μείωση του κόστους των συνδέσεων και θα προσελκύσει περισσότερους πελάτες, αυξάνοντας τον αριθμό των συνδρομητών.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) URL: <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/evrizonikotita.php>, τελευταία επίσκεψη Ιανουάριος 2018
- 2) Realizing the Benefits of Broadband, Intel Corporation 2010
- 3) Broadband Technology Overview, White paper, Ιούνιος 2005
- 4) Ψηφιακές κοινότητες και υπηρεσίες βασιζόμενες σε ευρυζωνικές υποδομές, Ευάγγελος Στασινόπουλος, CISCO,. Σεπτέμβριος 2008
- 5) Ευρυζωνικότητα: προώθηση, επίδειξη, στρατηγική, βέλτιστες πρακτικές, Παρουσίαση, Χ. Μπούρας, Σεπτέμβριος 2008
- 6) Κανελλόπουλος Γιώργος, Τεχνο-οικονομική σύγκριση ευρυζωνικής πρόσβασης σε αστικό περιβάλλον, Διπλωματική Εργασία, Μάρτιος 2010
- 7) Ευθυμίου Χρήστος, Εισαγωγή στις οπτικές ίνες, Τ.Ε.Ι Σερρών, Σέρρες 2011
- 8) Wiley - Broadband Optical Access Networks and Fiber to the Home, 2006
- 9) Sura Crossroads Architecture Working Group-AWG and collaborators, 2002, SURA Optical Networking Cookbook, A practical guide to planning and deploying optical networks for research and education. Available at: http://www.sura.org/info_tech/opcook.
- 11) URL: <https://techteam.gr/wiki>, τελευταία επίσκεψη Ιανουάριος 2018
- 12) Naval Education and Training Professional Development and Technology Center, 1998, Navy Electricity and Electronics Training Series, Module 24 – Introduction to Fiber Optics, Available at: <http://www.hnsa.org/doc/neets/mod24.pdf>
- 13) Δημήτρης Φιλίππου, FTTH Fiber to the Home ή Fear to the Haul, Άρθρο, Μάιος-Ιούνιος 2009
- 14) Στυλιανός Φετοκάκης, Ευρυζωνικά δίκτυα, υποδομές και υπηρεσίες – Παρόν και μέλλον, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα, Αύγουστος 2006
- 15) FTTx 2012 Markets & Trends Fact& Figures, White Paper, Digiworld by IDATE, 2012
- 16) Fibre to the Home Council Europe, 2009, Whitepaper for the advantages of optical access, For investors, network builders, public officials, property owners and managers, Produced by Broadband Properties, Available at: http://broadbandpropertiesmagazine.epubxpress.com/pdfs/2009_european.pdf.
- 17) Fibre to the Home Council Europe, Revision Date: 2010, FTTH Handbook, Third Edition, Available at: <http://ftthcouncil.eu>
- 18) G. Keiser, 2006, FTTH Concepts and Applications, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- 19) Point-to-Point FTTH and Ethernet Access, Architecture and technology Committee, FTTH Council Europe, Δεκέμβριος 2004
- 20) Ebusinessforum, 2008, Ομάδα Εργασίας Ιδ3. FTTH (Fiber to the Home – Fiber to the Building), Τεχνικό παράρτημα ανάπτυξης δικτύων FTTH

- 21) Τεχνικές προδιαγραφές για την κατασκευή δικτύων οπτικών ινών εντός πόλεων και εγκατάσταση δομημένης οριζόντιας και κάθετης καλωδίωσης οπτικών ινών εντός κτιρίων, e-business forum, ομάδα εργασίας Ιδ3, Σεπτέμβριος 2008
- 22) Ebusinessforum, 2008, Ομάδα Εργασίας Ιδ3. FTTX (Fiber to the Home – Fiber to the Building), Κείμενο δημόσιας διαβούλευσης
- 23) K. Casier, 2009, Techno-Economic Evaluation of a Next Generation Access Network Deployment in a Competitive Setting, PhD thesis at the Faculty of Engineering of the Ghent University, Belgium
- 24) K. Casier, B. Lannoo, J.V. Ooteghem, S. Verbrugge, 2009, Whitepaper for Practical Steps in techno-economic evaluation of network deployment planning. TechnoEconomics research cluster of the INTEC Broadband Communication Networks (IBCN), at University of Ghent, Belgium
- 25) Commission of the European Communities, 2007, Commission Decision of 11.X11.2007 on the state aid case C 53/ 2006 (ex N 262/ 2005, ex CP 127/ 2004), Investment by the city of Amsterdam in a fibre-to-the-home (FttH) network, Brussels