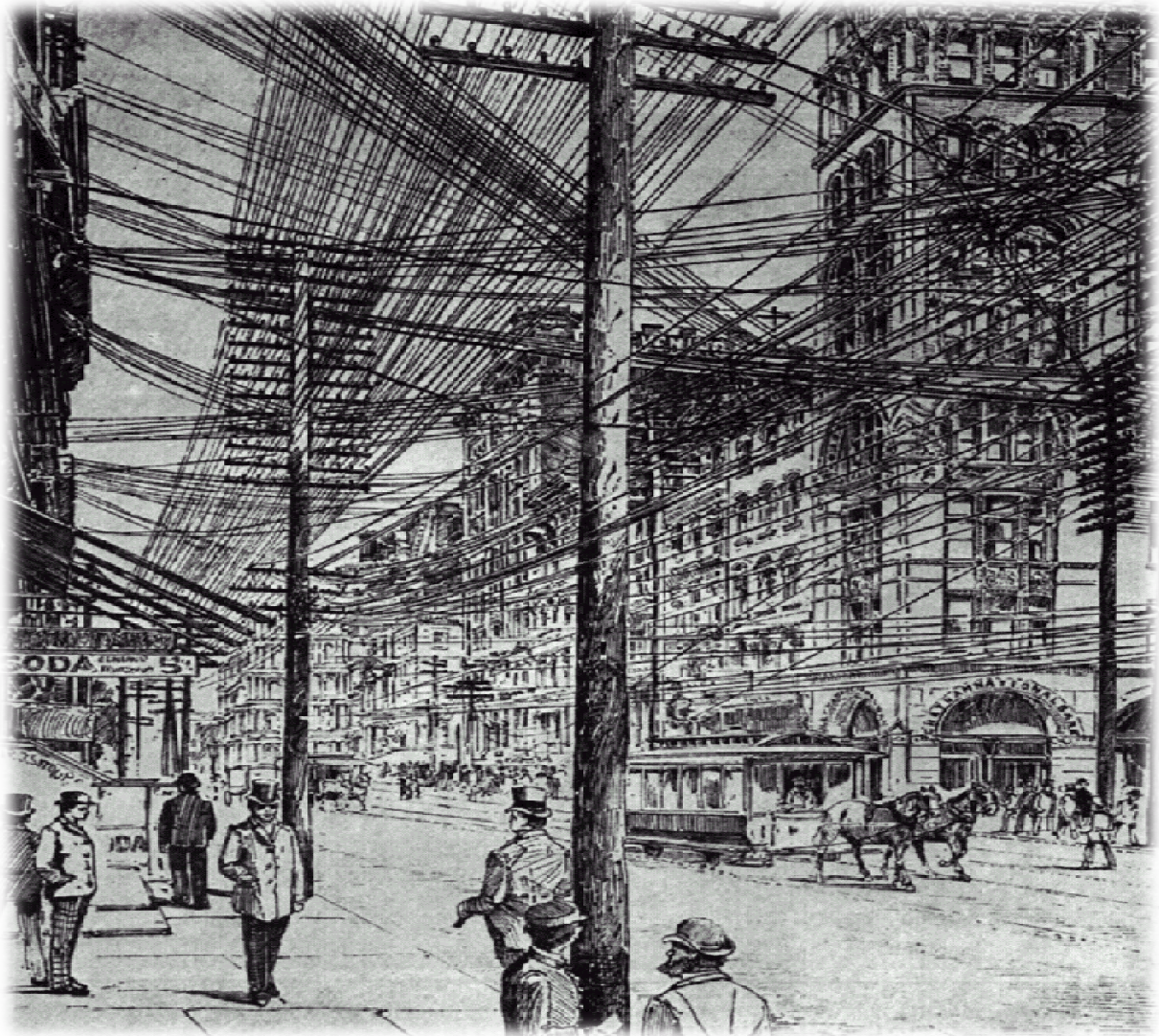




ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

αήτης

υμέσων



Manhattan 1890

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

με θέμα:

Ενσύρματα Δίκτυα Πρόσβασης Νέας Γενιάς

Σπουδαστής : Σπαντιδάκης Γεώργιος

Υπεύθυνος Καθηγητής : Βλησίδης Ανδρέας

Ηράκλειο 2012

abstract

This chapter provides a qualitative approach to the development of NGA networks based implementations FTTx. It begins with a brief description of the current situation of "traditional" network access and an estimate of the expected future requirements in access speeds each household per service. Below is a complete reference to the available technologies based on the use of optical fiber (FTTx), access technologies (xDSL, Ethernet and PON) and cable infrastructure choices, used for point-to-point (P2P) and point-to-multipoint (P2MP) implementations . Finally, consider the perspective and strategies to develop a next generation access network in the light of a complex, variable telecommunications environment, which involves actively competing companies providing telecommunications services (traditional and infant), regulators (national and supranational), manufacturers and telecom equipment suppliers, contractors 'public' works and various interest groups, all seeking to promote and defend the conflicting economic interests. The chapter concludes with a description of different strategies NGA access networks for companies providing telecom services.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ:

Περίληψη	9
1. Εισαγωγή	9
2. Ορισμοί – Η παραδοσιακή δομή του Δικτύου Πρόσβασης.....	12
3 Δικτυακές Υπηρεσίες.....	21
4 Τεχνολογίες Δικτύου Πρόσβασης	24
4.1 FTTC.....	24
4.2 FTTB.....	32
4.3 FTTH	36
5 Τεχνολογίες Πρόσβασης.....	41
5.1 Τεχνολογίες xDSL.....	41
5.2 Τεχνολογίες Ethernet.....	49
5.3 Τεχνολογίες PON.....	51
6. Καλωδιακές Επιλογές	56
6.1 Οπτικές Ίνες	58
6.2 Καλώδια Οπτικών Ινών, Μικροκαλώδια και Ινο-ομάδες.....	60
6.3 Σωληνώσεις – Φρεάτια - Τάφροι.....	66
6.3.1 Σωλήνες και μικρο-σωληνώσεις	66
6.3.2 Φρεάτια και καλύμματα φρεατίων.....	68
6.3.2 Τάφροι και Μικροτάφροι	69
6.4 Υλικό Τερματισμού και Συναρμογής ΚΟΙ.....	72
6.4.1 Οπτικοί Κατανεμητές και Υλικό Συναρμογής ΚΟΙ Πλευράς Κέντρου	72
6.4.2 Υλικό Συναρμογής και Τερματισμού Εξωτερικού Δικτύου.	75
6.4.3 Υλικό Τερματισμού στον Χώρο του Συνδρομητή.	77
7 Σχεδιασμός και Υλοποιήσεις Δικτύων NGA.....	80
7.1 Έργα της περιόδου 1990-2000	80
7.2 Νεότερα έργα και προοπτικές υλοποίησης δικτύων FTTx.....	82
7.3 Αρχιτεκτονικές υλοποίησης δικτύων FTTx	88
7.4 Έργα FTTC	90
7.5 Σχεδιασμός και έργα FTTB και FTTH.....	96
7.5.1 Πλήθος ινών ανά σύνδεση.	97
7.5.2 Καθορισμός δικτυακής αρχιτεκτονικής.....	97
7.5.3 Επιλογή δικτυακής τοπολογίας P2P ή P2MP	98
7.5.4 Τερματισμός στην εισαγωγή του κτιρίου ή στον χώρο του συνδρομητή	102
7.5.5 Σχεδιασμός Δικτύου Διανομής	102
7.5.6 Σχεδιασμός Κυρίου Δικτύου.....	105
7.5.7 Άρση βλαβών σε δίκτυα FTTB/FTTH	109
7.5.8 Τερματικές διατάξεις σε δίκτυα FTTB/FTTH	112
8 Στρατηγικές Υλοποίησης Δικτύων NGA	114
8.1 Εμπλεκόμενοι φορείς.....	114
8.2 Στρατηγική Κυρίαρχου Τηλεπικοινωνιακού Φορέα	117
8.3 Στρατηγικές Εναλλακτικών Τηλεπικοινωνιακών Φορέων	120
9. Συμπεράσματα.....	123

Περίληψη

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί μια ποιοτική προσέγγιση στην ανάπτυξη δικτύων πρόσβασης νέας γενιάς, βασισμένη σε υλοποιήσεις FTTx. Αρχίζει με μια σύντομη περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης του «παραδοσιακού» δικτύου πρόσβασης και έναν υπολογισμό των αναμενόμενων μελλοντικών απαιτήσεων σε ταχύτητες πρόσβασης κάθε νοικοκυριού ανά υπηρεσία. Ακολουθεί πλήρης αναφορά στις διαθέσιμες τεχνολογίες, που βασίζονται στην χρήση οπτικής ίνας (FTTx), στις τεχνολογίες πρόσβασης (xDSL, Ethernet και PON) και στις επιλογές καλωδιακής υποδομής, που χρησιμοποιούνται για σημείο-σημειακές (P2P) και σημείο-πολυσημειακές (P2MP) υλοποιήσεις. Τέλος, εξετάζονται η προοπτική και οι στρατηγικές ανάπτυξης ενός δικτύου πρόσβασης νέας γενιάς υπό το πρίσμα ενός πολύπλοκου, μεταβλητού τηλεπικοινωνιακού περιβάλλοντος, στο οποίο συμμετέχουν ενεργά και ανταγωνιστικά εταιρίες παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών (παραδοσιακές και νεοσύστατες), ρυθμιστικές αρχές (εθνικές και υπερεθνικές), κατασκευαστές και προμηθευτές τηλεπικοινωνιακού υλικού, εργολάβοι «δημόσιων» έργων και διάφορες ομάδες συμφερόντων, όλοι επιδιώκοντας την προώθηση και προάσπιση των αλληλοσυγκρουόμενων οικονομικών συμφερόντων τους. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την περιγραφή διαφορετικών στρατηγικών ανάπτυξης δικτύων πρόσβασης NGA για εταιρίες παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.

1. Εισαγωγή

Ο όρος NGA¹ 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 NGN², που αναφέρεται στην γενική δομή του Δικτύου Νέας Γενιάς, και αναμένεται, μελλοντικά, να μετατρέψει την πολύπλοκη δικτυακή δομή του υφιστάμενου παραδοσιακού TDM δικτύου, σε ένα ενιαίο δίκτυο βασισμένο στο πρωτόκολλο IP.

Όλοι συμφωνούν ότι το μελλοντικό δίκτυο πρόσβασης θα βασίζεται εξ ολοκλήρου στη χρήση οπτικής ίνας, που θα φθάσει τελικά σε κάθε σπίτι³, αν και είναι δύσκολο να δεχθεί κανείς, επί του παρόντος, με τεχνο-οικονομικά κριτήρια, την παροχή αποκλειστικά υπηρεσιών POTS πάνω από οπτική ίνα, λόγω του πολύ υψηλότερου κόστους σε σύγκριση με την παραδοσιακή τηλεφωνία μέσω του δικτύου χαλκού. Οι περισσότερες

¹ New Generation Access - NGA

² New Generation Network – NGN

Το NGN αναφέρεται στην γενικότερη μορφή ενός δικτύου Νέας Γενιάς τμήμα του αποτελεί και το NGA. Σε κάποιες ευρωπαϊκές χώρες, όπως στη Μ. Βρετανία (BT), προηγήθηκε η ανάπτυξη του NGN (21C Network), ενώ σε άλλες, όπως στη Γερμανία (DT), ξεκίνησε η ανάπτυξη του NGA (FTTC+VDSL2) χωρίς NGN.

³ Αρχιτεκτονική "Fibre To The Home" (FTTH)

εταιρίες παροχής τηλεπικοινωνιών υπηρεσιών (Telco⁴) έχουν ήδη αποφασίσει να υιοθετήσουν την επιλογή FTTH σε περιβάλλοντα "Greenfield"⁵, ενώ σε πολλές χώρες επιβάλλονται νέοι κανονισμοί εσωτερικής τηλεπικοινωνιακής καλωδίωσης κτιρίων⁶, με στόχο να βοηθηθεί η μελλοντική εγκατάσταση οπτικών ινών σε οικιστικά συγκροτήματα μέχρι τα διαμερίσματα των συνδρομητών.

Αυτό που παραμένει ακόμη υπό ισχυρή αμφισβήτηση και συζήτηση στον τηλεπικοινωνιακό και ακαδημαϊκό χώρο⁷, δεν είναι τόσο το τελικό αποτέλεσμα της προοδευτικής εξέλιξης του δικτύου πρόσβασης από χάλκινο σε εξ ολοκλήρου οπτικό, όσο τα εξελικτικά στάδια και η διάρκειά τους. Εάν ανατρέξουμε στην ιστορία ανάπτυξης του χάλκινου αστικού δικτύου σε ευρωπαϊκές χώρες και στις ΗΠΑ, γίνεται φανερό ότι η όλη διαδικασία υπήρξε μακρά, ενώ οι επενδύσεις, που χρειάστηκαν, ήταν τεράστιες και καλύφθηκαν αποκλειστικά από δαπάνες των Εθνικών Οργανισμών Τηλεπικοινωνιών, προκειμένου να παρέχεται στους πολίτες η τηλεφωνία ως δημόσιο αγαθό. Το όλο εγχείρημα διήρκεσε πάνω από πενήντα έτη, η ανάπτυξη του δικτύου ξεκίνησε από τα μεγάλα αστικά κέντρα και επεκτάθηκε βαθμιαία προς την περιφέρεια ακολουθώντας την οικιστική ανάπτυξη, ενώ το συνολικό κόστος υπήρξε τεράστιο. Η αντικατάσταση του υφιστάμενου χάλκινου δικτύου, σε αστικές και ημιαστικές περιοχές, από ένα νέο επάλληλο οπτικό δίκτυο, σε διάρκεια δέκα ετών, αποτελεί αφ' εαυτού μια σημαντική πρόκληση, ενώ απαιτείται μια τεράστια οικονομική επένδυση, που δεν θα μπορούσε εύκολα να δικαιολογηθεί στα επιχειρηματικά σχέδια των Telco, υπό τις παρούσες δύσκολες οικονομικές συνθήκες του ανταγωνιστικού τηλεπικοινωνιακού περιβάλλοντος.

Μια εναλλακτική προσέγγιση, που βασίζεται σε ένα ενδιάμεσο στάδιο με χρήση "FTTC⁸ και VDSL2", εμφανίζεται περισσότερο οικονομική, αφού αξιοποιεί το μικρότερο μήκος απερχόμενο καλωδιακό δίκτυο χαλκού (απόσταση μέχρι τον συνδρομητή <500m), προσφέροντας τη δυνατότητα για ταχύτητες πρόσβασης μεγαλύτερες από 50 Mbit/s με κόστος σημαντικά μικρότερο⁹ από εκείνο του FTTH.

Από οικονομικής άποψης, είναι εμφανές ότι η συνδυασμένη χρήση του FTTC με την τεχνολογία πρόσβασης VDSL2 αποτελούν μια περισσότερο ρεαλιστική προσέγγιση στην ανάπτυξη του δικτύου NGA, ιδιαίτερα σε περιοχές, που το υφιστάμενο απερχόμενο δίκτυο χαλκού είναι μικρού μήκους και καλής ποιότητας. Παρά ταύτα, στο περίπλοκο

⁴ Telco - Telecommunication Companies

⁵ Ανάπτυξη αστικού δικτύου σε εξ ολοκλήρου νέες οικιστικές περιοχές, πρότυπους οικισμούς κλπ. Εταιρίες όπως η BT, η FT και η Telefonica έχουν ανακοινώσει υλοποιήσεις FTTH σε περιβάλλοντα Greenfield.

⁶ Στην Ελλάδα, το Υπουργείο Μεταφορών έθεσε σε δημόσια διαβούλευση τον Οκτώβριο του 2008 τον νέο κανονισμό για την εσωτερική καλωδίωση κτιρίων, που αναμένεται να ισχύσει από το 2009.

⁷ Στην Ελλάδα, οι ακαδημαϊκοί κύκλοι διαθέτουν μεγαλύτερη επιρροή από άλλες ευρωπαϊκές χώρες λόγω της συχνής συμμετοχής τους στην άσκηση πολιτικής μέσω της κεντρικής εξουσίας.

⁸ Fibre To The Cabinet – FTTC

Η οπτική ίνα τερματίζεται σε μια καμπίνα εξωτερικού χώρου, στην οποία εγκαθίσταται ενεργός εξοπλισμός VDSL2.

⁹ Μελέτες διάφορων ανεξάρτητων εταιριών συμβούλων συγκλίνουν ότι το κόστος του FTTC θα είναι από 1/6 έως 1/5 του κόστους για FTTH.

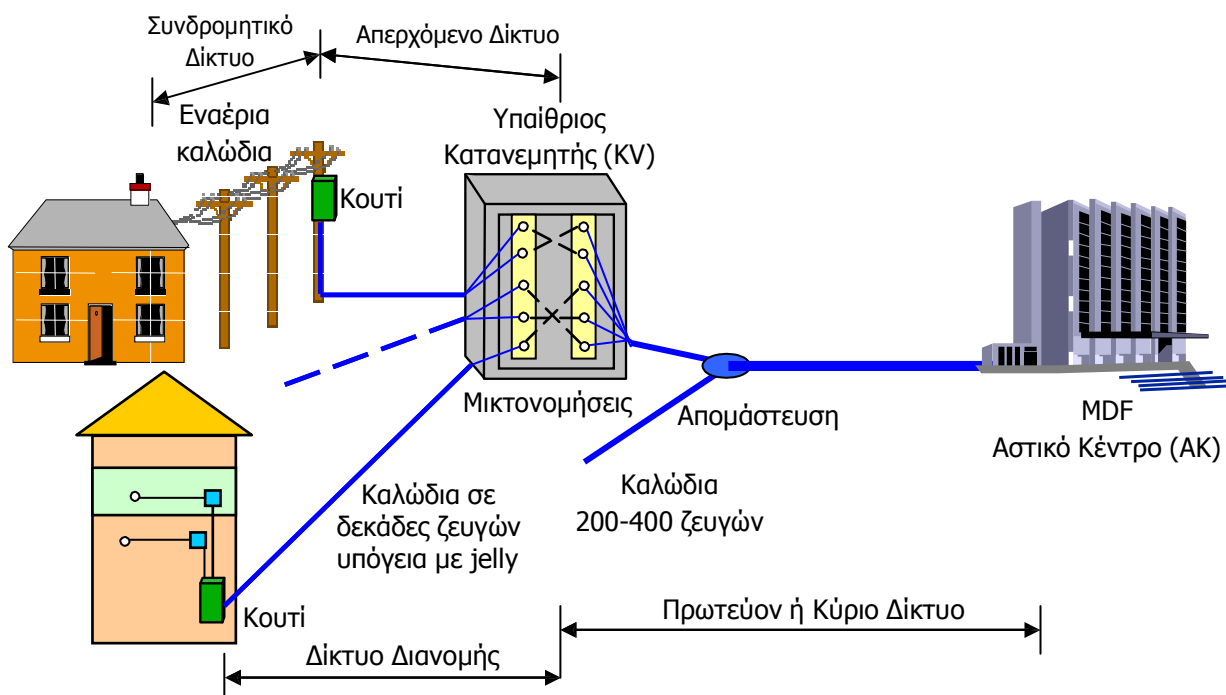
σημερινό τηλεπικοινωνιακό περιβάλλον, η στρατηγική¹⁰ των εμπλεκόμενων φορέων επηρεάζεται από τις μεταξύ τους συμμαχίες και τα αντικρουόμενα συμφέροντά τους. Είναι επομένως σημαντικό να γίνουν κατανοητές, τόσο οι βασικές στρατηγικές επιλογές για την υλοποίηση δικτύων NGA, όσο και όλα τα πιθανά σενάρια προσέγγισης από την άποψη κάθε εμπλεκόμενου φορέα.

Το παρόν κεφάλαιο χωρίζεται σε οκτώ ενότητες εξετάζοντας: την παραδοσιακή δομή του «χάλκινου» αστικού δικτύου, τις παρούσες και μελλοντικές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες και τις απαιτήσεις τους σε ταχύτητα πρόσβασης, τις διαθέσιμες τεχνολογίες, τοπολογίες και καλωδιακές επιλογές πρόσβασης, διαφορετικές υλοποιήσεις και στρατηγικές υλοποίησης δικτύων NGA.

¹⁰«ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ είναι αυτό στο οποίο αναφερόμαστε προκειμένου να δικαιολογήσουμε κάτι το οποίο δεν μπορεί εύκολα να δικαιολογηθεί από τεχνικο-οικονομικά δεδομένα» FITCE 2002.

2. Ορισμοί – Η παραδοσιακή δομή του Δικτύου Πρόσβασης

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακής Τυποποίησης (ETSI¹¹), ως δίκτυο πρόσβασης¹² ορίζεται το τμήμα του δικτύου, που συνδέει τον συνδρομητή με το αστικό του κέντρο (ΑΚ), περιλαμβάνοντας το πρωτεύον ή «κύριο δίκτυο», το δευτερεύον ή «απερχόμενο δίκτυο» και το «συνδρομητικό δίκτυο», όπως περιγράφονται στο σχήμα 1. Το απερχόμενο και συνδρομητικό δίκτυο αναφέρονται συχνά από κοινού ως «δίκτυο διανομής».



Σχήμα 1 Παραδοσιακή ανάπτυξη δικτύων πρόσβασης σε ευρωπαϊκές χώρες

Αν και στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται η προσέγγιση του «αρθρωτού» δικτύου με τρία διακριτά τμήματα, όπως περιγράφεται στο σχήμα 1, υπάρχουν και περιπτώσεις μεγάλων ειδικών πελατών, όπως υπουργεία, νοσοκομεία, αστυνομία, τράπεζες, όπου κυρίως για λόγους ασφαλείας, το κύριο δίκτυο τερματίζεται απ' ευθείας στον χώρο του συνδρομητή υπό την μορφή «σταθερού» δικτύου¹³.

Το δίκτυο πρόσβασης σχεδιάστηκε αρχικά και κατασκευάστηκε σταδιακά, σε μια διάρκεια πενήντα και πλέον ετών, για την παροχή υπηρεσιών κοινής τηλεφωνίας (POTS¹⁴) σε

¹¹ European Telecommunications Standards Institute - ETSI

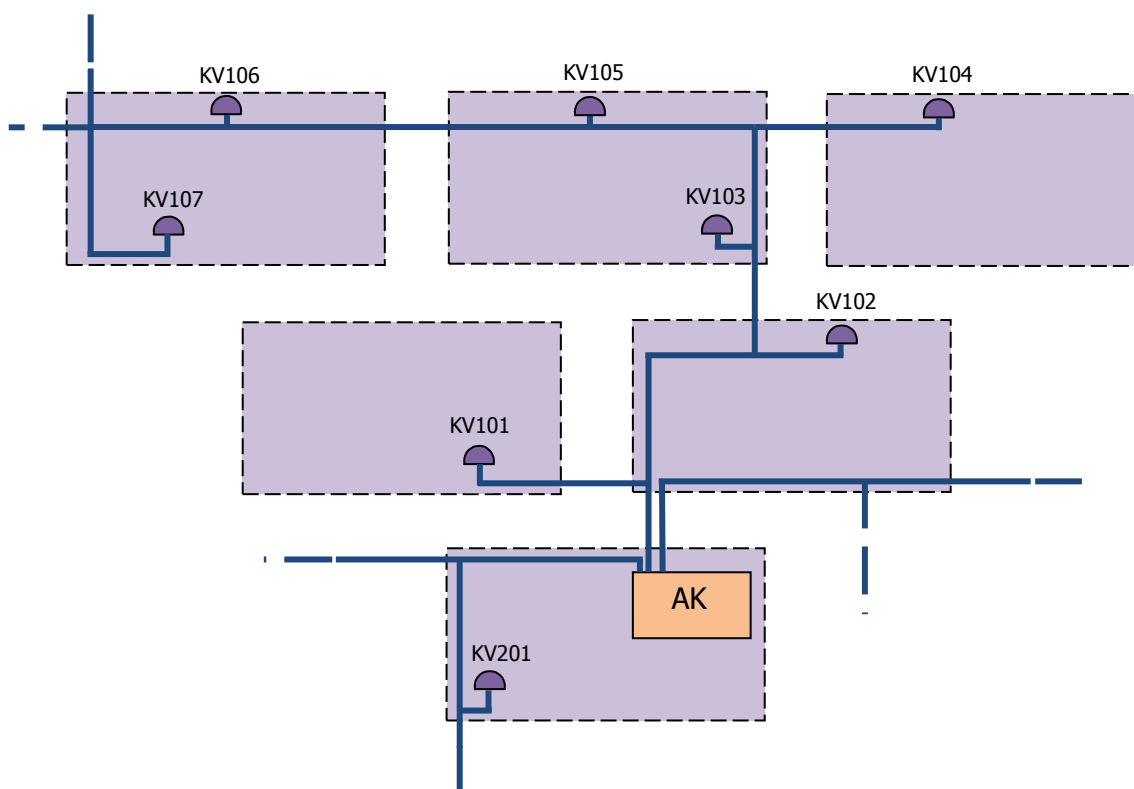
¹² Αναφέρεται επίσης ως «αστικό δίκτυο», τοπικός βρόχος, χάλκινος βρόχος ή τελευταίο μίλι (last mile – ΗΠΑ)

¹³ Στις Ευρωπαϊκές χώρες μόνο το 15%, από τα συνολικά 287.209.000 ζεύγη αστικού δικτύου είναι στη μορφή σταθερού δικτύου. ΠΗΓΗ: EURESCOM 1998

¹⁴ Plain Ordinary Telephony Services - POTS

συνδρομητές. Χρησιμοποιεί αθωράκιστα καλώδια συνεστραμμένων ζευγών ή τετράδων¹⁵, που ξεκινούν από τον Κύριο Κατανομητή (MDF¹⁶) του ΑΚ και τερματίζουν στην υποδοχή τερματισμού δικτύου (NTE¹⁷), στον χώρο του συνδρομητή. Σε κάθε συνδρομητή αντιστοιχεί ένα ζεύγος συνεστραμμένων αγωγών¹⁸, που τον συνδέει με το οικείο ΑΚ.

Το κύριο δίκτυο, που περιγράφεται στο σχήμα 2, περιλαμβάνει ένα πλήθος καλωδίων μεγάλης χωρητικότητας μέχρι και 2.400 ζευγών, που ξεκινούν από το ΑΚ και αναπτύσσονται σε δένδροειδή τοπολογία γύρω από αυτό, με περισσότερους κύριους κλάδους, διακλαδώσεις και απομαστεύσεις σε μικρότερα καλώδια μέχρι και 400 ζευγών. Τα καλώδια αυτά τερματίζονται σε υπαίθριους κατανομητές (KV¹⁹), καλύπτοντας πλήρως τις τηλεπικοινωνιακές ανάγκες μιας περιοχής.



Σχήμα 2 Σχηματική ανάπτυξη κύριου δικτύου αστικού κέντρου

¹⁵ Αν και στις περισσότερες χώρες, όπως στις ΗΠΑ, Μ. Βρετανία κλπ χρησιμοποιούνται καλώδια ομαδοποιημένα σε ζεύγη συνεστραμμένων αγωγών, σε κεντρο-ευρωπαϊκές χώρες, όπως στη Γερμανία, Αυστρία, Τσεχία κλπ προτιμάται η ομαδοποίηση των αγωγών σε αστεροειδή τετράδα. Ο ΟΤΕ, για ιστορικούς λόγους, χρησιμοποιεί καλώδια βασισμένα στην αστεροειδή τετράδα.

¹⁶ Main Distribution Frame - MDF

¹⁷ Network Termination Equipment - NTE

¹⁸ Στην περίπτωση χρήσης καλωδίων αστεροειδούς τετράδας το ζεύγος κάθε συνδρομητή περιλαμβάνει τους ευρισκόμενους διαγωνίως αγωγούς.

¹⁹ Cross-Connect Cabinets - KV.

Τα καλώδια του κυρίου δικτύου είναι συνήθως στεγανά, επιτηρούνται υπό πίεση από σύστημα ΞΠΑ²⁰, και ένα μεγάλο μέρος αυτών²¹ βρίσκεται τοποθετημένο σε στεγανή σωλήνωση.

Το απερχόμενο δίκτυο ξεκινά από τα KV και περιλαμβάνει ένα πλήθος καλωδίων μικρότερης χωρητικότητας (από 10 έως 100 ζευγών), τα οποία αναπτύσσονται σε τοπολογία αστέρα γύρω από το KV, και, αφού διακλαδίζονται σε καλώδια ακόμη μικρότερης χωρητικότητας, τερματίζονται σε κουτιά τερματισμού εντός²² ή εκτός κτιρίων. Τα καλώδια του απερχόμενου δικτύου είναι συνήθως υπόγεια²³, γεμισμένα με κατάλληλο πληρωτικό υλικό από γέλη²⁴ προκειμένου να εμποδίζεται η εισροή υγρασίας εντός του καλωδίου.

Καλώδια αστικού δικτύου διαφόρων τύπων που χρησιμοποιεί ο ΟΤΕ παρουσιάζονται στο σχήμα 3.



Σχήμα 3 Καλώδια αστικού δικτύου ΟΤΕ (Πηγή: Τηλεκαλώδια)

²⁰ Ξηρού Πεπιεσμένου Αέρα - ΞΠΑ

²¹ Κυρίως εκείνα που βρίσκονται πλησιέστερα στο ΑΚ

²² Εισαγωγή σε πολυκατοικία και τερματισμός σε εσκαλίτ

²³ Τα περισσότερα είναι άμεσης ταφής, και μόνο ένα πολύ μικρό μέρος αυτών βρίσκεται σε εκφυλισμένη μικρο-σωλήνωση.

²⁴ Απόδοση του όρου jelly

Σε ημιαστικά περιβάλλοντα, τα κουτιά τερματισμού είναι συχνά τοποθετημένα πάνω σε ξύλινους στύλους και οι συνδρομητές συνδέονται με χρήση εναερίων αυτοστηρίκτων συνδρομητικών καλωδίων.

Από το κουτί τερματισμού μέχρι τον συνδρομητή μεσολαβεί το συνδρομητικό δίκτυο ή η εσωτερική καλωδίωση του κτιρίου με ένα ή δύο ζεύγη ανά συνδρομητή.

Τα βασικά είδη αστικών καλωδίων κυρίου και απερχομένου δικτύου που χρησιμοποιεί ο ΟΤΕ περιγράφονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Είδη και χωρητικότητες καλωδίων αστικού δικτύου ΟΤΕ.

ΖΕΥΓΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ	JELLY Οπλισμένα ή όχι			ΣΤΕΓΝΑ Οπλισμένα ή όχι			ΑΥΤΟΣΤΗΡΙΚΤΑ		
	0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8
2								X	
4								X	
6								X	X
10	X						X	X	X
20	X						X	X	X
30	X						X	X	X
50	X						X	X	
100	X						X		
150			X			X			
200	X	X	X		X	X			
250						X			
300	X	X	X	X	X	X			
350						X			
400	X	X	X	X	X	X			
500	X	X	X	X	X	X			
600	X	X	X	X	X	X			
750						X			
800	X	X		X	X				
1000	X	X		X	X				
1200	X			X	X				
1400	X			X					
1800				X					
2000				X					
2400				X					

Στον πίνακα 2 περιγράφεται η δομή του δικτύου πρόσβασης των μεγαλύτερων ευρωπαϊκών εταιριών, που διαθέτουν ενσύρματα δίκτυα παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών (PNO²⁵), σύμφωνα με το ερευνητικό έργο BOBAN²⁶.

Στο δίκτυο πρόσβασης βρίσκουμε καλώδια διαφόρων τύπων ²⁷ και ηλικιών, κάποια από τα οποία έχουν δεχθεί εργασίες συντήρησης για την άρση καλωδιακών βλαβών και οι δυνατότητές τους πέραν της φωνόσυχνης λειτουργίας δεν είναι σε μεγάλο βαθμό

²⁵ Public Network Operators - PNO

²⁶ EURESCOM P.917 (1999)

²⁷ Αν και χρησιμοποιούνται συνήθως χάλκινοι αγωγοί, κατά την περίοδο 1960-1970 σε κάποιες ευρωπαϊκές χώρες χρησιμοποιήθηκαν λόγω χαμηλότερου κόστους και αγωγοί επιχαλκωμένου αλουμινίου. Μέχρι το 1985 χρησιμοποιούντο καλώδια με μόνωση χάρτου, ενώ από τότε μέχρι σήμερα χρησιμοποιούνται καλώδια χαλκού με μόνωση πολυαιθυλενίου.

δεδομένες. Χρησιμοποιούνται συνήθως αγωγοί με διάμετρο συνήθως 0,4²⁸ και 0,6 mm, ενώ σπανιότερα 0,8 και 0,9 mm²⁹.

Σε ομοιόμορφα μήκη καλωδίων, το μέγιστο καλωδιακό μήκος για κάθε διάμετρο αγωγού περιορίζεται σε 3,5 – 6,0 – 8,0 και 9 km αντίστοιχα. Αν και σε αστικό περιβάλλον προτιμώνται ομοιόμορφα καλωδιακά μήκη με διάμετρο αγωγού 0,4 ή 0,6 mm, σε κάποιες περιπτώσεις και προκειμένου να αυξηθεί η εμβέλεια γίνεται μικτή χρήση καλωδίων με αγωγούς 0,4 και 0,6 mm, χωρίς προσαρμογή της σύνθετης αντίστασης στο σημείο σύνδεσης. Καλώδια με αγωγούς διαμέτρου 0,8 ή 0,9 mm χρησιμοποιούνται μόνο για την παροχή τηλεφωνικών υπηρεσιών σε απομακρυσμένους οικισμούς.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα ερωτηματολογίου προς ευρωπαϊκούς PNO στα πλαίσια του ερευνητικού έργου EURESCOM Project P614

Δομή Δικτύου	Κύριο Δίκτυο	Απερχόμενο Δίκτυο	Συνδρομητικό Δίκτυο
	Πρώτο Τμήμα	Δεύτερο Τμήμα	Τρίτο Τμήμα
Μέσο Καλωδιακό μήκος (m) Αστικές Περιοχές Αγροτικές Περιοχές	500 – 2.000	300 – 1.000 100 – 1.000	50 - 100
Ζεύγη ανά τμήμα (μέση τιμή)	400 – 2.400	10 - 200	1 - 2
Διάμετρος αγωγών (mm)	0,4 – 0,6	0,4 – 0,6	0,4 – 0,8
Ποσοστό χρήσης ζευγών ανά τμήμα (ενεργά ζεύγη)	65 %	50 %	100 %
Στοιχεία υποδιαίρεσης χάλκινου δικτύου (%) Αστικό/Μητροπολιτικό: σωληνώσεις Ημιαστικό : σωληνώσεις / άμεσης ταφής Αγροτικό: Εναέριο	80 % 50 % / 30 % 80 %		

Ο υπαίθριος κατανεμητής χάλκινων καλωδίων (KV) αποτελεί το κύριο σημείο ευελιξίας, ως διεπαφή μεταξύ των καλωδίων του κύριου και απερχόμενου δικτύου. Αποτελείται από μια υπαίθρια καμπίνα κατάλληλων διαστάσεων³⁰, μεταλλική ή πλαστική³¹, η οποία τοποθετείται πάνω σε τσιμεντένια βάση κατάλληλου ύψους για προστασία από πλημμύρες, και εξοπλίζεται με στοιχεία τερματισμού και διασύνδεσης³² καλωδίων για τον τερματισμό του κυρίου και απερχόμενου δικτύου. Το σύνολο των συνδρομητών, που

²⁸ Στις ΗΠΑ και την Μ. Βρετανία χρησιμοποιούνται αγωγοί διαμέτρου 0,5 mm.

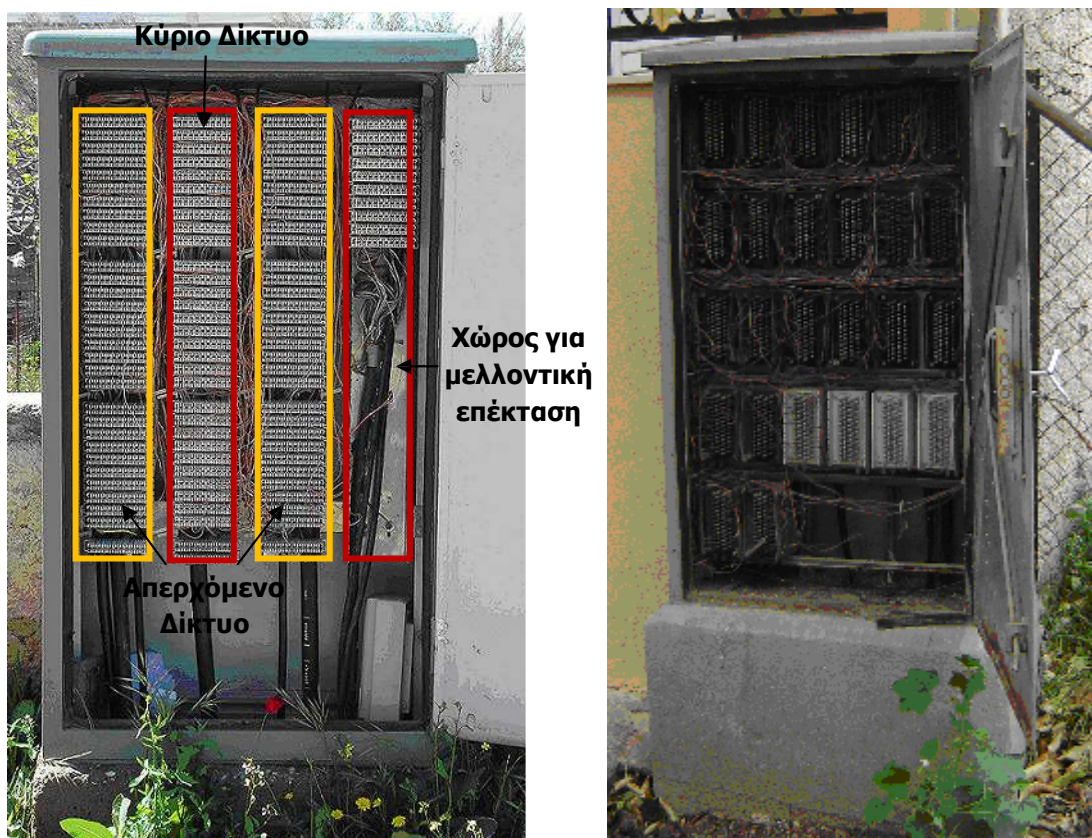
²⁹ Στις ΗΠΑ χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης διαμέτρου αγωγών το AWG (American Wire Gauge). Έτσι διάμετροι 0,4, 0,5 και 0,6 mm αντιστοιχούν σε 26, 24 και 22 AWG.

³⁰ ΟΤΕ χρησιμοποιεί υπαίθριες καμπίνες διαστάσεων (ΥxΠxΒ) 1.400x730x270 mm

³¹ Ο ΟΤΕ χρησιμοποιεί σχεδόν αποκλειστικά μεταλλικές καμπίνες από γαλβανισμένη λαμαρίνα, ενώ σε παραθαλάσσιες περιοχές χρησιμοποιούνται καμπίνες από ανοξείδωτο υλικό.

³² Οι παλαιότερες καμπίνες χρησιμοποιούν μονάδες προ-τερματισμένων τεστίνων, ενώ οι νεότερου τύπου καμπίνες χρησιμοποιούν στοιχεία τερματισμού IDC (Επαφές Μετατόπισης Μόνωσης - Insulation Displacement Contact).

εξυπηρετούνται από ένα KV, ποικίλει από 150 μέχρι και 600³³, και εξαρτάται από την πυκνότητα πληθυσμού και τον γενικότερο δικτυακό σχεδιασμό. Σε περιοχές με μεγαλύτερη πληθυσμιακή πυκνότητα χρησιμοποιούνται μεγαλύτερα KV, ενώ μικρής χωρητικότητας KV σε πυκνοκατοικημένες περιοχές συχνά υποδηλώνουν μικρού μήκους δίκτυο διανομής. Το σχήμα 4 απεικονίζει τους διαφορετικούς τύπους KV, που χρησιμοποιεί ο ΟΤΕ και την εσωτερική τους διαμόρφωση.



Σχήμα 4 Τα KV του ΟΤΕ (νέου και παλαιού τύπου) έχουν χωρητικότητα τερματισμού μέχρι 1.200 και 750 ζεύγη αντίστοιχα, με λόγο 2:3 μεταξύ των ζευγών κυρίου και απερχόμενου δικτύου.

Η εισαγωγή ενός κτιρίου ή το κουτί τερματισμού (KT) αποτελεί τον τερματισμό του απερχόμενου δικτύου στο άκρο του συνδρομητή. Βρίσκεται στο εσωτερικό ενός κτιρίου, συνδεδεμένο με την εσωτερική καλωδίωση των διαμερισμάτων μιας πολυκατοικίας, ή σε εξωτερικό χώρο, στερεωμένο πάνω σε τοίχο ή στύλο. Τόσο τα εσωτερικά όσο και τα εξωτερικά KT είναι μεταλλικά ή πλαστικά και είναι εξοπλισμένα με στοιχεία τερματισμού. Τα εσωτερικά KT, γνωστά και ως εσκαλίτ, είναι μεγαλύτερα ώστε να επιτρέπουν τον τερματισμό μέχρι και 50 ζευγών³⁴ (εισαγωγή εξωτερικού καλωδίου και εσωτερική καλωδίωση), ενώ τα εξωτερικά KT είναι μικρότερα, με χωρητικότητα τερματισμού από 10 έως 20 ζευγών. Η συνδρομητική καλωδίωση από τα εξωτερικά KT μέχρι τον συνδρομητή γίνεται με αυτοστήρικτα καλώδια³⁵ 2 ή 4 ζευγών.

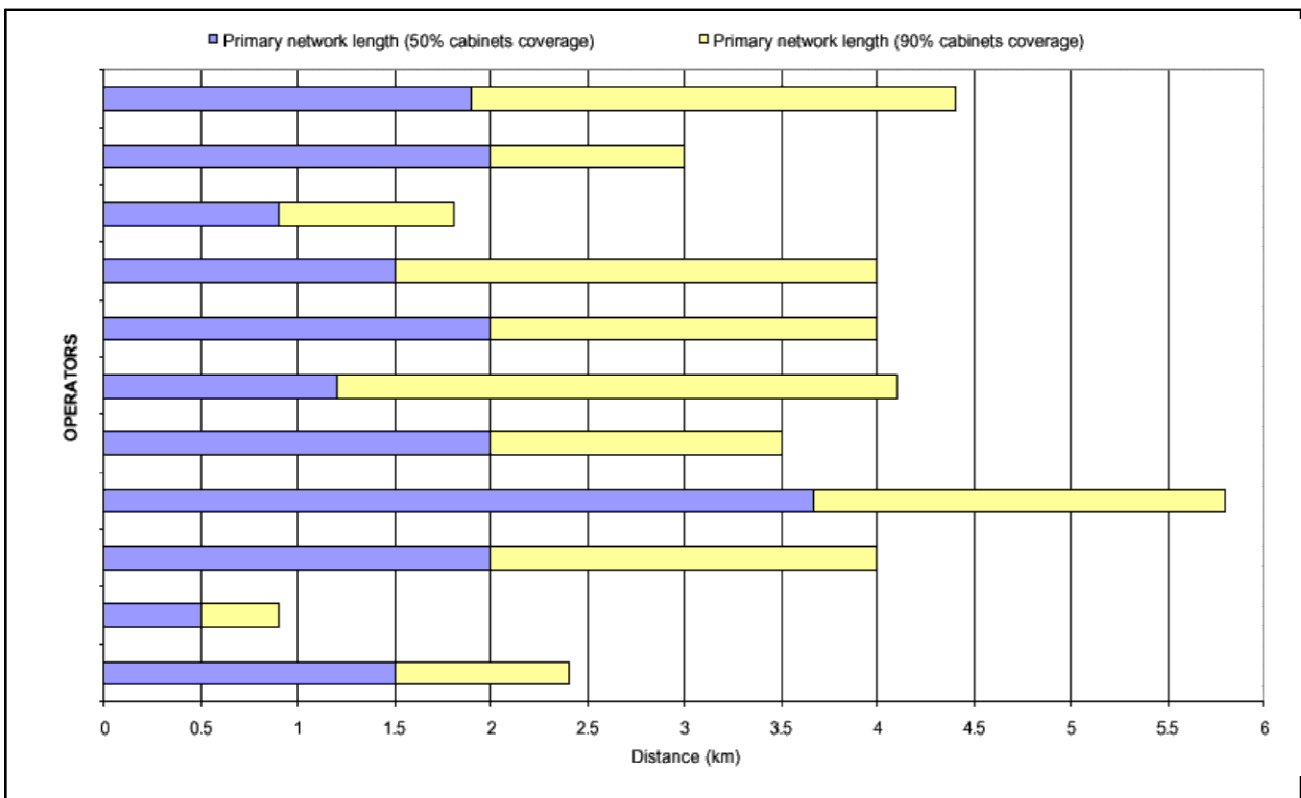
³³ ITU-T FS-VDSL FGTS Part 1: Operator requirements, Table 4 p. 27

³⁴ Συνήθως τερματίζουν 20 ζεύγη εξωτερικού δικτύου

³⁵ Σε μερικές χώρες χρησιμοποιούνται αντί καλωδίων συρμάτινοι αγωγοί (drop wires).

Από τα ανωτέρω, καθίσταται εμφανές ότι τόσο οι δυνατότητές όσο και οι επιλογές ενός τηλεπικοινωνιακού παρόχου (PNO³⁶) ως προς την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών επηρεάζονται σημαντικά από τον επιμέρους σχεδιασμό και την διαστασιοποίηση του υφιστάμενου δικτύου πρόσβασης. Για παράδειγμα, σε χώρες που το δίκτυο διανομής έχει μεγάλο μήκος, είναι φτωχό ή κακής ποιότητας η επιλογή FTTB/H αποτελεί ουσιαστικά μονόδρομο, ενώ αντίθετα σε χώρες που το δίκτυο διανομής είναι μικρού μήκους και καλής ποιότητας η επιλογή FTTC με VDSL2 εμφανίζεται ως καλύτερη επιλογή.

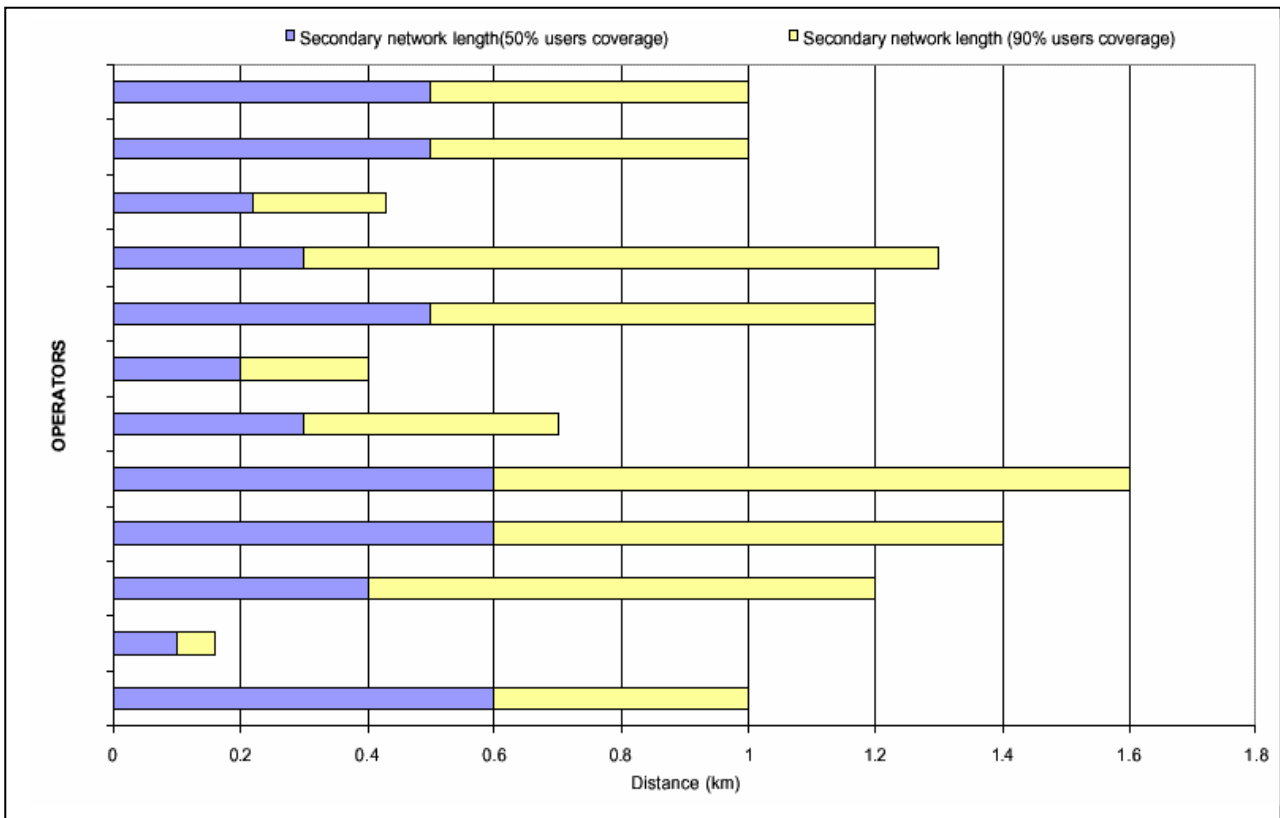
Μερικά ενδιαφέροντα στοιχεία, που αφορούν ευρωπαϊκές Telco³⁷ και αναφέρονται στο μήκος του δικτύου πρόσβασης (κύριου και απερχόμενου) παρουσιάζονται στα σχήματα 5 και 6 αντίστοιχα.



Σχήμα 5 Στοιχεία κάλυψης κυρίου δικτύου ευρωπαϊκών Telco [ITU-T FS-VDSL FGTS Part 1: Operator requirements, p. 26].

³⁶ Public Network Operator - PNO

³⁷ ITU-T FS-VDSL FGTS Part 1: Operator requirements, Table 4 p. 26



Σχήμα 6 Στοιχεία κάλυψης απερχόμενου δικτύου ευρωπαϊκών Telco [ITU-T FS-VDSL FGTS Part 1: Operator requirements, p. 26].

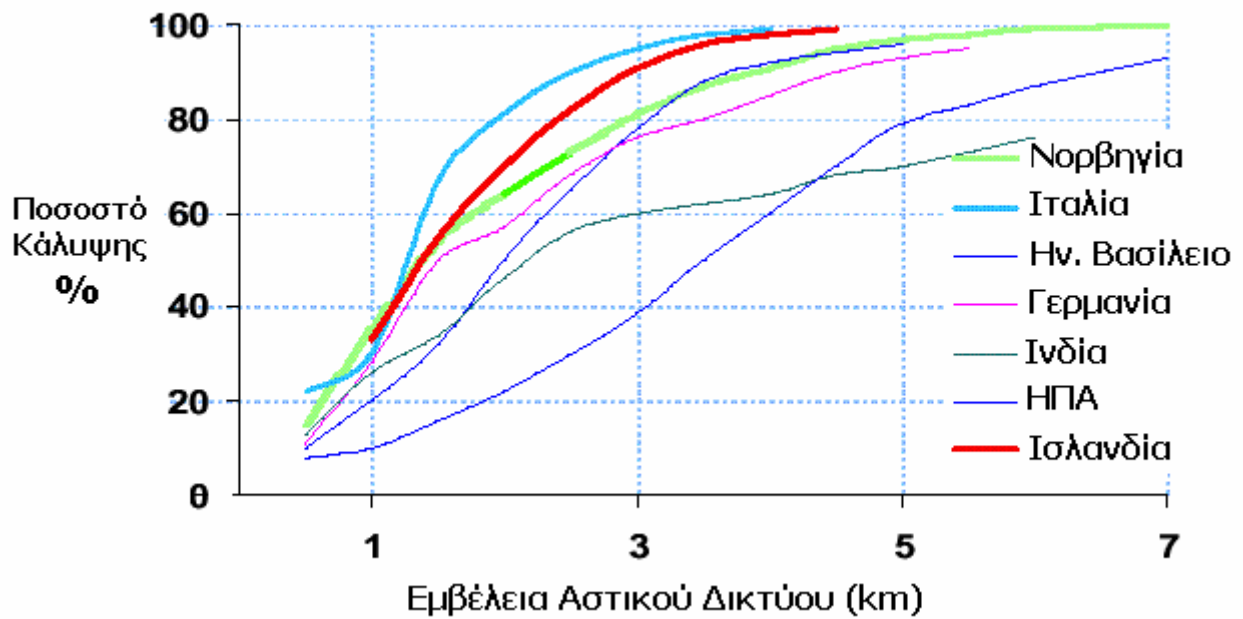
Αντίστοιχα στοιχεία, σχετικά με το μέσο πλήθος των συνδρομητών που εξυπηρετούνται ανά KV και KT αναφέρονται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3 Διαστασιοποίηση των KV και KT σε δίκτυα πρόσβασης ευρωπαϊών Telco.

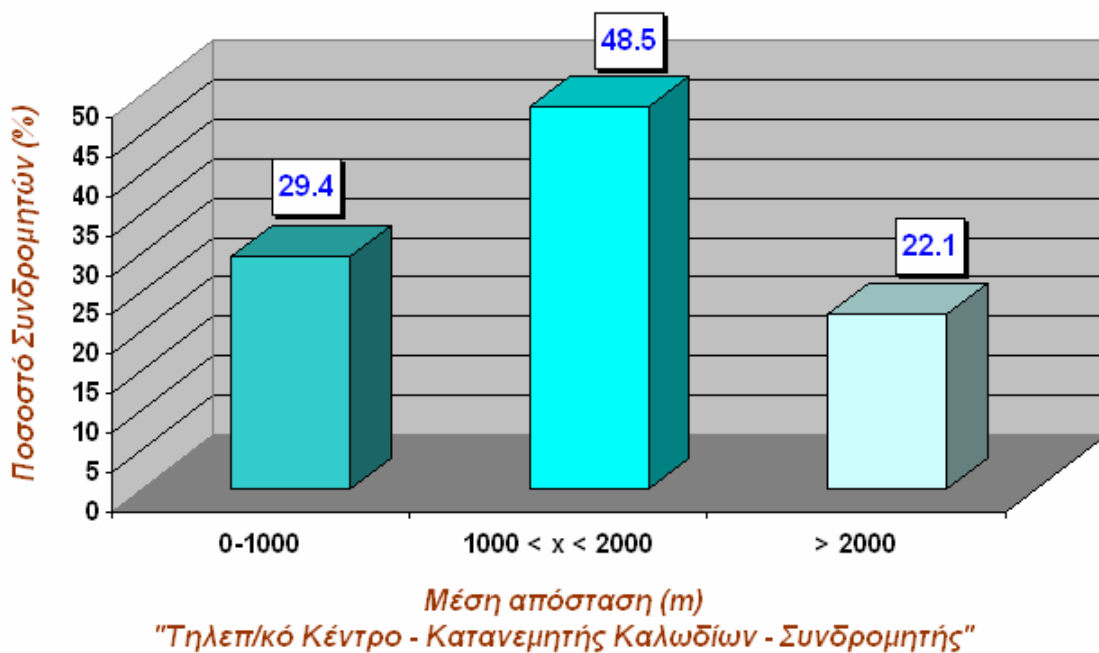
PNO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
KV	250	600	250	500	250	200	350	500	400	300	350	110
KT	20	25	20	8	4	12	7	8	4	-	10	7

Συμπερασματικά, στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες πάνω από το 60 % του συνόλου των συνδρομητών βρίσκεται σε απόσταση μέχρι 2 km από το αστικό κέντρο. Αντίθετα στις ΗΠΑ, στην Νορβηγία και στην Ινδία, το δίκτυο πρόσβασης έχει μεγαλύτερο μήκος, όπως εμφανίζεται στο σχήμα 7.

Στην Ελλάδα η δομή του δικτύου πρόσβασης ομοιάζει με εκείνο της Γερμανίας, και το 78 % των συνδρομητών βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 2 km από το αστικό κέντρο (βλέπε σχήμα 8). Τα στοιχεία διαφοροποιούνται μεταξύ περιοχών, με μικρότερα μήκη χαλκού στις πολυκεντρικές περιοχές στο κέντρο των πόλεων και μεγαλύτερα μήκη σε προαστιακές περιοχές, που αναπτύσσονται οικιστικά στις παρυφές των πόλεων.



Σχήμα 7. Συγκριτική κάλυψη δικτύων πρόσβασης σε διάφορες χώρες³⁸



Σχήμα 8. Κάλυψη δικτύου πρόσβασης ΟΤΕ (πανελλαδικά)³⁹

³⁸ ΠΗΓΗ: Η. Μ. Sigurdsson PhD Thesis Kongens Lyngby 2007

³⁹ ΠΗΓΗ: Α. Αλπάνης και Α. Παναζόπουλος, Υποδ/ση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων, Γενική Δ/ση Περιφερειών, ΟΤΕ Α.Ε., 3/12/2008

3 Δικτυακές Υπηρεσίες

Οι υπηρεσίες προσθέτουν αξία σε ένα δίκτυο, χωρίς αυτές τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα είναι λεωφόροι άδειες από αυτοκίνητα, πολλαπλές λωρίδες κυκλοφορίας χωρίς κίνηση και χωρίς έσοδα από διόδια για να χρηματοδοτήσουν την συντήρησή τους και να δικαιολογήσουν την ύπαρξή τους. Κάποιοι υποστηρίζουν προκαταβολικά, «Δώστε μας εφαρμογές, που να απαιτούν αρκετό εύρος ζώνης ώστε να δικαιολογείται η απαιτούμενη δικτυακή επένδυση, υποδείξτε μας μια «χρυσοφόρα εφαρμογή»⁴⁰. Άλλοι υποστηρίζουν ότι η προσφορά εύρους ζώνης, δηλαδή υψηλών ταχυτήτων, σε χαμηλές τιμές θα δημιουργήσει από μόνη της τις απαιτούμενες εφαρμογές και θα οδηγήσει σε ανάπτυξη αντίστοιχη με εκείνη της αγοράς των υπολογιστών, όσο αφορά στη σχέση του λογισμικού (S/W) με το υλισμικό (H/W).

Σύμφωνα με την άποψη του συγγραφέα, δεν υπάρχει στις τηλεπικοινωνίες μια «χρυσοφόρα εφαρμογή», που να δικαιολογεί από μόνη της τις τεράστιες επενδύσεις, που απαιτούνται για την ανάπτυξη του δικτύου NGA. Υπάρχει όμως ένα σημαντικό πλήθος εφαρμογών, όπως αυτές του πίνακα 4, οι οποίες, εφόσον εξυπηρετηθούν από μια κοινή πλατφόρμα δικτύου IP⁴¹, μπορούν λόγω οικονομίας κλίμακας να τιμολογηθούν αρκετά χαμηλά ώστε να δημιουργήσουν ικανή ζήτηση και να προσφέρουν έσοδα.

Στον πίνακα 4 γίνεται αναφορά σε συγκεκριμένες εφαρμογές φωνής, ήχου, κινούμενης εικόνας και δεδομένων και τις απαιτήσεις τους σε ταχύτητα πρόσβασης, ποιότητα υπηρεσίας (QoS), αποδεκτή καθυστέρηση, απώλεια πακέτων, ροή και είδος μετάδοσης. Αν και οι υπηρεσίες αυτές εξελίσσονται συνεχώς και επομένως, οι ως άνω απαιτήσεις τους για τα επόμενα πέντε έτη πιθανότατα να μεταβληθούν, οι απαιτήσεις ενός μέσου νοικοκυριού για 1 κανάλι τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας (HDTV-MPEG4), 2 συμβατικά κανάλια τηλεόρασης (SDTV-MPEG4), 2 κανάλια για παιχνίδια, 2 συνδέσεις βίντεο-τηλεφωνίας και 1 σύνδεση «γρήγορου» internet δεν αναμένεται να ξεπερνούν τα 24 Mbit/s⁴². Η εξέλιξη της ζήτησης (προβλεπόμενης μέγιστης και μέσης) σε ταχύτητες πρόσβασης ενός νοικοκυριού και οι τεχνολογίες, που χρησιμοποιούνται για να την καλύψουν, αποτυπώνονται στο σχήμα 9.

Για να γίνει κατανοητή η φύση και η μελλοντική μορφή των εφαρμογών πολυμέσων πρέπει να τονιστεί η διαφορά μεταξύ της παροχής υπηρεσιών μέσω του διαδικτύου, που υποστηρίζει μόνο ποιότητα υπηρεσίας «βέλτιστης προσπάθειας»⁴³, και της παροχής υπηρεσιών από διαχειριζόμενα δίκτυα, που υποστηρίζουν υπηρεσίες και εφαρμογές με διαφορετική ποιότητα υπηρεσίας, η οποία ελέγχεται και καθορίζεται από σχεδιαστικές παραμέτρους QoS.

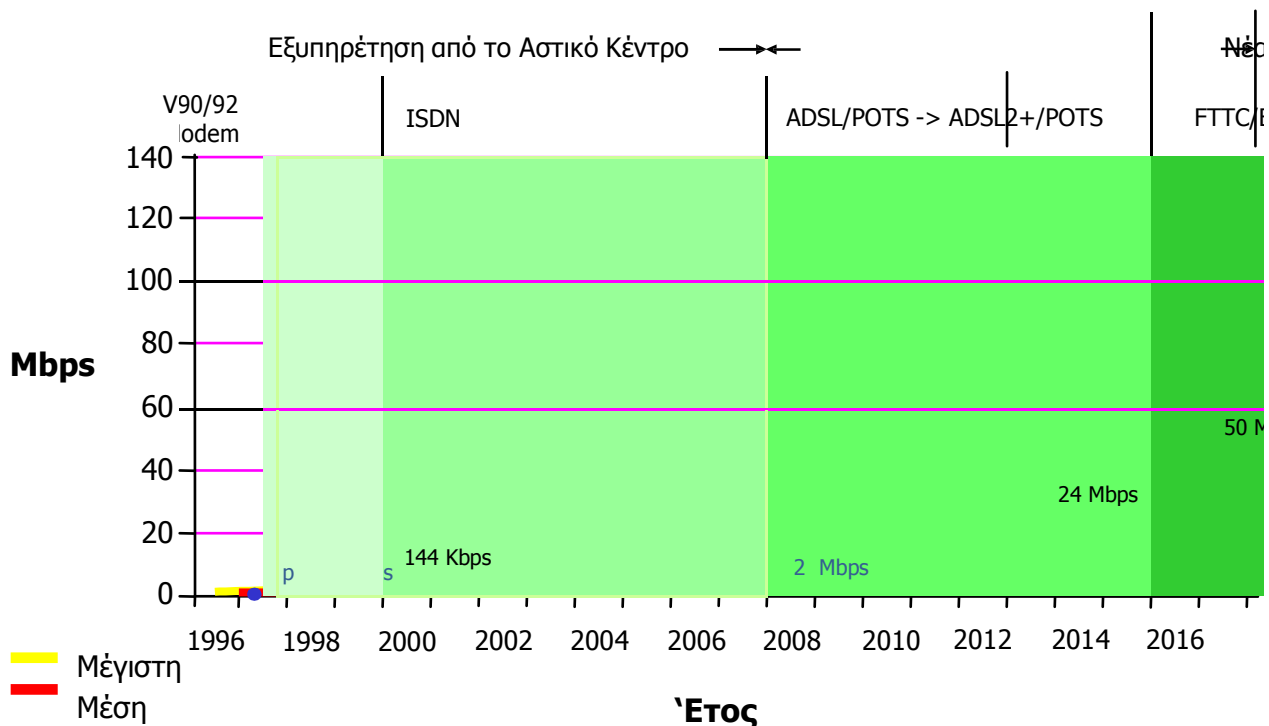
Οι περισσότερες ευρωπαϊκές τηλεπικοινωνιακές εταιρίες παρέχουν ήδη ή ετοιμάζονται να προχωρήσουν σύντομα στην παροχή υπηρεσιών πολυμέσων, IPTV και VoD.

⁴⁰ Απόδοση του όρου killer application

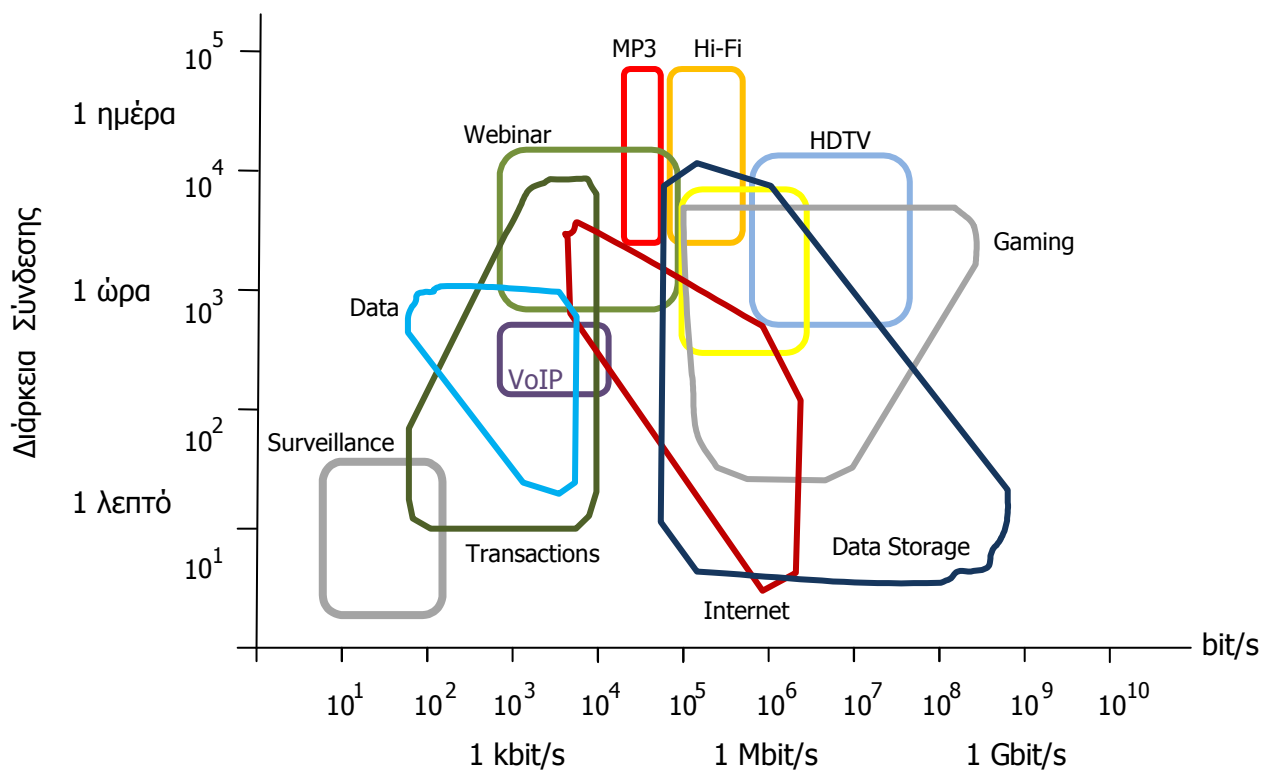
⁴¹ A transformation from a "data-centric" to a "multimedia" platform

⁴² P. Dal Bono, "Telecom Italia domestic NGN2: the first important steps toward FTTH", 2008, FTTx Council Europe Conference"

⁴³ Απόδοση του όρου best effort



Σχήμα 9. Μέγιστη και μέση απαίτηση ενός νοικοκυριού σε ρυθμό πληροφορίας.



Σχήμα 10. Τηλε-εφαρμογές: Απαιτήσεις διάρκειας σύνδεσης και ρυθμού πληροφορίας⁴⁴.

⁴⁴ ΠΗΓΗ: The Triple Play Challenge by F.J. Hens & J.M. Caballero, Trend Communications

Παρά τις φιλότιμες προσπάθειες όμως των εταιριών κατασκευής εξοπλισμού και των συνεργιών μεταξύ εταιριών του χώρου, εμφανίζονται ακόμη δυσκολίες και εμπόδια, που σχετίζονται με την μη τυποποίηση του θεσμικού πλαισίου, τα μικρά περιθώρια κέρδους και κυρίως τον ανταγωνισμό από την παροχή αντίστοιχων, πολύ χαμηλότερης ποιότητας υπηρεσιών μέσω του διαδικτύου.

Προκειμένου να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις των νέων υπηρεσιών στις απαιτήσεις για εύρος ζώνης στο δίκτυο πρόσβασης, είναι σημαντικό να εξετασθούν οι προβλέψεις ζήτησης για την επόμενη πενταετία. Δημοσιευμένα στοιχεία από έρευνες και μελέτες⁴⁵ δείχνουν ότι οι απαιτήσεις σε ταχύτητες πρόσβασης ενός μέσου νοικοκυριού αναμένονται την επόμενη πενταετία να αυξηθούν, φθάνοντας από 30 ως και 50 Mbit/s, ανάλογα με την δημογραφική ιδιαιτερότητα κάθε περιοχής. Οι διακυμάνσεις των απαιτήσεων σε επίπεδο εφαρμογής παρουσιάζονται στο σχήμα 10.

Πίνακας 4. Υπηρεσίες πολυμέσων – Βασικά χαρακτηριστικά και απαιτήσεις QoS [ΠΗΓΗ: H. M. Sigurdsson, Ph.D. Thesis, Kongens Lyngby 2007, Ch.2, p. 91]

Κατηγορία	Υπηρεσία	Ρυθμός Πληροφορίας (kbit/s)		QoS	Καθυστερήση (ms)	PLR ₄₆	Ροή	Τύπος
		Κατερχόμενου	Ανερχόμενου					
Φωνή	PSTN	64	64	CBR ⁴⁷	150	1%	αμφίδρομη	unicast
	VoIP	30	30	rt-VBR ⁴⁸	400	3%	αμφίδρομη	unicast
Ήχος	Audio-conferencing	128		rt-VBR			αμφίδρομη	multicast
	Audio-on-Demand	256		rt-VBR			μονόδρομη	unicast
	Broadcast Audio	128		rt-VBR			μονόδρομη	multicast
Βίντεο	Broadcast SDTV @ MPEG-2	4.000		CBR			μονόδρομη	multicast
	Broadcast HDTV @ MPEG-2	15.000		CBR			μονόδρομη	multicast
	Broadcast SDTV @ MPEG-4	2.000		CBR			μονόδρομη	multicast
	Broadcast HDTV @ MPEG-4	8.000		CBR			μονόδρομη	multicast
	Video-on-Demand SDTV	2.000		CBR			μονόδρομη	unicast
	Video-on-Demand HDTV	8.000		rt-VBR			μονόδρομη	unicast
	Video-telephony	384	384	rt-VBR			αμφίδρομη	unicast
	Video-conferencing	384	384	rt-VBR			αμφίδρομη	multicast
Δεδομένα	File Transfer	1.000-5.000		UBR ⁴⁹			μονόδρομη	unicast
	WWW	256-1.000		ABR ⁵⁰			μονόδρομη	unicast
	E-mail	1.000		UBR			Μονόδρομη	unicast
	Peer-to-peer	5.000		UBR			αμφίδρομη	unicast
	Instant Messaging	10		ABR			αμφίδρομη	unicast
	Gaming-on-Demand	1.500		CBR	100		αμφίδρομη	unicast

⁴⁵ H. M. Sigurdsson, Ph.D. Thesis, Kongens Lyngby 2007, Ch.2

⁴⁶ Packet Loss Rate - PLR

⁴⁷ Constant Bit Rate - CBR

⁴⁸ Real time Variable Bit Rate – rt-VBR

⁴⁹ Unspecified Bit Rate - UBR

⁵⁰ Available Bit Rate - ABR

4 Τεχνολογίες Δικτύου Πρόσβασης

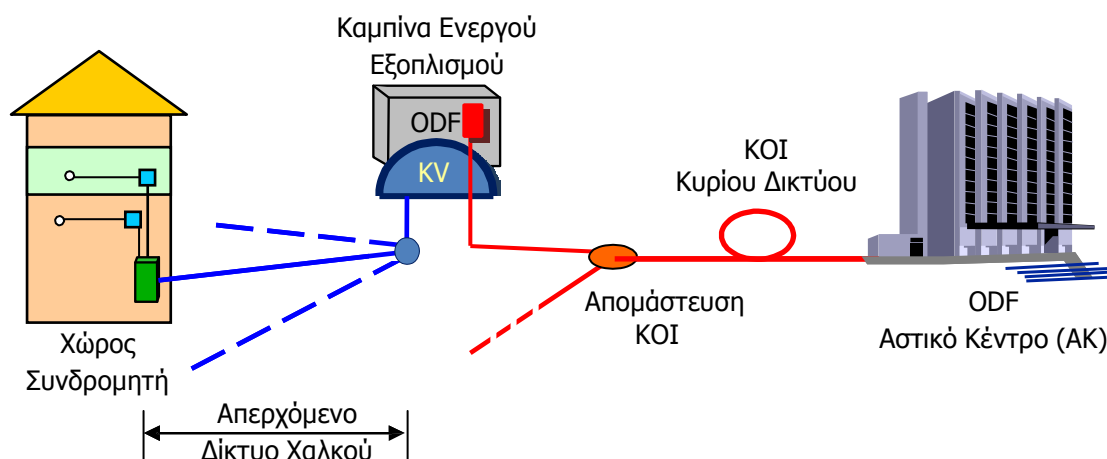
Η διείσδυση των οπτικών ινών στο δίκτυο πρόσβασης εξυπηρετείται από μια ομάδα δικτυακών τεχνολογιών, που είναι γνωστές ως FTTx (Fibre To The x), όπου η παράμετρος x υπονοεί τον βαθμό διείσδυσης της οπτικής ίνας στο δίκτυο. Αν και οι δυνατές τιμές δεν έχουν τυποποιηθεί, οι περισσότερο κοινές παραλλαγές περιλαμβάνουν:

- Fibre to the cabinet or curb (FTTC – ίνα μέχρι μια υπαίθρια καμπίνα)
- Fibre to the building (FTTB – ίνα μέχρι την εισαγωγή του κτιρίου)
- Fibre to the home (FTTH – ίνα μέχρι το διαμέρισμα του συνδρομητή).

Άλλες παραλλαγές⁵¹ περιλαμβάνουν: FTTN (fibre-to-the-neighbourhood – ίνα μέχρι τη γειτονιά), FTTO (fibre-to-the-office – ίνα μέχρι το γραφείο), FTTP (fibre-to-the-premises – ίνα μέχρι τον χώρο του συνδρομητή), FTTH (fibre-to-the-home – ίνα μέχρι τον χρήστη) και FTTD (fibre-to-the-desk – ίνα μέχρι τη θέση εργασίας).

4.1 FTTC

Το FTTC σημαίνει «ίνα μέχρι την καμπίνα» και προβλέπει τη χρήση της οπτικής ίνας μέχρι μια υπαίθρια καμπίνα εγκατάστασης ενεργού εξοπλισμού, η οποία τοποθετείται επί του πεζοδρομίου και εξυπηρετεί μια ομάδα συνδρομητών (από 50 έως 500) μέσω του υφιστάμενου απερχόμενου δικτύου χαλκού. Με δεδομένη την τοπολογία του δικτύου πρόσβασης, η πλέον κατάλληλη θέση για την εγκατάσταση του ενεργού εξοπλισμού είναι ο χώρος του υφιστάμενου υπαίθριου καταναμητή (KV). Με τον τρόπο αυτό η οπτική ίνα αντικαθιστά το καλώδιο κυρίου δικτύου, που συνδέει το KV με το αστικό κέντρο, ενώ το απερχόμενο δίκτυο διατηρείται για την πρόσβαση στο χώρο του συνδρομητή, όπως περιγράφεται στο σχήμα 11.



Σχήμα 11 Σχηματική απεικόνιση δικτύου FTTC με υπαίθρια καμπίνα ενεργού εξοπλισμού σε θέση υφιστάμενου KV.

Η ανάπτυξη ενός δικτύου FTTC προϋποθέτει την εγκατάσταση υπαίθριας καμπίνας για την εγκατάσταση ενεργού εξοπλισμού. Η καμπίνα πρέπει να έχει κατάλληλες διαστάσεις ώστε να φιλοξενεί και να προστατεύει τον ενεργό εξοπλισμό από το εξωτερικό

⁵¹ Keiser, G. (2006), p.15

περιβάλλον⁵², διασφαλίζοντας κατάλληλες συνθήκες λειτουργίας. Αν και κατά καιρούς έχουν εξετασθεί διάφορα σενάρια υλοποίησης⁵³, στην γενικότερη περίπτωση, ο ενεργός εξοπλισμός, που εγκαθίσταται εντός της καμπίνας θα πρέπει να καλύπτει πλήρως τις απαιτήσεις του συνόλου των συνδρομητών σε υπηρεσίες POTS, VoIP, ISDN, DSL (Fast Internet, IPTV, VoD), μισθωμένα κυκλώματα κλπ.

Μια υπαίθρια καμπίνα πρέπει να διαθέτει κατάλληλη διαρρύθμιση (σχήμα 12) ώστε να στεγάζει τον ακόλουθο ενεργό και παθητικό εξοπλισμό:

- Ενεργό εξοπλισμό για την παροχή υπηρεσιών στενής και ευρείας ζώνης. Στην γενικότερη περίπτωση μπορεί να χρησιμοποιούνται δύο διακριτά είδη πλαισίων, ένα πλαίσιο πολυπλέκτη TDM V5.2 για την παροχή υπηρεσιών POTS και ISDN και ένα πλαίσιο DSLAM για την παροχή υπηρεσιών xDSL (συνήθως VDSL2). Σε πιο πρόσφατες υλοποιήσεις χρησιμοποιείται ένα ενιαίο πλαίσιο, γνωστό ως MSAN⁵⁴, για την παροχή υπηρεσιών τόσο στενής όσο και ευρείας ζώνης, εξοικονομώντας με τον τρόπο αυτό χώρο και ισχύ λειτουργίας, αν και η τεχνολογία MSAN δεν έχει φθάσει ακόμη σε ικανοποιητικό στάδιο ωρίμανσης. Σε κάποιες περιπτώσεις, μπορεί να είναι επίσης χρήσιμη η εγκατάσταση εντός της καμπίνας και ενός μεταγωγέα Ethernet, ώστε να συγκεντρώνει κίνηση από το DSLAM και υπηρεσίες FE, που παρέχονται σε επιχειρησιακούς πελάτες FTTB/H από την υπαίθρια καμπίνα. Σε κάθε περίπτωση, ο ενεργός εξοπλισμός της καμπίνας, πρέπει να είναι ανθεκτικός σε «θερμοκρασιακή γήρανση⁵⁵», ώστε να αντέχει υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος λειτουργίας μέχρι και 60°C κατά την διάρκεια του καλοκαιριού χωρίς ανάγκη κλιματισμού, καθώς και χαμηλές θερμοκρασίες μέχρι -20°C κατά την διάρκεια του χειμώνα επί σειρά ετών.
- Εξοπλισμός μετάδοσης για όλα τα δύο είδη πλαισίων. Τα πλαίσια DSLAM, MSAN, μεταγωγέα ή ONU/ONT⁵⁶ διαθέτουν συνήθως σύνδεση Ethernet (FE ή GE) προς τον «μεταγωγέα πρόσβασης⁵⁷» του οικείου αστικού κέντρου, που εξυπηρετείται μέσω ζεύγους διαθέσιμων οπτικών ινών, χωρίς ιδιαίτερο εξοπλισμό μετάδοσης. Αντίθετα, οι πολυπλέκτες TDM συνδέονται σε κεντρική μονάδα OLT⁵⁸ στο αστικό κέντρο με NxE1 (πρωτόκολλο V5.2), και για την σύνδεσή τους απαιτείται η εγκατάσταση στην καμπίνα οπτικού modem "widelink"⁵⁹ ή εξοπλισμού μετάδοσης SDH.

⁵² Κατά τον σχεδιασμό της καμπίνας θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο οι κλιματικές συνθήκες περιβάλλοντος (θερμότητα, ψύχος, υγρασία, σκόνη κλπ) όσο και η πιθανότητα μηχανικών καταπονήσεων (ατυχήματα, βανδαλισμός κλπ).

⁵³ Ένα εναλλακτικό σενάριο «επάλληλου» δικτύου, που θα εξεταστεί σε επόμενο κεφάλαιο, προβλέπει την παροχή από την υπαίθρια καμπίνα μόνο των ευρυζωνικών υπηρεσιών και την διατήρηση των υπηρεσιών στενής ζώνης στο υφιστάμενο δίκτυο χαλκού από το αστικό κέντρο.

⁵⁴ Multiple Service Access Node – MSAN

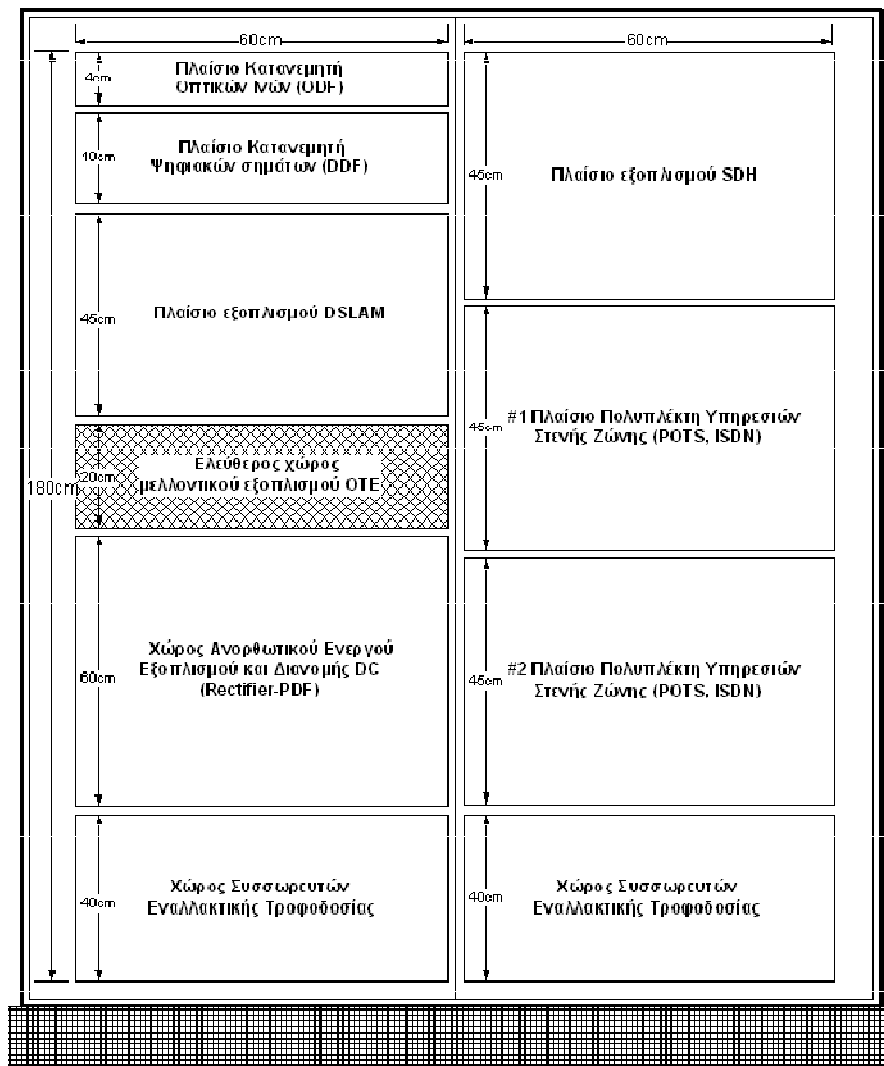
⁵⁵ Απόδοση του όρου temperature hardened

⁵⁶ Optical Network Unit – ONU; Optical Network Termination – ONT; Αναφέρεται σε ONU ή τερματικές μονάδες ONT για τεχνολογία GPON

⁵⁷ Απόδοση του όρου Access Switch

⁵⁸ Optical Line Termination – OLT

⁵⁹ "Widelink" αναφέρεται σε εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για μετάδοση 2xE1 από ΟΙ



Σχήμα 12 Σχηματική απεικόνιση του κεντρικού διαμερίσματος μιας υπαίθριας καμπίνας με την τυπική διάταξη του ενεργού εξοπλισμού που θα στεγάσει.

- Μονάδα ηλεκτρικής τροφοδοσίας, τοπική ή απομακρυσμένη, κατάλληλης ισχύος για την λειτουργία του ενεργού εξοπλισμού. Σε περίπτωση τοπικής τροφοδοσίας χρησιμοποιούνται: ένας μετρητής για μέτρηση της καταναλωόμενης ενέργειας⁶⁰, μια ανορθωτική διάταξη για την παροχή DC τάσης στα -48 V, καθώς και ηλεκτρικούς συσσωρευτές για εφεδρεία σε περίπτωση διακοπών τάσης⁶¹. Για χαμηλές απαιτήσεις ισχύος (<500 W), μπορεί να χρησιμοποιηθεί και τηλετροφοδότηση ισχύος από το αστικό κέντρο⁶², μέσω ικανού πλήθους διαθέσιμων

⁶⁰ Εγκαθίσταται συνήθως σε αυτόνομο διαμέρισμα της καμπίνας με ανεξάρτητη πρόσβαση.

⁶¹ Διάρκεια αυτόνομης λειτουργίας 3 έως 6 ώρες είναι συνήθως επαρκής, αν και μπορεί να εξαρτάται από την συμφωνία (SLA) με τον παροχέα ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΗ).

⁶² "Evolution of the telecom powering strategy: moving to a cost effective and reliable solution using remote powering", Enrico Blondel, Rolf Rubin, Swisscom Ltd.

ζευγών χαλκού⁶³ του κυρίου δικτύου. Η τηλε-τροφοδότηση ισχύος μπορεί να γίνει με DC ή AC⁶⁴, από το οικείο αστικό κέντρο ή από μια υπαίθρια καμπίνα εγκατάστασης ηλεκτρικού εξοπλισμού, χρησιμοποιώντας τεχνικές ομαδοποίησης⁶⁵. Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται η εγκατάσταση μιας τερματικής μονάδας ισχύος, η οποία συνδέεται με την αντίστοιχη κεντρική μονάδα μέσω χάλκινων τηλεφωνικών ζευγών. Η τηλε-τροφοδοσία της καμπίνας από το αστικό κέντρο αναιρεί την ανάγκη για χρήση μπαταριών στην καμπίνα, εξοικονομώντας χώρο εντός της καμπίνας και μειώνοντας το κόστος συντήρησης, αφού σε περίπτωση διακοπής τάσης η εφεδρεία παρέχεται από το ηλεκτροπαροχικό ζεύγος του αστικού κέντρου. Η επιλογή μεταξύ τοπικής ή απομακρυσμένης τροφοδοσίας εξαρτάται από τις απαιτήσεις ισχύος του ενεργού εξοπλισμού⁶⁶, το κόστος, την διαθεσιμότητα και τους περιορισμούς ασφαλείας κάθε χώρας. Στο εσωτερικό της καμπίνας εγκαθίσταται επίσης πλαίσιο καταναλωτή ισχύος PDU⁶⁷ με ασφαλειοδιακόπτες για την σύνδεση της ηλεκτρικής τροφοδοσίας του ενεργού εξοπλισμού.

- Το πλαίσιο του τοπικού καταναλωτή καλωδίων (LDF⁶⁸) χρησιμοποιείται για την παροχή υπηρεσιών (ευρείας και στενής ζώνης) στους συνδρομητές, μέσω πρόσβασης στο υφιστάμενο χάλκινο δίκτυο διανομής. Σε πολλές περιπτώσεις, είναι επιθυμητό για λόγους οικονομίας, να διατηρηθεί ο LDF του υφιστάμενου KV (KV-LDF), με ενσωμάτωσή του στην δομή της υπαίθριας καμπίνας, αποφεύγοντας έτσι το κατασκευαστικό κόστος της γεφύρωσης του υφιστάμενου δικτύου διανομής στη νέα καμπίνα. Ο χώρος, που απαιτείται για την ενσωμάτωση του KV-LDF στην υπαίθρια καμπίνα επηρεάζει σημαντικά τις διαστάσεις της καμπίνας και την διάταξη του ενεργού εξοπλισμού εντός αυτής.

Στην γενικότερή της μορφή (σχήμα 13), η καμπίνα πρέπει να διαθέτει τον απαιτούμενο χώρο για τον τερματισμό των πλαισίων παροχής υπηρεσιών στενής και ευρείας ζώνης και την υποδοχή των μονάδων διαμερισμού (MDF splitter) για την υπέρθεση υπηρεσιών DSL. Για μια καμπίνα χωρητικότητας 300 συνδρομητών και για λόγο «κυρίου δικτύου ως προς δίκτυο διανομής» ίσο με 2/3, απαιτείται χώρος τερματισμού 750 ζευγών⁶⁹.

⁶³ 25 ζεύγη χαλκού επαρκούν για την παροχή ισχύος περίπου 300 W μέσω ενός τηλεφωνικού χάλκινου καλωδίου σε απόσταση 3 km από το αστικό κέντρο.

⁶⁴ Τηλε-τροφοδότηση DC με προς τα άνω μετατροπή σε τάση 300 V στο αστικό κέντρο και προς τα κάτω μετατροπή στα -48 V στην υπαίθρια καμπίνα. Με τον τρόπο αυτό είναι εφικτή η παροχή ισχύος μέχρι και 15 W ανά ζεύγος χαλκού.

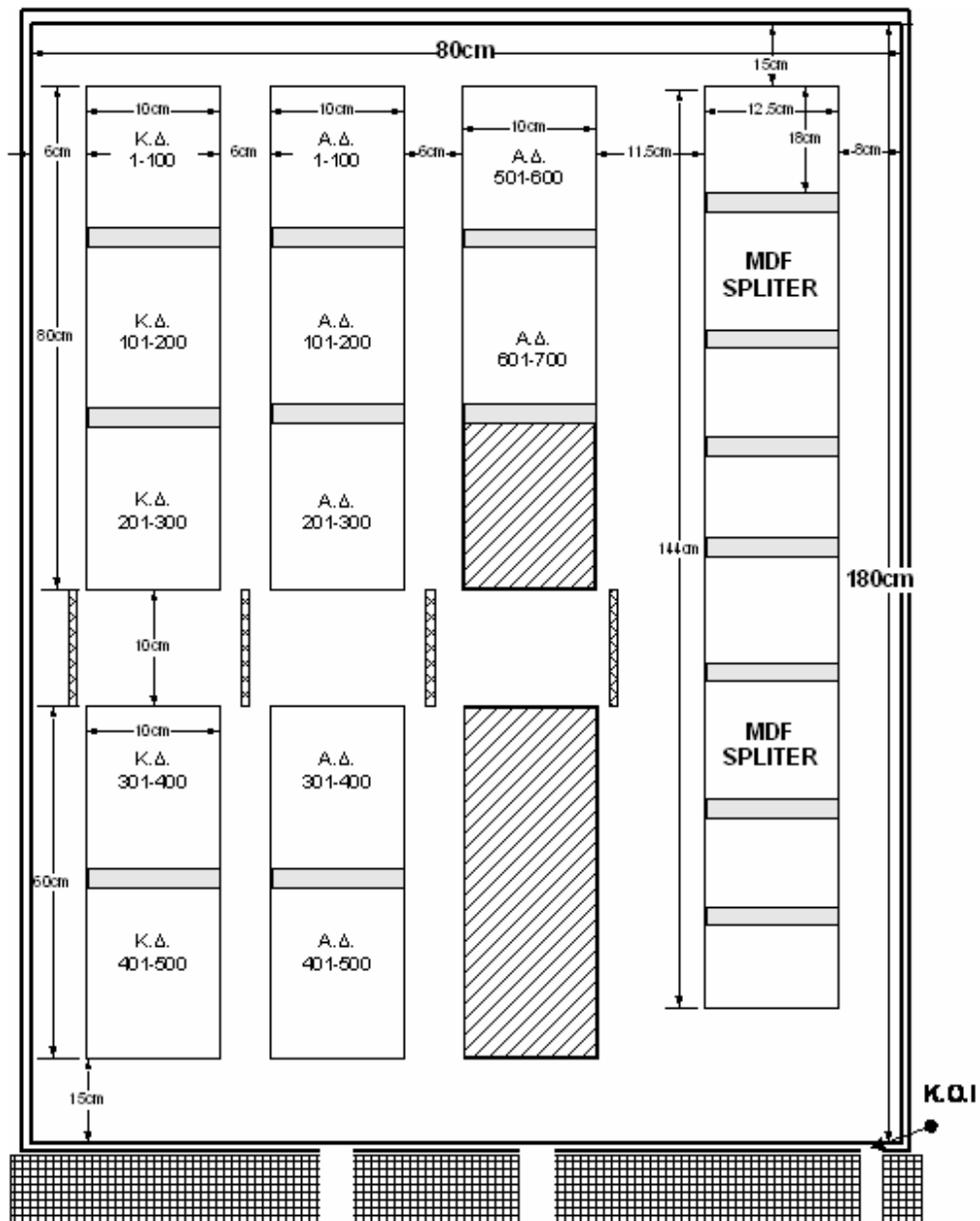
⁶⁵ Η κεντρική μονάδα τηλε-τροφοδότησης εγκαθίσταται σε υπαίθρια καμπίνα με τοπική τροφοδοσία, ανορθωτικές μονάδες και μπαταρίες, και χρησιμοποιείται για απομακρυσμένη ηλεκτρική τροφοδοσία μιας ομάδας από υπαίθριες τηλεπικοινωνιακές καμπίνες (μέχρι 10 σε κάθε ομάδα)

⁶⁶ Σήμερα, απαιτείται περίπου ισχύς κατανάλωσης 3 W ανά θύρα VDSL2, στο μέλλον η τιμή αυτή αναμένεται να μειωθεί κάτω από 2 W.

⁶⁷ Power Distribution Frame – PDU

⁶⁸ Local Distribution Frame - LDF

⁶⁹ Απαιτούνται 300 ζεύγη για τερματισμό του πλαισίου υπηρεσιών στενής ζώνης και 450 ζεύγη για το δίκτυο διανομής. Σημαντική εξοικονόμηση χώρου μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση μονάδων τερματισμού MDF splitter, που συνδυάζουν τις απαιτήσεις τερματισμού των πλαισίων παροχής υπηρεσιών ευρείας και στενής ζώνης.



Σχήμα 13 Το διαμέρισμα της υπαίθριας καμπίνας και διάταξη LDF. Οι διαστάσεις που αναγράφονται είναι ενδεικτικές για χωρητικότητας τερματισμού 500 ζευγών Κ.Δ., 700 ζευγών Α.Δ. και 512 ορίων MDF splitter.

- Το πλαίσιο οπτικού κατανομητή (ODF⁷⁰) απαιτείται για τον τερματισμό του καλωδίου οπτικών ινών, που συνδέει την υπαίθρια καμπίνα με το αστικό κέντρο. Αν και στις περισσότερες περιπτώσεις ο τερματισμός ΚΟΙ 12 ινών μπορεί να θεωρηθεί επαρκής, η δυνατότητα τερματισμού περισσότερων ΟΙ μπορεί να είναι χρήσιμη σε μελλοντικές εφαρμογές (δηλαδή για την παροχή σε συνδρομητές υπηρεσιών FE μέσω οπτικής ίνας κλπ).

⁷⁰ Optical Distribution Frame - ODF

- Μονάδα για τον θερμοκρασιακό έλεγχο του ενεργού εξοπλισμού στο εσωτερικό της καμπίνας, το είδος και οι δυνατότητές της οποίας εξαρτώνται από τις συνολικές απαιτήσεις κατανάλωσης ισχύος του ενεργού εξοπλισμού. Η ψύξη θεωρείται περισσότερο σημαντική σε χώρες του ευρωπαϊκού νότου, όπου κατά την διάρκεια του καλοκαιριού η εξωτερική θερμοκρασία μπορεί να ξεπερνά τους 50°C. Για την ψύξη του ενεργού εξοπλισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές τεχνικές, όπως εξαερισμός με ανεμιστήρες και φίλτρα σκόνης, απαγωγείς θερμότητας διαφόρων μεγεθών κλπ. Η χρήση κλιματιστικών μονάδων συνήθως αποφεύγεται, αφού, περίπτωση διακοπής της ηλεκτρικής τροφοδοσίας, οι απαιτήσεις ισχύος τους αναλώνουν σε σύντομο χρόνο την εφεδρική ενέργεια των συσσωρευτών. Για υπαίθριες καμπίνες μικρών διαστάσεων, η χρήση ανεμιστήρων και φίλτρων σκόνης αποτελεί μια επιλογή χαμηλού κόστους, με αυξημένο όμως κόστος συντήρησης για τα φίλτρα και τους ανεμιστήρες. Η χρήση απαγωγέα θερμότητας φαίνεται περισσότερο κατάλληλη για υπαίθριες καμπίνες μεγαλύτερων διαστάσεων, ενώ η τεχνολογία των απαγωγέων παρουσιάζει συνεχείς βελτιώσεις σε απόδοση και μείωση θορύβου. Ένα πρόσφατο προϊόν της εταιρίας 3M με το εμπορικό όνομα "Thermosyphon"⁷¹ αναμένεται επίσης να προσφέρει έναν πολύ αποδοτικό και αθόρυβο, εναλλακτικό τρόπο ψύξης.

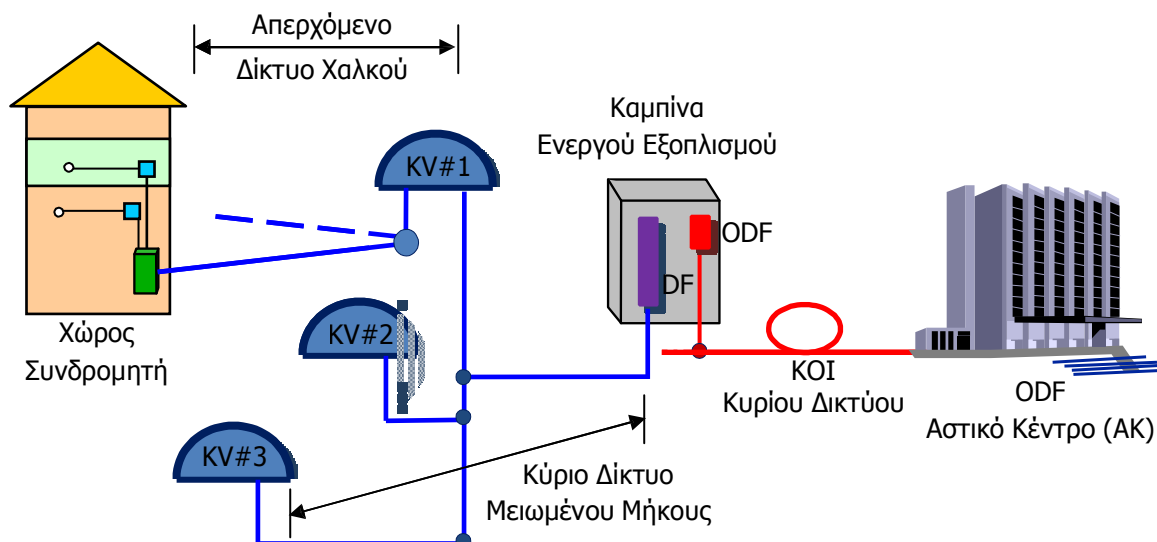
Η θέρμανση του περιβάλλοντος λειτουργίας του ενεργού εξοπλισμού είναι σημαντική στις βόρειες χώρες, όπου κατά την διάρκεια του χειμώνα η εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος υποβιβάζεται κάτω από -30°C. Αν και κατά την λειτουργία του, ο ενεργός εξοπλισμός παράγει αρκετή θερμότητα ώστε να διατηρεί την θερμοκρασία στο εσωτερικό της καμπίνας εντός των λειτουργικών απαιτήσεων, απαιτείται συχνά η χρήση μιας μικρής μονάδας θέρμανσης του χώρου για «ψυχρή εκκίνηση» του εξοπλισμού⁷².

- Ενοποιημένο σύστημα διαχείρισης για τον έλεγχο των συνθηκών λειτουργίας στο εσωτερικό της καμπίνας. Χρησιμοποιείται ομάδα ανιχνευτών για την ελεγχόμενη πρόσβαση στην καμπίνα και την παρακολούθηση των τιμών της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της υγρασίας και του καπνού, καθώς και αισθητήρες για τον έλεγχο της λειτουργίας των ανεμιστήρων, του τροφοδοτικού και των μπαταριών. Μια απομακρυσμένη μονάδα διαχείρισης πολυπλέκει τα μεμονωμένα σήματα των ανιχνευτών και των αισθητήρων σε ένα ενιαίο σήμα διαχείρισης (συνήθως με διεπαφή FE), το οποίο μεταδίδεται ως μέρος του ανερχόμενου σήματος προς την κεντρική μονάδα διαχείρισης στο αστικό κέντρο. Σημειώνεται ότι και οι μονάδες ενεργού εξοπλισμού (DSLAM, MSAN, μεταγωγέας και σύστημα μετάδοσης) διαθέτουν η κάθε μια τους ανεξάρτητο σύστημα διαχείρισης, η πληροφορία των οποίων επίσης μεταδίδεται ως μέρος του ανερχόμενου σήματος προς το αντίστοιχο σύστημα NMS.

⁷¹ Ζεστός αέρας από το DSLAM θερμαίνει το υγρό στη μονάδα εξαέρωσης. Μέσω φυσικής μεταφοράς το υγρό ρέει στον συμπυκνωτή της οροφής διαχέοντας την θερμότητα στο περιβάλλον. Μετά την ψύξη του το υγρό ρέει πίσω προς την μονάδα εξαέρωσης δημιουργώντας έναν ερμητικά κλειστό βρόχο.

⁷² Η εκκίνηση σε χαμηλές θερμοκρασίες επηρεάζει σημαντικά την λειτουργία του laser, μειώνοντας τον χρόνο ζωής του οπτο-ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

Αν και έγιναν σημαντικές προσπάθειες για την τυποποίηση μιας υπαίθριας καμπίνας για την εγκατάσταση ευρυζωνικού εξοπλισμού⁷³, το αποτέλεσμα ήταν μόνο η καταγραφή των βασικών απαιτήσεων, ώστε κάθε τηλεπικοινωνιακή εταιρία να σχεδιάζει καμπίνες προσαρμοσμένες στις ιδιαίτερες απαιτήσεις της.



Σχήμα 14 Σχηματική παρουσίαση ενός δικτύου FTTC, με μια καμπίνα να εξυπηρετεί περισσότερα από ένα KV.

Στα πλαίσια ανάπτυξης δικτύων NGA έχει επίσης εξεταστεί η δυνατότητα ομαδοποίησης περισσότερων KV (500 έως 1.000 συνδρομητών) και η εξυπηρέτησή τους από μία υπαίθρια καμπίνα ενεργού εξοπλισμού⁷⁴, όπως περιγράφεται στο σχήμα 14, μειώνοντας με τον τρόπο αυτό το πλήθος των απαιτούμενων καμπινών, με τις ακόλουθες όμως επιπτώσεις:

- Η ανάγκη για αυξημένη χωρητικότητα ενεργού εξοπλισμού απαιτεί μεγαλύτερο χώρο, αυξάνοντας τις διαστάσεις της υπαίθριας καμπίνας και δημιουργώντας δυσκολίες στην εξεύρεση κατάλληλου χώρου για την εγκατάσταση της επί του πεζοδρομίου. Επίσης, για την εγκατάσταση της καμπίνας σε νέα θέση απαιτείται καταβολή «τελών κατάληψης πεζοδρομίου» στην τοπική δημοτική αρχή.
- Η σύνδεση των δικτύων διανομής των ομαδοποιημένων KV με τον καταμετρητή της υπαίθριας καμπίνας απαιτεί πρόσθετο δικτυακό έργο, που αυξάνει το συνολικό κόστος. Το κόστος αυτό μπορεί να μειωθεί, αν διατηρηθεί μικρό τμήμα του κυρίου δικτύου από το πρώτο στη σειρά KV (όπως φαίνεται στο σχήμα 14), το οποίο θα τερματίζεται στον LDF της καμπίνας, αυξάνοντας όμως το μήκος του χάλκινου βρόχου για τους συνδρομητές του πλέον απομακρυσμένου KV.
- Η εγκατάσταση ενεργού εξοπλισμού μεγαλύτερης χωρητικότητας στην υπαίθρια καμπίνα απαιτεί μεγαλύτερη ισχύ κατανάλωσης, καθιστώντας υποχρεωτική την τοπική τροφοδοσία με χρήση μετρητή κατανάλωσης ενέργειας και συσσωρευτών

⁷³ BOBAN P917GI Eurescom project

⁷⁴ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στο σενάριο του «επάλληλου» δικτύου με διατήρηση του χάλκινου κυρίου δικτύου για την παροχή τηλεφωνίας και υπέρθεσης της ευρυζωνικότητας στον χώρο της υπαίθριας καμπίνας.

(η τηλε-τροφοδότηση δεν μπορεί να παρέχει ρεαλιστικά ισχύ πάνω από 500W), αυξάνοντας τις ανάγκες χώρου και κόστους υλοποίησης.

Φαίνεται επομένως περισσότερο λογικό να υπάρξει μια αντιστοιχία μεταξύ KV και καμπίνας ενεργού εξοπλισμού, με την ενσωμάτωση του υφιστάμενου DF του KV στη νέα καμπίνα, ακόμη και αν αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του πλήθους των απαιτούμενων καμπινών⁷⁵. Η προσέγγιση αυτή έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Χρησιμοποιείται συνήθως εξοπλισμός DSLAM ή MSAN μικρής χωρητικότητας, 100 έως 200 συνδρομητών, με μικρές απαιτήσεις χώρου και κατανάλωσης ισχύος. Ως αποτέλεσμα, οι διαστάσεις της καμπίνας μπορούν να γίνουν μικρότερες, ενώ η χαμηλότερη ισχύς κατανάλωσης επιτρέπει την τηλε-τροφοδότηση της καμπίνας, καταργώντας την χρήση μετρητή και μπαταριών για εφεδρική λειτουργία.
- Η χαμηλότερη ισχύς κατανάλωσης καθιστά επίσης ευκολότερη την διαχείριση της θερμότητας στο εσωτερικό της καμπίνας. Για μικρά DSLAM/MSAN, επαρκεί συνήθως ένα σύστημα αερισμού με δυο ανεμιστήρες και φίλτρο, αν και κάποιοι κατασκευαστές ενεργού εξοπλισμού⁷⁶ προτείνουν τη χρήση ερμητικά κλειστών καμπινών, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους συντήρησης των φίλτρων και των ανεμιστήρων.
- Μια μικρή καμπίνα ενεργού εξοπλισμού μπορεί ευκολότερα να ενσωματωθεί με το υφιστάμενο KV σε μια ενιαία οντότητα. Η νέα καμπίνα τοποθετείται συνήθως στη θέση του παλαιότερου KV, με αύξηση μόνο του ύψους κατά 40-50cm. Μπορεί επίσης να χρειαστεί μια μικρή αύξηση στο βάθος, αν και η μεταβολή στην κάτοψη της καμπίνας δεν είναι τόσο σημαντική, ώστε να απαιτείται πρόσθετη αδειοδότηση από τις δημοτικές αρχές.
- Αξιοποιώντας τον DF του υφιστάμενου KV αίρεται η ανάγκη για πρόσθετες δικτυακές εργασίες πρόσβασης στο απερχόμενο δίκτυο, περιορίζοντας το κόστος κατασκευής και αποφεύγοντας την διακοπή των συνδρομητών κατά την υλοποίηση.

Η χρήση μεγάλου πλήθους υπαίθριων καμπινών με ενεργό εξοπλισμό έχει σημαντική επίπτωση στο λειτουργικό κόστος (OPEX), τόσο για την παροχή υπηρεσιών όσο και για την συντήρηση του εξοπλισμού.

Η παροχή υπηρεσιών DSL απαιτεί εργασίες μικτονόμησης στον Κύριο Καταναμητή του Αστικού Κέντρου, που θα πρέπει τώρα να γίνονται στην υπαίθρια καμπίνα, αυξάνοντας το λειτουργικό κόστος. Η κατάσταση μπορεί να βελτιωθεί με πρόσθετη δαπάνη εξοπλισμού AMDF⁷⁷ ή χρησιμοποιώντας τεχνικές DSL-ready⁷⁸. Η συντήρηση του ενεργού

⁷⁵ Έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο κόστος επένδυσης CAPEX, λόγω του κόστους των περισσότερων καμπινών και του υψηλότερου κόστους ανά θύρα που οφείλεται στην μικρότερη χωρητικότητα του DSLAM.

⁷⁶ Η Ericsson προσφέρει ενεργό εξοπλισμό DSLAM που λειτουργεί σε θερμοκρασίες μέχρι και 70°C, και μπορεί επομένως να εγκατασταθεί σε μικρών διαστάσεων κλειστή καμπίνα χωρίς εξαερισμό.

⁷⁷ Automated MDF

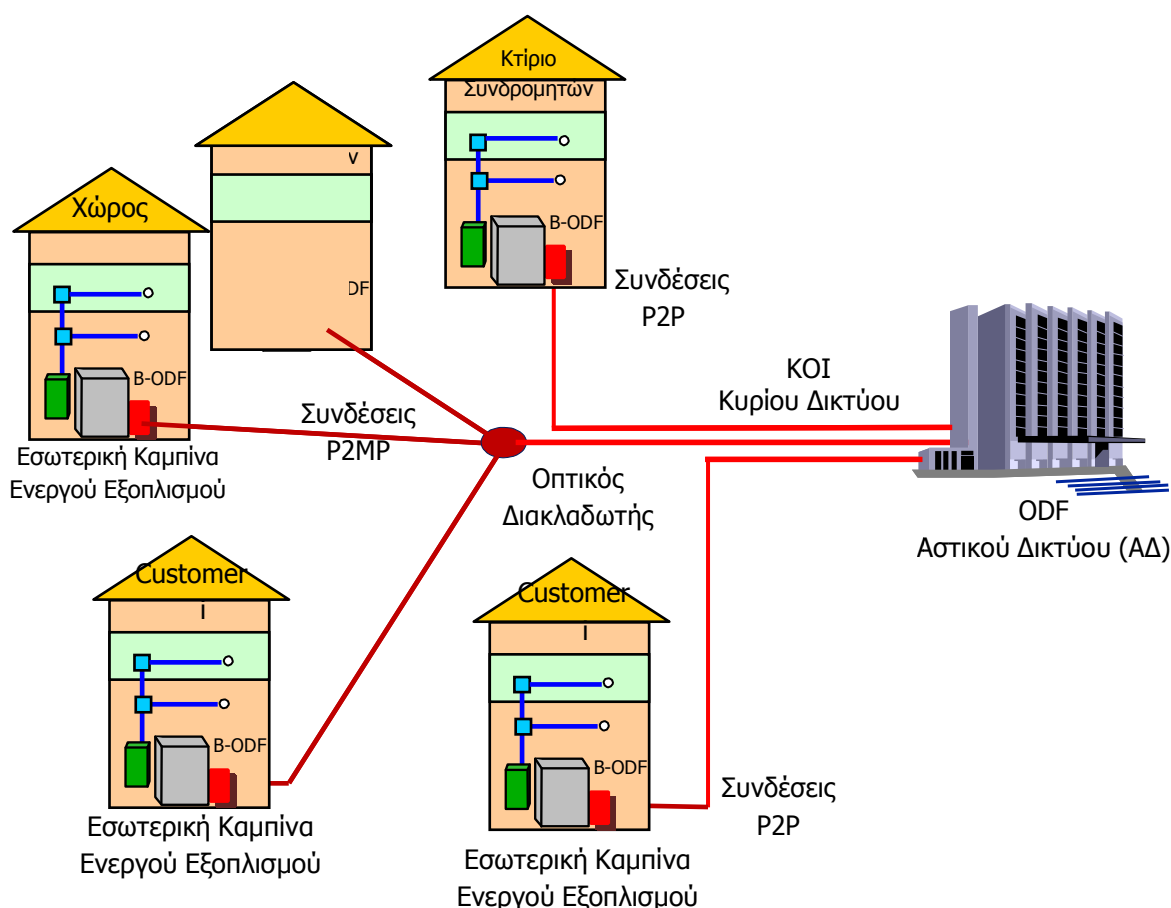
⁷⁸ Και οι δύο τεχνικές θα αναλυθούν σε επόμενα υποκεφάλαια του βιβλίου.

εξοπλισμού στις υπαίθριες καμπίνες, που γίνεται προληπτικά (καθαρισμός φίλτρων, αντικατάσταση ανεμιστήρων, συντήρηση μπαταριών κλπ.) και σε περίπτωση εμφάνισης βλαβών, έχει αυξημένο κόστος OPEX και χαρακτηρίζει την υλοποίηση δικτύων FTTC. Το κόστος συντήρησης μπορεί να μειωθεί με χρήση εξοπλισμού κατάλληλου για εξωτερική χρήση.

4.2 FTTB

Το FTTB σημαίνει «ένα μέχρι το κτίριο» και αποτελεί το επόμενο μεταβατικό στάδιο στην διαδικασία εξέλιξης προς ένα «εξ' ολοκλήρου οπτικό» δίκτυο πρόσβασης. Με τον όρο «κτίριο» αναφερόμαστε συνήθως σε ένα συγκρότημα διαμερισμάτων ή πολυκατοικία και όχι σε μεμονωμένες κατοικίες, όπου το FTTB γίνεται ταυτόσημο με το FTTH. Αν και το μέσο πλήθος των διαμερισμάτων ανά κτίριο δεν είναι ίδιο σε όλες τις χώρες⁷⁹, στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες ένα τυπικό μέγεθος κτιρίου περιλαμβάνει δέκα έως δώδεκα διαμερίσματα.

Στην υλοποίηση FTTB, κάθε κτίριο συνδέεται μέσω καλωδίου οπτικών ινών στο αστικό κέντρο, όπως περιγράφεται στο σχήμα 15.



Σχήμα 15 Σχηματική παρουσίαση ενός δικτύου FTTB για υλοποιήσεις P2P και P2MP.

⁷⁹ Στη Νοτιο-ανατολική Ασία, λόγω μεγάλης πληθυσμιακής συγκέντρωσης τα περισσότερα κτιριο-συγκροτήματα διαθέτουν περισσότερα από 100 διαμερίσματα.

Μπορεί να χρησιμοποιούνται σημείο-σημειακές (P2P) ή και σημείο-πολυσημειακές (P2MP) τοπολογίες, με 2 ή 3 ζεύγη ινών σε κάθε κτίριο για λόγους εφεδρείας. Οι οπτικές ίνες εισέρχονται στο κτίριο και τερματίζονται σε ένα μικρό οπτικό κατανομητή (B-ODF), κοντά στο κουτί τερματισμού του χάλκινου συμβατικού δικτύου (εσκαλίτ). Για την πρόσβαση στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου απαιτείται η έγκριση του ιδιοκτήτη ή των συνιδιοκτητών.

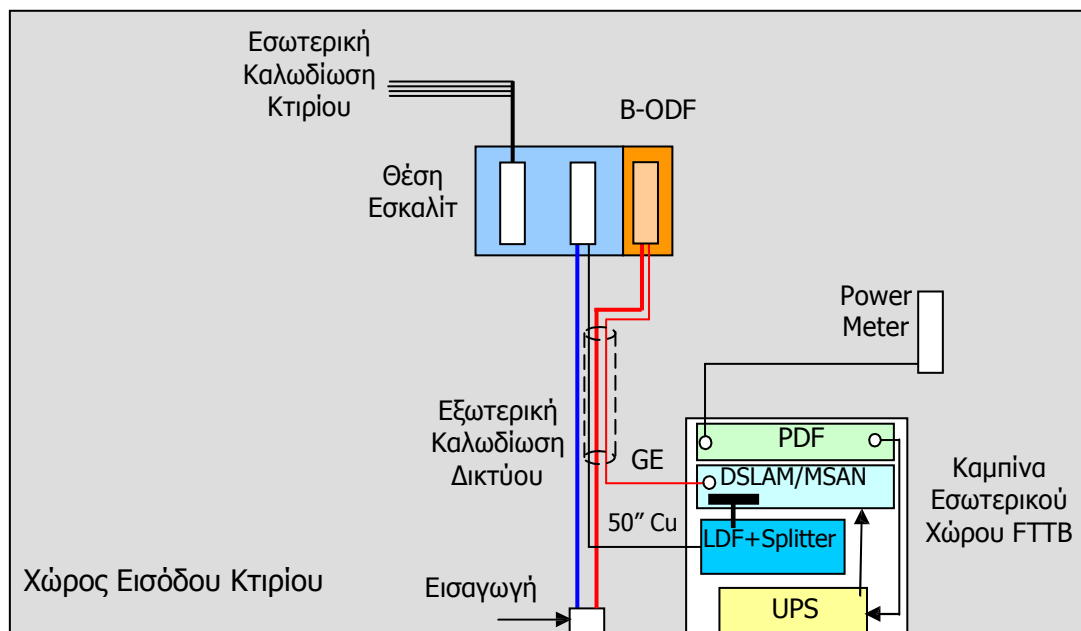
Ο εξοπλισμός που τοποθετείται στο εσωτερικό του κτιρίου μπορεί να περιλαμβάνει ένα μικρής χωρητικότητας DSLAM, MSAN, έναν μεταγωγέα ή άλλο ενεργό εξοπλισμό για την παροχή όλων των υφιστάμενων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στους συνδρομητές του κτιρίου, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται POTS, ISDN, DSL (Fast Internet, IPTV, VoD), μισθωμένα κυκλώματα κλπ. Ο εξοπλισμός αυτός πρέπει να εγκαθίσταται σε μια μικρή καμπίνα-κουτί εσωτερικού χώρου, σε κατάλληλη θέση εντός του κτιρίου, κοντά στον B-ODF και στο «εσκαλίτ», όπου τερματίζεται η εσωτερική καλωδίωση του κτιρίου, που παρέχει πρόσβαση στα επιμέρους διαμερίσματα. Η ηλεκτρική τροφοδοσία του ενεργού εξοπλισμού θα παρέχεται τοπικά (χρησιμοποιώντας κοινόχρηστο ή ανεξάρτητο μετρητή). Για την τοποθέτηση του ενεργού εξοπλισμού στον κοινόχρηστο εσωτερικό χώρο ενός κτιρίου, απαιτείται η έγκριση του ιδιοκτήτη ή των συνιδιοκτητών του κτιρίου, η οποία δεν παρέχεται εύκολα σε κτίρια με πολλούς συνιδιοκτήτες.

Η υλοποίηση FTTB παρουσιάζει ρυθμιστικές και πρακτικές δυσκολίες όταν η εξυπηρέτηση των συνδρομητών του κτιρίου γίνεται από περισσότερους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους. Στην περίπτωση αυτή, υφίσταται ανάγκη για φυσική συνεγκατάσταση του εξοπλισμού περισσοτέρων παρόχων εντός του κτιρίου, αυξάνοντας τις απαιτήσεις σε χώρο και ηλεκτρική τροφοδοσία, καθώς και την δυσκολία διασφάλισής τους. Επιπλέον προκύπτουν προβλήματα επιμερισμού κόστους μεταξύ υφιστάμενων παρόχων, ενώ το πρόβλημα της εμφάνισης μελλοντικού παρόχου φαντάζει άλυτο, όσον αφορά τον καταμερισμό δαπανών. Επίσης σε περίπτωση διακοπής, ζημιάς ή παράβασης απορρήτου σε κύκλωμα ενός εκ των παρόχων προκύπτει αδιέξοδο.

Η βασική διαμόρφωση της εσωτερικής καμπίνας και ο τρόπος διασύνδεσής της με την εσωτερική καλωδίωση του κτιρίου απεικονίζονται στο σχήμα 16.

Ο εξοπλισμός που φιλοξενείται στο εσωτερικό της καμπίνας περιλαμβάνει ενεργό εξοπλισμό (ONT) στη μορφή ενός mini DSLAM/MSAN, μεταγωγέα ή GPON-ONT. Αν και εξετάζονται διαφορετικά σενάρια υλοποίησης⁸⁰ του FTTB, ο ενεργός εξοπλισμός θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να παρέχει όλες τις διαθέσιμες υπηρεσίες (συμβατικές και βασισμένες στο DSL), απαξιώνοντας πλήρως την ζεύξη του κτιρίου με το αστικό κέντρο μέσω του χάλκινου δικτύου πρόσβασης. Για οικονομία χώρου, είναι επιθυμητό όλες οι υπηρεσίες να παρέχονται από μια ενιαία μονάδα εξοπλισμού (πλαίσιο MSAN). Μια τυπική χωρητικότητα από 12 έως 24 πόρτες θεωρείται επαρκής για να καλύψει πλήρως τις απαιτήσεις ενός κτιρίου μεσαίου μεγέθους.

⁸⁰ Στο σενάριο «επάλληλου δικτύου» το δίκτυο χαλκού διατηρείται για τις συμβατικές υπηρεσίες (POTS ή ISDN) και το DSLAM εγκαθίσταται εντός του κτιρίου μόνο για ευρυζωνικές υπηρεσίες.



Σχήμα 16 Σχηματική παρουσίαση της δομής και διασύνδεσης του εξοπλισμού FTTB.

Ο ενεργός εξοπλισμός πρέπει να διαθέτει οπτική διεπαφή FE/GE για σύνδεση με το σημείο συγκέντρωσης (αστικό κέντρο) μέσω οπτικής ίνας, χωρίς να απαιτείται άλλος εξοπλισμός μετάδοσης.

Ο ενεργός εξοπλισμός συνδέεται στον MB-ODF μέσω ζεύγους κορδονιών διασύνδεσης. Τα κορδόνια αυτά, που συνδέουν την καμπίνα με τον MB-ODF του κτιρίου πρέπει να είναι μικρού μήκους και η διαδρομή τους δεν πρέπει να είναι έκθετη σε εξωτερικές επεμβάσεις.

Στον ενεργό εξοπλισμό παρέχεται τοπική τροφοδοσία με την άδεια του ιδιοκτήτη του κτιρίου, μέσω κοινόχρηστου ή ανεξάρτητου μετρητή. Προτιμάται εξοπλισμός με παροχή AC, αλλιώς απαιτείται η χρήση ενός μικρού ανορθωτή για την παροχή -48 V DC. Για λόγους εφεδρείας σε περίπτωση διακοπών ηλεκτροδότησης (διασφάλιση λειτουργίας γραμμών πρώτης ανάγκης), προτιμάται η χρήση εξοπλισμού UPS αντί για μπαταριών. Εντός της καμπίνας τοποθετείται επίσης μονάδα PDF με ασφάλειες.

Για την σύνδεση των θυρών του ενεργού εξοπλισμού με το «εσκαλίτ» του κτιρίου χρησιμοποιείται συνήθως μικρός τοπικός κατανεμητής (LDF⁸¹), κατάλληλου μεγέθους που να περιλαμβάνει:

- Μια μονάδα τερματισμού 50-ζευγών IDC για τον τερματισμό των θυρών του ενεργού εξοπλισμού (12 ή 24 ζευγών).
- Μια μονάδα τερματισμού 50-ζευγών IDC για γεφύρωση της καμπίνας με το «εσκαλίτ». Η γεφύρωση LDF-«εσκαλίτ» επιτυγχάνεται με καλώδιο 50 ζευγών⁸².
- Στην περίπτωση, που η τηλεφωνία διατηρείται στο υφιστάμενο δίκτυο χαλκού (επάλληλο ευρυζωνικό δίκτυο) απαιτείται πρόσθετος χώρος για την εγκατάσταση διαμεριστών MDF, που θα παρεμβάλλονται μεταξύ του εξωτερικού δικτύου

⁸¹ Local Distribution Frame - LDF

⁸² Εναλλακτικά τα συνδρομητικά καλώδια του DSLAM/MSAN τερματίζονται απευθείας στο εσκαλίτ, χωρίς να απαιτείται LDF.

(POTS in) και της εσωτερικής καλωδίωσης του κτιρίου (VDSL2/POTS out) για τον συνδυασμό υπηρεσιών στενής και ευρείας ζώνης. Η χρήση διαμεριστών δεν είναι απαραίτητη, εξοικονομώντας χώρο, εφόσον κάθε διαμέρισμα εξυπηρετείται από δύο ή περισσότερα ζεύγη καλωδίωσης, οπότε η παροχή των υπηρεσιών στενής και ευρείας ζώνης μπορεί να γίνεται από ανεξάρτητο φορέα (naked DSL).

Εφόσον ο ενεργός εξοπλισμός εγκαθίσταται στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου δεν απαιτείται μονάδα ελέγχου της θερμοκρασίας.

Για λόγους ασφάλειας θεωρείται απαραίτητη η ύπαρξη ενός στοιχειώδους συστήματος διαχείρισης με ανιχνευτές και αισθητήρια για τον έλεγχο του ενεργού εξοπλισμού και των συνθηκών λειτουργίας του στο εσωτερικό της καμπίνας. Η ελεγχόμενη πρόσβαση, η υψηλή θερμοκρασία, η υγρασία και η εμφάνιση καπνού πρέπει να παρακολουθούνται ιδιαίτερα όταν στο ίδιο χώρο στεγάζεται εξοπλισμός περισσότερων τηλεπικοινωνιακών παρόχων. Η λειτουργία του τερματικού εξοπλισμού ελέγχεται επίσης από το αντίστοιχο σύστημα διαχείρισης NMS.

Πολλά νέα κτίρια διαθέτουν τυποποιημένη υποδομή⁸³, που διευκολύνει την εισαγωγή του ΚΟΙ και την εγκατάσταση ενεργού εξοπλισμού. Παρά ταύτα η πολυπλοκότητα παραμένει σε περίπτωση, που, για ρυθμιστικούς ή πρακτικούς λόγους, απαιτείται η φυσική παρουσία εξοπλισμού περισσότερων παρόχων εντός του ίδιου κτιρίου. Η χρήση ενός ανεξάρτητου χώρου για την εγκατάσταση τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού⁸⁴ διαφορετικής ιδιοκτησίας μπορεί να βρίσκει εφαρμογή σε επιχειρησιακά κτίρια, αλλά δεν φαίνεται εφικτή σε κτίρια κατοικιών.

Η εξεύρεση κατάλληλου χώρου είναι δυσκολότερη σε υφιστάμενα κτίρια, όπου η θέση του ODF και ο χώρος τοποθέτησης της καμπίνας του ενεργού εξοπλισμού δεν είναι εκ των προτέρων προσδιορισμένα και η εισαγωγή του ΚΟΙ απαιτεί κατασκευαστικό έργο, υπό την έγκριση του συνόλου των συνιδιοκτητών. Η εμπειρία δείχνει ότι η εκτέλεση έργων σε κοινόχρηστο χώρο κτιρίου με πολλούς ιδιοκτήτες είναι συνήθως πολύπλοκη και χρονοβόρος διαδικασία.

Από άποψη κόστους, οι υλοποιήσεις FTTB χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο CAPEX και OPEX σε σύγκριση με υλοποιήσεις FTTC. Η μικρότερη χωρητικότητα του ενεργού εξοπλισμού σε θύρες⁸⁵, αυξάνει το κόστος ανά θύρα, ενώ το μικρό πλήθος των εν δυνάμει χρηστών δεν αξιοποιεί πλήρως την εγκατεστημένη βάση των θυρών. Επίσης, η δημιουργία περισσότερων ενεργών κόμβων (ένας σε κάθε κτίριο) αυξάνει το OPEX, τόσο για την παροχή της υπηρεσίας όσο και για την συντήρηση του εξοπλισμού. Η παροχή υπηρεσιών DSL και η συντήρηση του εξοπλισμού πρέπει να γίνονται στον χώρο του κτιρίου, επιβαρύνοντας το κόστος με μετακινήσεις προσωπικού και δημιουργώντας αβεβαιότητα, ως προς την ευχέρεια πρόσβασης. Η διαδικασία παροχής υπηρεσιών μπορεί

⁸³ Στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες η εισαγωγή ΚΟΙ σε κτίρια, η εσωτερική καλωδίωση του κτιρίου και η πιθανή θέση ενεργού εξοπλισμού εντός του κτιρίου έχουν τυποποιηθεί ή βρίσκονται στο στάδιο της τυποποίησης. Στην Ελλάδα, το ΥΜΕ έθεσε τον Σεπτέμβριο 2008 σε δημόσια διαβούλευση σχετικό κείμενο με τίτλο «Καθορισμός προδιαγραφών για τα εσωτερικά δίκτυα ηλεκτρονικών επικοινωνιών».

⁸⁴ Computer room

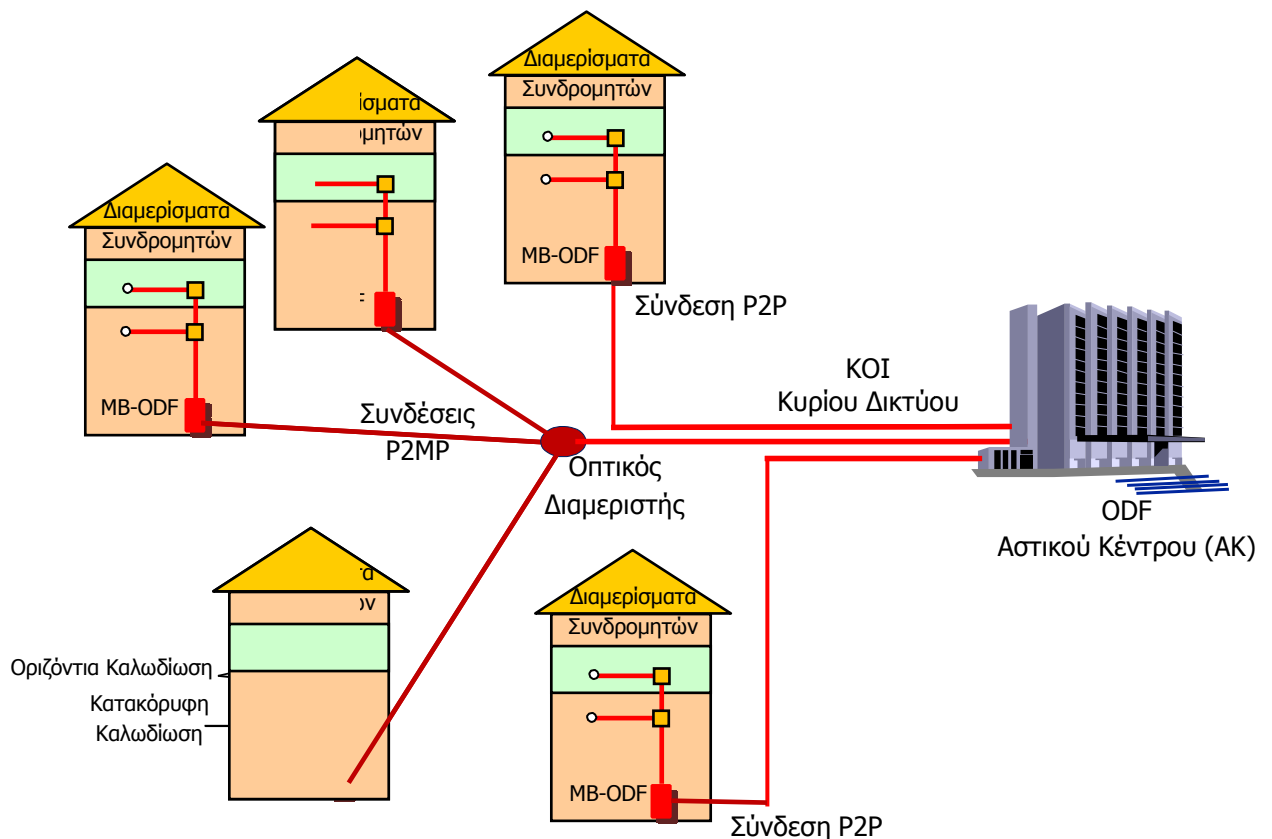
⁸⁵ Mini DSLAM/MSAN εξοπλισμένα με κάρτες χωρητικότητας από έως 24 θυρών

να διευκολυνθεί σημαντικά, με επιβάρυνση του CAPEX, χρησιμοποιώντας εξοπλισμό μικρού AMDF ή την τεχνική DSL-ready⁸⁶ στο σύνολο των συνδρομητών του κτιρίου.

4.3 FTTH

Το FTTH σημαίνει «ίνα μέχρι το σπίτι» και αποτελεί τον τελευταίο σταθμό στην εξελικτική διαδικασία προς ένα αμιγώς οπτικό δίκτυο πρόσβασης. Με τον όρο «σπίτι» υπονοείται συνήθως ένα διαμέρισμα σε μία πολυκατοικία και όχι η μονοκατοικία, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως κτίριο.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 17, στην υλοποίηση FTTH κάθε διαμέρισμα ενός κτιρίου συνδέεται με το αστικό του κέντρο μέσω ενός ζεύγους οπτικών ινών⁸⁷. Για την σύνδεση μπορεί να χρησιμοποιηθούν τοπολογίες P2P ή P2MP. Ένα οπτικό καλώδιο, κατάλληλης χωρητικότητας σε οπτικές ίνες, εισάγεται στο κτίριο και τερματίζεται στο «κύριο οπτικό καταναμητή κτιρίου» (MB-ODF⁸⁸), που αποτελεί το σημείο διεπαφής μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού οπτικού δικτύου.



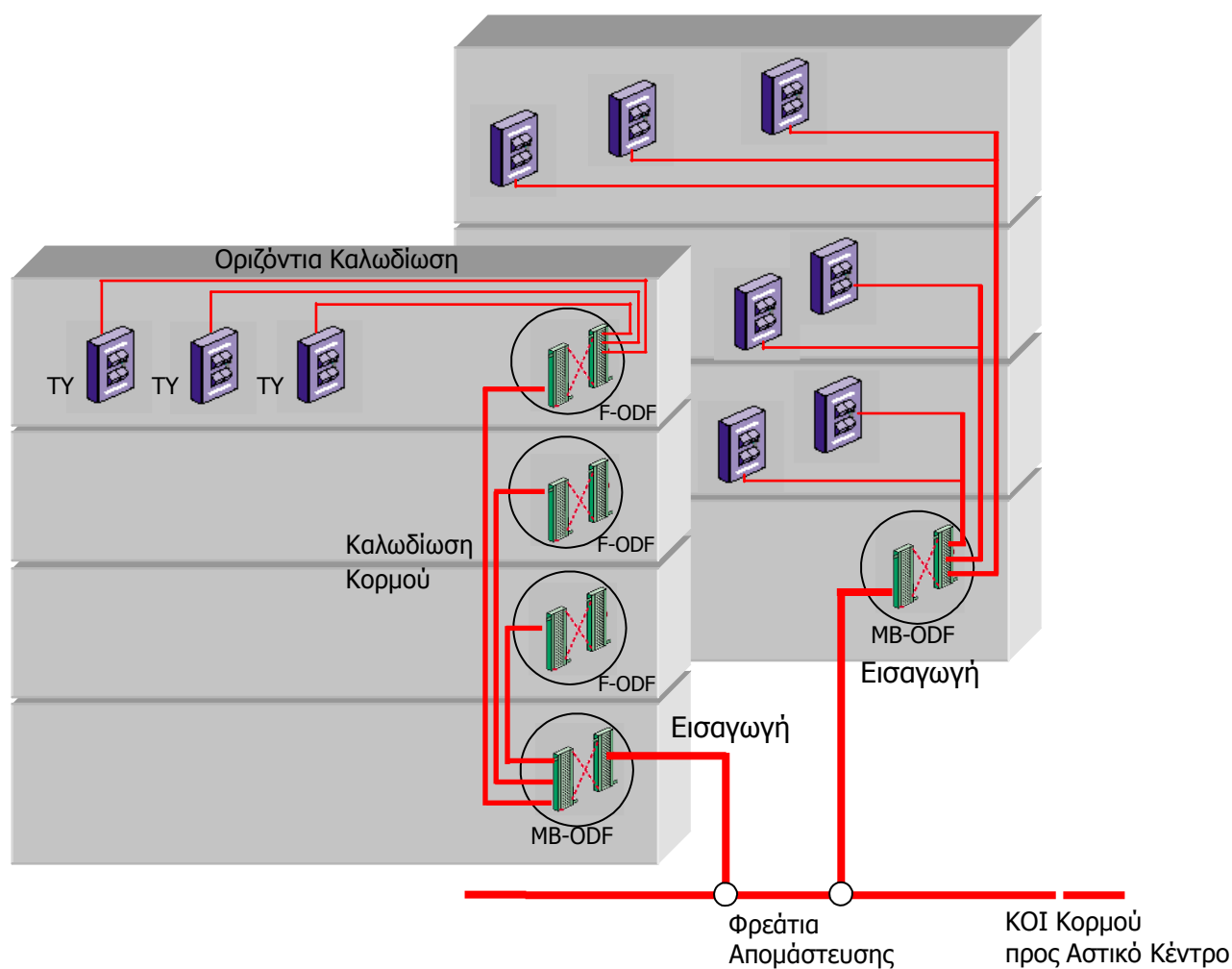
Σχήμα 17 Σχηματική παρουσίαση ενός δικτύου FTTH με υλοποιήσεις P2P και P2MP και διάρθρωση εσωτερικού δικτύου.

⁸⁶ Και οι δύο τεχνικές περιγράφονται σε επόμενες παραγράφους του βιβλίου.

⁸⁷ Σε οικιακούς συνδρομητές χρησιμοποιείται συνήθως για λόγους οικονομίας μία ίνα με αμφίδρομη μετάδοση σε διαφορετικό μήκος κύματος 1550 nm/1310 nm.

⁸⁸ Main Building ODF

Δύο διαφορετικοί τρόποι ανάπτυξης του εσωτερικού δικτύου περιγράφονται στο σχήμα 18. Στην πρώτη περίπτωση υπάρχει μια σαφής διαφοροποίηση μεταξύ της καλωδίωσης κορμού, που ξεκινά από τον MB-ODF και τερματίζει σε ανεξάρτητο κατανεμητή κάθε ορόφου (F-ODF⁸⁹), και της οριζόντιας καλωδίωσης, που ξεκινά από κάθε F-ODF και τερματίζει στην τηλεπικοινωνιακή υποδοχή (TY) κάθε διαμερίσματος σε τοπολογία αστέρα, σύμφωνα με την δομή του καλωδιακού συστήματος του ISO/IEC 11801 για δομημένη καλωδίωση σε επιχειρησιακά κτίρια.



Σχήμα 18 Διαφορετικοί τρόποι ανάπτυξης του εσωτερικού δικτύου κτιρίων σε υλοποιήσεις FTTH.

Στο εσωτερικό δίκτυο μιας πολυκατοικίας προτιμάται συνήθως η κεντροκοποιημένη καλωδίωση, με κατάργηση των F-ODF κάθε ορόφου και απ' ευθείας σύνδεση όλων των διαμερισμάτων (TY) στον MB-ODF.

Μια περισσότερο ελκυστική προσέγγιση χρησιμοποιεί, αντί καλωδίου, «δέσμη μικροσωληνώσεων»⁹⁰ σε όλη τη διαδρομή από το αστικό κέντρο μέχρι τα διαμερίσματα των

⁸⁹ Floor ODF

⁹⁰ Microduct bundles

συνδρομητών, αφήνοντας εφεδρεία σωληνίσκων σε κάθε ενδιάμεσο κουτί διασύνδεσης ή τερματισμού για μελλοντικές συνδέσεις. Για την σύνδεση ενός νέου διαμερίσματος απαιτείται: α) η εξασφάλιση της συνέχειας στη διαδρομή των σωληνίσκων από το αστικό κέντρο μέχρι την ΤΥ του συνδρομητή, β) η εμφύσηση δέσμης ινών από το ένα άκρο στο άλλο και γ) ο τερματισμός των ινών στα δύο άκρα. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται οι ενδιάμεσες συγκολλήσεις σε οπτικούς συνδέσμους και οι τερματισμοί ινών σε ενδιάμεσους ODF, που αυξάνουν τόσο την εξασθένηση της ζεύξης όσο και το κόστος κατασκευής. Καταργείται όμως ουσιαστικά ο λειτουργικός διαχωρισμός μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού δικτύου.

Σε πολλά νέα κτίρια υφίσταται εσωτερική καλωδίωση οπτικών ινών, ή διατίθεται υποδομή από σωληνώσεις και καλωδιο-διαδρομές για εύκολη μελλοντική εγκατάσταση καλωδίων οπτικών ινών από τον MB-ODF μέχρι τα διαμερίσματα των συνδρομητών⁹¹.

Η κατάσταση γίνεται περισσότερο δύσκολη σε υφιστάμενα κτίρια, που δεν διαθέτουν ελεύθερες σωληνώσεις για την εγκατάσταση ΚΟΙ μέχρι τα διαμερίσματα, και απαιτείται κατασκευαστικό έργο στον κοινόχρηστο χώρο της πολυκατοικίας, με χρήση επίτοιχων σωληνώσεων ή καλωδιο-διαδρομών.

Η δομή ενός τέτοιου δικτύου περιλαμβάνει:

- Την κατακόρυφη καλωδίωση ή καλωδίωση κορμού, που εκτείνεται σε αστεροειδή τοπολογία από τον MB-ODF προς όλα τα ενδιάμεσα κουτιά των F-ODF (ένα για κάθε όροφο). Η κατακόρυφη καλωδίωση είναι επιτοίχια, ακολουθώντας συνήθως την διαδρομή του κλιμακοστασίου, του φωταγωγού ή του ανελκυστήρα. Έχει επίσης εξετασθεί και η δυνατότητα για εγκατάσταση της καλωδίωσης στο εξωτερικό του κτιρίου, στην περίπτωση όμως αυτή η πρόσβαση στους F-ODF είναι δυσκολότερη, ενώ μπορεί να υπάρχουν αντιδράσεις συνιδιοκτητών λόγω αλλοίωσης της όψης του κτιρίου.
- Το οριζόντιο τμήμα της καλωδίωσης ορόφου εκτείνεται από τον F-ODF μέχρι την ΤΥ κάθε διαμερίσματος, σε αστεροειδή τοπολογία. Αποτελείται από επίτοιχους καλωδιο-διαδρόμους, προσεκτικά κατασκευασμένους σε «δύσκολες» διαδρομές από τοίχο σε τοίχο, με γωνίες που δεν πρέπει να παραβιάζουν την ελάχιστη επιτρεπτή καμπυλότητα των οπτικών ινών⁹², μέχρι να εισέλθουν από οπή του τοίχου στο διαμέρισμα του συνδρομητή και να φθάσουν στην ΤΥ με την ελάχιστη δυνατή κατασκευαστική και αισθητική ενόχληση.

⁹¹ Σύμφωνα με τον ισχύοντα ακόμη στην Ελλάδα «Κανονισμό Εσωτερικού Τηλεφωνικού Δικτύου Οικοδομών – ΕΤΔΟ», η κατασκευή του εσωτερικού τηλεπικοινωνιακού δικτύου των οικοδομών επιτρέπεται να πραγματοποιηθεί μόνον από εργολάβο, στον οποίο ανατίθεται η κατασκευή του από τον ιδιοκτήτη. Ο κανονισμός αυτός που ισχύει από το 1993 προβλέπεται από το νόμο 3431/06 να αναμορφωθεί, ώστε να εναρμονίζεται στις τεχνολογικές εξελίξεις. Ήδη από τον Σεπτέμβριο του 2008 έχει τεθεί από το ΥΜΕ σε δημόσια διαβούλευση ο νέος κανονισμός για εσωτερικά δίκτυα ηλεκτρονικών επικοινωνιών, ο οποίος αναμένεται να τεθεί σε ισχύ εντός του 2009.

⁹² Για εσωτερική καλωδίωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν μονότροπες ίνες λιγότερο ευαίσθητες σε μικροκάμψεις (ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας 15 mm αντί των 30 mm της G.652) σύμφωνα με την ITU G.657B.

- Το τμήμα ενδο-οικιακής διανομής, από την κεντρική ΤΥ του διαμερίσματος στις επιμέρους υποδοχές των δωματίων τηλεπικοινωνιακού ενδιαφέροντος, όπως στο γραφείο, το καθιστικό, τα υπνοδωμάτια κλπ. Μετά τον τερματισμό του ζεύγους οπτικών ινών στον ενεργό εξοπλισμό του διαμερίσματος (ONT⁹³), η διανομή των επιμέρους υπηρεσιών (POTS, Fast Internet, IPTV/VoD κλπ) μπορεί να γίνεται με διαφορετικές τεχνολογίες, όπως με καλωδίωση UTP, ασύρματη μετάδοση WiFi ή αξιοποιώντας την υφιστάμενη καλωδίωση διανομής ηλεκτρικής ισχύος PLC⁹⁴.

Τόσο οι πλαστικές καλωδιο-διαδρομές όσο και τα λοιπά εξαρτήματα εσωτερικής καλωδίωσης πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις πυροπροστασίας για χρήση σε εσωτερικούς χώρους. Αυτές επιβάλλουν την χρήση βραδύκαυστων⁹⁵ υλικών, χαμηλής εκπομπής καπνού⁹⁶ και μηδενικής εκπομπής αλογόνων (LSZH⁹⁷).

Η κατασκευή του εσωτερικού δικτύου οπτικών ινών σε υφιστάμενα κτίρια πολυκατοικιών έχει υψηλό κόστος⁹⁸ και η υλοποίησή του εμφανίζει συχνά δυσκολίες και καθυστερήσεις, αφού σημαντικό έργο (όπως διάτρηση τοίχων, επίτοιχη στήριξη σωληνώσεων και καλωδιο-διαδρομών) πρέπει να γίνει σε κοινόχρηστους χώρους, όπου απαιτείται η σύμφωνη γνώμη της γενικής συνέλευσης των ιδιοκτητών. Δεν είναι επίσης προφανές ποιόν θα επιβαρύνει οικονομικά η κατασκευή του νέου αυτού δικτύου (Telco, ιδιοκτήτες του κτιρίου⁹⁹ ή κρατική χρηματοδότηση), και ποιο θα είναι το ιδιοκτησιακό καθεστώς του. Αν και οι Telco εμφανίζονται ως οι πλέον πιθανοί υποψήφιοι για την χρηματοδότηση της ως άνω υποδομής, η κατάσταση περιπλέκεται ρυθμιστικά στην περίπτωση, που περισσότερες Telco διεκδικούν ή παρέχουν τις υπηρεσίες τους στο ίδιο κτίριο.

Ο ενεργός εξοπλισμός (ONT) σε υλοποιήσεις FTTH λαμβάνει την μορφή ενός οπτικού modem (με εξοπλισμό μεταγωγής και δρομολόγησης), με κατάλληλες ενσύρματες και ασύρματες (WiFi) διεπαφές για την παροχή όλων των διαθέσιμων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, όπως POTS, πιθανόν ISDN, VoIP, Fast Internet και IPTV/VoD. Ο εξοπλισμός λειτουργεί με τοπική τροφοδοσία AC, ενώ απαιτείται και κάποιας μορφής εφεδρική τροφοδοσία¹⁰⁰ για την διασφάλιση των κρίσιμων υπηρεσιών (λειτουργία τηλεφώνου) σε περίπτωση ηλεκτρικής διακοπής.

Υπάρχει συνήθως δυνατότητα για κεντρική διαχείριση του ONT, ανάλογα με την επιθυμία του συνδρομητή.

⁹³ Optical Network Termination – ONT

⁹⁴ Η επικοινωνία μέσω γραμμών ηλεκτρικής ισχύος (Power Line Communications-PLC) αξιοποιεί την εγκατεστημένο καλωδιακό σύστημα διανομής ηλεκτρικής ισχύος του διαμερίσματος για την παροχή υπηρεσιών FE από όλες τις ηλεκτρικές υποδοχές, σύμφωνα με την τυποποίηση κατά ETSI-PLT (TR 102049 και TR 102494) και IEEE P1901. Χρησιμοποιείται μια ειδική ηλεκτρική πρίζα με υποδοχή FE για σύνδεση σε H/Y, μονάδες Set Top Box κλπ.

⁹⁵ Σύμφωνα με τις IEC60332-1 και IEC 60332-3 κατηγορία C

⁹⁶ Σύμφωνα με την IEC61034-2.

⁹⁷ Low Smoke Zero Halogen – LSZH ή LS0H και Low Smoke Halogen Free – LSHF σύμφωνα με το IEC60754-1.

⁹⁸ Σύμφωνα με την μελέτη της AT KEARNEY & PLANNING SA για το ΥΜΕ το μέσο κόστος προϋπολογίζεται σε περίπου 300 € ανά διαμέρισμα, μπορεί όμως να είναι ακόμη υψηλότερο.

⁹⁹ Δεν φαίνεται πιθανό για οικιακούς συνδρομητές.

¹⁰⁰ Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενσωματωμένες στο modem επαναφορτιζόμενες μπαταρίες μεγάλης διάρκειας ή ανεξάρτητες συσκευές UPS.

Το ONT τοποθετείται κοντά στην οπτική ΤΥ του διαμερίσματος και συνδέεται με αυτή με διπλό οπτικό κορδόνι μικρού μήκους, το οποίο θα προστατεύεται από απότομες κάμψεις και καταπονήσεις. Η σύνδεση των διεπαφών του ONT με τις υπόλοιπες συσκευές του διαμερίσματος γίνεται μέσω του ενδο-οικιακού δικτύου διανομής.

Στο CAPEX μιας υλοποίησης FTTH, το βασικό κόστος είναι κυρίως δικτυακό (για την κατασκευή του εξωτερικού και πιθανόν του εσωτερικού δικτύου), ενώ το κόστος του ενεργού εξοπλισμού είναι μικρό και αφορά μόνο το αστικό κέντρο, αφού για το κόστος του τερματικού εξοπλισμού επιβαρύνεται ο συνδρομητής¹⁰¹.

Σε σχέση με το OPEX, οι υποστηρικτές του FTTH θεωρούν ότι θα είναι το ελάχιστο δυνατό¹⁰², αφού η τερματική συσκευή ONT αποτελεί εξοπλισμό του συνδρομητή και δεν συντηρείται από τον Telco. Το επιχείρημα όμως αυτό θα ήταν σωστό μόνο εφόσον οι συσκευές ONT διέθεταν στιβαρότητα και λειτουργική συμπεριφορά αντίστοιχη των DSL modem, πράγμα το οποίο όμως δεν ισχύει ακόμη. Μέχρι τότε θα πρέπει να παρέχεται στους συνδρομητές κάποια μορφή υποστήριξης σε 24-ωρη βάση, η οποία, για μεγάλη συνδρομητική βάση, αναμένεται να έχει αυξημένο OPEX.

Επίσης, συγκριτικά στοιχεία σχετικά με την άρση καλωδιακών βλαβών σε συμβατικά δίκτυα πρόσβασης και υλοποιήσεις FTTH δείχνουν ότι, με τα σημερινά δεδομένα, το OPEX ενός δικτύου FTTH είναι σημαντικά μεγαλύτερο. Ειδικότερη αναφορά γίνεται στο υποκεφάλαιο 7.3.7.

¹⁰¹ Ιδιοκτήτης του οπτικού modem-router θα είναι ο συνδρομητής, που θα μπορεί να το αγοράζει και από την ελεύθερη αγορά.

¹⁰² Δήλωση του Dr. Philippe Chanlou, FT στο "La Fibre: FTTH deployments and plans of France Telecom", International Workshop on FTTx architectures, technologies, business and economic aspects – Αθήνα, 11 Απριλίου, 2008

5 Τεχνολογίες Πρόσβασης

5.1 Τεχνολογίες xDSL

Το DSL¹⁰³, που σημαίνει «ψηφιακή γραμμή συνδρομητή», αποτελεί σήμερα την πλέον διαδεδομένη τεχνολογία πρόσβασης, παρέχοντας ευρυζωνικές υπηρεσίες σε εκατομμύρια συνδρομητές του τηλεφωνικού δικτύου μέσω του υφιστάμενου δικτύου πρόσβασης. Η μεγάλη της επιτυχία οφείλεται στη χρήση των υφισταμένων καλωδίων χαλκού του αστικού δικτύου, χωρίς να απαιτούνται ιδιαίτερες δικτυακές επεμβάσεις.

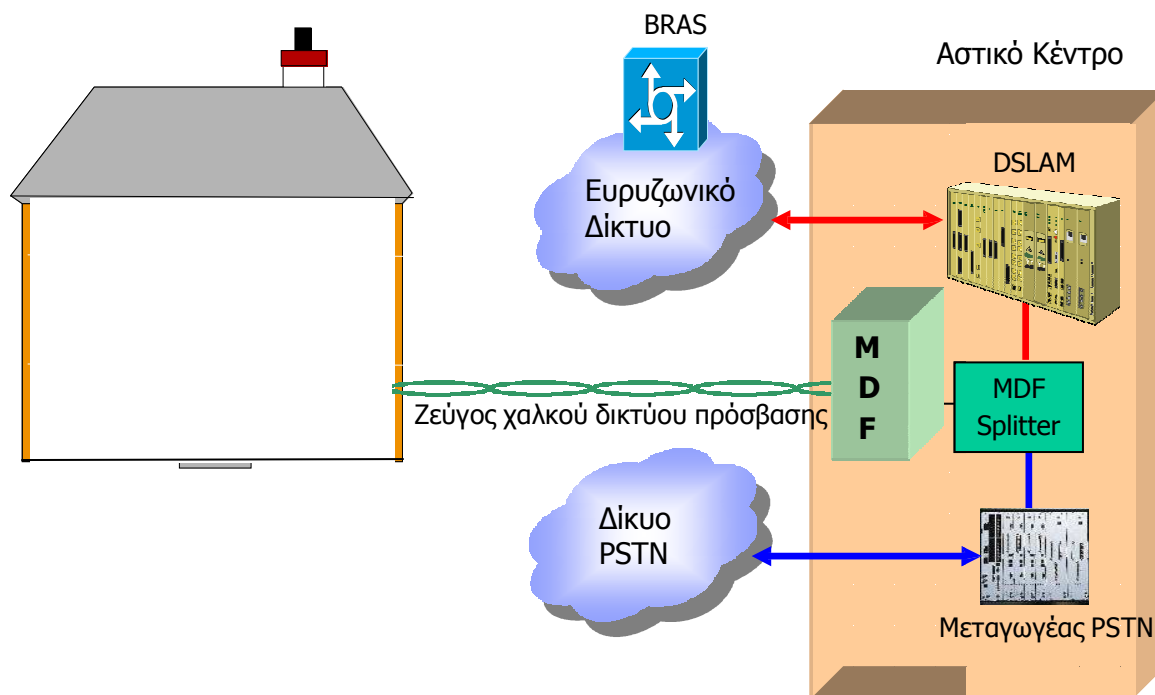
Η λειτουργία του DSL βασίζεται στην αξιοποίηση του ηλεκτρικού φάσματος των χάλκινων καλωδίων πέραν της φωνόσυχνης περιοχής (300 – 3400 Hz). Υπάρχουν πολλές παραλλαγές της τεχνολογίας DSL, γνωστής και ως xDSL, που αναφέρονται στον πίνακα 5. Οι περισσότερες εφαρμόζουν τεχνική πολυπλεξίας με διαίρεση συχνότητας (FDM¹⁰⁴) για ταυτόχρονη μετάδοση αναλογικής τηλεφωνίας και ευρυζωνικών υπηρεσιών μέσω του ίδιου ζεύγους χαλκού. Ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται με χρήση ενός κατάλληλου διαμεριστή, υπό την μορφή βαθυπερατού φίλτρου, τόσο στο χώρο του αστικού κέντρου όσο και στον χώρο του συνδρομητή, όπως φαίνεται στο σχήμα 19.

Πίνακας 5. Βασικές παραλλαγές της τεχνολογίας xDSL

Όνομα	Περιγραφή	Τυποποίηση	Ζεύγη	Ρυθμός Μετάδοσης	Εύρος ζώνης
HDSL	High bit rate DSL	ITU-T G.991.1	Δύο	2.048 kbit/s (Σ)	0-370 kHz
SHDSL	Single pair HDSL	ITU-T G.991.2	Ένα	192 - 2.304 kbit/s (Σ)	0-400 kHz
SHDSL.bis	SDSL 2η εκδ.	ITU-T G.991.2 Annex F IEEE 802.3ah (EFM)	Ένα	768 - 5.696 kbit/s (Σ)	
ADSL	Asymmetric DSL	ITU-T G.992.1(G.DMT) ITU-T G.992.2(G.lite)	Ένα	1 Mbit/s (AN) 8 Mbit/s (KAT)	25-138 kHz 138-1.104 kHz
ADSL2	ADSL 2η εκδ.	ITU-T G.992.3 ITU-T G.992.3 Annex J,L ITU-T G.992.4 ITU-T G.992.4 Annex J,L	Ένα	1 Mbit/s (AN) 12 Mbit/s (KAT)	25-138 kHz 138-1.104 kHz
ADSL2+	ADSL 3η εκδ.	ITU-T G.992.5 ITU-T G.992.5 Annex M	Ένα	1 Mbit/s (AN) 24 Mbit/s (KAT)	25-138 kHz 138-2.208 kHz
VDSL	Very high bit rate DSL	ITU-T G.993.1	Ένα	28 Mbit/s (Σ) ή 55 Mbit/s (KAT)	25 (ή 138)- 12.000 kHz
VDSL2	VDSL 2η εκδ.	ITU-T G.993.2	Ένα	Προφίλ 8a,b,c,d: 25 Mbit/s (Σ) ή 50 Mbit/s (KAT) Προφίλ 12a,b 17a 30a: 50 Mbit/s (Σ) ή 100 Mbit/s (AN)	8,5 MHz, 12,0 MHz, 17,7 MHz, 30,0 MHz

¹⁰³ Digital Subscriber Line - DSL

¹⁰⁴ Frequency Division Multiplexing - FDM



Σχήμα 19 Βασική διάταξη σύνδεσης ADSL

Η σύνδεση ADSL δημιουργείται στην υφιστάμενη τηλεφωνική γραμμή του συνδρομητή, με χρήση κατάλληλου modem στον χώρο του συνδρομητή και μιας αντίστοιχης θύρας DSL στο DSLAM¹⁰⁵ του οικείου αστικού κέντρου. Το DSLAM λειτουργεί ως πολυπλέκτης, συνδυάζοντας ροές δεδομένων από ένα πλήθος συνδρομητών σε μια ενιαία ροή, την οποία, χρησιμοποιώντας τεχνολογία μετάδοσης ATM ή Ethernet¹⁰⁶, προωθεί σε έναν εξυπηρετητή BRAS¹⁰⁷, που παρέχει πρόσβαση στους διάφορους παρόχους υπηρεσιών διαδικτύου (ISPs¹⁰⁸), ενώ συνδέεται και στο δίκτυο κορμού IP.

Το ADSL αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Stanford και στα εργαστήρια της AT&T Bell Labs, κατά τις αρχές της δεκαετίας του 90, για την διανομή αναλογικού video μέσω τηλεφωνικών ζευγών χαλκού. Παρόλο που η εφαρμογή αυτή δεν ήταν ιδιαίτερα επιτυχής, το ADSL γρήγορα χρησιμοποιήθηκε για πρόσβαση στο διαδίκτυο με ρυθμούς πληροφορίας μέχρι 8 Mbit/s για κατερχόμενο σήμα και μέχρι 1 Mbit/s για ανερχόμενο, ενώ το 1996 τυποποιήθηκε από την ITU-T ως G.992.1. Το 1998 η ITU-T, προκειμένου να προωθήσει περαιτέρω την τεχνολογία ADSL, προχώρησε στην έκδοση της G.992.2, μιας παραλλαγής ADSL χαμηλότερων επιδόσεων, γνωστής ως G.lite, που διευκολύνει την εγκατάσταση του ADSL modem από συνδρομητή χωρίς ιδιαίτερες τεχνικές γνώσεις, χρησιμοποιώντας βαθυπερατό φίλτρο γραμμής αντί για διαμεριστή. Το φίλτρο γραμμής τοποθετείται «εν σειρά», πριν από κάθε τηλεφωνική συσκευή, με σκοπό να προστατεύσει το ADSL modem από τις επιπτώσεις του κρουστικού θορύβου που αυτές μεταφέρουν.

¹⁰⁵ DSL Access Multiplexer – DSLAM

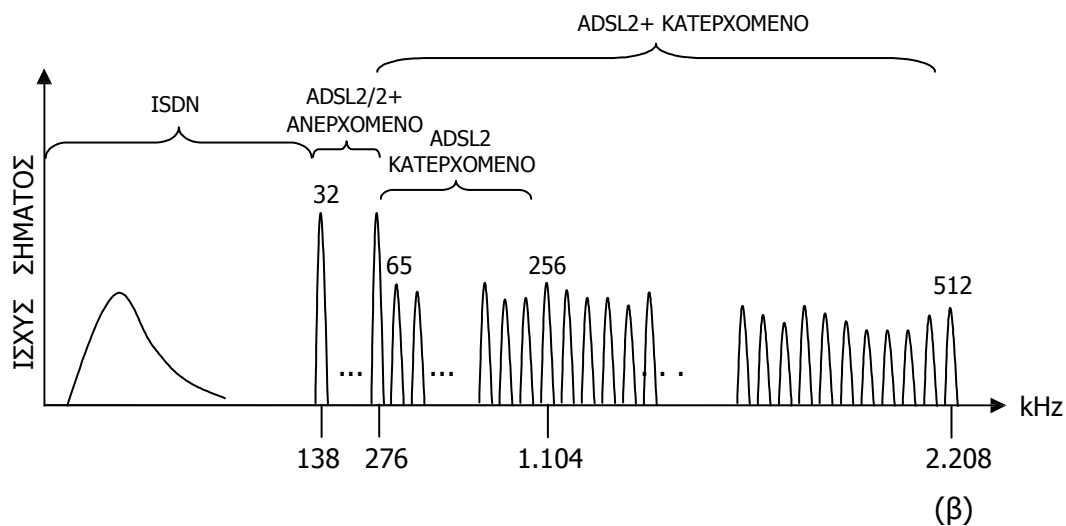
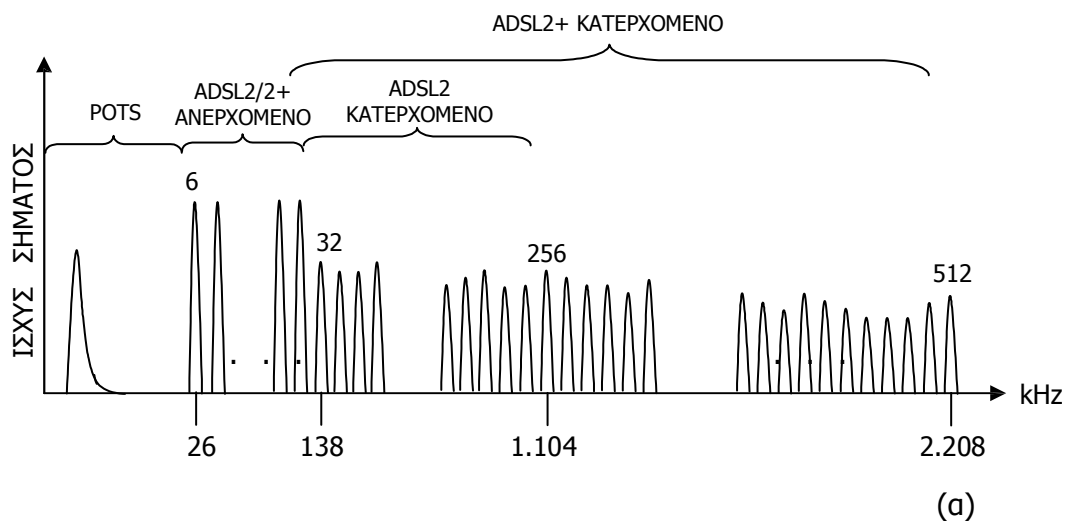
¹⁰⁶ Σήμερα χρησιμοποιούνται DSLAM τεχνολογίας Ethernet με διεπαφές μετάδοσης GE, που έχουν δυνατότητες multicasting.

¹⁰⁷ Broadband Access Server - BRAS

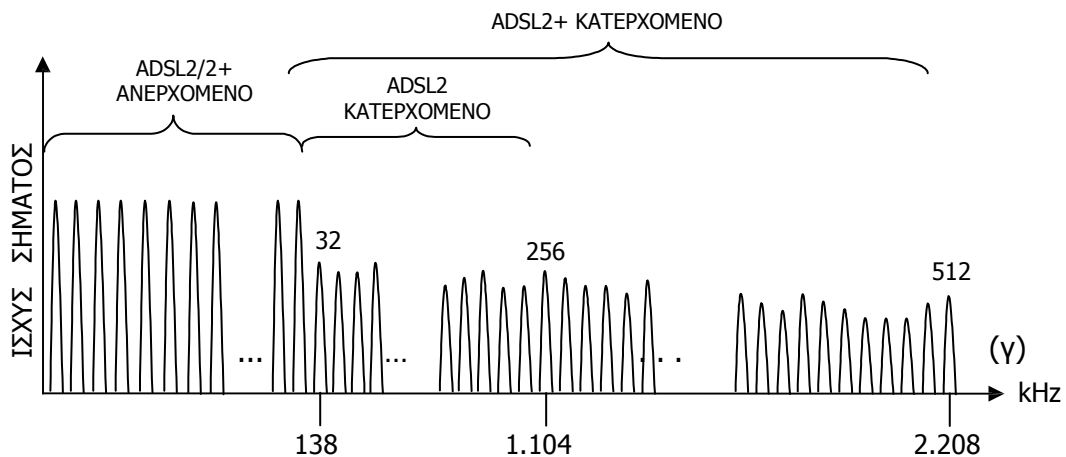
¹⁰⁸ Internet Service Provider – ISP

Η δεύτερη γενιά της τεχνολογίας ADSL, γνωστή ως ADSL2, εμφανίστηκε το 2002 με τις τυποποιήσεις G.992.3 και G.992.4 της ITU-T, που βελτιστοποιούν¹⁰⁹ την λειτουργία του ADSL, χωρίς όμως να μεταβάλλουν σημαντικά τις επιδόσεις σε ρυθμό πληροφορίας πρόσβασης. Το ADSL2+ αποτελεί την πλέον πρόσφατη τυποποίηση του ADSL, που εκδόθηκε από την ITU-T ως G.992.5 το 2003, και επιτυγχάνει ταχύτητες κατερχόμενου σήματος έως 24 Mbit/s, αυξάνοντας τις φασματικές απαιτήσεις του σήματος μέχρι τα 2,208 MHz. Ο ρυθμός πληροφορίας του ανερχόμενου σήματος παραμένει στα 1Mbit/s.

Στο σχήμα 20 περιγράφονται οι διαφορετικές παραλλαγές της φασματικής κατανομής των ADSL2 και ADSL2+, για τρόπους λειτουργίας ADSL/POTS (Annex A), ADSL/ISDN (Annex B) και εξ ολοκλήρου ψηφιακό (Annex I).



¹⁰⁹ Η βελτιστοποίηση συνίσταται σε καλύτερη υποστήριξη εφαρμογών πακέτων, εξ' ολοκλήρου ψηφιακό τρόπο λειτουργίας (δυνατότητα για VoIP), προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης σε πραγματικό χρόνο, τρόπο λειτουργίας με αυξημένη εμβέλεια (Annex L), τρόπο λειτουργίας με αυξημένη ταχύτητα ανερχόμενου σήματος (Annex M), βελτιωμένα χαρακτηριστικά και δυνατότητες διαχείρισης ισχύος κλπ.



Σχήμα 20 Φασματική κατανομή διαφόρων παραλλαγών του ADSL2 και ADSL2+:
 α) ADSL/POTS ή Annex A, β) ADSL/ISDN ή Annex B και γ) ADSL εξ' ολοκλήρου ψηφιακό ή Annex I.

Ο παρεχόμενος από την τεχνολογία ADSL2+ υψηλός ρυθμός μετάδοσης περιορίζεται στην πράξη από το μήκος του καλωδιακού βρόχου, δηλαδή την καλωδιακή απόσταση του συνδρομητή από το οικείο αστικό του κέντρο, όπου βρίσκεται εγκατεστημένο το DSLAM. Ο περιορισμός αυτό οφείλεται στα δυο βασικά χαρακτηριστικά μετάδοσης των ζευγών του τηλεφωνικού καλωδίου, δηλαδή στην εξασθένηση και την διαφωνία.

Η εξασθένηση σχετίζεται με την κατανάλωση της ηλεκτρικής ισχύος του μεταδιδόμενου σήματος κατά μήκος του τηλεφωνικού ζεύγους, που συμπεριφέρεται σαν γραμμή μεταφοράς, και η τιμή της εξαρτάται από την συχνότητα λειτουργίας του σήματος, την διατομή των αγωγών και το μήκος της σύνδεσης. Η εξασθένηση του σήματος στα χάλκινα συνεστραμμένα ζεύγη των τηλεφωνικών καλωδίων αποδίδεται κυρίως σε δύο παράγοντες: το επιδερμικό φαινόμενο και την διηλεκτρική απώλεια.

- Σύμφωνα με το επιδερμικό φαινόμενο, όταν το ρεύμα διέρχεται μέσω ενός αγωγού σε υψηλή συχνότητα, η πυκνότητά του πεδίου δεν είναι ίδια σε όλη την διατομή του αγωγού, αλλά συγκεντρώνεται στην εξωτερική επιφάνειά του. Σαν αποτέλεσμα, μειώνεται η ενεργός διατομή του αγωγού, και ως εκ τούτου αυξάνονται οι απώλειες κατά ποσό ανάλογο προς την τετραγωνική ρίζα της συχνότητας λειτουργίας. Το επιδερμικό φαινόμενο εξηγεί την μεγαλύτερη αύξηση της εξασθένησης στις υψηλότερες συχνότητες του σήματος ADSL2+, που περιορίζει σημαντικά τον ρυθμό πληροφορίας σε απομακρυσμένες συνδέσεις.
- Η διηλεκτρική απώλεια σχετίζεται με την απορρόφηση μέρους της ισχύος του σήματος από το μονωτικό υλικό που περιβάλλει τον αγωγό. Το μέγεθος της απώλειας εξαρτάται από το είδος και την ποιότητα του διηλεκτρικού υλικού, ενώ η τιμή της επηρεάζεται και από την θερμοκρασία περιβάλλοντος και αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το πολυαιθυλένιο (συμπαγές ή αφρώδες) είναι το πλέον κατάλληλο υλικό για την μόνωση των αγωγών.

Η εξασθένηση αποτελεί το βασικότερο χαρακτηριστικό μετάδοσης των χάλκινων τηλεφωνικών καλωδίων, αφού οποιαδήποτε μείωση της εξασθένησης αυξάνεται την στάθμη του σήματος στην έξοδο, βελτιώνοντας τον λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR), και μέσω αυτού την ταχύτητα μετάδοσης. Ουσιαστική βελτίωση της εξασθένησης επιτυγχάνεται μόνο με την αύξηση της διατομής των αγωγών, ενώ το μέγεθος της εξασθένησης παραμένει ανεξάρτητο από την τεχνική μετάδοσης.

Η διαφωνία αναφέρεται στην ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή μεταξύ υψίσυχνων σημάτων, που μεταδίδονται σε γειτονικά ζεύγη. Τα τηλεφωνικά καλώδια του κυρίου δικτύου του ΟΤΕ περιλαμβάνουν μέχρι και 2.400 ζεύγη συνεστραμμένων μονωμένων αγωγών, που ομαδοποιούνται σε τετράδες, και συστρέφονται ομοιόμορφα σε αστερο-τετραδική διάταξη, έτσι ώστε οι αγωγοί που βρίσκονται διαγώνια να αποτελούν ζεύγος. Η βασική ομάδα σχηματίζεται από ομαδοποιήσεις πέντε τετράδων (10 ζευγών), ενώ το συνολικό καλώδιο απαρτίζεται από έναν αριθμό κύριων ομάδων των 50 ή 100 ζευγών, κάθε μια εκ των οποίων σχηματίζεται από πέντε ή δέκα βασικές μονάδες διατεταγμένες σε μία ή δυο στρώσεις αντίστοιχα.

Με δεδομένη την δομή του τηλεφωνικού καλωδίου, η μετάδοση πληροφορίας στην ίδια περιοχή συχνοτήτων από γειτονικά ζεύγη κάθε ομάδας, δημιουργεί έντονα φαινόμενα διαφωνίας, με την επαγωγή σημάτων, που προστίθενται στο μεταδιδόμενο σήμα πληροφορίας υπό μορφή θορύβου. Η επίδραση αυτή μπορεί να είναι απλή, δηλαδή μεταξύ δύο ζευγών, ή σωρευτική, σε ένα ζεύγος από όλα τα γειτονικά με αυτό.

Ορίζονται δύο βασικά μεγέθη διαφωνίας, η παραδιαφωνία, και η τηλεδιαφωνία, που αναφέρονται ως NEXT¹¹⁰ και FEXT¹¹¹ αντίστοιχα. Στην παραδιαφωνία η παρεμβολή επιδρά στη αντίθετη κατεύθυνση από το DSL σήμα, ενώ στην τηλεδιαφωνία στην ίδια. Από τα δύο μεγέθη παρεμβολής, το NEXT εμφανίζεται να έχει την μεγαλύτερη επίπτωση στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο, αφού εκεί τα ζεύγη ομαδοποιούνται σε καλώδια μεγαλύτερης χωρητικότητας και είναι επομένως μεγαλύτερη η αθροιστική ισχύς των παρεμβολών από ισχυρά σήματα πομπών στα ασθενή σήματα του δέκτη. Αντίθετα, κατά την τηλεδιαφωνία, η ισχύς των σημάτων, που παρεμβάλλουν, είναι σημαντικά μικρότερη λόγω της εξασθένησης των σημάτων DSL στον δέκτη.

Οι τιμές NEXT μπορούν να βελτιωθούν με περιορισμό της ισχύος εξόδου του ενεργού εξοπλισμού στο TK και την υιοθέτηση κατάλληλων τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας σήματος, όπως η διαμόρφωση DMT¹¹², η οποία μοιράζει τα προς μετάδοση δεδομένα σε ένα μεγάλο αριθμό από φέρουσες συχνότητες, και χρησιμοποιεί μόνο εκείνες που δεν επηρεάζονται από διαφωνία.

Οι επιπτώσεις των φαινομένων παρεμβολής γίνονται περισσότερο ανεξέλεγκτες σε περίπτωση φυσικής συνεγκατάστασης (LLU), όπου το είδος του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού κάθε παρόχου και η ισχύς εξόδου του δεν είναι γνωστά, με αποτέλεσμα η διαφωνία από ζεύγη ενός παρόχου να επηρεάζει τη λειτουργία ζευγών άλλων παρόχων. Καθίσταται επομένως αναγκαία η μελέτη της φασματικής συμβατότητας μεταξύ

¹¹⁰ Near End CrossTalk - NEXT

¹¹¹ Far End CrossTalk - FEXT

¹¹² Discrete Multitone - DMT

διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης μέσω του δικτύου χαλκού και η επιβολή μέσω της υπεύθυνης ρυθμιστικής αρχής αμοιβαία αποδεκτού σχεδίου διαχείρισης φάσματος¹¹³.

Από τα ανωτέρω γίνονται εμφανείς οι λόγοι για τους οποίους οι πραγματικές ταχύτητες, που παρέχονται από συνδέσεις ADSL2+ επηρεάζονται από την καλωδιακή απόσταση μεταξύ DSLAM και συνδρομητή. Ακόμη και για σύνδεση με ονομαστικό ρυθμό μετάδοσης 24 Mbit/s, στο modem του συνδρομητή σπάνια επιτυγχάνεται ταχύτητα μεγαλύτερη από 2 Mbit/s, εφόσον η καλωδιακή απόσταση από το DSLAM υπερβαίνει τα 3 km για διάμετρο αγωγού καλωδίου 0,4 mm. Οι επιδόσεις υποβαθμίζονται περαιτέρω λόγω αθροιστικής διαφωνίας, στην περίπτωση που αυξάνεται το ποσοστό πλήρωσης του τηλεφωνικού καλωδίου σε υπηρεσίες DSL. Η σταδιακή αύξηση των πηγών παρεμβολής μειώνει τις τιμές SNR για κάθε σύνδεση DSL, με αποτέλεσμα μια συνεχή, δυναμικά μεταβαλλόμενη, υποβάθμιση του ρυθμού μετάδοσης για το σύνολο των ευρυζωνικών συνδέσεων¹¹⁴. Άρα στην πράξη, οι υψηλές ταχύτητες των συνδέσεων ADSL2+ είναι διαθέσιμες μόνο σε ένα μικρό ποσοστό των συνδρομητών, που κατοικούν κοντά στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο.

Το VDSL2 αποτελεί την πλέον πρόσφατη τεχνολογική εξέλιξη¹¹⁵ της οικογένειας xDSL και διαθέτει την απαραίτητη δυναμική ώστε να υποκαταστήσει το ADSL2+ ως κύρια επιλογή DSL.

Ως VDSL2 νοείται η 2^η έκδοση του VDSL - «Πολύ Υψίρρυθμου DSL¹¹⁶», που αποτελούσε και αυτό εξέλιξη της τεχνολογίας ADSL2+. Οι προσπάθειες για την τυποποίηση του VDSL ξεκίνησαν το 1995 από το ANSI, ενώ το 1997 το ETSI και η ITU-T δημιούργησαν το FSAN¹¹⁷, με σκοπό την διεθνή τυποποίηση του VDSL, η οποία τελικά υιοθετήθηκε από την ITU το 2003 ως G.993.1.

Το VDSL2 τυποποιήθηκε από την ITU-T το 2006 ως G.993.2 και αντικατέστησε πλήρως το VDSL, προσφέροντας βελτιωμένες επιδόσεις σε μικρά καλωδιακά μήκη και προς τα πίσω συμβατότητα με το ADSL2+ για καλωδιακά μήκη μεγαλύτερα από 1.500 m, όπως φαίνεται στο σχήμα 21. Η εξέλιξη αυτή κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική, αφού το VDSL δεν επέτρεπε λειτουργία για καλωδιακές αποστάσεις μεγαλύτερες των 1.000 m. Για τον λόγο αυτό το VDSL2 αποτελεί τον διάδοχο όχι μόνο της τεχνολογίας VDSL αλλά και της τεχνολογίας ADSL2+, αφού λειτουργεί και στην περίπτωση, που ο συνδρομητής διαθέτει modem ADSL2+.

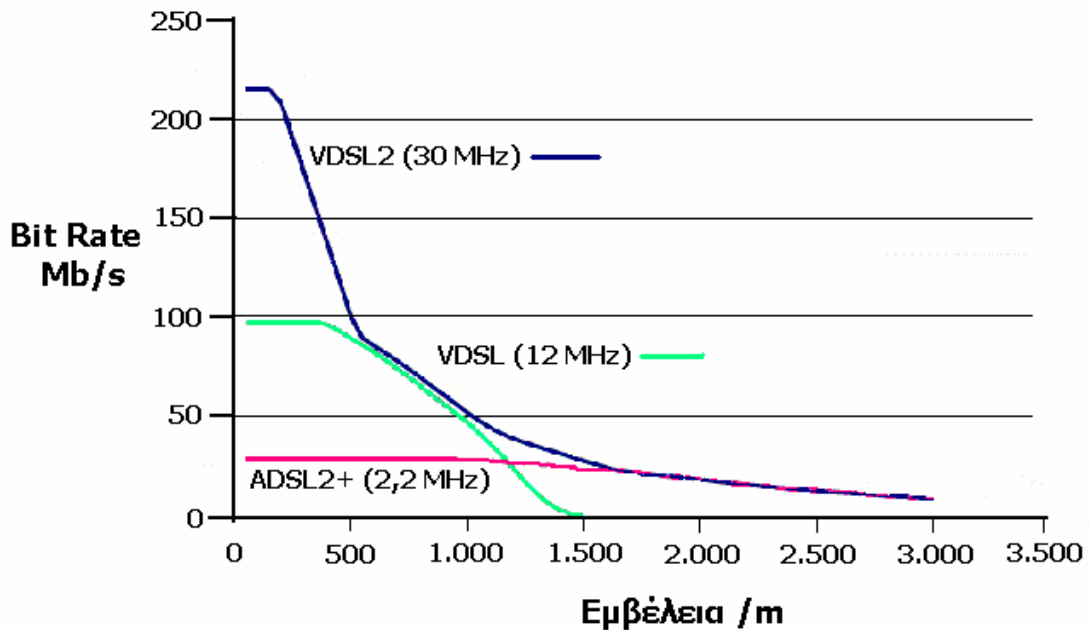
¹¹³ Η διαχείριση φάσματος ορίζει τους κανόνες για φασματικά συμβατή ανάπτυξη των συστημάτων xDSL προκειμένου να επιτυγχάνεται η αποδοτικότερη δυνατή αξιοποίηση της υφιστάμενης υποδομής του δικτύου χαλκού. Με τον όρο φασματική συμβατότητα υπονοείται ότι η παρεμβολή μεταξύ συστημάτων xDSL είναι μέσα σε αποδεκτά όρια. Για να υπάρξει φασματική συμβατότητα επιβάλλεται η πρόσβαση στο δίκτυο να είναι οριοθετημένη. Η ΕΕΕΤ βρίσκεται σε αρχικό στάδιο συζητήσεων με τον ΟΤΕ και τους άλλους παρόχους για την δημιουργία «Σχέδιου Διαχείρισης Φάσματος».

¹¹⁴ Η περισσότερο απομακρυσμένη σύνδεση εμφανίζεται να επηρεάζεται περισσότερο λόγω ασθενέστερου σήματος.

¹¹⁵ Τυποποιήθηκε από την ITU ως G.993.2 τον 02/2006

¹¹⁶ Απόδοση του όρου Very high bit rate DSL - VDSL

¹¹⁷ Full Service Access Network - FSAN



Σχήμα 21 Συγκριτικές επιδόσεις ADSL2+, VDSL και VDSL2 συνδέσεων ως προς τον ρυθμό πληροφορίας και την εμβέλεια¹¹⁸

Το VDSL2 διαθέτει οκτώ διαφορετικές κατατομές¹¹⁹ υλοποίησης (πίνακας 6), προκειμένου να εξυπηρετήσει απαιτήσεις τόσο για συμμετρικές όσο και για ασύμμετρες υπηρεσίες. Το χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης έχει αυξηθεί από τα 2,2 MHz του ADSL2+ στα 8,5 MHz, 12 MHz, 17,7 MHz και 30 MHz για τις λειτουργικές κατατομές 8a/b/c/d, 12a/b, 17a και 30a αντίστοιχα. Από τις εν λόγω κατατομές, η 8a/b/c/d έχει σχεδιαστεί για παροχή υπηρεσιών από το αστικό κέντρο και αναμένεται να αντικαταστήσει το ADSL2+, παρέχοντας ταχύτητες πρόσβασης μεγαλύτερες από 24 Mbit/s σε συνδρομητές, που βρίσκονται σε μικρή απόσταση από το αστικό κέντρο. Η κατατομή 12a/b μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά στο αστικό κέντρο ή σε υπαίθρια καμπίνα με μακρύτερο δίκτυο διανομής, η κατατομή 17a χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε υπαίθριες καμπίνες (FTTC+VDSL2), ενώ η κατατομή 30a έχει σχεδιαστεί για χρήση σε κτίρια (FTTB+VDSL2) και ταχύτητες άνω των 100 Mbit/s μέσω της εσωτερικής καλωδίωσης του κτιρίου.

Οι περισσότεροι προμηθευτές υλικού VDSL2 παρέχουν προϊόντα με δυνατότητα λειτουργίας στις περισσότερες αν όχι σε όλες τις ως άνω κατατομές.

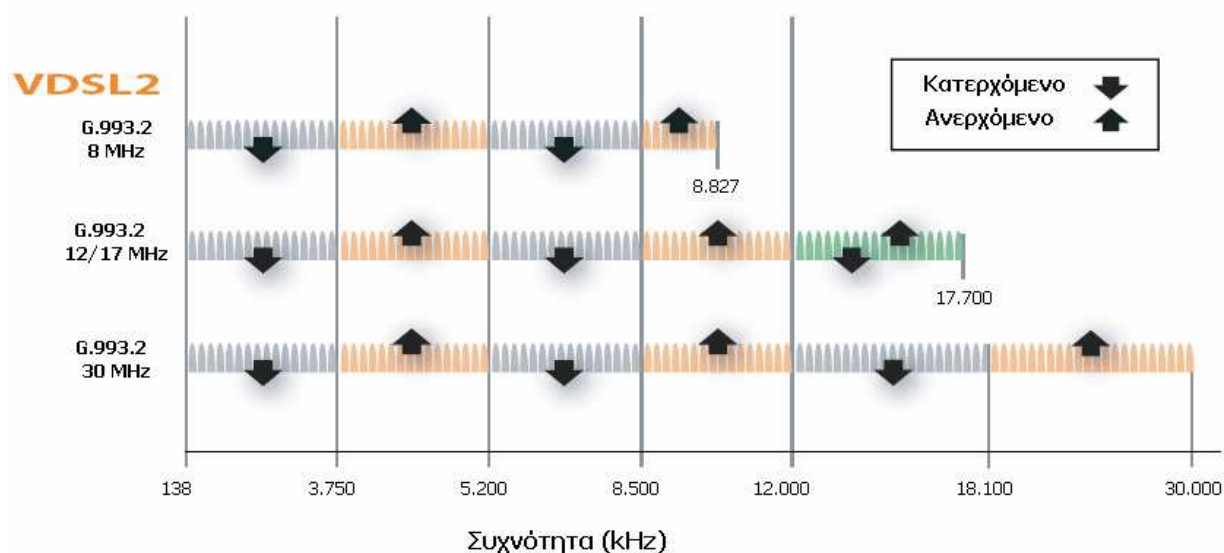
Η φασματική κατανομή σε περιοχές ανερχόμενου και κατερχόμενου σήματος για τις διάφορες κατατομές υλοποίησης περιγράφεται στο σχήμα 22. Στην περιοχή συχνοτήτων μέχρι 2,2 MHz η κατανομή φάσματος είναι ίδια με την αντίστοιχη του ADSL2+, υποβαθμίζεται όμως η ισχύς του σήματος, προκειμένου να περιορίζεται κατά το δυνατό η παρεμβολή του VDSL2 σε συνδέσεις ADSL2+, επιτρέποντας την συνύπαρξη των δύο τεχνολογιών στο ίδιο καλώδιο.

¹¹⁸ SOURCE: DSL Forum (2007)

¹¹⁹ Απόδοση του όρου profile

Πίνακας 6. Κατατομές υλοποίησης του VDSL2 σύμφωνα με το σχέδιο συχνοτήτων 998

Κατατομή	Κατερχόμενο Σήμα		Ανερχόμενο Σήμα		Θέση Εγκατάστασης
	Μέγιστη Συχνότητα (MHz)	Μέγιστη Ισχύς (dbm)	Μέγιστη Συχνότητα (MHz)	Μέγιστη Ισχύς (dbm)	
8a	8,5	17,5	5,2	14,5	Αστικό Κέντρο
8b	8,5	20,5	5,2	14,5	Αστικό Κέντρο
8c	8,5	11,5	5,2	14,5	Αστικό Κέντρο
8d	8,5	14,5	5,2	14,5	Αστικό Κέντρο
12a	8,5	14,5	12,0	14,5	Αστικό Κέντρο/ Υπαίθρια Καμπίνα
12b	8,5	14,5	12,0	14,5	Αστικό Κέντρο/ Υπαίθρια Καμπίνα
17a	15,5	14,5	17,7	14,5	Υπαίθρια Καμπίνα
30a	18,1	14,5	30,0	14,5	Κτίριο Συνδρομητή



Σχήμα 22 Φασματική κατανομή σε περιοχές ανερχόμενου και κατερχόμενου σήματος για διαφορετικές κατατομές του VDSL2.

Η ασύμμετρη λειτουργία παρέχει την δυνατότητα για ρυθμούς μετάδοσης άνω των 100 Mbit/s, για καλωδιακούς βρόχους μέχρι 500 m, ενώ για την ίδια απόσταση η συμμετρική λειτουργία υπερβαίνει τα 50 Mbit/s.

Είναι επομένως εμφανές ότι για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων της τεχνολογίας VDSL2, η μέγιστη καλωδιακή απόσταση μεταξύ DSLAM και συνδρομητή πρέπει να περιορίζεται σε κάτω από 500 m. Αυτό επιτυγχάνεται μόνο με υλοποιήσεις FTTC/B, όπου ένα μικρό DSLAM, εξοπλισμένο με θύρες VDSL2, τοποθετείται σε μια καμπίνα ενεργού εξοπλισμού σε υπαίθριο ή στεγασμένο χώρο, αξιοποιώντας το μικρού μήκους δίκτυο διανομής ή την εσωτερική καλωδίωση ενός κτιρίου για την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών σε ταχύτητες συγκρίσιμες με εκείνες που παρέχονται από δίκτυα οπτικών ινών.

Το MSAN είναι ένα πλαίσιο όπως το DSLAM, αλλά μπορεί να εξοπλιστεί με διαφορετικού τύπου κάρτες ώστε να παρέχει υπηρεσίες στενής (POTS, ISDN, μισθωμένα κυκλώματα TDM) και ευρείας ζώνης (ADSL2+, VDSL2, FE κλπ). Η τεχνολογία MSAN είναι σήμερα διαθέσιμη από πολλούς προμηθευτές¹²⁰.

5.2 Τεχνολογίες Ethernet

Η τεχνολογία Ethernet έχει εξελιχθεί τα τελευταία χρόνια στην πλέον αποδεκτή δικτυακή τεχνολογία. Αν και ξεκίνησε σαν ένα πρωτόκολλο για την διασύνδεση Η/Υ σε τοπικά δίκτυα (LAN), η χρήση της γρήγορα επεκτάθηκε σε μητροπολιτικά δίκτυα (MAN) και σε δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN), με αποτέλεσμα να υπάρχει σήμερα μια εγκατεστημένη βάση άνω των 500 εκατομμυρίων θυρών Ethernet.

Τα υλικά του δικτύου Ethernet διακρίνονται επομένως από μεγάλη αξιοπιστία, χαμηλό κόστος και παγκόσμια αποδοχή. Με την χρήση της τεχνολογίας Ethernet στο δίκτυο πρόσβασης δημιουργείται μια ενιαία δομή δικτύου βασισμένου εξ' ολοκλήρου στην τεχνολογική πλατφόρμα IP, αποφεύγοντας το αυξημένο κόστος και την πολυπλοκότητα μετατροπής μεταξύ πρωτοκόλλων διαφορετικής μορφής.

Η χρήση της τεχνολογίας Ethernet στο δίκτυο πρόσβασης είναι ευρέως γνωστή με τον όρο EFM, που σημαίνει "Ethernet μέχρι το τελευταίο άκρο"¹²¹, και έχει τυποποιηθεί από την IEEE ως 802.3ah¹²². Στο πρότυπο προβλέπονται τρεις διαφορετικές υλοποιήσεις, όπως περιγράφονται στο σχήμα 23. Οι δυο από αυτές βασίζονται σε σημείο-σημειακές (P2P) ζεύξεις Ethernet πάνω από χαλκό ή οπτική ίνα, για άμεση σύνδεση του συνδρομητή με το οικείο αστικό κέντρο, ενώ η τρίτη υλοποιεί μια σημείο-πολυσημειακή (P2MP) διάταξη γνωστή ως EPON¹²³. Ο πίνακας 7 περιγράφει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των τριών υλοποιήσεων σύμφωνα με την τυποποίηση της IEEE.

Πίνακας 7: Κύρια χαρακτηριστικά φυσικού επιπέδου των επιλογών EFM

Επιλογές EFM	Επιλογές Φυσικού Επιπέδου
EPON	<ul style="list-style-type: none"> - 10-km εμβέλεια, 1Gbit/s, 1x32 διακλαδωτής; μια μονότροπη οπτική ίνα για αμφίδρομη μετάδοση. - 20-km εμβέλεια, 1Gbit/s, 1x16 διακλαδωτής, μια μονότροπη οπτική ίνα για αμφίδρομη μετάδοση.
P2P μέσω οπτικής ίνας	<ul style="list-style-type: none"> - 1000Base-X (10-km) ή LX (40-km), 100 Mbit/s ή 1 Gbit/s; ένα ζεύγος μονότροπων οπτικών ινών. - 1000Base-X (10-km) ή LX (40-km); 100 Mbit/s ή 1 Gbit/s; ένα ζεύγος μονότροπων οπτικών ινών.
P2P μέσω χάλκινου ζεύγους	<ul style="list-style-type: none"> - 750-m εμβέλεια, 10 Mbit/s αμφίδρομη μετάδοση ανά φωνόσυχο ζεύγος χαλκού¹²⁴.

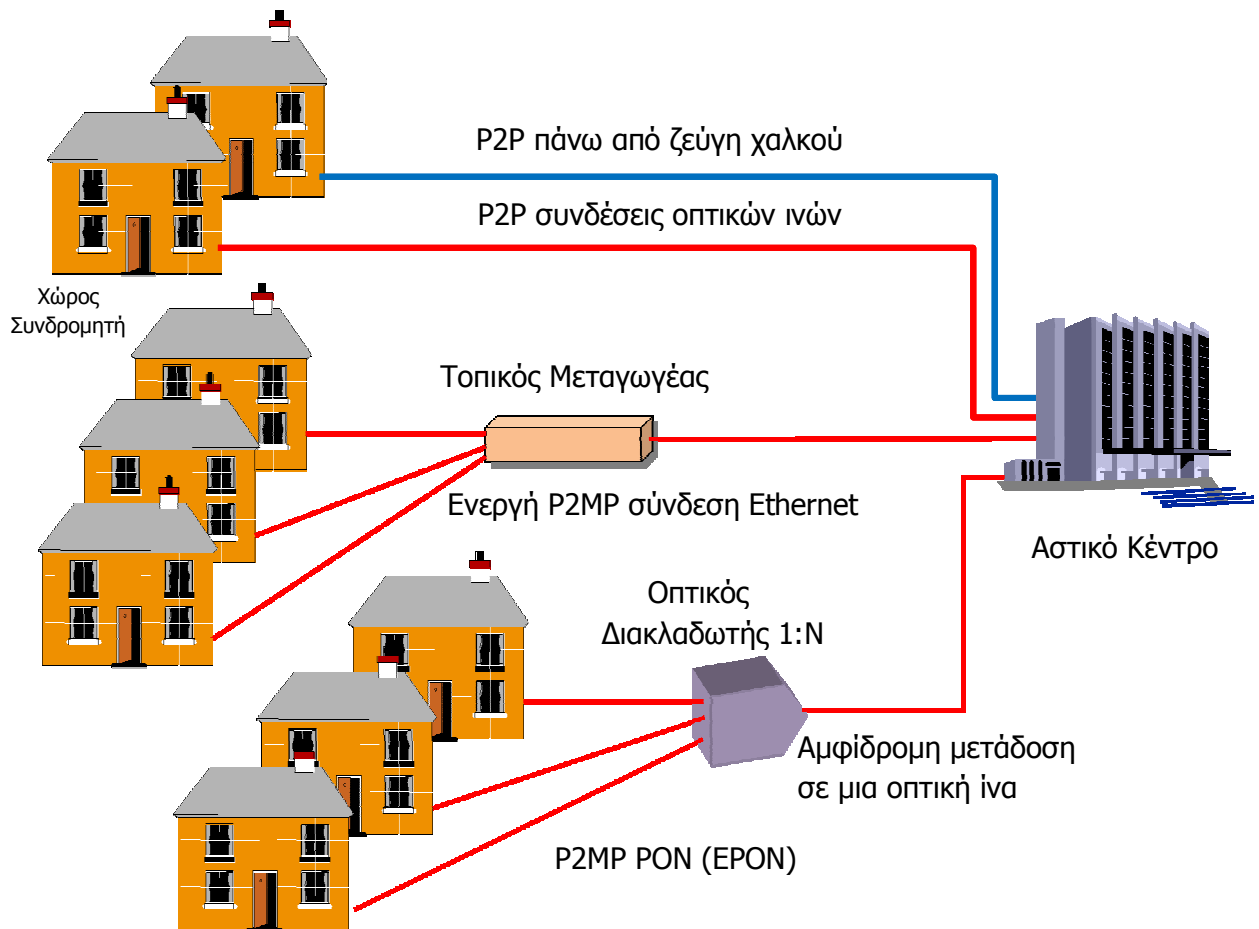
¹²⁰ Οι υπηρεσίες τηλεφωνίας POTS παρέχονται από τα πρωτόκολλα H.248 ή SIP, το ISDN και τα μισθωμένα TDM κυκλώματα (E1) διατίθενται από λίγους μόνο προμηθευτές.

¹²¹ Απόδοση του όρου Ethernet in the First Mile - EFM

¹²² Το πρότυπο ψηφίστηκε τον Ιούνιο 2004, Diab, W.W. & Frazier, H. M. (2006), Ch.3, p.37

¹²³ Ethernet over Passive Optical Network – EPON

¹²⁴ Με δέσμιση (pair bonding) μέχρι και 8 ζευγών καθίσταται εφικτή η μετάδοση πλαισίων Ethernet με ταχύτητα έως 80 Mbit/s.



Σχήμα 23 Διαφορετικές υλοποιήσεις EFM

Συμπληρωματικά της IEEE, η σύσταση της ITU-T G.985¹²⁵ προδιαγράφει μια σύνδεση οπτικής πρόσβασης βασισμένη σε τοπολογία Ethernet P2P και ταχύτητα 100 Mbit/s. Το βασικό σενάριο P2P θεωρεί την αποκλειστική χρήση μιας οπτικής ίνας ή ενός ζεύγους οπτικών ινών μεταξύ του αστικού κέντρου και κάθε συνδρομητή. Το σενάριο αυτό, που προωθείται κυρίως από κατασκευαστές εξοπλισμού μεταγωγής, όπως η Cisco, και Ρυθμιστικές Αρχές Τηλεπικοινωνιών (για προφανείς λόγους), απαιτεί ένα πολύ μεγάλο πλήθος οπτικών ινών (αντίστοιχο με εκείνο των ζευγών χαλκού) και τον αντίστοιχο εξοπλισμό πομποδέκτη σε κάθε άκρο. Έχει επομένως υψηλότερο κόστος υλοποίησης και η υλοποίησή του ενδείκνυται μόνο σε επιχειρησιακούς πελάτες, αξιοποιώντας την πλήρη χωρητικότητα της οπτικής ίνας (1GE).

Μια άλλη υλοποίηση, γνωστή ως «ενεργή P2MP» (που δεν ευνοείται από Ρυθμιστικές Αρχές, αλλά αντιμετωπίζεται θετικά από κατασκευαστές εξοπλισμού μεταγωγής), προβλέπει την χρήση ενός ζεύγους οπτικών ινών μεταξύ του αστικού κέντρου και εξοπλισμού μεταγωγής Ethernet εγκατεστημένου εντός υπαίθριας καμπίνας (FTTC). Κάθε συνδρομητής συνδέεται στο εξοπλισμό μεταγωγής της καμπίνας με ανεξάρτητο ζεύγος οπτικών ινών. Η επιλογή αυτή μειώνει σημαντικά το πλήθος των αναγκαιών τερματισμών ΚΟΙ στο αστικό κέντρο, αλλά περιορίζει το διαθέσιμο εύρος ζώνης κάθε συνδρομητή,

¹²⁵ Το πρότυπο οριστικοποιήθηκε τον Μάρτιο του 2003.

αφού όλοι μοιράζονται από κοινού την οπτική ζεύξη, που συνδέει το αστικό κέντρο με τον τοπικό εξοπλισμό μεταγωγής στην υπαίθρια καμπίνα.

Μια τρίτη επιλογή είναι το EPON, που εξετάζεται στην επόμενη παράγραφο ως μέρος των τεχνολογιών PON.

5.3 Τεχνολογίες PON

Ο όρος PON σημαίνει «Παθητικό Οπτικό Δίκτυο¹²⁶» και αναφέρεται σε μια τοπολογία διασύνδεσης P2MP, που χρησιμοποιεί έναν παθητικό διακλαδωτή οπτικής ισχύος¹²⁷ προκειμένου να συνδέσει τον τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό¹²⁸ του αστικού κέντρου με ένα πλήθος συνδρομητών. Αν και αρχικά, ο όρος PON αναφερόταν γενικόλογα στην συγκεκριμένη δικτυακή τοπολογία, η οποία μπορεί να υλοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους (παραλλαγές με βάση το πλήθος των χρησιμοποιούμενων ινών, την τεχνική πολυπλεξίας και τα διαφορετικά μήκη κύματος λειτουργίας), η ανάγκη για τυποποίηση του ενεργού εξοπλισμού μετάδοσης οδήγησε στις συγκεκριμένες τεχνολογίες xPON, που περιγράφονται κατωτέρω.

Στο σχήμα 24 περιγράφεται η βασική αρχιτεκτονική ενός τυπικού δικτύου PON. Το οπτικό δίκτυο περιλαμβάνει μια οπτική ίνα, η οποία ξεκινώντας από το αστικό κέντρο συνδέεται σε κατάλληλη θέση με τον οπτικό διακλαδωτή, ο οποίος απλά υποδιαιρεί και κατανέμει την ισχύ του εισερχόμενου σήματος σε N εξόδους. Ο λόγος διαμερισμού μπορεί να παίρνει τιμές από 2 μέχρι 64, με συνηθέστερες τιμές 8, 16 και 32. Οι έξοδοι του οπτικού διακλαδωτή συνδέονται μέσω οπτικών ινών με τον εξοπλισμό κάθε συνδρομητή. Η μέγιστη διαδρομή από το αστικό κέντρο μέχρι τον συνδρομητή δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 20 km.

Η λειτουργία του PON βασίζεται στην ταυτόχρονη μετάδοση διαφορετικού τύπου υπηρεσιών μέσω της αυτής οπτικής ίνας και επιτυγχάνεται με την χρήση διαφορετικού μήκους κύματος σε κάθε κατεύθυνση (όπως περιγράφεται στο σχήμα 24). Για την κατερχόμενη κίνηση το PON χρησιμοποιεί μήκος κύματος 1490 nm για την μετάδοση φωνής (VoIP) και δεδομένων και 1550 nm για την διανομή υπηρεσιών video. Η ανερχόμενη κίνηση φωνής και δεδομένων εξυπηρετείται από μήκος κύματος στα 1310 nm. Η συνένωση και ο διαχωρισμός των διαφορετικών μηκών κύματος επιτυγχάνεται με χρήση διατάξεων πολυπλεξίας WDM¹²⁹ χαμηλού κόστους. Ανάλογα με την συγκεκριμένη υλοποίηση, η λειτουργία του PON μπορεί να είναι συμμετρική ή ασύμμετρη, ενώ για την μετάδοση σήματος video στα 1550 nm μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα μορφότυπα μετάδοσης.

¹²⁶ Απόδοση του όρου Passive Optical Network - PON

¹²⁷ Απόδοση του όρου optical splitter – εναλλακτικά χρησιμοποιείται και ο όρος οπτικός διαμεριστής

¹²⁸ Συμπεριλαμβάνεται υλικό μεταγωγής PSTN, ATM και Ethernet, δρομολογητές IP, Video servers κλπ.

¹²⁹ Η τεχνική πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing - WDM) πολυπλέκει πολλά διαφορετικά μήκη κύματος στην ίδια οπτική ίνα, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την χωρητικότητα μετάδοσης των οπτικών ινών.

Σχήμα 24 Υλοποιήσεις FTTx, βασισμένες στην τεχνολογία PON

Ο ενεργός εξοπλισμός ενός δικτύου PON που εγκαθίσταται στο αστικό κέντρο είναι γνωστός ως «τερματικό οπτικής γραμμής» OLT¹³⁰, ενώ ο αντίστοιχος εξοπλισμός στον χώρο του συνδρομητή ως «μονάδα οπτικού δικτύου» ONU¹³¹ ή «τερματικό οπτικού δικτύου» ONT¹³². Ο όρος ONT χρησιμοποιείται κυρίως όταν η οπτική ίνα εξυπηρετεί ένα νοικοκυριό σε υλοποιήσεις FTTH, ενώ ο όρος ONU προτιμάται για την περιγραφή εξοπλισμού που εγκαθίσταται σε υπαίθριες καμπίνες ή καμπίνες εσωτερικού χώρου σε υλοποιήσεις FTTC/B. Οι συνδέσεις μεταξύ ONU και συνδρομητών γίνονται μέσω του υφιστάμενου δικτύου διανομής.

Το OLT βρίσκεται συνήθως εγκατεστημένο στο αστικό κέντρο και ελέγχει την αμφίδρομη ροή της κίνησης στο δίκτυο PON. Στην κατερχόμενη διαδρομή το OLT πολυπλέκει κίνηση υπηρεσιών POTS, δεδομένων και video από διαφορετικά δίκτυα σε ένα κοινό σήμα και το διανέμει σε όλες τις μονάδες ONU και ONT, που είναι συνδεδεμένες στο συγκεκριμένο PON. Στην ανερχόμενη διαδρομή, το OLT λαμβάνει πολλαπλά διαφορετικά είδη σημάτων από τους συνδεδεμένους χρήστες μέσω τεχνικής πολυπλεξίας TDMA¹³³, τα διαχωρίζει και οδηγεί κάθε είδος στην κατάλληλη δικτυακή διεπαφή. Μια τυπική μονάδα OLT σχεδιάζεται για να εξυπηρετεί περισσότερα από ένα PON. Οι κατασκευαστές εξοπλισμού PON διαθέτουν πλαίσια OLT, με χωρητικότητα άνω των 56 PON ανά πλαίσιο (3.584 ONU/ONT ανά πλαίσιο OLT)¹³⁴. Ο εξοπλισμός OLT είναι τυποποιημένος¹³⁵ ώστε να επιτρέπεται τη χρήση κατάλληλου τερματικού εξοπλισμού ONT και ONU.

Ο τερματικός εξοπλισμός ONT περιλαμβάνει ένα οπτικό modem, που εγκαθίσταται στον χώρο του συνδρομητή, και συνδέεται με το OLT του οικείου αστικού κέντρου μέσω του

¹³⁰ Optical Line Terminal - OLT

¹³¹ Optical Network Unit - ONU

¹³² Optical Network Terminal - ONT

¹³³ Time Division Multiple Access - TDMA

¹³⁴ Τυπικά διαθέσιμα προϊόντα: ERICSSON EDA 1500 OLT: 56 GPON/πλαίσιο OLT, NSN SURPASS hiX5750 OLT: 56 GPON/πλαίσιο OLT, ZTE ZX10 C300 OLT: 128 GPON ή EPON/ πλαίσιο OLT.

¹³⁵ Οι τυποποιήσεις BPON, EPON, GPON εξετάζονται πιο κάτω.

δικτύου PON, παρέχοντας στον συνδρομητή μια ποικιλία ηλεκτρικών διεπαφών σύνδεσης με τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό του. Ανάλογα με τις απαιτήσεις του συνδρομητή μια τυπική μονάδα ONT παρέχει συνήθως ένα μείγμα τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών συμπεριλαμβανομένων POTS, συνδέσεις γρήγορου Internet μέσω FE/GE, συνδέσεις ψηφιακού ή και αναλογικού video, μισθωμένα κυκλώματα E1 κλπ. Τα ONT έχουν συνήθως μικρό μέγεθος και καλοσχεδιασμένη εμφάνιση και λειτουργούν με τροφοδοσία AC για οικιακή χρήση.

Ο τερματικός εξοπλισμός ONU είναι ουσιαστικά μια μεγαλύτερης χωρητικότητας μονάδα ONT, υπό την μορφή ενός πλαισίου DSLAM/MSAN¹³⁶, που εγκαθίσταται σε καμπίνα υπαίθρια ή εσωτερικού χώρου και χρησιμοποιείται σε υλοποιήσεις FTTC/B με χρήση PON για την εξυπηρέτηση μιας μεγαλύτερης ομάδας συνδρομητών. Ηλεκτροδοτείται συνήθως με DC και εξοπλίζεται με διαφορετικές συνδρομητικές κάρτες για την παροχή ποικίλων υπηρεσιών.

Η τεχνολογία PON αποτελεί την βασική επιλογή μεγάλων τηλεπικοινωνιακών οργανισμών στην προσέγγιση των τεχνολογιών FTTx, κυρίως λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει ως προς την τη απαιτούμενη υποδομή. Ήδη από την περίοδο 1990-98, στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, οι κυρίαρχες τηλεπικοινωνιακές εταιρίες προχώρησαν σε μεγάλης έκτασης πιλοτικά έργα, που όλα βασίζονταν κυρίως στη χρήση της τοπολογίας PON¹³⁷ αξιοποιώντας τις δυνατότητές της για ευρυεκπομπή αναλογικού βίντεο για να προσφέρουν τηλεφωνία μαζί με υπηρεσίες καλωδιακής τηλεόρασης. Σε κάθε περίπτωση, τα αποτελέσματα δεν ήταν επιτυχή και τα έργα αυτά εγκαταλείφθηκαν, αφού προηγουμένως δαπανήθηκαν υπέρογκα ποσά, κυρίως διότι η τεχνολογία PON δεν διέθετε την απαιτούμενη τυποποίηση, ενώ και οι διαθέσιμες τότε υπηρεσίες δεν δικαιολογούσαν το απαιτούμενο ύψος επενδύσεων για υλοποιήσεις FTTx.

Τα τελευταία χρόνια έχουν υπάρξει τρεις βασικές τυποποιήσεις της τεχνολογίας PON: Broadband PON ή BPON, Ethernet PON ή EPON, και Gigabit PON ή GPON. Αν και όλες ακολουθούν την ίδια βασική δικτυακή τοπολογία PON του σχήματος 24, τα ειδικότερα χαρακτηριστικά κάθε τυποποίησης αναφέρονται στον πίνακα 8.

Το GPON εμφανίζεται σήμερα ως η κυρίαρχη διεθνής τυποποίηση PON, παρέχοντας μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης και βελτιωμένους μηχανισμούς ασφάλειας, ενώ διατηρούνται οι δυνατότητες των άλλων τυποποιήσεων σε θέματα δυναμικής κατανομής εύρους ζώνης (DBA¹³⁸) και χρήσης μηνυμάτων λειτουργίας, διαχείρισης και συντήρησης (OAM¹³⁹). Παρά ταύτα, η τυποποίηση EPON θεωρείται απλούστερη και περισσότερο τεχνολογικά ώριμη από τηλεπικοινωνιακές εταιρίες στις ΗΠΑ και σε πολλές Ασιατικές χώρες.

¹³⁶ Οι περισσότεροι κατασκευαστές εξοπλισμού DSLAM/MSAN διαθέτουν προϊόντα για χρήση ως τερματικά GPON.

¹³⁷ Ενδεικτικά αναφέρονται πιλοτικά τα έργα: OPAL (1990-93) της DT, MOLENE (1992) της FT, OTIAN (1993) της BT και SOCRATE (1997-99) της TI.

¹³⁸ DBA - Dynamic Bandwidth Assignment

¹³⁹ OAM - Operations, Administration and Maintenance

Πίνακας 8 Κύρια χαρακτηριστικά των τεχνολογιών PON

Είδος	Τύπος Παθητικού Οπτικού Δικτύου (PON)		
	BPON	EPON	GPON
Τυποποίηση	ITU-T G.983	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984
Πρωτόκολλο	ATM	Ethernet	ATM and Ethernet
Ρυθμοί Πληροφορίας (Mbit/s) Κατερχόμενη: Ανερχόμενη	622/1.244 155/622	1.244 1.244	1.244/2.488 155 έως 2.488
Εμβέλεια (km)	20	10	20
Λόγος Διαμερισμού	1/32	1/16 ονομαστικός 1/32 επιτρεπτός	1/64

Το PON (GPON ή EPON) αποτελεί την προτιμώμενη τοπολογία υλοποίησης FTTx των κυρίαρχων Telco¹⁴⁰ (ILEC) και των μεγαλύτερων κατασκευαστών τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού¹⁴¹. Είναι σημαντικά οικονομικότερο¹⁴² από αντίστοιχες υλοποιήσεις P2P Ethernet σε θέματα δικτυακής υποδομής και λιγότερο απαιτητικό σε χώρους και ενεργό εξοπλισμό¹⁴³. Την τοπολογία PON αντιστρατεύονται οι τοπικές Ρυθμιστικές Αρχές¹⁴⁴ και οι κατασκευαστές εξοπλισμού Ethernet¹⁴⁵, με το επιχείρημα ότι οδηγεί σε «κλειστά δίκτυα» και ως εκ τούτου είναι αντίθετη με τους κανόνες ανταγωνισμού της τηλεπικοινωνιακής αγοράς.

Το κύριο συγκριτικό λειτουργικό μειονέκτημα της τεχνολογίας PON είναι ο εγγενής περιορισμός στο διαθέσιμο εύρος ζώνης ανά συνδρομητή, που προέρχεται από το γεγονός ότι το σύνολο των συνδρομητών εξυπηρετείται από την ίδια οπτική ζεύξη¹⁴⁶ στην διαδρομή από τον οπτικό διακλαδωτή μέχρι την κεντρική μονάδα OLT στο αστικό κέντρο. Επομένως, το PON ενδεχομένως θα δυσκολευτεί να ανταποκριθεί σε μελλοντική σημαντική αύξηση των απαιτήσεων σε εύρος ζώνης με συμμετρικές υπηρεσίες ανά συνδρομητή, ιδιαίτερα αν εξυπηρετεί ένα μεγάλο πλήθος συνδρομητικών ONT ή πλαίσια DSLAM/MSAN με ικανό αριθμό συνδρομητών VDSL2.

¹⁴⁰ Διότι εκτός των άλλων δυσκολεύει σημαντικά την δυνατότητα για LLU.

¹⁴¹ Διότι παρά την τυποποίηση οι τερματικές συσκευές ONT και ONU πρέπει να είναι του ίδιου κατασκευαστή με την κεντρική μονάδα.

¹⁴² Σχεδόν 40% χαμηλότερο κόστος σύμφωνα με τεchnο-οικονομική μελέτη στο Prat, J., Balaguer, P.E., Gene, J.M., Diaz, O.& Figuerola, S. (2002), κεφ.7.

¹⁴³ Σύμφωνα με μελέτη της Ericsson για P2P τοπολογίες απαιτείται δεκαπλάσιος χώρος τερματισμού στο σημείο συγκέντρωσης και ο ενεργός εξοπλισμός απαιτεί τριπλάσια ισχύ κατανάλωσης.

¹⁴⁴ Κάνει το έργο τους δυσκολότερο, αφού περιορίζει τη ρύθμιση μόνο σε υπηρεσίες χονδρικής (bit-stream).

¹⁴⁵ Η τεχνολογία P2P Ethernet οδηγεί σε σημαντικότερη αύξηση των απαιτήσεων σε εξοπλισμό Ethernet switch.

¹⁴⁶ Ανερχόμενη ταχύτητα μέχρι 2,5 Gbit/s για GPON ή μέχρι 1,24 Gbit/s για EPON

Ως αποτέλεσμα, οι μελλοντικές βελτιώσεις της τεχνολογίας PON στοχεύουν στην αύξηση του διαθέσιμου ρυθμού μετάδοσης ανά συνδρομητή. Τόσο η IEEE με το 10GEPON, όσο και η ITU με το 10GPON οδηγούνται σε αντίστοιχες τυποποιήσεις¹⁴⁷, που θα αναβαθμίσουν την ανερχόμενη ταχύτητα σε 10 Gbit/s, ενώ ακόμη μεγαλύτερη αύξηση στον διαθέσιμο ρυθμό μετάδοσης ανά συνδρομητή αναμένεται να επιτευχθεί με την εφαρμογή της τεχνολογίας DWDM σε ένα δίκτυο PON και την δημιουργία ενός WDM-PON, στο οποίο σε κάθε συνδρομητή (σε επίπεδο ONT ή ONU) θα διατίθενται δύο μήκη κύματος αποκλειστικής χρήσης¹⁴⁸, αξιοποιώντας πλήρως το διαθέσιμο εύρος ζώνης.

Οι επιδράσεις της τεχνολογίας DWDM στην μελλοντική εξέλιξη της τοπολογίας PON, καθώς και παραλλαγές-βελτιώσεις της βασικής αρχιτεκτονικής¹⁴⁹, που ενσωματώνουν δυνατότητες για αυξημένη εμβέλεια και προστασία μέσω εναλλακτικής όδευσης, έχουν επίσης εξετασθεί τα τελευταία δέκα χρόνια, μέσω πληρώρας χρηματοδοτούμενων από την ΕΕ προγραμμάτων και δοκιμών πεδίου¹⁵⁰. Μια αναλυτικότερη προσέγγιση στις τεχνολογικές εξελίξεις και τις μελλοντικές προοπτικές του PON παρέχεται στο κεφάλαιο 3.

¹⁴⁷ Οι τυποποιήσεις αναμένονται να είναι διαθέσιμες εντός του 2009.

¹⁴⁸ Η τεχνική έχει δοκιμαστεί από μεγάλες εταιρίες σε ερευνητικό πεδίο, ενώ εμπορικά προϊόντα αναμένονται μετά το 2010.

¹⁴⁹ SuperPON, HyperPON, SMP-PON κλπ

¹⁵⁰ Κάποια σχετικά έργα που χρηματοδοτήθηκαν στο πλαίσιο ερευνητικών προγραμμάτων είναι: PLANET (ACTS-2000), TOBASCO (ACTS-1998), HARMONICS (IST-2001), SONATA (2001), BONAPARTE (ACTS-1998), FIBERVISTA (1999), RINGO (2001) κλπ.

6. Καλωδιακές Επιλογές

Η ανάπτυξη ενός δικτύου NGA προϋποθέτει την δημιουργία της απαραίτητης καλωδιακής υποδομής οπτικών ινών, το εύρος, η διάρθρωση και η πυκνότητα της οποίας εξαρτάται από την επιλογή της συγκεκριμένης τεχνικής λύσης FTTx και της τοπολογίας P2P ή P2MP. Η καλωδιακή υποδομή ενός δικτύου FTTC/B/H, όπως περιγράφεται στο σχήμα 25, περιλαμβάνει στις υποδομές: α) του Κεντρικού Κόμβου Συγκέντρωσης (ΚΚΣ), β) του Εξωτερικού Δικτύου¹⁵¹ (ΕΞΔ) και γ) του Ενδοκτιριακού Δικτύου (ΕσΔΚ).

Ο ΚΚΣ, που συνήθως συστεγάζεται με το αστικό κέντρο, είναι το σημείο τερματισμού του συνόλου των οπτικών ινών μιας περιοχής, στην οποία αναπτύσσεται δίκτυο FTTC/B/H. Οι απαιτήσεις χώρου εξαρτώνται από το είδος της υλοποίησης¹⁵² και την πυκνότητα τερματισμού των διαθέσιμων ODF¹⁵³. Τα χρησιμοποιούμενα υλικά στα καλώδια, τα πλαστικά κανάλια οδήγησης κορδονιών κλπ. πρέπει να είναι βραδύκαυστα, χαμηλής παραγωγής καπνού και αλογόνων (LSHF)¹⁵⁴ σύμφωνα με τις διεθνείς απαιτήσεις πυροπροστασίας¹⁵⁵, κατάλληλα για χρήση σε εσωτερικό χώρο.

Το ΕΞΔ εκτείνεται από τον ΚΚΣ μέχρι το κτίριο των συνδρομητών και υποδιαιρείται στο Κύριο Δίκτυο (ΚΔ) και το Δίκτυο Διανομής (ΔΔ). Περιλαμβάνει τις υποδομές:

- α) σωλήνων, μικρο-σωλήνων¹⁵⁶ και πολύ-σωληνίσκων¹⁵⁷,
- β) καλωδίων, μικρο-καλωδίων και ινο-ομάδων¹⁵⁸ και
- γ) των παρελκομένων παθητικών στοιχείων διασύνδεσης και τερματισμού αυτών.

Ο Περιφερειακός Κόμβος Συγκέντρωσης (ΠΣΚ), που στεγάζεται συνήθως σε υπαίθρια καμπίνα (υπέργεια ή υπόγεια) μικρών διαστάσεων λειτουργεί ως διεπαφή μεταξύ του ΚΔ και του ΔΔ, και περιλαμβάνει οργανωτήρες συγκολλήσεων για την σύνδεση των οπτικών ινών των καλωδίων ή μικρο-καλωδίων με τις ινο-ομάδες, που χρησιμοποιούνται συνήθως στο ΔΔ.

Το ΕσΔΚ υποδιαιρείται στην κατακόρυφη και οριζόντια καλωδίωση. Περιλαμβάνει συνήθως υποδομή μικρο-σωλήνων, μέσω της οποίας είναι δυνατή η εμφύσηση ινο-ομάδων (2 ή 4 ΟΙ) από τον ODF του κτιρίου, που αποτελεί συνήθως το σημείο διεπαφής μεταξύ του ΕΞΔ και του ΕσΔΚ, μέχρι την αντίστοιχη τηλεπικοινωνιακή υποδοχή (ΤΥ) στο διαμέρισμα του συνδρομητή.

¹⁵¹ Αποδίδεται ο όρος Outside Plant Network

¹⁵² Υλοποιήσεις FTTB/H με τοπολογία P2P απαιτούν πολλαπλάσιο χώρο από τις αντίστοιχες P2MP.

¹⁵³ Υπάρχουν διαθέσιμοι ODF με πυκνότητα τερματισμού μέχρι και 2.000 ίνες ανά ικρίωμα, πρέπει όμως να ληφθούν υπόψη και οι αυξημένες ανάγκες διαχείρισης των κορδονιών διασύνδεσης.

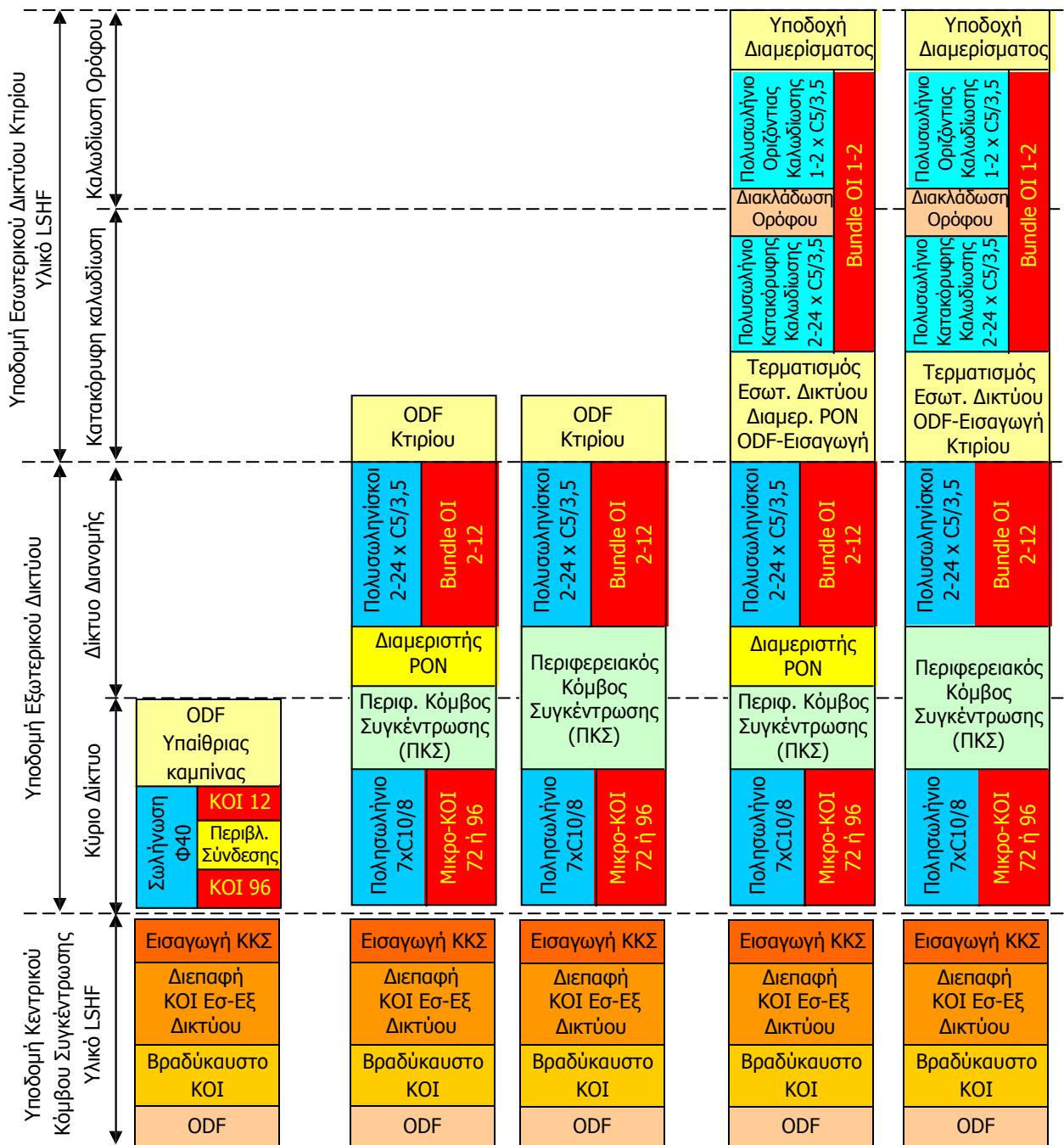
¹⁵⁴ Low Smoke Halogen Free – LSHF, μερικές φορές εμφανίζεται και ως LSZH – Zero Halogen.

¹⁵⁵ Απαιτήσεις υλικών: διάδοση φλόγας κατά IEC60332-1 και IEC 60332-3 κατηγορία C, εκπομπή καπνού κατά IEC61034-2, περιεκτικότητα αλογόνου κατά IEC60754-1 και με αγωγιμότητα pH σύμφωνα με το IEC60754-2.

¹⁵⁶ Για εγκατάσταση μικρο-καλωδίων με εμφύσηση

¹⁵⁷ Για εγκατάσταση ινο-ομάδων με εμφύσηση

¹⁵⁸ Απόδοση του όρου fiber bundle



α) FTTC β1) FTTB+P2MP β2) FTTB+P2P γ) FTTH+P2MP γ2) FTTH+P2P

Σχήμα 25 Καλωδιακή υποδομή δικτύων FTTC/B/H

Η κατακόρυφη υποδομή διατρέχει τους ορόφους εσωτερικά ή εξωτερικά του κτιρίου, ενώ η οριζόντια διασυνδέει σε αυτή τα διαμερίσματα κάθε ορόφου μέσω ενός κοινού κουτιού διασύνδεσης σε κάθε όροφο. Το χρησιμοποιούμενο υλικό πρέπει να είναι επίσης βραδύκαυστο, χαμηλής παραγωγής καπνού και αλογόνων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις πυροπροστασίας για χρήση σε εσωτερικό χώρο.

Η καλωδιακή υποδομή ενός δικτύου NGA εμφανίζεται στην πιο συνεπτυγμένη της μορφή σε παραδοσιακές υλοποιήσεις FTTC από κυρίαρχες τηλεπικοινωνιακές εταιρίες, στις οποίες χρησιμοποιούνται συμβατικά καλώδια μέχρι και 144 οπτικών ινών σε πλαστικές

σωλήνες Φ40, αξιοποιώντας υφιστάμενες υποδομές σωληνώσεων και καλωδίων αστικού δικτύου, που αναπτύχθηκαν κυρίως την περίοδο 1990-2000.

Αντίθετα, στην πιο ανεπτυγμένη της μορφή η καλωδιακή υποδομή εμφανίζεται σε υλοποιήσεις FTTH με τοπολογία P2P, όπου αποτελεί μια εξολοκλήρου νέα υποδομή δικτύου οπτικών ινών σχεδιασμένη «κατ' εικόνα και ομοίωση» του υφιστάμενου αστικού δικτύου χαλκού, αφού σε κάθε διαμέρισμα αντιστοιχεί μια τουλάχιστον οπτική ίνα, που το συνδέει με τον ΚΚΣ. Μια τέτοια υποδομή αγνοεί τις υφιστάμενες δικτυακές υποδομές και στηρίζεται συνήθως σε νέα καλώδια μικρότερων διαστάσεων (μικρο-καλώδια ή ινο-ομάδες), που εγκαθίστανται σε νέες υποδομές μικρο-σωλήνων και πολύ-σωληνίσκων.

Σε κάθε όμως περίπτωση η προοπτική για ένα δίκτυο NGA, που αναμένεται τελικά να εξελιχθεί σε FTTH, επιτάσσει την υιοθέτηση νέας υποδομής με περίσσεια σωληνώσεων πολύ-σωληνίσκων για μελλοντική εγκατάσταση μικρο-καλωδίων με εμφύσηση, σε σημεία που απαιτείται ανάπτυξη νέας υποδομής.

Στις επόμενες παραγράφους ακολουθεί μια εκτενής αναφορά στα επιμέρους στοιχεία της καλωδιακής υποδομής ενός δικτύου NGA.

6.1 Οπτικές Ίνες

Οι απαιτήσεις μετάδοσης των οπτικών ινών, που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο πρόσβασης, διαφοροποιούνται σημαντικά από εκείνες των ινών του δικτύου κορμού. Τα πολύ μικρά μήκη σύνδεσης των οπτικών ζεύξεων, που στο αστικό δίκτυο σπάνια ξεπερνούν τα 5 km, επιτρέπουν σχεδόν πλήρη ανεξαρτησία από τις επιπτώσεις των βασικών παραμέτρων μετάδοσης των οπτικών ινών, δηλαδή την εξασθένηση, τη χρωματική διασπορά και τη διασπορά τρόπου πόλωσης.

Σε κάθε περίπτωση, η επιλογή μιας κοινής μονότροπης οπτικής ίνας τύπου G.652 κατά ITU καλύπτει πλήρως τις απαιτήσεις ενός δικτύου NGA, αφού για τα δεδομένα μήκη μπορεί εύκολα να υποστηρίξει ρυθμούς μετάδοσης έως και 40 Gbit/s¹⁵⁹.

Η ισχύουσα έκδοση της τυποποίησης G652 (06/2005) κατά ITU ορίζει τα χαρακτηριστικά και τις επιδόσεις τεσσάρων παραλλαγών μονότροπης οπτικής ίνας, με μηδενική χρωματική διασπορά στα 1310 nm.

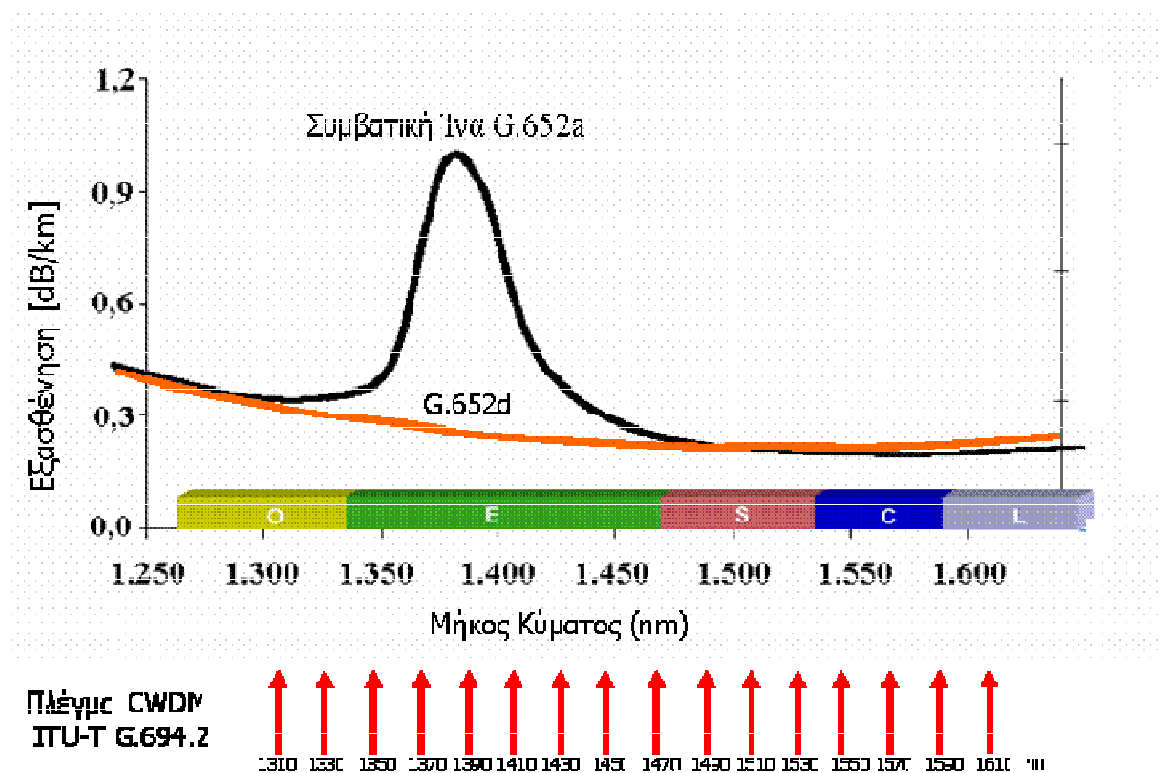
Η G.652a υποκαθιστά την παλαιότερου τύπου G.652 για λειτουργία στα 1310 nm και 1550 nm. Η G.652b αποτελεί βελτίωση της G652a, ορίζοντας χαρακτηριστικά μετάδοσης και στην περιοχή 1625 nm και βελτιώνοντας της επιδόσεις εξασθένησης και διασποράς τρόπου πόλωσης (PMD)¹⁶⁰. Η G.652c υποβαθμίζει την εξασθένηση στην περιοχή των 1400nm, που οφείλεται τις επιπτώσεις του υδροξυλίου (OH⁻), ενώ ομοιάζει ως προς τα λοιπά χαρακτηριστικά με την G.652a. Τέλος η G652.d, αποτελεί την πλέον πρόσφατη

¹⁵⁹ «40Gbit/s in metro and regional optical networking», Dr. Klaus Grobe, ADVA Optical Networking Ltd., TNC 2006

¹⁶⁰ G.652b: Εξασθένηση $\leq 0,4/0,35/0,4$ στα 1310/1550/1625 nm και $PMD \leq 0,2 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$
G.652a: Εξασθένηση $\leq 0,5/0,4$ στα 1310/1550 nm και $PMD \leq 0,5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$

παραλλαγή¹⁶¹ της G.652, ενσωματώνοντας στην G.652c τα βελτιωμένα χαρακτηριστικά μετάδοσης και διασποράς τρόπου πόλωσης της G.652b.

Οι ίνες G.652c και G.652d ενοποιούν το δεύτερο και τρίτο παράθυρο μετάδοσης για συνεχόμενη λειτουργία στη φασματική περιοχή από 1270 έως 1610 nm, καθιστώντας δυνατή την χρήση τεχνικών CWDM¹⁶² (βλέπε σχήμα 26) με χαμηλό κόστος υλοποίησης. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί σε μελλοντικές υλοποιήσεις WDM-PON, για τις οποίες θα απαιτούνται δύο μήκη κύματος για κάθε σύνδεση¹⁶³.



Σχήμα 26 Χαρακτηριστικά εξασθένησης ινών G.652a και G.652d

Μια ειδική απαίτηση μετάδοσης, που σχετίζεται άμεσα με το δίκτυο πρόσβασης και ειδικότερα με υλοποιήσεις FTTH, είναι η αυξημένη ανοχή σε κάμψεις, προκειμένου να καθίσταται ευκολότερη η διαχείριση των ινών κατά την εισαγωγή τους στα διαμερίσματα ενός κτιρίου. Η ανάγκη αυτή οδήγησε αρχικά τους κατασκευαστές οπτικών ινών να βελτιώσουν την G.652d ώστε να εμφανίζει μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψεις¹⁶⁴, και την ITU να προχωρήσει τον 12/2006 στην έκδοση της G.657¹⁶⁵.

¹⁶¹ Εμφανίστηκε για πρώτη φορά στην έκδοση 03/2003, ενώ οι προηγούμενοι τύποι ινών αναφέρονται και στην παλαιότερη έκδοση του 10/2000.

¹⁶² Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM) κατά ITU G.942.2

¹⁶³ "Designing PON for Cost Effective Triple-Play Support", J. George, OFS, FTTH Conference 2004

¹⁶⁴ "Bend-Optimized G.652D Compatible Trench-Assisted Single Mode Fibers", Louis-Anne de Montmorillon et al, Draka Comteq Optical Fiber, Proceedings of the 55th IWCS/Focus 2006, p.342

¹⁶⁵ "Characteristics of a Bending Loss Insensitive Single Mode Optical Fibres and Cables for the Access Network" G.657 (12/2006)

Η G.657 προδιαγράφει δύο νέους τύπους μονότροπης οπτικής ίνας (G.657A και G.657B) με αυξημένες δυνατότητες ανοχής σε κάμψεις για χρήση σε εφαρμογές δικτύου πρόσβασης, οι οποίοι αναμένεται να μειώσουν το κόστος εγκατάστασης σε υλοποιήσεις FTTH. Η αυξημένη δυνατότητα κάμψης των ινών αυτών επιτρέπει την εγκατάστασή τους σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους με πολύ μικρότερες γωνιακές κάμψεις, ενώ μειώνει σημαντικά και τις διαστάσεις των διατάξεων τερματισμού και διασύνδεσης¹⁶⁶ των οπτικών καλωδίων.

Η G.657a είναι απόλυτα συμβατή με την G.652d για λειτουργία στην φασματική περιοχή από 1270 nm έως 1620 nm, υποστηρίζοντας εφαρμογές CWDM. Η G.657b δεν είναι απόλυτα συμβατή με την G.652d, αφού προδιαγράφεται με μικρότερο διάμετρο τρόπου πεδίου (MDF)¹⁶⁷, διαθέτει όμως βελτιωμένες δυνατότητες ανοχής σε κάμψη, σε σύγκριση με την G.657a¹⁶⁸.

Συνοψίζοντας, η G.652d εμφανίζεται ως ο πλέον κατάλληλος τύπος οπτικής ίνας για χρήση στο εξωτερικό οπτικό δίκτυο, σε υλοποιήσεις FTTC/B/H. Αν και τα βελτιωμένα της χαρακτηριστικά εξασθένησης, χρωματικής διασποράς και διασποράς τρόπου πόλωσης δεν θεωρούνται κρίσιμα λόγω του μικρού μήκους των συνδέσεων, η δυνατότητα για λειτουργία τεχνικών CWDM παρέχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε μελλοντικές αναβαθμίσεις.

Για την υλοποίηση του εσωτερικού δικτύου, εφόσον υπάρχει η δυνατότητα χρήσης διαφορετικού τύπου ίνας¹⁶⁹, προτείνεται η χρήση ινών με αυξημένη ανοχή σε κάμψη, όπως η G.657a και G.657b, με καλύτερη επιλογή την G.657b λόγω των καλύτερων επιδόσεων.

6.2 Καλώδια Οπτικών Ινών, Μικροκαλώδια και Ινο-ομάδες

Η ανάπτυξη ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης «κατ' εικόνα και ομοίωση» του υφιστάμενου δικτύου χαλκού προϋποθέτει την κατασκευή καλωδίων οπτικών ινών (ΚΟΙ) αντίστοιχης χωρητικότητας με εκείνη των καλωδίων χαλκού, δηλαδή μέχρι και 2.000 ΟΙ.

Τα διαθέσιμα συμβατικά ΚΟΙ, που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο πρόσβασης, είναι σωληνώσεως ελαφρού τύπου (ΣΕΤ) με μανδύα πολυαιθυλενίου και θωράκιση αλουμινίου, που λειτουργεί σαν φράγμα υγρασίας. Το εσωτερικό του καλωδιακού πυρήνα περιέχει jelly ή κατάλληλες υδρο-απορροφητικές ταινίες για να εμποδίζεται η διαμήκης διείσδυση νερού στο καλώδιο.

¹⁶⁶ Ο απαιτούμενος χώρος αποθήκευσης της περίσσειας οπτικής ίνας στους οργανωτήρες συγκολλήσεων γίνεται σημαντικά μικρότερος με αποτέλεσμα να καθίσταται δυνατή η μείωση των διαστάσεων των περιβλημάτων σύνδεσης και των οπτικών κατανομών κατά 50 %.

¹⁶⁷ Mode Field Diameter – MDF για G.652d/G.657a (ονομαστική τιμή στα 1310 nm): 8,6-9,5 μm και για G.657d: 6,3-9,5 μm

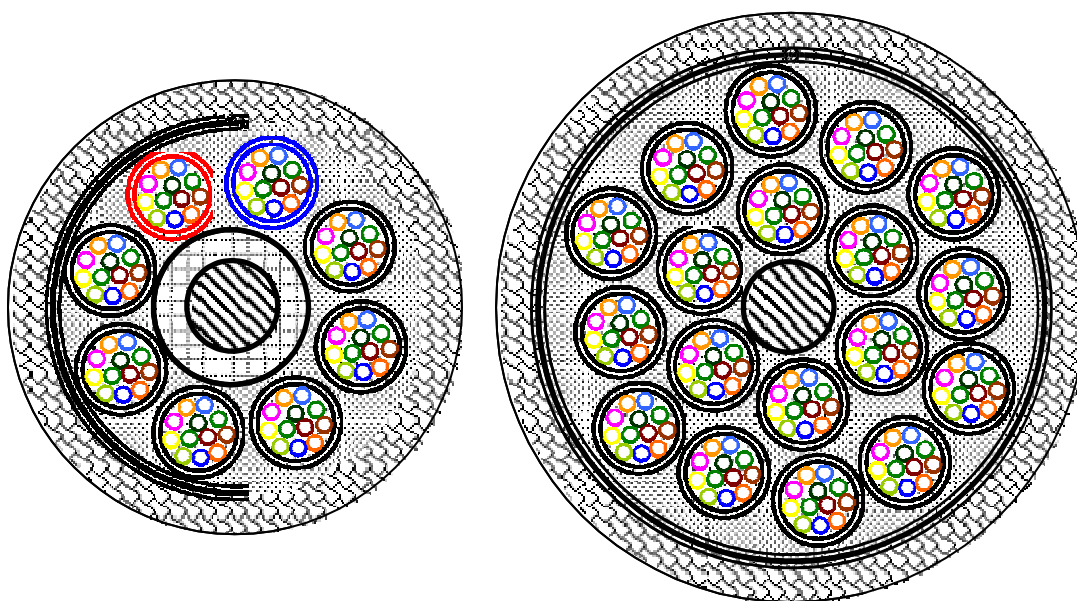
¹⁶⁸ G.657a: Μια σπείρα διαμέτρου D=20 mm στα 1550 nm ≤0,75 db, στα 1625 nm ≤1,50 db
G.657b: Μια σπείρα διαμέτρου D=20 mm στα 1550 nm ≤0,10 db, στα 1625 nm ≤0,2 db

¹⁶⁹ Υφίσταται στην εισαγωγή του κτιρίου οπτικός κατανομητής για τον διαχωρισμό εσωτερικού και εξωτερικού δικτύου.

Δυο είναι οι βασικές τεχνικές που εφαρμόζονται για την κατασκευή ΚΟΙ μεγάλης χωρητικότητας και χρησιμοποιούν: α) οπτικές ίνες σε σωληνίσκους χαλαρής δομής και β) ινοταινίες σε καλωδιακό πυρήνα με εγκοπές.

Η χρήση καλωδιακού πυρήνα με σωληνίσκους χαλαρής δομής αποτελεί την κυρίαρχη τεχνολογία κατασκευής ΚΟΙ στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, ενώ η χρήση ινοταινιών σε καλωδιακό πυρήνα με εγκοπές προτιμάται κυρίως στην Ιαπωνία, στις ΗΠΑ, στην Σουηδία και στην Ιταλία.

Στα καλώδια σωληνίσκων χαλαρής δομής χρησιμοποιούνται σωληνίσκοι χωρητικότητας μέχρι δώδεκα ινών, κατάλληλα χρωματισμένων σύμφωνα με τον ισχύοντα χρωματικό κώδικα. Στον άξονα του καλωδίου τοποθετείται μη-μεταλλικό στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης από ίνες αραμίδης (FRP) διαμέτρου 2-3 mm. Γύρω από το στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης συστρέφονται οι σωληνίσκοι, συνήθως σε μια ή σπανιότερα δυο στρώσεις¹⁷⁰, με εναλλασσόμενη πλέξη SZ σχηματίζοντας τον καλωδιακό πυρήνα. Αν και ο ΟΤΕ χρησιμοποιεί σήμερα καλώδια μέχρι και 96 ινών (8 σωληνίσκοι των 12 ινών – βλέπε σχήμα 27α), η ίδια τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή καλωδίων μέχρι και 216 ινών (σε δυο στρώσεις 6 και 12 σωληνίσκων των 12 ινών αντίστοιχα – βλέπε σχήμα 27β), ενώ διατίθενται καλώδια μέχρι και 288 ινών¹⁷¹.



α) Καλωδιακός πυρήνας 8 σωληνίσκων
12 ΟΙ σε μία στρώση

β) Καλωδιακός πυρήνας 18 σωληνίσκων
12 ΟΙ σε δύο στρώσεις

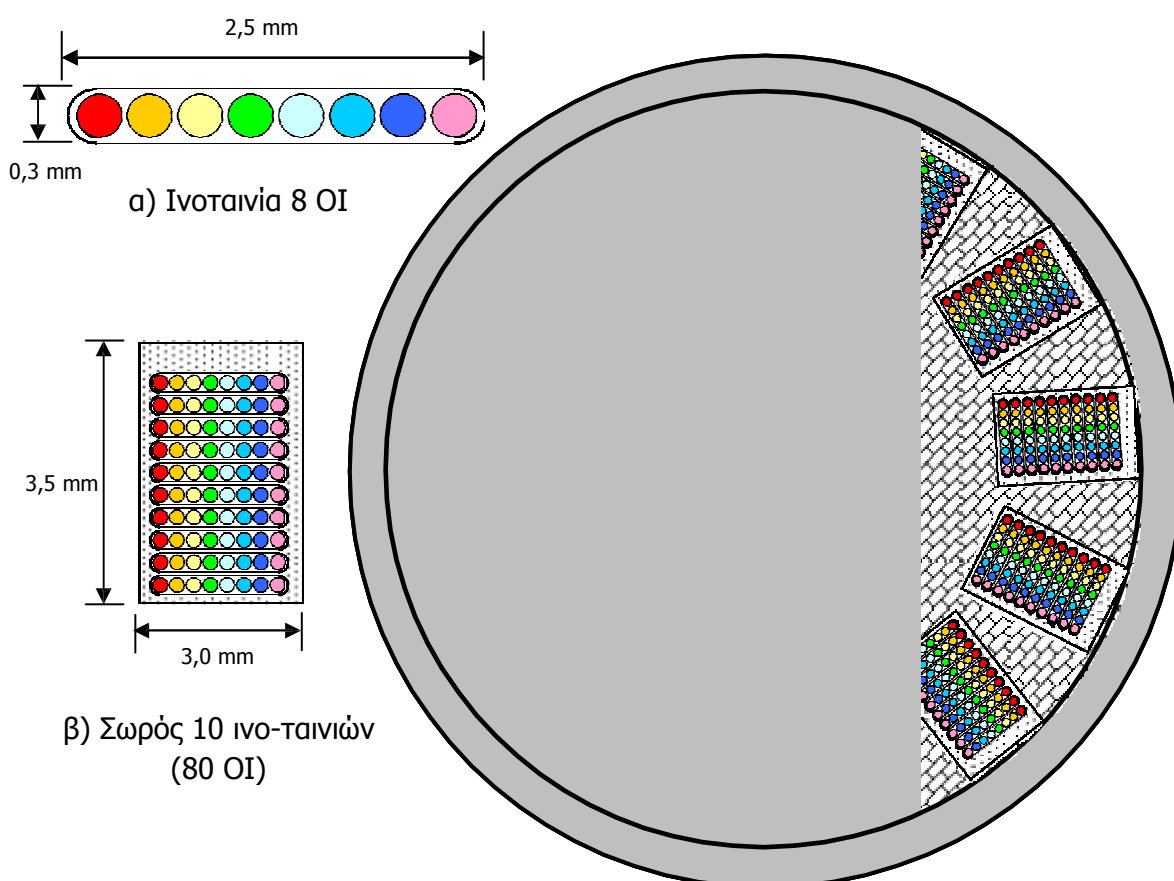
Σχήμα 27 Διατομές καλωδίων σωληνίσκων χαλαρής δομής χωρητικότητας 96 και 216 οπτικών ινών αντίστοιχα.

¹⁷⁰ Περισσότερες από μια στρώσεις χρειάζονται για την υλοποίηση ΚΟΙ άνω των 144 ινών

¹⁷¹ Καλώδιο Fortex-DT-Light Armor από την OFS πρώην Lucent και νυν Furukawa

Στα καλώδια ταινιωτού τύπου, οι οπτικές ίνες συσκευάζονται σε μορφή ταινίας, που μπορεί να περιλαμβάνει μέχρι και 12 ΟΙ (βλέπε σχήμα 28).

Περισσότερες ταινίες ομαδοποιούνται σε στοίβες και τοποθετούνται στις εγκοπές ενός καλωδιακού πυρήνα¹⁷², σχηματίζοντας ένα καλώδιο μεγάλης χωρητικότητας, που μπορεί να ξεπεράσει τις 1.000 ίνες¹⁷³. Τέτοιας μορφής καλώδια έχουν χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα πρόσβασης στην Ιαπωνία, ενώ στην σχετική βιβλιογραφία αναφέρεται η εργαστηριακή κατασκευή καλωδίου 2.000 ΟΙ¹⁷⁴.



Σχήμα 28 Καλώδιο 1.040 ινών με 13 εγκοπές και 10 ινο-ταινίες ανά εγκοπή.
Εξωτερική διάμετρος: 30 mm, Βάρος: 0,8 kg/m

Τα καλώδια ταινιωτού τύπου με εγκοπές υπερτερούν των καλωδίων με διακριτές ίνες σε σωληνίσκους ως προς την μέγιστη δυνατή χωρητικότητα σε ΟΙ. Είναι όμως περισσότερο περίπλοκα, ως προς τον χειρισμό κατά τις διαδικασίες διασύνδεσης (κυρίως ως προς την δυνατότητα πρόσβασης στις ίνες κάποιας εγκοπής του καλωδίου χωρίς να επηρεάζονται

¹⁷² Εναλλακτικά οι ινο-ταινίες μπορεί να τοποθετούνται και σε σωληνίσκους χαλαρής δομής (βλέπε 864-Fiber RILT (Ribbon In Loose Tube) Cable της Pirelli Cables & Systems)

¹⁷³ "Development of Fiber Cable for FTTH Applications" Katsurashima W et al, SEI Technical Review, No. 53, Jan. 2002 p.20-25.

¹⁷⁴ "Design and performance of 2000-fiber cable", Hogari K., Nakayama K. & Ashiya F, NTT Telecommunication field systems, R&D, Journal of optical communications ISSN 0173-4911

οι υπόλοιπες – διαδικασία απομάστευσης ΟΙ) και ως εκ τούτου δεν προτιμώνται στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες.

Τα μικροκαλώδια αποτελούν τεχνολογική εξέλιξη των συμβατικών ΚΟΙ και διατίθενται σε χωρητικότητες μέχρι 96 ινών, με σημαντικά όμως μικρότερες διατομές. Στον πίνακα 7 παρουσιάζονται συγκριτικά στοιχεία διαστάσεων καλωδίων και μικροκαλωδίων με ίνες σε σωληνίσκους χαλαρής δομής και χωρητικότητα 72 και 96 ΟΙ. Η διαφορά στις εξωτερικές διαστάσεις κατά 30-40 % οφείλεται σε μειώσεις στις διαμέτρους του κεντρικού στοιχείου μηχανικής ενίσχυσης και των σωληνίσκων, στο πάχος του εξωτερικού HDPE μανδύα και στην εξάλειψη του φράγματος υγρασίας.

Πίνακας 7 Συγκριτικά Στοιχεία Καλωδίων και Μικροκαλωδίων¹⁷⁵

	ΜΙΚΡΟΚΑΛΩΔΙΑ		ΚΑΛΩΔΙΑ	
	72 ΟΙ	96 ΟΙ	72 ΟΙ	96 ΟΙ
Χωρητικότητα ΚΟΙ	72 ΟΙ	96 ΟΙ	72 ΟΙ	96 ΟΙ
Εξωτερική Διάμετρος D (mm)	5-6	6-7	10-11	11-13
Βάρος (kg/km)	25-30	40-45	90-100	110-140
Αντοχή σε Μέγιστο Εφελκυσμό (N)	175	200	220	270
Ελάχιστη Διάμετρος Κάμψης (mm) υπό φορτίο	300	400	20 x D	20 x D
Ελάχιστη Διάμετρος Κάμψης (mm) χωρίς φορτίο	150	200	10 x D	10 x D

Οι ανωτέρω εκπτώσεις έχουν σαν αποτέλεσμα την υποβάθμιση των μηχανικών επιδόσεων του μικροκαλωδίου (π.χ. αντοχή σε εφελκυσμό, μηχανικές καταπονήσεις κλπ) σε σύγκριση με τα αντίστοιχα μεγέθη των συμβατικών καλωδίων. Επιτυγχάνεται όμως, σε συνδυασμό με την χρήση πολυσωληνίου, πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα όδευσης οπτικών ινών¹⁷⁶, ενώ τα επιμέρους μικροκαλώδια είναι περισσότερο προστατευμένα, αφού παραμένουν συνεχώς μέσα στους μικρο-σωλήνες του πολυσωληνίου, χωρίς να εκτίθενται στο εξωτερικό περιβάλλον. Ένα άλλο πλεονέκτημα από την χρήση περισσότερων μικροκαλωδίων αντί ενός, μεγαλύτερης χωρητικότητας συμβατικού καλωδίου συνίσταται στην κατάργηση πολλών περιβλημάτων απομάστευσης και διασύνδεσης, αναγκαίων για την ανάπτυξη των ινών του συμβατικού καλωδίου στα επιμέρους σημεία τερματισμού με χρήση καλωδιο-ουρών σύνδεσης (ΚΟΙ 12).

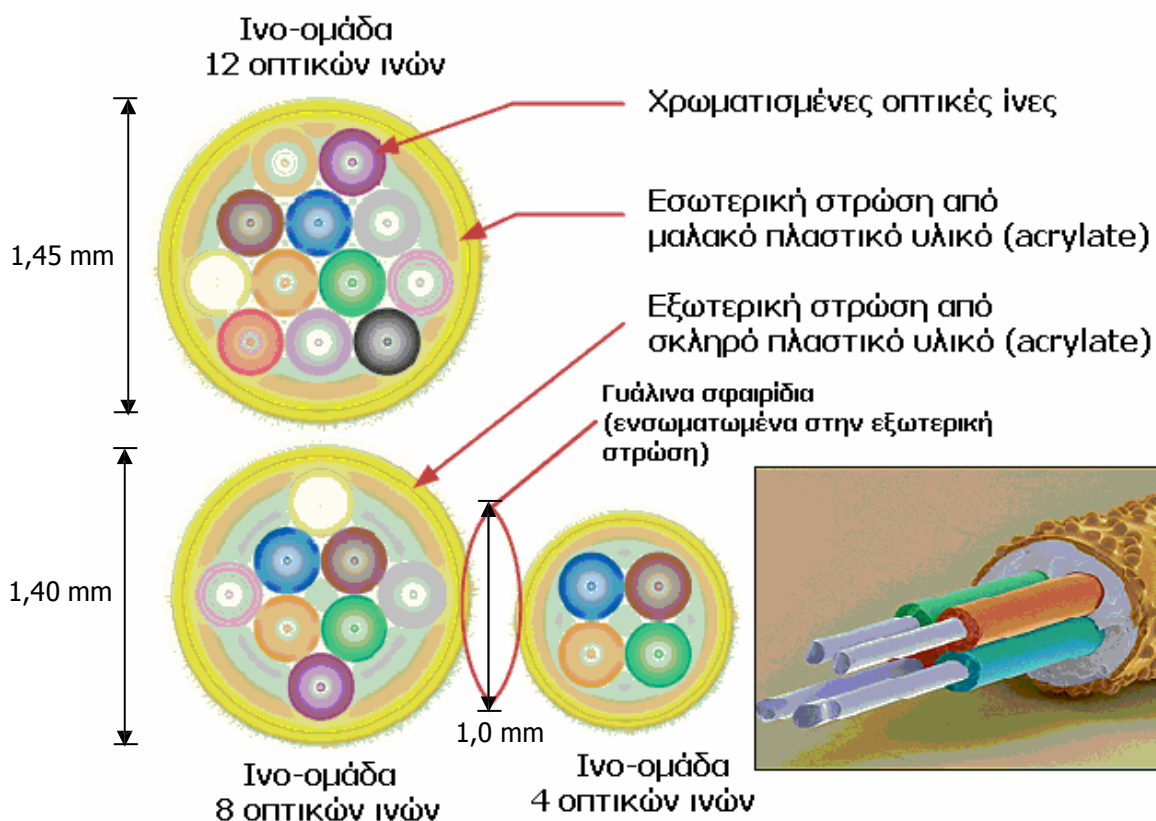
Η εγκατάσταση των καλωδίων και μικροκαλωδίων σε πλαστικούς σωλήνες γίνεται συνήθως με την μέθοδο της εμφύσησης υπό πίεση αέρα. Είναι σαφές ότι η τεχνική αυτή είναι περισσότερο αποτελεσματική όταν η εξωτερική διάμετρος του καλωδίου ή μικροκαλωδίου δεν υπερβαίνει το 75 % της εσωτερικής διαμέτρου του σωλήνα. Τυπικό μήκος εμφύσησης συμβατικών καλωδίων σε σωλήνωση Φ32 ή Φ40 και μικροκαλωδίων σε μικρο-σωλήνα Φ12/10 ή Φ10/8 mm είναι 2 km. Το μήκος αυτό μπορεί να αυξηθεί με

¹⁷⁵ Οι τιμές του πίνακα είναι ενδεικτικές

¹⁷⁶ Σε μία σωλήνα Φ40 ή Φ32 (διαμέτρου 40 mm και 32 mm αντίστοιχα) εγκαθίσταται από τον ΟΤΕ ΚΟΙ 96. Στην ίδια επιφάνεια η χρήση μικροσωλήνας M1 (εξωτερικής διαμέτρου 40 mm με 7 πολυ-σωληνίσκους των 10/8 mm) παρέχει την δυνατότητα όδευσης μέχρι και $7 \times 72 = 504$ ΟΙ.

χρήση κατάλληλων υλικών, που μειώνουν την τριβή μεταξύ της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα και της εξωτερικής επιφάνειας του καλωδίου.

Οι ινο-ομάδες¹⁷⁷ αποτελούν ομαδοποιήσεις 2 έως 12 ΟΙ, σε κοινό μανδύα για εμφύσηση σε μικρο-σωλήνες¹⁷⁸ εσωτερικής διαμέτρου από 3–5,5 mm¹⁷⁹. Παρέχονται σε δύο τύπους: α) μέχρι 12 μεμονωμένες ίνες σε κοινό μανδύα¹⁸⁰ (βλέπε σχήμα 29) και β) υπό μορφή ινο-ταινίας 2 ή 4 ιών¹⁸¹ (βλέπε σχήμα 30), με ομαδοποίηση έως και 3 ινο-ταινιών για την επίτευξη χωρητικότητας 4, 8 και 12 ιών.



Σχήμα 29 Ινο-ομάδες μεμονωμένων ιών (4, 8 και 12 ΟΙ) με κοινό μανδύα

Στον πίνακα 8 παρουσιάζονται συγκριτικά στοιχεία διαστάσεων και βάρους ινο-ομάδων μεμονωμένων ιών και ινο-ταινιών 2, 4, 8 και 12 ΟΙ.

¹⁷⁷ Απόδοση του όρου fibre bundle

¹⁷⁸ Απόδοση του όρου micro-duct

¹⁷⁹ Τυπικές διαστάσεις σωληνίσκων Φ7/5,5, Φ7,4 και Φ5,5/3.

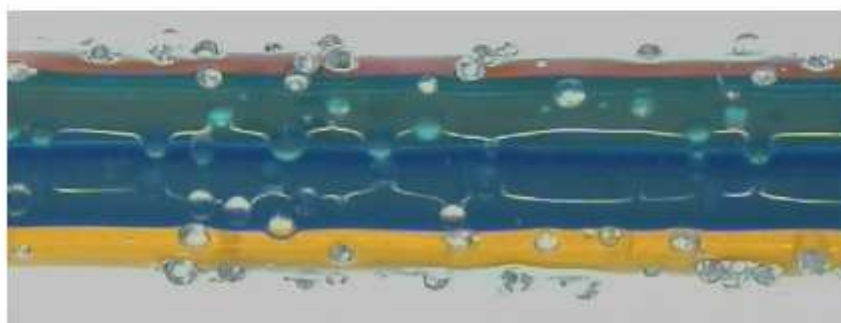
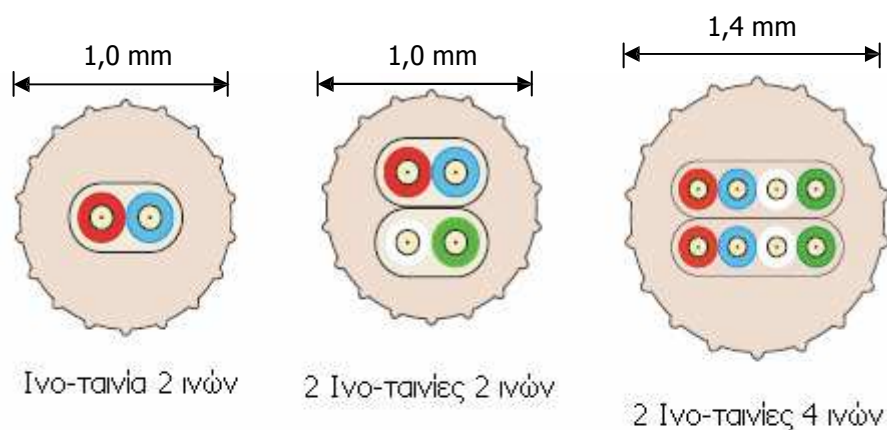
¹⁸⁰ Ενδεικτικά αναφέρονται τα προϊόντα: AccuBreeze™ FX της OFS, TrueNet™ της εταιρίας ADC KRONE και Sirocco™ της εταιρίας Prysmian.

¹⁸¹ Ενδεικτικά αναφέρεται τα προϊόντα: EPFU Ribbonet™ της εταιρίας Ericsson και FutureFLEX™ της εταιρίας Sumitomo.

Πίνακας 8: Συγκριτικά στοιχεία ινο-ομάδων

Χωρητικότητα ΟΙ	1-4	8	12
Εξωτερική Διάμετρος D (mm)	1,00	1,40	1,45-1,60
Βάρος (kg/km)	0,80-0,90	1,50-1,75	2,00-2,20
Ελάχιστη Διάμετρος Κάμψης (mm)	40	56	60

Η τεχνική εμφύσησης ινο-ομάδων σε σωληνίσκους χρησιμοποιήθηκε αρχικά από την ΒΤ¹⁸² και αποτελεί σήμερα την πλέον ενδεδειγμένη μέθοδο για σταδιακή εγκατάσταση οπτικών ινών στο δίκτυο διανομής για έργα FTTB/H. Το μέγιστο μήκος εμφύσησης εξαρτάται από τα μηχανικά χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες τριβής της εσωτερικής επιφάνειας των σωληνίσκων και της εξωτερικής επιφάνειας της ινο-ομάδας και κυμαίνεται από 500 έως και 1200 m, ανάλογα με τις δυσκολίες της διαδρομής¹⁸³.



Σχήμα 30 Ινο-ομάδα με ινο-ταινίες 2, 4 (1x2) και 8 (2x4) ΟΙ

¹⁸² British Telecommunications, EPFU specification CW1574

¹⁸³ "Application Specific Solutions for FTTx Blown Fibre Systems", Luis Bocanegra et al, OFS, Technical Proceedings of 2003 National Fiber Optics Engineers Conference, p.347-356

6.3 Σωληνώσεις – Φρεάτια - Τάφροι

6.3.1 Σωλήνες και μικρο-σωληνώσεις

Μέχρι την δεκαετία του 90, οι τότε τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί χρησιμοποιούσαν υπόγεια καλώδια άμεσης ταφής, με ενισχυμένο εξωτερικό μανδύα, συχνά από μόλυβδο, προκειμένου αυτά να προστατεύονται από τις επιδράσεις του εξωτερικού περιβάλλοντος. Έκτοτε, συνεκτιμώντας το υψηλό χωματοουργικό κόστος των δικτυακών έργων, οδηγήθηκαν στην δημιουργία δικτυακών υποδομών με σωληνώσεις¹⁸⁴, που επέτρεπαν, αφ' ενός την χρήση ελαφρότερου τύπου καλωδίων (χαμηλότερου κόστους) και αφετέρου την εκ των υστέρων εγκατάσταση σε αυτές νέων καλωδίων με τεχνικές έλξης ή εμφύσησης. Η βασική υποδομή περιλαμβάνει έναν μεγάλο κύριο σωλήνα (Φ100 ή Φ110) για εγκατάσταση ενός καλωδίου μεγάλης χωρητικότητας (κυρίως πολλών ζευγών χαλκού) ή πολλούς μικρότερους σωλήνες (Φ50, Φ40 ή Φ32), που αναπτύσσονται σε ομαδοποιημένη μορφή για την εγκατάσταση πολλών, μικρότερης διαμέτρου, καλωδίων (ΚΟΙ ή καλώδια έως και 200 ζευγών χαλκού). Ενίοτε, ένας μεγάλης χωρητικότητας σωλήνας υποδιαιρείται με τη χρήση ενδοσωληνίων συστημάτων για εγκατάσταση περισσότερων καλωδίων.

Οι σωλήνες έχουν συνήθως χρώμα μαύρο ή γκρι. Συνήθως χρησιμοποιούνται σωλήνες, με αντοχή σε πίεση 6 Atm. Η εξωτερική τους επιφάνεια είναι λεία ή πτυχωτή για αυξημένη ευκαμψία, ενώ εσωτερικά μπορεί να φέρουν ειδικές ραβδώσεις ή κάλυψη από υλικό ελαιώδες για μείωση των επιπτώσεων της τριβής κατά την εμφύσηση ή έλξη των καλωδίων.

Στο δίκτυο πρόσβασης χρησιμοποιούνται παραδοσιακά σωλήνες από HDPE ή PVC, λείας ή πτυχωτής (Cor) επιφάνειας, με εξωτερική διάμετρο: Φ110, Φ100, Φ50, Φ40 και Φ32, στη διαδρομή του κυρίου δικτύου, που συνδέει το αστικό κέντρο με τα ΚV. Οι μεγαλύτερες υποδέχονται πολύζευγα καλώδια χαλκού κοντά στο αστικό κέντρο, ενώ οι μικρότερες φιλοξενούν καλώδια μικρής χωρητικότητας και τοποθετούνται σε οργανωμένη ή εκφυλισμένη μορφή.

Στο παραδοσιακό οπτικό δίκτυο πρόσβασης, τα συμβατικά ΚΟΙ (96, 60, 36, 24 και 12 ΟΙ) τοποθετούνται σε σωλήνες διαμέτρου Φ40/33 ή Φ32/26, που αναπτύσσονται μεταξύ φρεατίων. Για την αύξηση της πυκνότητας διέλευσης των ΟΙ σε υποδομές σωληνώσεων μπορεί να χρησιμοποιηθούν, αντί σωληνών, πολυσωλήνια ή συστοιχίες μικροσωληνίσκων μικρότερης διαμέτρου για εμφύσηση μικρο-καλωδίων και ινο-ομάδων. Στον πίνακα 9¹⁸⁵ γίνεται συσχετισμός μεταξύ των διαστάσεων σωληνίσκων μικροσωληνώσεως και της μέγιστης εξωτερικής διαμέτρου των μικρο-καλωδίων ή ινο-ομάδων, που μπορεί να εγκατασταθούν με την τεχνική της εμφύσησης. Οι μικροσωλήνες διαστασιοποιούνται με βάση τον κύριο σωλήνα υποδοχής, που είναι συνήθως Φ50 ή Φ40, και την χωρητικότητα σε ΟΙ των μικρο-καλωδίων ή ινο-ομάδων, που μπορούν να εγκατασταθούν σε αυτούς.

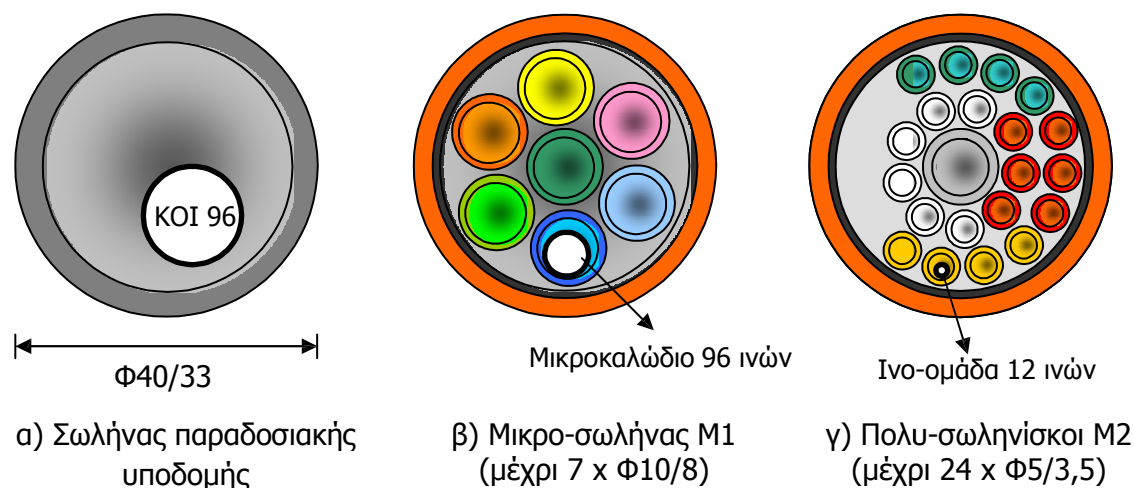
¹⁸⁴ Από σωλήνες πλαστικούς τύπου HDPE – High Density PE (πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας) για αντοχή σε πίεση, κάμψη και κρούση σύμφωνα με το EN 50086-2-4/1994.

¹⁸⁵ Table 1 από "Application Specific Solutions for FTTx Blown Fibre Systems", Luis Bocanegra et al, OFS, Technical Proceedings of 2003 National Fiber Optics Engineers Conference, p.348

Πίνακας 9 Διαθέσιμα μεγέθη σωληνίσκων και δυνατότητα εγκατάστασης ΟΙ

Εξωτερική Διάμετρος Σωληνίσκου (mm)	Εσωτερική Διάμετρος Σωληνίσκου (mm)	Εξωτερική Διάμετρος Ινο-ομάδας (mm)	Εξωτερική Διάμετρος Μικρο-καλωδίου (mm)	Μέγιστο Πλήθος Οπτικών Ινών
12	10	-	7,5	96
10	8	-	5,8	72
7	5,5	3	-	24
5	3,5	1-1,6	-	12
4	2,5	1	-	4
3	2,1	1	-	4

Στο σχήμα 31 περιγράφονται οι βασικοί τύποι μικροσωλήνων M1 και M2, που επιτρέπουν βαθμιαία αύξηση της διαθεσιμότητας μιας υποδομής σε οπτικές ίνες, μέσω διαδοχικής εμφύσησης περισσότερων μικρο-καλωδίων ή ινο-ομάδων.



Σχήμα 31 Τύποι σωλήνων και μικρο-σωλήνων.

Οι δέσμες μικρο-σωλήνων και πολύ-σωληνίσκων¹⁸⁶, είναι κατάλληλα σχεδιασμένες για εξωτερική χρήση, και τοποθετούνται εντός προστατευτικού σωλήνα Φ40 ή Φ50, με μεταλλικό μανδύα υγρασίας για άμεση ταφή. Ακολουθεί η περιγραφή των βασικών τύπων μικρο-σωλήνωσης:

- Δέσμη μικρο-σωλήνων M1. Περιλαμβάνει σωληνίσκους Φ10/8 ή Φ12/10 για εγκατάσταση μικρο-καλωδίου μέχρι 72 και 96 ΟΙ αντίστοιχα. Διατίθεται σε χωρητικότητες 1, 4, 7 και σπανιότερα 10 σωληνίσκων και στη μέγιστη πλήρωσή του μπορεί να φιλοξενήσει μέχρι και $10 \times 96 = 960$ ΟΙ. Οι σωληνίσκοι είναι κατάλληλα χρωματισμένοι για τον εύκολο εντοπισμό τους.
- Δέσμη πολύ-σωληνίσκων M2. Περιλαμβάνει σωληνίσκους διαστάσεων Φ3/2,1, Φ4/2,5, Φ5/3,5 κα Φ7/5,5 για εγκατάσταση ινο-ομάδων 4, 8, 12 και σπανιότερα

¹⁸⁶ Ενδεικτικοί κατασκευαστές οι εταιρίες: Ericsson, Emtelle, Draka, ADC-KRONE, Prysmian

24 ΟΙ αντίστοιχα. Διατίθεται σε χωρητικότητες 1, 2, 4, 7, 12 και 24 σωληνίσκων και στη μέγιστη πλήρωσή του μπορεί να φιλοξενήσει μέχρι $24 \times 24 = 576$ ΟΙ. Κάθε σωληνίσκος φέρει κατάλληλη σήμανση βάσει χρωματικού ή άλλου κώδικα για τον εύκολο εντοπισμό του. Μια παραλλαγή της δέσμης πολύ-σωληνίσκων M2, με 24 σωληνίσκους, περιλαμβάνει και έναν κεντρικό σωληνίσκο Φ10/8 για εγκατάσταση και μικρο-καλωδίου έως 96 ΟΙ, σε περιπτώσεις, που βολεύει η μικτή χρήση ινο-ομάδων και μικροκαλωδίου.

Παραλλαγές των M1, M2 διατίθενται επίσης με μαλακό εξωτερικό μανδύα για εγκατάσταση σε υφιστάμενο σωλήνα Φ50 ή Φ40, ενώ το M2 διατίθεται και για εσωτερική χρήση στην καλωδίωση κτιρίων με υλικά βραδύκαυστα τύπου LSHF.

Η ύπαρξη της κατάλληλης υποδομής πολυ-σωλήνωσης παρέχει την δυνατότητα για αποκατάσταση της φυσικής διαδρομής μεταξύ των προς σύνδεση σημείων, σε επίπεδο σωληνίσκου, πριν την τελική εμφύσηση μικρο-καλωδίου ή ινο-ομάδας. Η διαδρομή αυτή περιλαμβάνει συνήθως σωληνίσκους από διαφορετικές δέσμες, οι οποίοι διασυνδέονται μεταξύ τους σε περιβλήματα ή κιβώτια διακλάδωσης με ειδικούς συνδέσμους σωληνίσκων. Ενδεικτικοί τύποι συνδέσμων και κιβωτίων διασύνδεσης παρουσιάζονται στο σχήμα 32.



Σχήμα 32. Σύνδεσμοι σωληνίσκων και κιβώτια διασύνδεσης μικρο-σωλήνων.

Είναι προφανές ότι οι συνδεόμενοι σωληνίσκοι πρέπει να έχουν τις ίδιες διαστάσεις, ενώ τα κιβώτια διασύνδεσης πρέπει να είναι επισκέψιμα και να διασφαλίζουν στεγανότητα IP64.

6.3.2 Φρεάτια και καλύμματα φρεατίων

Τα φρεάτια τοποθετούνται σε κατάλληλες θέσεις της διαδρομής των σωλήνων ώστε να διευκολύνονται οι εργασίες: α) τοποθέτησης νέων καλωδίων σε υφιστάμενες σωληνώσεις, β) άρσης βλαβών και γ) συντήρησης του δικτύου. Πρέπει να έχουν κατάλληλη χωρητικότητα ώστε εντός αυτών να αποθηκεύονται περιβλήματα σύνδεσης καλωδίων και περίσσεια καλωδιακού μήκους, που θα απαιτηθεί σε περίπτωση περικοπής κατεστραμμένου τμήματος καλωδίου. Ο ΟΤΕ χρησιμοποιεί τέσσερις τύπους φρεατίων, οι διαστάσεις των οποίων αναφέρονται στον πίνακα 10.

Πίνακας 10: Τύποι φρεατίων και χαρακτηριστικά μεγέθη αυτών

Τύπος Φρεατίου	ΦΙ	ΦΙΙ	ΦΙΙΙ	ΦΙΥ
Μέσο Μήκος Φρεατίου (cm)	340	270	170	140
Μέσο Πλάτος Φρεατίου (cm)	200	180	120	100
Μέσο Βάθος Φρεατίου (cm) ¹⁸⁷	250	185	120	100
Πάχος περιμετρικής κάλυψης με οπλισμένο σκυρόδεμα 2#T377 (mm)	200	200	200	200

Τα φρεάτια είναι συνήθως κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα¹⁸⁸ και φέρουν καλύμματα από χυτοσίδηρο ή άλλο κατάλληλο μεταλλικό υλικό για αντοχή D400 (400 kN), είτε τοποθετείται σε δρόμο κυκλοφορίας είτε επί πεζοδρομίου ή πεζοδρόμων¹⁸⁹. Τα καλύμματα φρεατίων φέρουν απλούς μηχανισμούς κλειδώματος για λόγους ασφάλειας έναντι αναπήδησης αυτών κατά την διέλευση βαρειών οχημάτων με μεγάλες ταχύτητες.

6.3.2 Τάφροι και Μικροτάφροι

Για την δημιουργία της δικτυακής υποδομής απαιτείται η εκτέλεση χωματουργικού έργου διάνοιξης τάφρου, η τοποθέτηση σωληνώσεων και καλωδίων και η αποκατάσταση της επιφάνειας σε όλο το μήκος της διαδρομής. Οι συμβατικές τάφροι για την υπογείωση τηλεπικοινωνιακών καλωδίων είναι χαντάκια μέσου βάθους¹⁹⁰ (700 mm) και κατάλληλου πλάτους (συνήθως 400 cm) και για τη διαμόρφωσή τους απαιτείται εκσκαφή με συμβατικά μέσα. Ειδικότερα στο αστικό περιβάλλον οι τεχνικές αυτές έχουν υψηλό κόστος, είναι χρονοβόρες και δημιουργούν ενόχληση στους κατοίκους της περιοχής.

Για τους λόγους αυτούς προτιμάται η διάνοιξη μικροτάφρου, μιας τομής ανοικτού τύπου πλάτους ≤ 160 mm, που κατασκευάζεται στην άκρη του δρόμου (επί του ασφαλτικού του οδοστρώματος) ή επί του πεζοδρομίου, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των L.48 και L.35 της ITU-T. Το βάθος της τάφρου κυμαίνεται από 300 mm μέχρι και 600 mm και καθορίζεται από τις απαιτήσεις ασφάλειας των υποδομών. Η τομή διανοίγεται σε ευθύγραμμη πορεία με τροχήλατο μηχάνημα, που διαθέτει ειδικό τροχό διάνοιξης, τυποποιημένων διαστάσεων, εφοδιασμένο με κατάλληλα κοπτικά εξαρτήματα.

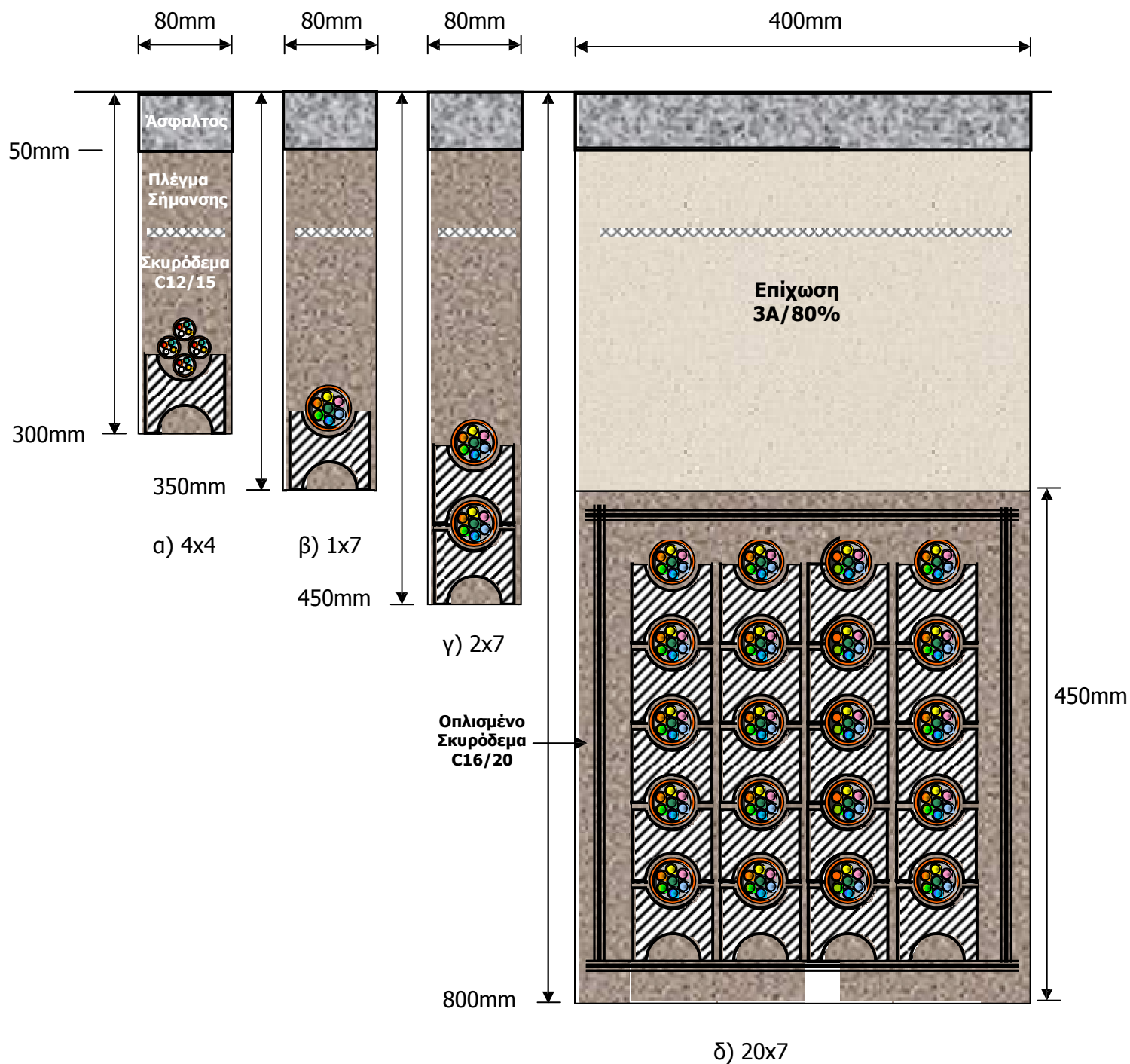
Ο ακριβής καθορισμός της πορείας γίνεται μετά από λεπτομερή έρευνα για τον εντοπισμό υπόγειων εμποδίων άλλων υποδομών, σε συνεργασία με τους δήμους και τους οργανισμούς κοινής ωφέλειας. Η κατασκευή της μικροτάφρου γίνεται σε μικρά επιμέρους τμήματα μήκους 500 m έως 800 m.

¹⁸⁷ Όστε να διασφαλίζεται καθαρό ύψος >200 mm πάνω από την επιφάνεια των καλωδίων.

¹⁸⁸ Διατίθενται επίσης προκατασκευασμένα φρεάτια από HDPE ή πολυκαρβονικά.

¹⁸⁹ Άλλοι πάροχοι χρησιμοποιούν καλύμματα μικρότερης αντοχής στην κατηγορία C250 (250 kN) και ενίοτε B125 (125 kN)

¹⁹⁰ Προκειμένου να αποφεύγεται η σύγκρουση των υποδομών κοινής ωφελείας υφίσταται διαχωρισμός ως προς το βάθος ανάπτυξης των υποδομών τους. Σε μεγαλύτερο βάθος βρίσκονται οι σωληνώσεις αποχέτευσης και σε μικρότερο βάθος το αέριο, τα ενεργειακά καλώδια, τα τηλεπικοινωνιακά καλώδια και οι σωλήνες ύδρευσης.



Σχήμα 33 Τυπικές διατομές μικροτάφρου πολύ-σωλήνων για μικρο-καλώδια και ινο-ομάδες: α) 4 x 4 ινο-ομάδες για μέχρι $16 \times 12 = 192$ ΟΙ, β) 1x7 μικρο-καλώδια για μέχρι $7 \times 96 = 672$ ΟΙ, γ) 2x7 μικρο-καλώδια για μέχρι $14 \times 96 = 1.344$ ΟΙ και δ) τάφρος με 20x7 μικρο-καλώδια για μέχρι $140 \times 96 = 13.440$ ΟΙ.

Ακολουθεί η τοποθέτηση των σωληνώσεων εντός της μικροτάφρου και η πλήρωση (εγκιβωτισμός της σωλήνωσης) αυτής με σκυρόδεμα των 100 kg/m^3 (Tranchees) ή των

300 kg/m³ (C12/15), μέχρι και βάθους 50 mm από την επιφάνεια του οδοστρώματος¹⁹¹. Εντός του σκυροδέματος και σε βάθος περίπου 150 mm τοποθετείται κατάλληλο ενδεικτικό πλέγμα¹⁹² σύμφωνα με το EN 12613, ενώ η εργασία ολοκληρώνεται με αποκατάσταση του ασφαλτικού της επιφάνειας του οδοστρώματος στην αρχική του μορφή.

Στο σχήμα 33 παρουσιάζονται σε σχηματική μορφή ενδεικτικές τομές μικροτάφρου με διάταξη διαφόρων τύπων μικρο-σωλήνων, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε υλοποιήσεις FTTB/H. Σε άξονες πολύ μεγάλης συγκέντρωσης οπτικών ινών (περισσότερες από 10.000 ΟΙ) προς στο αστικό κέντρο, προκύπτει η ανάγκη δημιουργίας ασφαλέστερης δικτυακής υποδομής μεγαλύτερου πλάτους και βάθους από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως περιγράφεται στο σχήμα 33δ.

Η τεχνική της μικροτάφρου χαρακτηρίζεται από ταχύτητα και σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής. Ένα συνεργείο μπορεί να κατασκευάζει ημερησίως μέχρι και 800m έργου, με πλήρη αποκατάσταση της τομής, περιορίζοντας σημαντικά την όχληση των περιοίκων.

Μια παραλλαγή της ως άνω τεχνικής, που χρησιμοποιείται συμπληρωματικά επί του πεζοδρομίου για την τελική σύνδεση με το κτίριο σε έργα FTTB/H, συνίσταται στην χρήση ενός μικρού χειροκίνητου πριονωτού τροχού για την κατασκευή μιας μικροτάφρου «ελαφρού τύπου», πλάτους μέχρι 1,5 cm και βάθους 10 έως 12 cm, κατά μήκος των αρμών των πλακών του πεζοδρομίου. Μετά την εγκατάσταση της δέσμης πολυ-σωληνίσκων, η μικρότερη αυτή τομή αποκαθίσταται με κατάλληλα υλικά ώστε να διατηρείται η αρχική εικόνα του πεζοδρομίου. Παρά το σχετικά μικρότερο κόστος εκσκαφής, η μέθοδος κατασκευής μικροτάφρου «ελαφρού τύπου» είναι περισσότερο χρονοβόρος, ενώ λόγω του μικρότερου βάθους η πιθανότητα βλάβης από επεμβάσεις τρίτων αυξάνει.

Στο σχήμα 34 εικονίζονται τυπικά μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για την διάνοιξη μικροτάφρων.



Σχήμα 34 Μηχάνημα για διάνοιξη α) μικροτάφρου και β) μικροτάφρου «ελαφρού τύπου»

¹⁹¹ Απαγορεύεται αυστηρά η χρήση προϊόντων εκσκαφής αντί σκυροδέματος για πλήρωση της τάφρου.

¹⁹² Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιείται κατάλληλα χρωματισμένο σκυρόδεμα.

6.4 Υλικό Τερματισμού και Συναρμογής ΚΟΙ

Το υλικό τερματισμού και συναρμογής ΚΟΙ περιλαμβάνει: α) οπτικούς κατανεμητές (ODF¹⁹³), που χρησιμοποιούνται για τον τερματισμό των οπτικών ινών στο αστικό κέντρο, στην εισαγωγή του κτιρίου και στον χώρο του συνδρομητή, και β) περιβλήματα συνδέσεων, που χρησιμοποιούνται για την συναρμογή ΚΟΙ ή μικρο-ΚΟΙ σε υπόγεια φρεάτια ή υπέργειες καμπίνες.

6.4.1 Οπτικοί Κατανεμητές και Υλικό Συναρμογής ΚΟΙ Πλευράς Κέντρου

Ο τερματισμός ενός μεγάλου πλήθους οπτικών ινών στο κύριο σημείο συγκέντρωσης, που με την σημερινή γεωγραφική δομή του δικτύου πρόσβασης είναι το αστικό κέντρο, δημιουργεί την ανάγκη για οπτικούς κατανεμητές και υλικό συναρμογής οπτικών ινών με μεγάλη πυκνότητα τερματισμού και αυξημένες δυνατότητες διαχείρισης του υπερ-μήκους των καλωδιακών στοιχείων και κορδονιών διασύνδεσης.

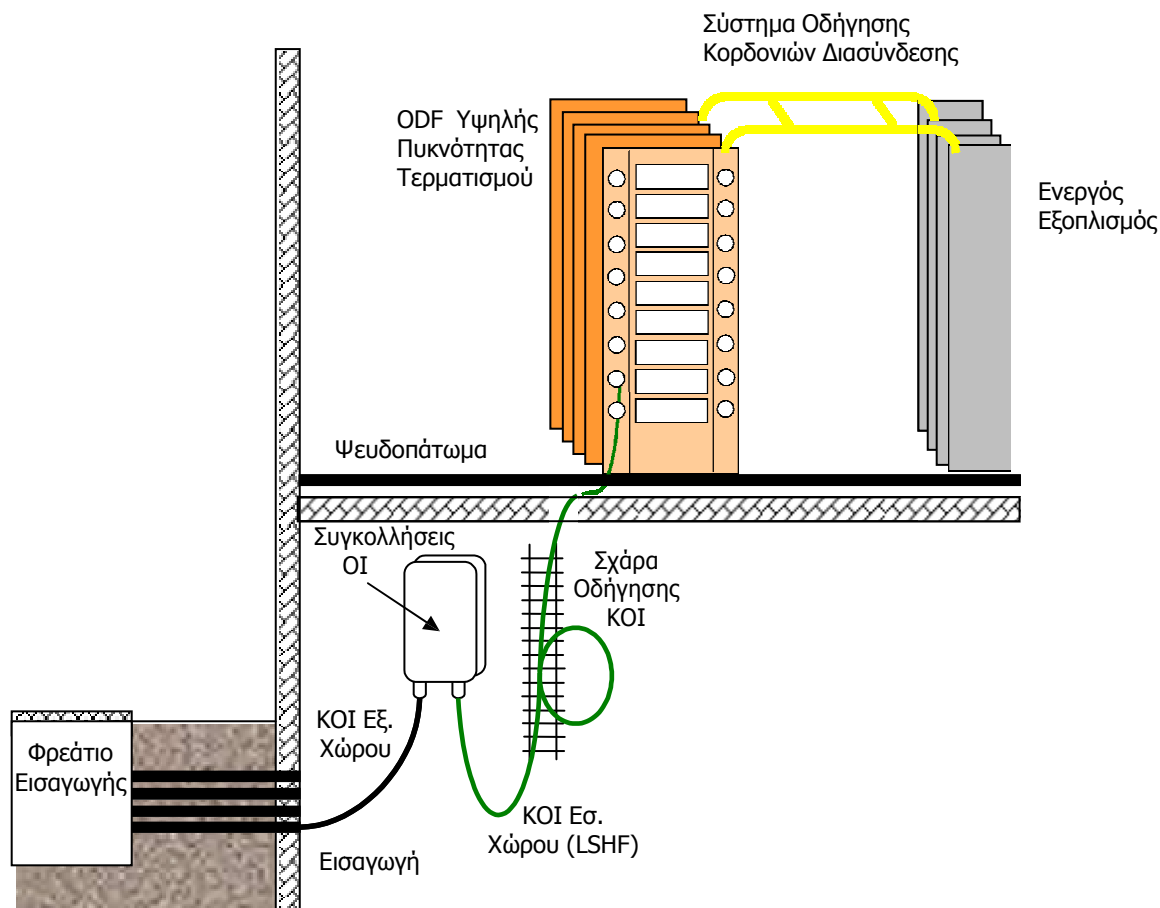
Οι απαιτήσεις γίνονται ακόμη μεγαλύτερες σε δικτυακές επιλογές FTTH με τοπολογία P2P, που επιθυμούν να διατηρήσουν την υφιστάμενη δικτυακή μορφή, οδηγώντας όλες τις ΟΙ των συνδρομητών στο οικείο αστικό κέντρο. Στην περίπτωση αυτή για ένα αστικό κέντρο των 40.000 συνδρομητών θα πρέπει να οδηγηθούν και να τερματιστούν στον χώρο του αστικού κέντρου τουλάχιστον 48.000¹⁹⁴ οπτικές ίνες. Αν λοιπόν θεωρήσουμε ότι η μέγιστη δυνατή πυκνότητα τερματισμού ΟΙ κυμαίνεται από 1.000 έως 2.000 ΟΙ ανά ικρίωμα ODF, ο τερματισμός των 48.000 ΟΙ θα απαιτούσε από 24 έως 48 ικρίωματα ODF. Η ανάγκη σε τερματισμούς ΟΙ και ODF διπλασιάζεται, αν ληφθούν υπόψη οι κανονισμοί πυρασφάλειας, που επιβάλλουν σε εσωτερικό χώρο την χρήση ειδικού τύπου ΚΟΙ, με μανδύα από υλικό βραδύκαυστο, χαμηλής παραγωγής καπνού και μηδενικής παραγωγής αλογόνων (LSZH). Απαιτείται επομένως η δημιουργία, κατά την εισαγωγή του εξωτερικού ΚΟΙ στο κτίριο του αστικού κέντρου, ενός μεταβατικού σημείου διασύνδεσης καλωδίων εσωτερικού και εξωτερικού δικτύου με τις αντίστοιχες διατάξεις διασύνδεσης ΟΙ. Άρα πρέπει να καλύπτονται συνολικά ανάγκες συναρμογής και τερματισμού τουλάχιστον 96.000 ΟΙ, συγκεντρώσεις πρωτόγνωρες για τις μέχρι τώρα υλοποιήσεις¹⁹⁵.

Η οργάνωση του δικτύου ΚΟΙ στο εσωτερικό του αστικού κέντρου και μέχρι τον χώρο τερματισμού περιγράφεται στο σχήμα 35. Ο τερματισμός των ΚΟΙ στους ODF πρέπει να βρίσκεται σε αντιστοιχία με την γεωγραφική ανάπτυξη του δικτύου πρόσβασης, όπως ο συμβατικός κατανεμητής καλωδίων χαλκού (MDF), ώστε να διευκολύνεται η εύρεση των ορίων κάθε περιοχής.

¹⁹³ Optical Distribution Frame - ODF

¹⁹⁴ Υπολογίζεται μία ΟΙ ανά διαμέρισμα και 20% πρόσθετη διαθεσιμότητα.

¹⁹⁵ Το πλήθος των ΟΙ αυξάνεται σημαντικά αν προβλεφθούν ανάγκες για περισσότερες από μία ΟΙ ανά διαμέρισμα.



Σχήμα 35 Διευθέτηση ΚΟΙ και τερματισμός στο αστικό κέντρο

Τα υλικά τερματισμού και συναρμογής ΚΟΙ, που χρησιμοποιούνται στον χώρο του αστικού κέντρου, πρέπει επομένως να πληρούν τις ακόλουθες ειδικές απαιτήσεις¹⁹⁶:

- Τυποποιημένες διαστάσεις: Το βασικό πλαίσιο του ODF πρέπει να έχει τυποποιημένες κατά ETSI διαστάσεις (600 x 600 mm), προβλέποντας τον απαραίτητο χώρο για την διαχείριση της καλωδιακής περίσσειας, που εισέρχεται στο ικρίωμα από πάνω ή κάτω. Η εγκατάσταση των επιμέρους μονάδων τερματισμού, οι καλωδιώσεις και οι συνδέσεις με τα κορδόνια διασύνδεσης πρέπει να γίνονται από μπροστά.

- Μεγάλη πυκνότητα τερματισμού ΟΙ: Θεωρώντας ότι σε δικτυακές επιλογές FTTH με τοπολογία P2P οι οπτικές ίνες υποκαθιστούν ζεύγη χαλκού, οι οπτικοί καταναμητές θα πρέπει να έχουν αντίστοιχη έκταση με τον Κύριο Καταναμητή (MDF) του αστικού κέντρου και η πυκνότητα τερματισμού των ΟΙ θα πρέπει να προσεγγίσει την πυκνότητα τερματισμού του δικτύου χαλκού σε οριολωρίδες IDC¹⁹⁷. Αν και αυτό δεν είναι επί του παρόντος εφικτό, γίνεται κατανοητό, ότι η μεγάλη πυκνότητα τερματισμού αποτελεί βασικό πλεονέκτημα κατά την επιλογή του κατάλληλου ODF. Αρκετοί προμηθευτές¹⁹⁸

¹⁹⁶ "Critical decisions in evaluating optical distribution frames" Comtest 15/6/2005

¹⁹⁷ Insulation Displacement Contact – IDC- Μέθοδος τερματισμού ζευγών καλωδίων χαλκού

¹⁹⁸ Οι εταιρίες Raychem/Tyco, ADC/KRONE, QUANTE/3M, TELECT και ERICSSON διαθέτουν ODF κατάλληλης πυκνότητας τερματισμού για χρήση σε Data Centers.

διαθέτουν κατάλληλα προϊόντα με πυκνότητα τερματισμού από 1.000 έως 2.000 ΟΙ ανά ικρίωμα (βλέπε σχήμα 36).



Σχήμα 36 Τύποι ODF μεγάλης πυκνότητας τερματισμού για χρήση σε αστικά κέντρα (προϊόντα των RAYCHEM/TYCO, TELECT, ADC/KRONE και ERICSSON αντίστοιχα)

- Προστασία συνδέσεων: Οι συνδέσεις θα πρέπει να ομαδοποιούνται σε μικρές ομάδες των 12 ή το πολύ 24 και να τοποθετούνται σε ανεξάρτητη μονάδα αποθήκευσης, υπό την μορφή κασέτας ή οργανωτήρα, ώστε να είναι προστατευμένες από εξωτερικές παρεμβάσεις. Οι μονάδες αυτές πρέπει να έχουν την δυνατότητα αποθήκευσης και περισσειας ινών ή κορδονιών, διασφαλίζοντας την κατάλληλη ακτίνα καμπυλότητας.

- Αποδοτική διαχείριση περισσειας κορδονιών διασύνδεσης: Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα, που εμφανίζονται όσο αυξάνεται η πυκνότητα τερματισμού των ΟΙ σχετίζεται με την αποτελεσματική διαχείριση της περισσειας του μεγάλου πλήθους κορδονιών, που χρησιμοποιούνται για την διασύνδεση των ορίων του ODF με τον ενεργό εξοπλισμό. Με δεδομένο ότι τα κορδόνια διατίθενται σε συγκεκριμένα μήκη είναι απολύτως βέβαιο ότι σε κάθε σύνδεση θα υπάρχει περίσσεια μήκους, που μπορεί να ξεπερνά τα 2m. Αν λοιπόν στο ικρίωμα του ODF τερματίζονται 1.000 ΟΙ, για την πλήρη αξιοποίηση των συνδέσεων απαιτείται η διαχείριση 1.000 κορδονιών, με αποθήκευση συνολικού υπερ-μήκους 2 km. Η διαχείριση αυτή πρέπει να είναι αποδοτική σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην επηρεάζεται η λειτουργικότητα του ODF, ούτε να υποβαθμίζεται η ποιότητα των συνδέσεων.

Εξετάζοντας την υφιστάμενη κατάσταση της τεχνολογίας καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι, αν και υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα προϊόντα ODF με δυνατότητα για μεγάλη πυκνότητα και πλήθος τερματισμών, δεν φαίνονται να μπορούν να ανταπεξέλθουν ικανοποιητικά στις ανάγκες λειτουργίας ενός σημείου συγκέντρωσης άνω των 20.000 ΟΙ. Προκειμένου να καταστεί εφικτή η διαχείριση των οπτικών ινών και των κορδονιών διασύνδεσης στον ODF με τρόπο αντίστοιχο των καλωδίων χαλκού και των συρμάτων

μικτονόμησης στον MDF απαιτούνται σημαντικές βελτιώσεις σε συναφείς με τους οπτικούς κατανεμητές τεχνολογικούς χώρους (χρήση ινών με δυνατότητα μεγαλύτερης κάμψης¹⁹⁹, μηχανικοί σύνδεσμοι ταχείας εγκατάστασης, σύνδεσμοι τερματισμού πολλαπλών ινών, ευέλικτες μορφές ομαδοποίησης κορδονιών-καλωδίων, δυνατότητα κατασκευής κορδονιών κατάλληλου μήκους στο πεδίο κλπ).

6.4.2 Υλικό Συναρμογής και Τερματισμού Εξωτερικού Δικτύου.

Τα περιβλήματα συνδέσεων οπτικών ινών χρησιμοποιούνται στο εξωτερικό δίκτυο για την σύνδεση ΟΙ διαφορετικών καλωδίων προκειμένου να επεκταθεί το καλωδιακό μήκος της ζεύξης (ευθεία σύνδεση μεταξύ ΚΟΙ ίδιας χωρητικότητας), να κατανείμουν την χωρητικότητα ενός ΚΟΙ σε δύο ή περισσότερες διαδρομές (διακλαδωτική σύνδεση), και να απομονώσουν μια ομάδα ΟΙ ενός διερχόμενου ΚΟΙ μεγάλης χωρητικότητας και να την συνδέσουν σε μια καλωδιο-ουρά (απομαστευτική σύνδεση ή απομάστευση). Η χρήση τους στο δίκτυο πρόσβασης σχετίζεται με την χρήση ΚΟΙ σε παραδοσιακές κυρίως υλοποιήσεις FTTC, με υπαίθριες ONU, ή FTTB σε μεγάλους επιχειρησιακούς πελάτες. Στις περιπτώσεις αυτές ένα ΚΟΙ μεγάλης χωρητικότητας 96 ή 144 ΟΙ ξεκινά από το αστικό κέντρο και διακλαδίζεται σε μικρότερης χωρητικότητας καλώδια, φτάνοντας με καλωδιο-ουρές 12 ινών μέχρι τον ODF της ONU.

Τα περιβλήματα συνδέσεων ΚΟΙ, που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο πρόσβασης (σχήμα 37), έχουν την μορφή θόλου και είναι κατάλληλων διαστάσεων ώστε να φιλοξενούν το απαιτούμενο πλήθος κασετών με συγκολλήσεις ΟΙ²⁰⁰. Είναι επισκέψιμα, με υδατοστεγή περιβλήματα²⁰¹ κατά IP68 και τοποθετούνται εντός φρεατίων. Η εισαγωγή των ΚΟΙ γίνεται από την βάση του θόλου, ενώ προβλέπεται ικανή περίσσεια καλωδίου εντός του φρεατίου, ώστε να διευκολύνονται εργασίες σε μελλοντικές επεμβάσεις. Στο δίκτυο πρόσβασης χρησιμοποιούνται συχνά περιβλήματα συνδέσεων «μονοκυκλωματικής διαχείρισης», που είναι εξοπλισμένα με περισσότερες κασέτες χωρητικότητας 2 ή 4 συγκολλήσεων, διασφαλίζοντας τα κυκλώματα πελατών από παρενόχληση λόγω εργασιών σε γειτονικές συνδέσεις.

Η χρήση περιβλημάτων συνδέσεων ΚΟΙ περιορίζεται σημαντικά σε έργα νέου τύπου δικτύων πρόσβασης, που βασίζονται σε μικρο-καλώδια και μικρο-σωλήνες.

¹⁹⁹ Τύπου G657b

²⁰⁰ Μέγιστη χωρητικότητα για μέχρι 144 συγκολλήσεις σε 12 κασέτες

²⁰¹ Η στεγανότητα του επισκέψιμου περιβλήματος είναι ιδιαίτερα σημαντική, γιατί σε αντίθετη περίπτωση το περίβλημα γεμίζει υγρασία με άσχημες επιπτώσεις στην λειτουργία.



Σχήμα 37 Περιβλήματα συνδέσεων μορφής θόλου διαφόρων κατασκευαστών.

Οι υπαίθριοι οικίσκοι ή καμπίνες αποτελούν τον περιφερειακό κόμβο συγκέντρωσης (ΠΚΣ) των οπτικών ινών του απερχόμενου δικτύου και το σημείο διεπαφής του με τις ίνες του κυρίου δικτύου. Είναι μεταλλικές ή πλαστικές καμπίνες, που χρησιμοποιούνται για τη στέγαση εξοπλισμού και τοποθετούνται σε κατάλληλη θέση επί του πεζοδρομίου. Ο σχεδιασμός τους είναι κατάλληλος ώστε να διασφαλίζεται ασφαλής λειτουργία και να προστατεύονται έναντι βανδαλισμού, διάρρηξης ή ατυχήματος.

Σε υλοποιήσεις FTTC ταυτίζονται με τις υπαίθριες καμπίνες εγκατάστασης ενεργού εξοπλισμού (ONU), που περιγράφηκαν αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 4.1, όπου ένα μικρής χωρητικότητας ΚΟΙ τερματίζεται σε ODF 12 ΟΙ.

Σε επιλογές FTTB/FTTH με χρήση μικρο-καλωδίων και ινο-ομάδων, οι ΠΚΣ περιλαμβάνουν μόνο παθητικό εξοπλισμό οπτικού δικτύου και αντιστοιχούν στους υπαίθριους κατανεμητές του δικτύου χαλκού (KV). Οι διαστάσεις τους εξαρτώνται κυρίως από την διαστασιοποίηση του δικτύου, δηλαδή το πλήθος των ινών που συγκεντρώνεται σε αυτούς, καθώς και τις απαιτήσεις χώρου για την αποτελεσματική διαχείριση περίσσειας καλωδίων, κορδονιών διασύνδεσης, μικρο-σωλήνων και πολυ-σωληνίσκων. Ανάλογα με την δομή ανάπτυξης του οπτικού δικτύου πρόσβασης (αρθρωτό ή σταθερό δίκτυο) οι ΠΚΣ μπορεί να περιλαμβάνουν υλικά τερματισμού και συναρμογής²⁰² ΟΙ ή μόνο υλικό συναρμογής.

Στην πρώτη περίπτωση, οι απαιτήσεις χώρου είναι ακόμη μεγαλύτερες από εκείνες ενός KV αντίστοιχης χωρητικότητας τερματισμού. Σε κάθε περίπτωση πάντως, οι συνθήκες περιβάλλοντος στο εσωτερικό της καμπίνας (στεγανότητα κατά IP45, παρουσία σκόνης, καθαριότητα) απαιτείται να είναι πολύ καλύτερες από εκείνες των αντίστοιχων KV.

Στο σχήμα 38 παρουσιάζονται υπαίθριες καμπίνες διαφόρων κατασκευαστών, που χρησιμοποιούνται σε έργα FTTB/H. Σε υλοποιήσεις P2MP με χρήση PON, στις καμπίνες

²⁰² Μονάδες ODF και κασέτες συγκόλλησης ΟΙ

αυτές εγκαθίσταται και ο οπτικός διακλαδωτής, που τοποθετείται συνήθως σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο, και τερματίζεται στον ODF της καμπίνας.



Σχήμα 38 Υπαίθριες καμπίνες εγκατάστασης παθητικού εξοπλισμού για χρήση σε έργα FTTB/H.

Σε χώρους, όπως ιστορικά κέντρα πόλεων κλπ, στους οποίους δεν επιτρέπεται η εγκατάσταση υπαίθριας καμπίνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπόγειο ερμάριο στέγασης του παθητικού εξοπλισμού, που ανασύρεται στην επιφάνεια με χρήση κατάλληλου μηχανισμού ανύψωσης. Οι λύσεις όμως αυτές έχουν μεγάλο κόστος, είναι συχνά προβληματικές και έτσι σπάνια εφαρμόζονται.

6.4.3 Υλικό Τερματισμού στον Χώρο του Συνδρομητή.

Το υλικό τερματισμού, που χρησιμοποιείται σε έργα FTTH, τόσο στην εισαγωγή του κτιρίου όσο και στον χώρο του συνδρομητή, εξαρτάται από τις σχεδιαστικές επιλογές του δικτύου. Οι δύο βασικές υλοποιήσεις διαφοροποιούνται ως προς την χρήση οπτικού κατανεμητή για τον τερματισμό των ινών του απερχόμενου δικτύου στην εισαγωγή του κτιρίου (βλέπε σχήμα 39β) ή τον απευθείας τερματισμό τους στο διαμέρισμα του συνδρομητή (βλέπε σχήμα 39α).

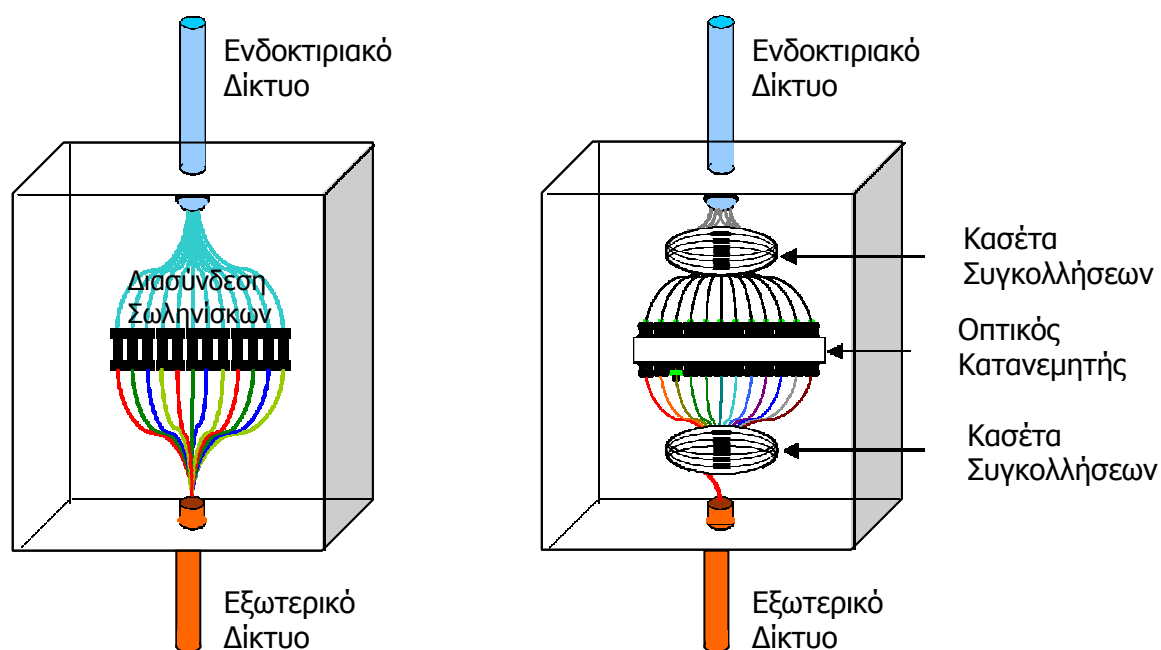
Είναι συχνά απαραίτητο να υφίσταται σαφής διαχωρισμός μεταξύ του εξωτερικού δικτύου, που βρίσκεται στον έλεγχο του δικτυακού παρόχου, και του κτιριακού δικτύου, που ανήκει στους ιδιοκτήτες του κτιρίου. Στην περίπτωση αυτή, το απερχόμενο δίκτυο περιλαμβάνει ένα πολυ-σωλήνα με δύο σωληνίσκους²⁰³ ανά κτίριο. Στο έναν από αυτούς εγκαθίσταται με εμφύσηση μία ινο-ομάδα (2 έως 12 ΟΙ, ανάλογα με το πλήθος των διαμερισμάτων του κτιρίου) και τερματίζεται σε κουτί τερματισμού στην εισαγωγή του κτιρίου (MB-ODF), που μπορεί να βρίσκεται εσωτερικά ή εξωτερικά του κτιρίου²⁰⁴, και

²⁰³ Ένας κύριος και ένας εφεδρικός

²⁰⁴ Το κτιριακό δίκτυο μικρο-σωληνώσεων μπορεί να αναπτύσσεται εσωτερικά (κλιμακοστάσιο) ή εξωτερικά (φωταγωγός ή πρόσοψη) του κτιρίου.

στο οποίο καταλήγει και η καλωδίωση του κτιριακού δικτύου (ένα σωληνάκι με μια ινο-ομάδα 1 ή 2 ΟΙ ανά διαμέρισμα).

Στην περίπτωση, που δεν απαιτείται τερματισμός των ΟΙ στην εισαγωγή του κτιρίου, το κουτί εισαγωγής (βλέπε σχήμα 39α) περιλαμβάνει μόνο σωληνίσκους και συνδέσμους σωληνίσκων, που συνδέουν τους σωληνίσκους του απερχόμενου δικτύου (συνήθως ένας σωληνίσκος ανά διαμέρισμα) με τους σωληνίσκους²⁰⁵ του ενδο-κτιριακού δικτύου. Η εμφύσηση των ινών (συνήθως 2 ΟΙ σε κάθε σωληνίσκο) γίνεται απευθείας από το ΠΚΣ²⁰⁶ προς την υποδοχή του διαμερίσματος του συνδρομητή, χωρίς να μεσολαβεί τερματισμός ΟΙ στη εισαγωγή του κτιρίου (αποφεύγεται ένας ενδιάμεσος ODF).



α) Κουτί Διασύνδεσης Σωληνίσκων

β) Κουτί τερματισμού ΟΙ (B-ODF)

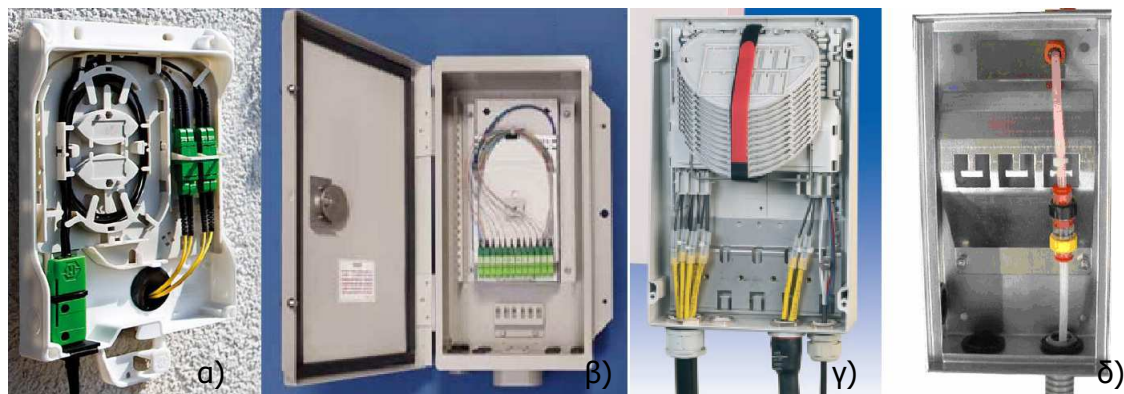
Σχήμα 39 Σχηματική παρουσίαση τρόπων διασύνδεσης του εξωτερικού δικτύου με το κτιριακό δίκτυο.

Η ανάπτυξη του κτιριακού δικτύου σωληνώσεων γίνεται δενδροειδώς από το κουτί εισαγωγής προς τα διαμερίσματα των συνδρομητών. Σε σπάνιες περιπτώσεις πολύ μεγάλων κτιρίων μπορεί να χρησιμοποιείται οπτικός κατανεμητής σε κάθε όροφο (F-ODF), διαχωρίζοντας την κτιριακή καλωδίωση σε οριζόντιο και κατακόρυφο τμήμα, με βάση τις αρχές που διέπουν την δομημένη καλωδίωση επιχειρησιακών κτιρίων. Στις περισσότερες όμως των περιπτώσεων, σε κάθε όροφο χρησιμοποιείται ένα μικρό κουτί διασύνδεσης σωληνίσκων για να συνδέσει τους σωληνίσκους του κατακόρυφου πολυσωλήνα με τους σωληνίσκους του οριζόντιου τμήματος, που καταλήγουν, ένας σε κάθε διαμέρισμα.

²⁰⁵ Από υλικό LSHF για εσωτερική χρήση

²⁰⁶ Περιφερειακό Σημείο Συγκέντρωσης, δηλαδή την υπαίθρια καμπίνα

Τα κουτιά τερματισμού ή διασύνδεσης σωληνίσκων είναι συνήθως πλαστικά, για εσωτερική ή εξωτερική στεγασμένη χρήση, και φέρουν κατάλληλη κλειδαριά ασφαλείας. Στο σχήμα 40 παρουσιάζονται κουτιά τερματισμού ΟΙ και διασύνδεσης σωληνίσκων διαφόρων κατασκευαστών.



Σχήμα 40 Κουτιά τερματισμού ΟΙ και διασύνδεσης σωληνίσκων διαφόρων τύπων: α) ODF εξωτερικού χώρου, β) ODF εσωτερικού χώρου, γ) κουτί διασύνδεσης ινών χωρίς ODF και δ) κουτί διασύνδεσης σωληνίσκων



Σχήμα 41 Διατάξεις τερματισμού δικτύου στο διαμέρισμα του συνδρομητή

Η υποδοχή σύνδεσης (TY) στο διαμέρισμα του συνδρομητή περιλαμβάνει, στην απλούστερη της μορφή, έναν μικρό ODF για τον τερματισμό 1 ή 2 οπτικών ινών. Για εξοικονόμηση χώρου χρησιμοποιούνται συνήθως ίνες, που έχουν προτερματισμένο το ένα τους άκρο σε κατάλληλο ακροδέκτη, και εγκαθίστανται με εμφύσηση του ελεύθερου άκρου από την υποδοχή του συνδρομητή προς το κουτί τερματισμού του κτιρίου ή το ΠΣΣ. Στην πιο εξελιγμένη τους μορφή, οι διατάξεις τερματισμού δικτύου ενσωματώνουν και ενεργή μονάδα οπτο-ηλεκτρονικής μετατροπής, παρέχοντας ηλεκτρική διεπαφή FE προς την τερματική συσκευή του συνδρομητή.

Στο σχήμα 41 παρουσιάζονται κατάλληλες διατάξεις τερματισμού δικτύου για χρήση στον χώρο του συνδρομητή.

7 Σχεδιασμός και Υλοποιήσεις Δικτύων NGA

7.1 Έργα της περιόδου 1990-2000

Οι πρώτες υλοποιήσεις δικτύων πρόσβασης, που βασίζονται στην τεχνολογία FTTx, εμφανίζονται σε Ευρωπαϊκές χώρες μετά το 1990, με την μορφή μεγάλων πιλοτικών έργων, που σκοπό έχουν να αναδείξουν τις δυνατότητες της τεχνολογίας να αντικαταστήσει εν μέρει ή συνολικά το δίκτυο χαλκού.

Στην Γερμανία η DT ξεκίνησε το 1993 με το πρόγραμμα OPAL²⁰⁷, μια σειρά πιλοτικών έργων με υλοποιήσεις FTTC και FTTB σε περιοχές της πρώην Αν. Γερμανίας, που στερούντο τηλεπικοινωνιακής υποδομής, με σκοπό να διερευνηθεί η δυνατότητα για μαζικότερη εισαγωγή της τεχνολογίας. Τα έργα του OPAL βασίστηκαν σε δενδρική τοπολογία PON για την παροχή υπηρεσιών POTS, ISDN, E1 και τηλεοπτικού σήματος με προοπτικές VoD, από ανεξάρτητη όμως δικτυακή υποδομή. Το πρόγραμμα OPAL αντιμετώπισε σημαντικά τεχνικά προβλήματα, κυρίως διότι η τεχνολογία PON δεν είχε φθάσει ακόμη σε στάδιο ωρίμανσης. Η μη-ύπαρξη τυποποιημένου εξοπλισμού, η τμηματοποίηση των πιλοτικών έργων και η ανάθεση αυτών με «το κλειδί στο χέρι» σε εταιρείες με διαφορετική τεχνολογία, δημιούργησε σημαντικά προβλήματα λειτουργίας. Τα ανωτέρω, είχαν σαν αποτέλεσμα η DT να μην προχωρήσει σε μαζικότερη χρήση του δικτύου PON και να στραφεί σε στοχευμένες επιλογές έργων FTTB για επιχειρησιακούς πελάτες βασισμένες σε συστήματα μετάδοσης SDH.

Στην Γαλλία η FT ξεκίνησε την εισαγωγή των οπτικών ινών στο δίκτυο πρόσβασης στις αρχές της δεκαετίας του 90, με μια σειρά πιλοτικών έργων²⁰⁸, στα οποία δοκιμάστηκαν διαφορετικά σενάρια τεχνικών και τοπολογιών FTTx. Σημαντικό ήταν το έργο ανάπτυξης οπτικού δικτύου πρόσβασης «μεγάλων ειδικών πελατών», που περιέλαβε τις 3.000 μεγαλύτερες επιχειρήσεις σε όλη την γαλλική επικράτεια, βασισμένο σε υλοποιήσεις FTTB για την παροχή υπηρεσιών Nx E1, E3 και STM-1 με χρήση τεχνολογιών PDH, SDH και PON²⁰⁹. Παράλληλα με το δίκτυο μεγάλων πελατών, η FT κατέβαλε προσπάθεια για την μαζικότερη εισαγωγή οπτικών ινών στο δίκτυο πρόσβασης με το έργο DORA (1994), που στόχευε στην αναβάθμιση του δικτύου πρόσβασης με την χρήση οπτικών ινών και υλοποιήσεις FTTB/H σε τέσσερις πόλεις της Γαλλίας, με 100.000 περίπου συνδέσεις ανά πόλη. Στο δίκτυο προβλεπόταν η ενσωμάτωση διαφορετικών υπηρεσιών (POTS, ISDN, δεδομένων και video) σε κοινό φορέα. Το έργο αυτό δεν είχε επιτυχή κατάληξη και εγκαταλείφθηκε το 1997, λόγω του αυξημένου κόστους και της αλλαγής στρατηγικής της FT, που επήλθε μετά την ιδιωτικοποίηση.

Στην Μεγάλη Βρετανία, η BT, που ήταν ο πρώτος ευρωπαϊκός τηλεπικοινωνιακός οργανισμός που ιδιωτικοποιήθηκε το 1986, ξεκίνησε την εισαγωγή των οπτικών ινών στο δίκτυο πρόσβασης με το πρόγραμμα OTIAN²¹⁰, που περιέλαβε το σύστημα TPON²¹¹ για

²⁰⁷ Optical Access Lines - OPAL

²⁰⁸ Lannion: FTTH – FT/CNET (RADOME), Serris : FTTC – B/RAYNET, Archachon : FTTB – SAT/SIEMENS, Epagny : FTTB – C/SECRE, Bastia : FTTH - ALCATEL

²⁰⁹ Χρησιμοποιήθηκε μια παραλλαγή του PON με το εμπορικό όνομα MOLENE από την CS Telecom.

²¹⁰ OTIAN – Optical Telecommunications Infrastructure for the Access Network

κοινούς συνδρομητές και συνδέσεις P2P για μεγάλους πελάτες. Το OTIAN άρχισε να εφαρμόζεται πιλοτικά (1993) σε επιλεγμένες περιοχές της Μ. Βρετανίας και συνεχίζεται μέχρι σήμερα με στοχευμένες παρεμβάσεις. Η εμπειρία της ΒΤ από το πρόγραμμα αυτό ήταν σημαντική, αφού δοκιμάστηκαν και καθιερώθηκαν πρακτικές, όπως η μονο-κυκλωματική διαχείριση και η εμφύσηση ινών σε καλώδια πολυ-σωληνίσκων, που αργότερα υιοθετήθηκαν και από άλλες τηλεπικοινωνιακές εταιρίες.

Στην Ιταλία η ΤΙ επεχείρησε, μέσω του προγράμματος SOCRATE, να δημιουργήσει ένα νέο δίκτυο πρόσβασης βασισμένο στην τεχνολογία HFC²¹². Το έργο αυτό άρχισε το 1997 με στόχο να καλύψει 300 περίπου τερματικές περιοχές 147 πόλεων της Ιταλίας, με την σταδιακή παροχή υπηρεσιών καλωδιακής τηλεόρασης, IP, VOD και POTS. Μέχρι το τέλος του 1988 ο αριθμός των "συνδεδεμένων σπιτιών" έφθασε το 1.800.000. Αν και το πρόγραμμα SOCRATES χαρακτηριζόταν από τεχνική αρτιότητα, οι αδυναμίες κυρίως στον τομέα της εμπορικής εκμετάλλευσης της πλούσιας υποδομής, και ο περιορισμός σε επενδύσεις στρατηγικής σημασίας, που επιβλήθηκε μετά την ιδιωτικοποίηση της ΤΙ, οδήγησε στον άδοξο και πρόωρο τερματισμό του φιλόδοξου προγράμματος στα μέσα του 1999.

Στο Βέλγιο, η Belgacom άρχισε την εισαγωγή των οπτικών ινών στο δίκτυο πρόσβασης το 1992 με το πρόγραμμα Telezones και συνέχισε την περίοδο 1995-97 με το πρόγραμμα Astrachan. Το Telezones είχε σαν στόχο την δημιουργία ενός επάλληλου οπτικού δικτύου πρόσβασης SDH με υλοποιήσεις FTTB στις 50 περισσότερο αναπτυγμένες βιομηχανικές ζώνες του Βελγίου, για την παροχή υπηρεσιών δεδομένων NxE1 και E3, ISDN και POTS στις μεγάλες επιχειρήσεις της χώρας. Με το πρόγραμμα Astrachan η Belgacom προσπάθησε να αυξήσει τον βαθμό διείσδυσης των οπτικών ινών στο δίκτυο πρόσβασης. Κριτήρια για την ένταξη συγκεκριμένης περιοχής στο πρόγραμμα απετέλεσαν οι αυξημένες τηλεπικοινωνιακές ανάγκες των πελατών και η εμπορικότητα της περιοχής. Η υλοποίηση του προγράμματος αυτού αποτέλεσε μεταβατικό στάδιο προς τα δίκτυα ευρείας ζώνης. Από το 1994, η Belgacom, χρησιμοποιεί σε έργα οπτικού δικτύου πρόσβασης, αντί του συμβατικού καλωδίου, καλώδια πολύ-σωληνίσκων και εμφύσηση ινο-ομάδων.

Ο ΟΤΕ ξεκίνησε το 1996 την ανάπτυξη οπτικού δικτύου πρόσβασης βασισμένο στην τεχνολογία SDH και υλοποιήσεις FTTC και FTTB. Ακολουθήθηκαν δύο βασικά σενάρια υλοποίησης, το σενάριο του επάλληλου δικτύου, που βασίστηκε στην τεχνική FTTB, για την εξυπηρέτηση των μεγάλων πελατών του Οργανισμού με υπηρεσίες E3, NxE1, ISDN και POTS, και το σενάριο συνολικής αναβάθμισης δικτύου πρόσβασης, που βασίστηκε σε έργα FTTC με υπαίθριες καμπίνες, κυρίως για παροχή υπηρεσιών ISDN και POTS. Η υλοποίηση επεκτάθηκε στα 64 μεγαλύτερα αστικά κέντρα και περιέλαβε 850 περίπου ενεργές ONU, εκ των οποίων οι 530 σε υπαίθριες καμπίνες (FTTC). Η ανάπτυξη του δικτύου σταμάτησε το 2004 λόγω αυξημένου κόστους.

²¹¹ TPON – Telephony over PON – Μια παραλλαγή του PON από την ΒΤ

²¹² HFC – Hybrid Fibre Coax. Πρόκειται για μια παραλλαγή της τεχνολογίας FTTx, που αντικαθιστά το κύριο δίκτυο με οπτική ίνα και το δίκτυο διανομής με ομοαξονικά καλώδια. Χρησιμοποιείται κυρίως για την αναβάθμιση δικτύων καλωδιακής τηλεόρασης.

Από τα ανωτέρω γίνεται αντιληπτό ότι το σύνολο σχεδόν των πιλοτικών έργων της περιόδου 1990-2000, που στόχευαν σε μαζική διείσδυση οπτικών ινών στο δίκτυο πρόσβασης για παροχή υπηρεσιών σε οικιακούς χρήστες, εγκαταλείφθηκαν από τις ευρωπαϊκές τηλεπικοινωνιακές εταιρίες. Οι βασικοί λόγοι ήταν το αυξημένο κόστος και η έλλειψη εφαρμογών, που τα έσοδά τους θα μπορούσαν να δικαιολογήσουν το ύψος της επένδυσης. Παγκοσμίως, μόνο η NTT στην Ιαπωνία υιοθέτησε ως βασική στρατηγική της την δημιουργία ενός FTTH δικτύου πρόσβασης, στην διάρκεια ενός δεκαπενταετούς σχεδίου (1995-2010), που έχει καταστήσει την Ιαπωνία την χώρα με την μεγαλύτερη διείσδυση σε χρήση οπτικών ινών στο δίκτυο πρόσβασης.

Αντίθετα, σε όλες τις ευρωπαϊκές χώρες, οι υλοποιήσεις FTTB, που στόχευαν σε επιχειρησιακούς πελάτες είχαν επιτυχία, προσφέροντας αρχικά TDM υπηρεσίες μισθωμένων κυκλωμάτων, που σήμερα μετασχηματίζονται σε υπηρεσίες FE.

7.2 Νεότερα έργα και προοπτικές υλοποίησης δικτύων FTTx

Μετά την ολοκλήρωση των πιλοτικών έργων FTTx της περιόδου 1995-2000, ακολούθησε μια περίοδος απραξίας και προβληματισμού, που συνέπεσε χρονικά με την απελευθέρωση της αγοράς των τηλεπικοινωνιών και την ιδιωτικοποίηση των Ευρωπαϊκών Telco, που είχε σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό του διαθέσιμου CAPEX.

Η περίοδος μετά το 2000 χαρακτηρίστηκε από την ανάπτυξη της τεχνολογίας ADSL, ως βασικής επιλογής για την παροχή ευρυζωνικότητας μέσω του υφιστάμενου δικτύου πρόσβασης με το χαμηλότερο δυνατό κόστος επένδυσης, περιορίζοντας περαιτέρω τις επενδύσεις σε έργα FTTx.

Σύμφωνα με αναλυτές της αγοράς²¹³, κάθε ευρωπαϊκή εταιρία τηλεπικοινωνιών (ILEC) προσεγγίζει, σήμερα, με διαφορετικό τρόπο την ανάπτυξη δικτύων NGA, ανάλογα με το περιβάλλον λειτουργίας της. Λίγοι είναι εκείνοι, που υποστηρίζουν ότι η εκτεταμένη χρήση των οπτικών ινών στο δίκτυο πρόσβασης θα τους βοηθήσει να διατηρήσουν την κυρίαρχη θέση τους, πολλοί βρίσκονται κάτω από πολιτικές πιέσεις να προχωρήσουν σε επενδύσεις, ενώ οι ένθερμοι υποστηρικτές του FTTH, προσπαθούν να ξεπεράσουν το τεράστιο κόστος της απαιτούμενης επένδυσης επιχειρηματολογώντας ότι οι όποιες επενδύσεις σε υποδομές οπτικών ινών αποτελούν ασφαλείς επενδύσεις. Κάποιοι πιθανότατα μπλοφάρουν. Εταιρίες όπως η KPN και οι Swisscom εμφανίζονται έτοιμες να επενδύσουν σημαντικά στην χρήση οπτικών ινών στο δίκτυο πρόσβασης. Στην Γαλλία η FT σχεδιάζει εκτεταμένη χρήση FTTH ζητώντας όμως από τους εγχώριους ανταγωνιστές της να συμμετάσχουν στην επένδυση για την δημιουργία της δικτυακής υποδομής. Αντίθετα, εταιρίες όπως η Belgacom, η TEF, η PT και η BT προσεγγίζουν την τεχνολογία FTTx ως εργαλείο για να αντιμετωπίσουν τον ανταγωνισμό, που τους επιβλήθηκε με το καθεστώς φυσικής συνεγκατάστασης. Με δεδομένη την πολιτική πίεση, που ασκείται από τις περισσότερες Ευρωπαϊκές κυβερνήσεις για επενδύσεις σε υποδομές οπτικών ινών, είναι βολικό για κάποιες εταιρίες να υπερεκτιμούν τις προθέσεις τους. Οι κίνδυνοι είναι μεγαλύτεροι για τις εταιρίες, που δραστηριοποιούνται μόνο σε σταθερή τηλεφωνία, όπως

²¹³ New Street Research, "Fibre: Anxieties, delusions and bluffs", Μάρτιος 2009

η BT και η TI, ή έχουν εξαγγείλει πολύ υψηλές επενδύσεις, όπως η FT, η Swisscom και η KPN.

Σε γενικές γραμμές, το κίνητρο των ILEC για επενδύσεις σε τεχνολογίες FTTx φαίνεται να βασίζεται σε έναν ή περισσότερους λόγους που σχετίζονται με:

- Τον ανταγωνισμό από υφιστάμενα καλωδιακά δίκτυα
Υφίσταται σε χώρες, όπου ο ανταγωνισμός προέρχεται κυρίως από δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης βασισμένα στην τεχνολογία HFC²¹⁴, όπως στις ΗΠΑ, στο Βέλγιο, στην Ολλανδία, στη Γερμανία, στη Γαλλία, στην Αγγλία, στην Ουγγαρία κλπ. Ιδιαίτερα επηρεάζονται ILEC, των οποίων ο χάλκινος βρόχος έχει μεγάλο μήκος, και δεν μπορούν επομένως να ανταγωνιστούν την ταχύτητα πρόσβασης, που παρέχουν τα δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης. Αυτός ήταν και ο βασικός λόγος για τον οποίο στις ΗΠΑ, οι εταιρίες Verizon και AT&T αποφάσισαν να επενδύσουν σε τεχνολογίες FTTx. Στην Ευρώπη η Belgacom έχει ισχυρό ανταγωνισμό από εταιρίες καλωδιακής τηλεόρασης, ενώ και άλλοι Ευρωπαίοι ILEC αντιμετωπίζουν με «κριτήρια της αγοράς» το πρόβλημα της χαμηλότερης ταχύτητας πρόσβασης, και την αδυναμία για μετάδοση πολλαπλών καναλιών υψηλής ευκρίνειας μέσα από συνδέσεις DSL. Αν και δεν υπάρχει απτή απόδειξη ότι το πρόβλημα αυτό έχει επηρεάσει την εμπορική λειτουργία των ILEC, αρκετοί από αυτούς, όπως η Belgacom, η KPN, η Swisscom, η PT, η FT, η BT και άλλες δείχνουν διατεθειμένες να επενδύσουν σε τεχνολογίες FTTx για λόγους ανταγωνισμού με εταιρίες καλωδιακής τηλεόρασης.
- Την πεποίθηση της διοίκησης στο μέλλον της οπτικής ίνας
Τα τελευταία είκοσι χρόνια, η οπτική ίνα θεωρείται από το σύνολο των τηλεπικοινωνιακών εταιριών ως το κυρίαρχο ενσύρματο μέσο μετάδοσης. Αν λοιπόν θεωρήσουμε ότι τα μελλοντικά ενσύρματα δίκτυα πρόσβασης θα είναι εξ' ολοκλήρου οπτικά, είναι λογικό να ξεκινήσει άμεσα η κατασκευή τους, παρακάμπτοντας πιθανά ενδιάμεσα στάδια. Σε κάποιες εταιρίες όπως η Belgacom, η αντίληψη αυτή είναι ευθυγραμμισμένη με τα τρέχοντα εμπορικά και τεχνικά δεδομένα. Αντίθετα σε άλλες, όπως η Swisscom, η KPN και η FT η υπερβολική προδιάθεση για χρήση οπτικής ίνας μπορεί να προκαλέσει υποβάθμιση της αξίας της.
- Πολιτικές πιέσεις για επενδύσεις σε δίκτυα πρόσβασης οπτικών ινών «ανοικτής» αρχιτεκτονικής
Οι περισσότεροι πολιτικοί, τόσο στην Ευρώπη όσο και στις ΗΠΑ τείνουν να συγχέουν την έννοια της ευρυζωνικότητας με την εκτεταμένη χρήση των οπτικών ινών στο δίκτυο πρόσβασης, σε βαθμό, που φθάνει στα όρια της παράνοιας. Στην πραγματικότητα βέβαια, η ύπαρξη μιας ADSL σύνδεσης, έστω και σε ταχύτητα 2 Mbit/s, στο σχολείο ενός απομακρυσμένου επαρχιακού χωριού, σε έναν αγροτικό συνεταιρισμό ή σε ένα απομονωμένο νησί, συμβάλλει πολύ περισσότερο στην γεφύρωση του ψηφιακού χάσματος από την διαθεσιμότητα συνδέσεων 100

²¹⁴ Hybrid Fibre Coax (HFC)

Mbit/s στο αστικό περιβάλλον των μεγαλουπόλεων. Ένα πλήθος αμφισβητούμενων οικονομικών αναλύσεων υποστηρίζουν ότι στην μελλοντική «οικονομία της γνώσης» η ανταγωνιστικότητα θα εξαρτάται αποκλειστικά από την δυνατότητα πρόσβασης σε ταχύτητες άνω των 100 Mbit/s, την στιγμή που σήμερα, οι μόνες γνωστές εφαρμογές, που θα μπορούσαν να δικαιολογήσουν τέτοιες ταχύτητες είναι η λήψη πολλαπλών καναλιών HDTV ή 3D-TV, που συνεισφέρουν μάλλον στον χώρο της διασκέδασης παρά της γνώσης. Οι ρυθμιστικές αρχές φαίνεται να υποστηρίζουν ανοιχτά την αναγκαιότητα για ανάπτυξη δικτύων οπτικών ινών FTTH «ανοικτής» αρχιτεκτονικής, ώστε να διευκολύνεται το έργο τους κατά την μετάβαση από το LLU του χαλκού στο LLU των οπτικών ινών. Αν και πολιτικές πιέσεις για επενδύσεις σε τεχνολογίες FTTH υπάρχουν σχεδόν παντού, εκδηλώνονται περισσότερο έντονα σε χώρες όπως η Γαλλία, η Αγγλία, η Ιταλία, η Ισπανία και η Ελλάδα.

- Την ελπίδα ότι η ανάπτυξη οπτικών δικτύων πρόσβασης θα βλάψει τους CLEC και τις επενδύσεις τους στο LLU
Η δυνατότητα για επικράτηση επί των ανταγωνιστών, μέσω παροχής καλύτερων υπηρεσιών, αποτελεί για τους ILEC ικανό κίνητρο για επενδύσεις σε τεχνολογίες FTTx. Στις ΗΠΑ, η Verizon και η AT&T διαπραγματεύθηκαν την πρόθεσή τους για επενδύσεις σε τεχνολογίες FTTx με την χαλάρωση των ρυθμιστικών τους υποχρεώσεων. Αντίστοιχα, ILEC όπως η Belgacom, η KPN και η Swisscom έχουν χρησιμοποιήσει τις νέες υποδομές τους σε τεχνολογίες FTTx, προκειμένου να καθοδηγήσουν τον ανταγωνισμό σε υπηρεσίες χονδρικής. Η FT χρησιμοποίησε με επιτυχία την απειλή για εκτεταμένη χρήση οπτικών ινών στο δίκτυο πρόσβασης ώστε να μειώσει τον ανταγωνισμό από δύο CLEC (Neuf και Iliad). Άλλοι πιθανοί ILEC, που τρέφουν αντίστοιχες ελπίδες είναι η DT, PT, TEF, OTE, TI και η BT, ο σημαντικός ρόλος όμως του ρυθμιστή προς όφελος των CLEC αναμένεται να δυσκολέψει τα σχέδιά τους.
- Επιλογή με βάση τεchnο-οικονομικά κριτήρια.
Η χρήση της οπτικής ίνας στο δίκτυο πρόσβασης μπορεί, σε κάποιες περιπτώσεις, να αποτελέσει την βέλτιστη επιλογή με τεchnο-οικονομικά κριτήρια. Σε περιπτώσεις επεκτάσεων αστικού δικτύου, όπου δεν υφίσταται δίκτυο χαλκού (Greenfield), ή σε περιοχές πυκνής δόμησης με πολύ μεγάλα σε πλήθος διαμερισμάτων κτίρια και επάρκεια υποδομών σωληνώσεων, η χρήση τεχνολογιών FTTx μπορεί να αποτελέσει οικονομικότερη επιλογή ακόμη και με εμπορικά κριτήρια. Ακόμη όμως και σε αυτές τις περιπτώσεις, το κόστος για την παροχή συμβατικών υπηρεσιών (POTS) είναι μεγαλύτερο, ενώ η αναμενόμενη εξοικονόμηση σε λειτουργικό κόστος (OPEX) μπορεί δύσκολα να αποτιμηθεί.
- Την διάθεση να μπλοφάρουν, υπερεκτιμώντας τις προθέσεις τους να επενδύσουν σε τεχνολογίες FTTH.
Σε πολλές περιπτώσεις, οι ILEC, θεωρούν επωφελές για αυτούς, να υπερβάλλουν σχετικά με τις προθέσεις τους ως προς την ανάπτυξη δικτύων FTTx, προκειμένου να αποπροσανατολίσουν τους πολιτικούς, να προβληματίσουν την ρυθμιστική

αρχή και να τρομάξουν τους ανταγωνιστές τους. Στο πλαίσιο αυτό μεγιστοποιούν την σχεδιαζόμενη κάλυψη και μειώνουν τον χρόνο υλοποίησης. Δεν είναι εύκολο να υποστηρίξει κανείς με σιγουριά ότι η τακτική αυτή ακολουθείται από συγκεκριμένους ILEC, αλλά πιθανοί υποψήφιοι θα μπορούσαν να είναι η FT, η TI, η TEF, η BT, η PT και ο ΟΤΕ.

Στον πίνακα 11 γίνεται αναφορά στα βασικά κίνητρα των ILEC για επενδύσεις σε δίκτυα FTTx, σύμφωνα με το περιοδικό New Street Research (Μάρτιος 2009).

Πίνακας 11: Κίνητρα ILEC για επενδύσεις σε τεχνολογίες FTTx (ΠΗΓΗ: New Street Research estimates 3-2009).

	Αναμενόμενο % CAPEX 2005-2020	Αύξηση Εσόδων	Ανταγωνισμός με Καλωδιακά Δίκτυα	Στρατηγική Διοίκησης	Πολιτικές Πιέσεις	Εξασθένιση Ανταγωνιστών	Διάθεση Μπλόφας
KPN	30%	?	?	?		✓	?
Swisscom	28%		?	✓		✓	?
Belgacom	16%		✓	✓		✓	
DT	13%	?		✓	✓	✓	?
FT	13%	?		✓	✓	μερικώς	?
TSON	13%			✓			
TEF	11%				✓	✓	?
PT	10%	?	?			✓	?
TNOR	10%			?	✓		?
BT	9%		?		✓	?	?
ΟΤΕ	9%				✓	✓	?
TI	7%	?			✓	✓	?
TKA	5%				?		?
Ε.Ε. (μέση)	12%						
ΗΠΑ	11%		✓			✓	?

Κάθε ILEC προσεγγίζει την τεχνολογία FTTx με διαφορετικό μοντέλο επένδυσης (FTTC ή FTTB/H), ανάλογα με τις ιδιαιτερότητές του και την πιθανή συμμετοχή άλλων παρόχων. Ο πίνακας 12 περιγράφει συνοπτικά τις προσδοκίες για υλοποιήσεις έργων FTTC ή FTTB/H των ευρωπαϊών ILEC, συμπεριλαμβανομένων των εταιριών Verizon και AT&T των ΗΠΑ.

Πίνακας 12: Μοντέλα ανάπτυξης δικτύων FTTx (ανακοινωθέντα και αναμενόμενα) για αστικές, ημιαστικές και αγροτικές περιοχές (ΠΗΓΗ: New Street Research estimates 3-2009)

	Αστικό Περιβάλλον		Ημιαστικό Περιβάλλον		Αγροτικό Περιβάλλον	
	Άμεσα	Μελλοντικά	Άμεσα	Μελλοντικά	Άμεσα	Μελλοντικά
KPN	FTTC	FTTB/H	FTTC		FTTC	?
Swisscom	FTTC	FTTB/H	FTTC	FTTB/H	?	?
Belgacom	FTTC	FTTC/B	FTTC	FTTC	?	?
DT	FTTC	FTTC/B	FTTC	FTTC	?	?
FT	FTTB/H	FTTH	FTTB/H	FTTC	FTTC?	?
TSON	FTTB/H	FTTH	FTTC	FTTC	?	?
PT	FTTC/B	FTTB/H	FTTC	FTTC	?	?
TEF	FTTC/B	FTTB/H	FTTC	FTTC	?	?
TNOR	FTTC/B	FTTB/H	FTTC	FTTC	?	?
BT	FTTC	FTTC	FTTC	FTTC	?	?
TI	FTTB	FTTB/H	FTTC	FTTC	?	?
OTE	FTTC	FTTC/B	?	?	?	?
TKA	FTTC/B	FTTC/B	?	?	?	?
Verizon	FTTB/H	FTTB/H	FTTB	FTTB	?	?
AT&T	FTTC	FTTC	FTTC	FTTC	?	?

Στη Γαλλία ο αρχικός ενθουσιασμός των CLEC Iliad και Neuf για υλοποιήσεις FTTB/H οδήγησε σε προσεγγίσεις «κοινής» υλοποίησης, όπου όλοι οι ενδιαφερόμενοι πάροχοι (FT, Iliad, Neuf και Numericable) μοιράζονται το κόστος ανάπτυξης των απαιτούμενων υποδομών. Οι λεπτομέρειες της συνεργασίας δεν έχουν πλήρως καθοριστεί και υπάρχει σημαντικό ρίσκο για όλους τους συμμετέχοντες. Το έργο αποτελεί τον θεμέλιο λίθο μιας φιλόδοξης κυβερνητικής πρωτοβουλίας με τίτλο "France Numérique 2012", που στοχεύει να προχωρήσει με υλοποιήσεις FTTB/H σε αστικές περιοχές, καλύπτοντας μέχρι το 2020 το 37% του πληθυσμού της Γαλλίας. Το έργο αυτό αποτελεί την μεγαλύτερη υλοποίηση FTTB/H, που έχει ανακοινωθεί στην Ευρώπη και το κόστος του αναμένεται να ξεπεράσει τα €11 δις.

Στην Γερμανία το FTTC+VDSL2 αποτελεί για την DT την βασική τεχνολογία NGA. Η ανάπτυξη του δικτύου ξεκίνησε το 2006 και μέχρι το τέλος του 2008 κάλυπτε περίπου το 28% των νοικοκυριών. Το έργο αντιμετώπισε προβλήματα κυρίως ρυθμιστικά, αφού η DT επιθυμούσε την επίσημη διαβεβαίωση της ρυθμιστικής αρχής για ασυλία²¹⁵ σε σχέση με την υποχρέωση για παροχή υπηρεσιών χονδρικής, με αποτέλεσμα την συνεχή ρήξη με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Επίσης, η ζήτηση υπηρεσιών TV μέσω του δικτύου της DT ήταν σχετικά μικρή, αφού η γερμανική τηλεοπτική αγορά είναι πολύ ανταγωνιστική²¹⁶, και οι συνδρομητές δεν είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν επιπλέον για επιλεγμένο τηλεοπτικό περιεχόμενο. Τα ως άνω μετρίασαν τον αρχικό ενθουσιασμό της DT και είχαν

²¹⁵ Περιγράφεται με τον όρο «regulatory holiday»

²¹⁶ Υφίστανται δίκτυα τόσο καλωδιακής όσο και δορυφορικής τηλεόρασης

σαν αποτέλεσμα να καθυστερήσουν την περαιτέρω μαζική επέκταση του δικτύου. Παράλληλα, στις περιοχές Wurzburg και Heilbronn ξεκίνησαν πιλοτικά έργα FTTB σε μοντέλο κοινής ανάπτυξης υποδομών με άλλους παρόχους, όπως η EWE και η Vodafone. Παρά ταύτα, οι υλοποιήσεις FTTB αναμένεται να είναι περιορισμένες στην Γερμανία, μη ξεπερνώντας το 3% των νοικοκυριών, ενώ οι υλοποιήσεις FTTC+VDSL2 αναμένονται να συνεχιστούν φθάνοντας το 52% των νοικοκυριών μέχρι το 2020. Οι συνολικές επενδύσεις της DT για ανάπτυξη δικτύων NGA μέχρι το 2020 αναμένεται να ξεπεράσουν τα € 5,6 δις.

Στην Ισπανία η Telefonica αναμένεται να προχωρήσει σε έργα FTTC και FTTB, σε τέτοιο βαθμό ώστε, αφενός να ανταπεξέλθει των πολιτικών πιέσεων για ανάπτυξη εθνικών υποδομών και αφετέρου να φέρει σε δύσκολη θέση τους ανταγωνιστές της, που βασίζονται στο LLU. Στην προσπάθεια αυτή έχει σύμμαχο την ρυθμιστική αρχή, η οποία έχει εξαιρέσει τις υποδομές NGA από ρυθμιστικές υποχρεώσεις, ξεσηκώνοντας αντιδράσεις τόσο από τους άλλους παρόχους όσο και από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Η Telefonica, πιθανόν να υπερεκτιμά τις προθέσεις της για υλοποιήσεις FTTx, χωρίς όμως να τρομάζει τους μετόχους της. Στα σχέδια της Telefonica περιλαμβάνονται έργα τόσο FTTC+VDSL2 όσο και FTTB, με στόχο την κάλυψη του 15% και 25% των νοικοκυριών αντίστοιχα μέχρι το 2010 και κόστος 1,0 δις€. Το πιθανότερο είναι το αποτέλεσμα να είναι μικρότερο και το κόστος σημαντικά μεγαλύτερο. Οι συνολικές επενδύσεις της Telefonica μέχρι το 2020 αναμένεται να φθάσουν τα €2,4 δις, για κάλυψη του 46% των νοικοκυριών με έργα FTTC και FTTB.

Στην Αγγλία η BT ήταν για πολλά χρόνια απρόθυμη να επενδύσει σε έργα μαζικής υλοποίησης δικτύων FTTx. Τελικά, κάτω από πολιτικές πιέσεις, η BT ανακοίνωσε το 2008 την πρόθεσή της να προχωρήσει σε επενδύσεις ύψους £1,5 δις, προκειμένου να καλύψει 10 εκατομμύρια νοικοκυριά με τεχνολογία FTTC+VDSL2 μέχρι το τέλος του 2013. Ως αντάλλαγμα εξασφάλισε καλύτερη αντιμετώπιση σε ρυθμιστικά θέματα, που σχετίζονται με το LLU και την παροχή υπηρεσιών χονδρικής από το νέο δίκτυο. Ο προβληματισμός της BT οφείλεται στο γεγονός ότι δεν φαίνεται να υπάρχει ανάγκη για υπηρεσίες FTTx στο Ηνωμένο Βασίλειο, όπου στην αγορά υπηρεσιών ψηφιακού βίντεο κυριαρχούν οι ανταγωνιστές της Sky, Freeview και Virgin Media, μέσω ασύρματης πρόσβασης. Επίσης η γεωμορφία της Μεγάλης Βρετανίας δεν είναι ευνοϊκή για ανάπτυξη οπτικών δικτύων πρόσβασης, λόγω της μικρής συγκέντρωσης πληθυσμού, τόσο σε αστικές όσο και σε ημιαστικές περιοχές. Παρά ταύτα, η διείσδυση αναμένεται να φθάσει στο 50% των νοικοκυριών μέχρι το 2020.

Στην Ιταλία, το σημαντικότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζει η TI είναι τα κυβερνητικά σχέδια για τον λειτουργικό της διαχωρισμό σε πάροχο υποδομών και πάροχο υπηρεσιών. Η προοπτική ανάπτυξης δικτύων NGA δίνει επομένως την δυνατότητα στην TI να διαπραγματευτεί καλύτερα την μελλοντική δομή της και το ιδιοκτησιακό της καθεστώς. Η TI διαθέτει ένα συμβατικό δίκτυο πρόσβασης μικρού μήκους και αρκετά εκτεταμένο δίκτυο από υποδομές σωληνώσεων (κληρονομιά από το παλαιότερο έργο SOCRATES) στις αστικές περιοχές, που παρέχουν την δυνατότητα για υλοποιήσεις FTTB και FTTC+VDSL2 με σχετικά χαμηλό κόστος. Επίσης, η μη ύπαρξη ανταγωνιστικών δικτύων καλωδιακής τηλεόρασης διασφαλίζει την δυνατότητα για υψηλή διείσδυση στην παροχή

υπηρεσιών βίντεο. Οι προβλέψεις θέλουν το NGA δίκτυο της ΤΙ να καλύπτει το 34% των νοικοκυριών με ένα μίγμα επιλογών FTTC και FTTB και κόστος €2,5 δις.

Η Belgacom αποτελεί τον ευρωπαϊό ILEC, με την πλέον ξεκάθαρη στρατηγική, με υλοποιήσεις FTTC+VDSL2, που καλύπτουν ήδη το 75% των νοικοκυριών. Έχοντας ξοδέψει ήδη € 0,6 δις, οι μελλοντικές επενδύσεις αναμένεται να είναι μικρές για την κάλυψη του 81% των νοικοκυριών μέχρι το 2020. Επίσης αναμένονται μικρής έκτασης έργα FTTB σε πυκνά αστικά περιβάλλοντα, υπό την μορφή επάλληλου δικτύου, καλύπτοντας το 12% των νοικοκυριών μέχρι το 2020.

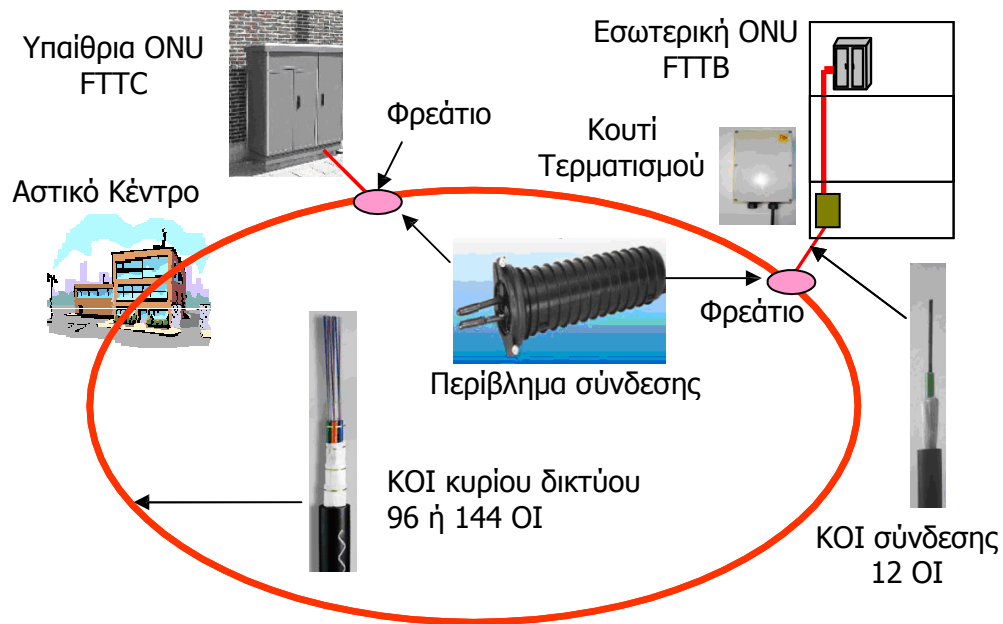
Στην Ολλανδία η KPN ξεκίνησε από το 2006, με την κάλυψη της οικείας ρυθμιστικής αρχής, την κατασκευή ενός ευρύτατου δικτύου FTTC+VDSL2 κόστους €1,4 δις, που θα παρέχει σχεδόν πλήρη κάλυψη των νοικοκυριών. Επιπρόσθετα, λόγω ανταγωνισμού με την Reggefiber και πολιτικών πιέσεων, αποφάσισε το 2008 να επενδύσει επιπλέον €1,4 δις για την δημιουργία ενός επάλληλου δικτύου FTTB, που θα μπορούσε να καλύψει μέχρι και το 60% των νοικοκυριών μέχρι το 2020.

Στην Ελβετία η Swisscom αναπτύσσει δίκτυο FTTC+VDSL2 κόστους CHF 0,65 δις, με σχεδόν πλήρη κάλυψη των νοικοκυριών. Επομένως, η πρόσφατη ανακοίνωση σχεδίων της εταιρίας για ανάπτυξη επάλληλου δικτύου FTTB με προϋπολογισμό κόστους CHF 2.8 δις και στόχο την κάλυψη 1 εκατομμυρίου νοικοκυριών (περίπου 30%) μέχρι το 2015, μπορεί να θεωρηθεί μάλλον ως μεθόδευση, προκειμένου να εντυπωσιάσει τους πολιτικούς και την ρυθμιστική αρχή και να τρομάξει τους ανταγωνιστές της.

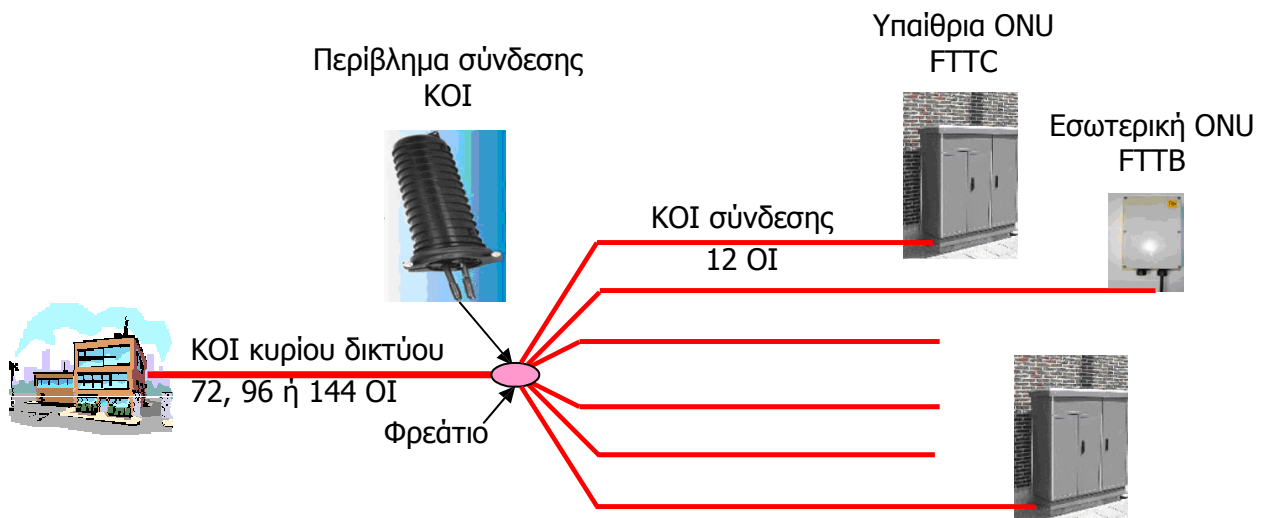
7.3 Αρχιτεκτονικές υλοποίησης δικτύων FTTx

Στο σχήμα 42 παρουσιάζεται η παραδοσιακή ανάπτυξη του οπτικού δικτύου πρόσβασης την περίοδο 1990-2000. Βασιζόταν σε ένα οπτικό καλώδιο μεγάλης χωρητικότητας (96 έως 144 ΟΙ) σε δενδροειδή τοπολογία ή τοπολογία δακτυλίου γύρω από το αστικό κέντρο. Σε κομβικά σημεία, το καλώδιο αυτό διακλαδίζεται σε ΚΟΙ μικρότερης χωρητικότητας καλύπτοντας το σύνολο της γεωγραφικής περιοχής του αστικού κέντρου. Η σύνδεση του καλωδίου με τις ΟΝΥ (υπαίθριες – FTTC ή εσωτερικού χώρου – FTTB) γίνεται με καλώδιο-ουρά 12 ΟΙ, ενώ οι συνδέσεις των ινών γίνονται σε περιβλήματα συνδέσεων, που τοποθετούνται σε φρεάτια.

Αντίθετα, σε νεότερα έργα NGA προτιμάται αποκλειστικά η δενδροειδής φυσική τοπολογία ανάπτυξης (χωρίς προστασία), με σημεία συγκέντρωσης ενεργού ή παθητικού εξοπλισμού σε αστεροειδή διάταξη, όπως περιγράφεται ενδεικτικά στο σχήμα 43.



Σχήμα 42 Παραδοσιακή αρχιτεκτονική υλοποίησης δικτύων FTTC/FTTB.



Σχήμα 43 Νεότερη αρχιτεκτονική υλοποίησης δικτύων FTTC/FTTB.

Ανεξάρτητα από την τεχνική λύση FTTx, που επιλέγεται για την εισαγωγή οπτικών ινών στο δίκτυο πρόσβασης, είναι γενικότερα αποδεκτό ότι, σε βάθος χρόνου, το νέο δίκτυο πρόσβασης θα είναι αμιγώς οπτικό. Επομένως η νέα αρχιτεκτονική υλοποίησης δικτύων FTTx θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις μελλοντικές εξελίξεις στο πεδίο δημιουργίας νέων υποδομών, βασισμένων σε μικρο-σωλήνες και πολύ-σωληνίσκους για μικρο-καλώδια και ινο-ομάδες.

7.4 Έργα FTTC

Σε αστικές περιοχές, οι υλοποιήσεις FTTC αποτελούν την πλέον κατάλληλη τεχνο-οικονομική επιλογή NGA. Με την εγκατάσταση ενεργού εξοπλισμού σε μικρές καμπίνες στη θέση των KV, δημιουργείται ένα επάλληλο κύριο δίκτυο οπτικών ινών, που συνδέει τα KV με το αστικό κέντρο. Το έργο διευκολύνεται από την αξιοποίηση των υφιστάμενων φρεατίων και σωληνώσεων κυρίου δικτύου²¹⁷, μειώνοντας σημαντικά το κόστος και τον χρόνο εγκατάστασης συμβατικών ΚΟΙ μέσω εμφύσησης. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις χρησιμοποιείται η τεχνική της μικροτάφρου, με πρόβλεψη περισσότερων σωληνώσεων και πολύ-σωληνίσκων για μελλοντική χρήση.

Για την σύνδεση του ενεργού εξοπλισμού (midiDSLAM/MSAN) με το αστικό κέντρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τοπολογία P2P ή P2MP GPON, με την τοπολογία P2P να πλεονεκτεί ως προς την διαθεσιμότητα ρυθμού πληροφορίας²¹⁸ για μελλοντικές εφαρμογές.

Δύο²¹⁹ διαφορετικές προσεγγίσεις μπορεί να εφαρμοσθούν για την ανάπτυξη ενός δικτύου NGA βασισμένου στην τεχνική FTTC. Σε αμφότερες εγκαθίσταται ενεργός εξοπλισμός στην θέση του υφιστάμενου KV, αξιοποιώντας τον καταμεμητή του δικτύου διανομής. Διαφέρουν όμως ως προς την πολυπλοκότητα της τεχνικής λύσης, την δυνατότητα για μελλοντική προοπτική, την ευελιξία, τον χρόνο υλοποίησης και το κόστος.

Στην πρώτη προσέγγιση, γνωστή ως "επέκταση καθ' ύψος", πάνω από το υφιστάμενο KV, τοποθετείται μια μικρού μεγέθους καμπίνα από αλουμίνιο με διπλό τοίχωμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 44. Το εύρος και βάθος της νέας καμπίνας ταιριάζουν απόλυτα στην άνω επιφάνεια του υφιστάμενου KV²²⁰, επιτρέποντας την ασφαλή και στιβαρή πρόσδεση των δύο καμπινών με την μικρότερο δυνατό έργο. Το ύψος της νέας καμπίνας, αν και περιορίζεται από πρακτικούς λόγους, πρέπει να είναι αρκετό²²¹ ώστε να εξασφαλίζεται ο απαιτούμενος χώρος για την εγκατάσταση του εξοπλισμού, δηλαδή: ενός mini-DSLAM μεγάλης θερμοκρασιακής αντοχής, και χωρητικότητας 2x48=96 θυρών VDSL2, της απομακρυσμένης μονάδας τηλετροφοδοσίας, ενός μικρού ODF 12 τερματισμών και μιας μονάδας διαμεριστή MDF μέχρι 96 θυρών. Οι δύο καμπίνες επικοινωνούν μέσω οπών για τη διέλευση των καλωδίων (ΚΟΙ, ζεύγη ισχύος και συνδρομητικά καλώδια VDSL2). Η χρήση τηλετροφοδοσίας από το αστικό κέντρο, μέσω περίσσειας χάλκινων ζευγών του κυρίου δικτύου, φαίνεται ως η πλέον ενδεδειγμένη λύση για λόγους απλότητας και εξοικονόμησης χώρου. Σε αντίθετη περίπτωση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά

²¹⁷ Σε αστικό περιβάλλον υπολογίζεται σε 50% έως 80%.

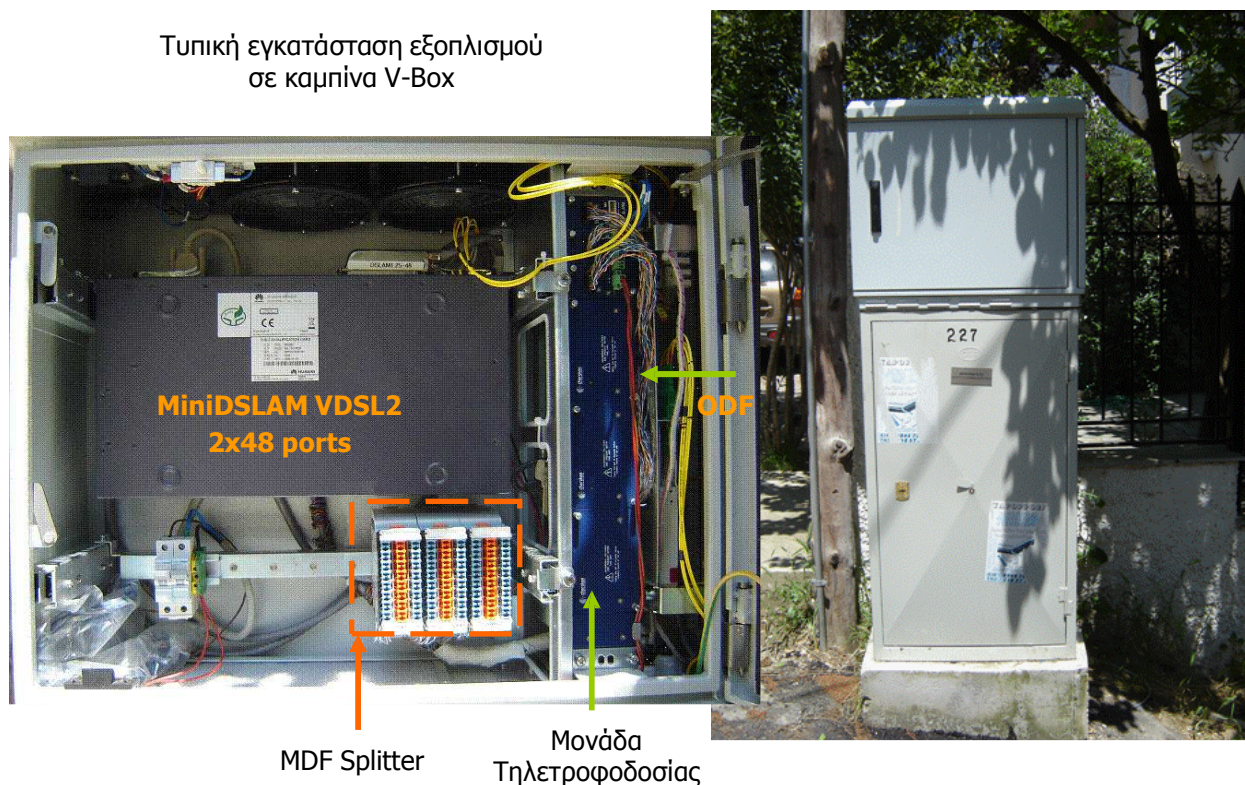
²¹⁸ Θεωρώντας GPON με διακλαδωτή 1/64 και ενεργό εξοπλισμό 300 συνδρομητών ανά καμπίνα, από τα 2,5 Gbit/s του ανερχόμενου προς το OLT σήματος θα εξυπηρετούνται μέχρι 19.200 συνδρομητές.

²¹⁹ Μπορεί να υπάρξουν περισσότερες, αλλά άποψη του συγγραφέα είναι ότι οι συγκεκριμένες είναι περισσότερο αποδοτικές με χαμηλότερο κόστος και χρόνο υλοποίησης.

²²⁰ Οι διαστάσεις αυτές επηρεάζουν άμεσα τις διαστάσεις του κατάλληλου προς εγκατάσταση εντός της καμπίνας ενεργού εξοπλισμού.

²²¹ Ένα πρόσθετο ύψος μέχρι 0,50 m θεωρείται αποδεκτό για τα υφιστάμενα KV ύψους 1,20 m.

τοπική τροφοδοσία, απαιτείται όμως πρόσθετος χώρος για την εγκατάσταση μετρητή²²² και μπαταριών αδιάλειπτης λειτουργίας²²³.



Σχήμα 44 Υλοποίηση FTTC με εγκατάσταση V-Box²²⁴ σε υφιστάμενο KV²²⁵

Η προσέγγιση με «επέκταση καθ' ύψος» των υφιστάμενων KV αποτελεί την απλούστερη δυνατή λύση για μαζική υλοποίηση με απλές σχετικά διαδικασίες²²⁶ και σε σύντομο χρόνο, υπό την προϋπόθεση ότι τα υφιστάμενα KV έχουν μεταλλικό μανδύα²²⁷ και είναι σε αρκετά καλή κατάσταση ώστε να αντέξουν με ασφάλεια το βάρος της πλήρως εξοπλισμένης καμπίνας²²⁸. Σε περίπτωση, που ο μεταλλικός μανδύας είναι σε κακή κατάσταση και απαιτείται αντικατάσταση, ο νέος μανδύας μπορεί να ενσωματώνει την «επέκταση καθ' ύψος» σε μια ενιαία, περισσότερο στιβαρή κατασκευή. Λόγω των περιορισμών, που επιβάλλονται από την τεχνική λύση ως προς τον χώρο (καμπίνα μικρών διαστάσεων) και την διαθέσιμη ισχύ (μέσω τηλε-τροφοδοσίας κάτω των 300 W²²⁹), η χωρητικότητα του ενεργού εξοπλισμού περιορίζεται, με τα σημερινά δεδομένα,

²²² Στην περίπτωση αυτή η διαμόρφωση της καμπίνας πρέπει να παρέχει την δυνατότητα για πρόσβαση στον μετρητή ηλεκτρικής ισχύος μέσω ανεξάρτητης θύρας.

²²³ Οι μπαταρίες δεν θα πρέπει να εγκαθίστανται στην επάνω καμπίνα γιατί το βάρος τους θα υψώσει το κέντρο βάρους της συνολικής κατασκευής προκαλώντας αστάθεια.

²²⁴ V-Box: Vdsl Box, όνομα τεχνικής λύσης που χρησιμοποιεί ο ΟΤΕ

²²⁵ Προέλευση: ΟΤΕ 2008 πιλοτικά έργα VDSL2

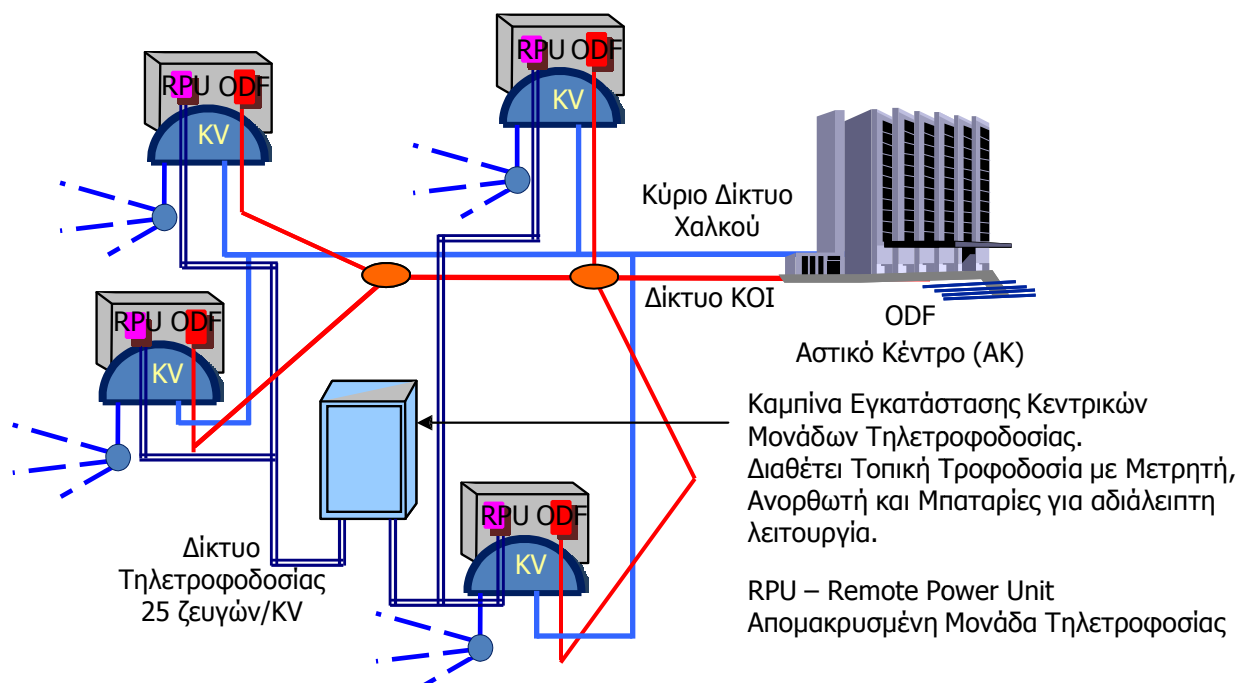
²²⁶ Δεν απαιτείται αδειοδότηση εργασιών από τον Δήμο.

²²⁷ Τα KV του ΟΤΕ είναι από λαμαρίνα και μπορούν να σηκώσουν το απαιτούμενο βάρος. Σε χώρες που χρησιμοποιούν πλαστικά KV θα πρέπει να γίνουν κατάλληλες δοκιμές αντοχής.

²²⁸ Το συνολικό βάρος της καμπίνας και του ενεργού εξοπλισμού δεν αναμένεται να ξεπερνά τα 40 kg.

²²⁹ Για τηλετροφοδοσία μέσω 25 ζευγών χαλκού με ισχύ 12 W/ζεύγος

σε λιγότερες από 100 θύρες VDSL2. Ως αποτέλεσμα, ο ενεργός εξοπλισμός δεν μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις του συνόλου των συνδρομητών, που εξυπηρετούνται από KV (συνήθως από 200 έως 300 ενεργούς συνδρομητές). Άρα η επιλογή της τεχνικής λύσης με «επέκταση καθ' ύψος» μπορεί να υιοθετηθεί μόνο στη φιλοσοφία ενός επάλληλου δικτύου, όπου οι υπηρεσίες POTS εξακολουθούν να παρέχονται από το οικείο αστικό κέντρο, ενώ ο εξοπλισμός της υπαίθριας καμπίνας παρέχει μόνο ευρυζωνικές υπηρεσίες μέσω VDSL2 σε ποσοστό μέχρι 34%²³⁰ των συνδρομητών. Ένα άλλο θέμα που σχετίζεται με την μαζική υιοθέτηση της ως άνω λύσης είναι η εξεύρεση των απαραίτητων ανενεργών ζευγών κυρίου δικτύου για την ηλεκτρική τροφοδοσία των καμπινών. Αν υποθέσουμε ότι ένα αστικό κέντρο έχει 150 KV, οι ανάγκες για την τηλετροφοδοσία των καμπινών ανέρχονται σε 3.750 ζεύγη κυρίου δικτύου, που σπάνια είναι διαθέσιμα. Ένας τρόπος επίλυσης του προβλήματος συνίσταται στην ομαδοποίηση των ενεργών KV σε μικρές ομάδες²³¹ μέχρι 6 KV και τηλετροφοδότησης κάθε ομάδας από εξοπλισμό ισχύος εγκατεστημένο σε υπαίθρια καμπίνα, όπως περιγράφεται στο σχήμα 45.



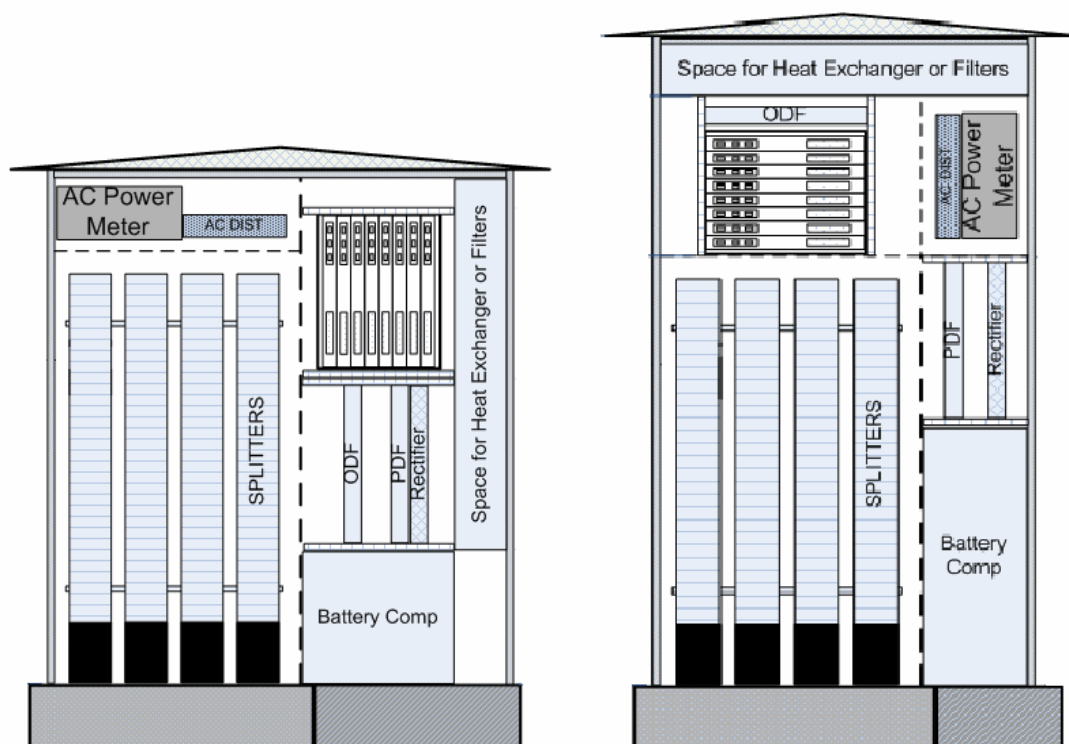
Σχήμα 45 Τηλε-τροφοδοσία ομάδας ενεργών KV από υπαίθρια καμπίνα.

Στη δεύτερη προσέγγιση, γνωστή ως «επέκταση χώρου με αντικατάσταση περιβλήματος», το περίβλημα του υφιστάμενου KV αντικαθίσταται από μια νέα μεγαλύτερη καμπίνα επαρκούς χωρητικότητας για την εγκατάσταση του ενεργού εξοπλισμού (miniDSLAM/ MSAN). Για πρακτικούς λόγους μπορεί να χρησιμοποιηθούν δύο διαφορετικοί τύποι καμπινών (ενδεικτικά παρουσιάζονται πιθανές διαμορφώσεις χώρου στο σχήμα 46), ο ένας με επέκταση κυρίως καθ' ύψος, ο άλλος κατά πλάτος. Το βάθος

²³⁰ Ο χώρος μπορεί να φιλοξενήσει και δεύτερο mini DSLAM με 96 θύρες VDSL2, και εφόσον ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις ισχύος για 600 W, η μέγιστη διείσδυση αυξάνει σε ποσοστό πάνω από 70 %.

²³¹ Βλέπε «Evolution of the telecom powering strategy: moving to a cost effective and reliable solution using remote powering”, Enrico Blondel, Rolf Rubin, Swisscom Ltd., Switzerland.

τους είναι 40 cm, έτσι ώστε η εγκατάσταση του ενεργού εξοπλισμού να γίνεται σε οριζόντια διάταξη.



Σχήμα 46 Σχέδια καμπινών για εγκατάσταση σε θέση υφιστάμενου KV με αντικατάσταση περιβλήματος. Ο κατανομητής του KV ενσωματώνεται στο κύριο διαμέρισμα της καμπίνας.

Οι νέες καμπίνες πρέπει να είναι αρκετά ευρύχωρες ώστε να φιλοξενούν τον απαραίτητο ενεργό εξοπλισμό, συνήθως ένα midiDSLAM με δυνατότητες MSAN και χωρητικότητα 300 περίπου θυρών, σύστημα τοπικής ηλεκτρικής τροφοδοσίας (με ανορθωτή, πλαίσιο διανομής, μετρητή και μπαταρίες για αδιάλειπτη λειτουργία), μονάδα ODF και διαμεριστές MDF, διατηρώντας τον κατανομητή διανομής του υφιστάμενου KV.

Η επιλογή της «επέκτασης χώρου με αντικατάσταση περιβλήματος» απαιτεί σημαντικά μεγαλύτερο κατασκευαστικό έργο (σχήμα 47), επομένως δεν ενδείκνυται για μαζική διείσδυση σε σύντομο χρόνο. Απαιτείται επίσης επέκταση της υφιστάμενης τιμμεντίας βάσης του KV κατά πλάτος μέχρι και κατά 60 cm και αδειοδότηση από την δημοτική αρχή. Αν και το συνολικό κόστος²³² της τεχνικής λύσης είναι σημαντικά μεγαλύτερο από την «επέκταση καθ' ύψος», αποτελεί μια περισσότερο ασφαλή και μακροπρόθεσμη επιλογή, αφού στην περίπτωση αυτή ο ενεργός εξοπλισμός μπορεί να εξυπηρετήσει πλήρως τις τηλεπικοινωνιακές απαιτήσεις του συνόλου των συνδρομητών²³³. Από την άποψη αυτή η καμπίνα μπορεί να ανεξαρτητοποιηθεί πλήρως από το οικείο αστικό

²³² Συμπεριλαμβανομένου του κατασκευαστικού κόστους.

²³³ Το MSAN μπορεί να εξοπλιστεί με κατάλληλες κάρτες (VDSL2, POTS, FE) ώστε να προσφέρει μια ποικιλία υπηρεσιών, ενώ μπορεί μελλοντικά να λειτουργήσει και ως GPON-OLT.

κέντρο²³⁴, επιτυγχάνοντας σύμπτυξη κέντρων σε λιγότερα σημεία μεγαλύτερης συγκέντρωσης.



Σχήμα 47 Επέκταση Χώρου με αντικατάσταση περιβλήματος υφιστάμενου KV σε έργα FTTC²³⁵.

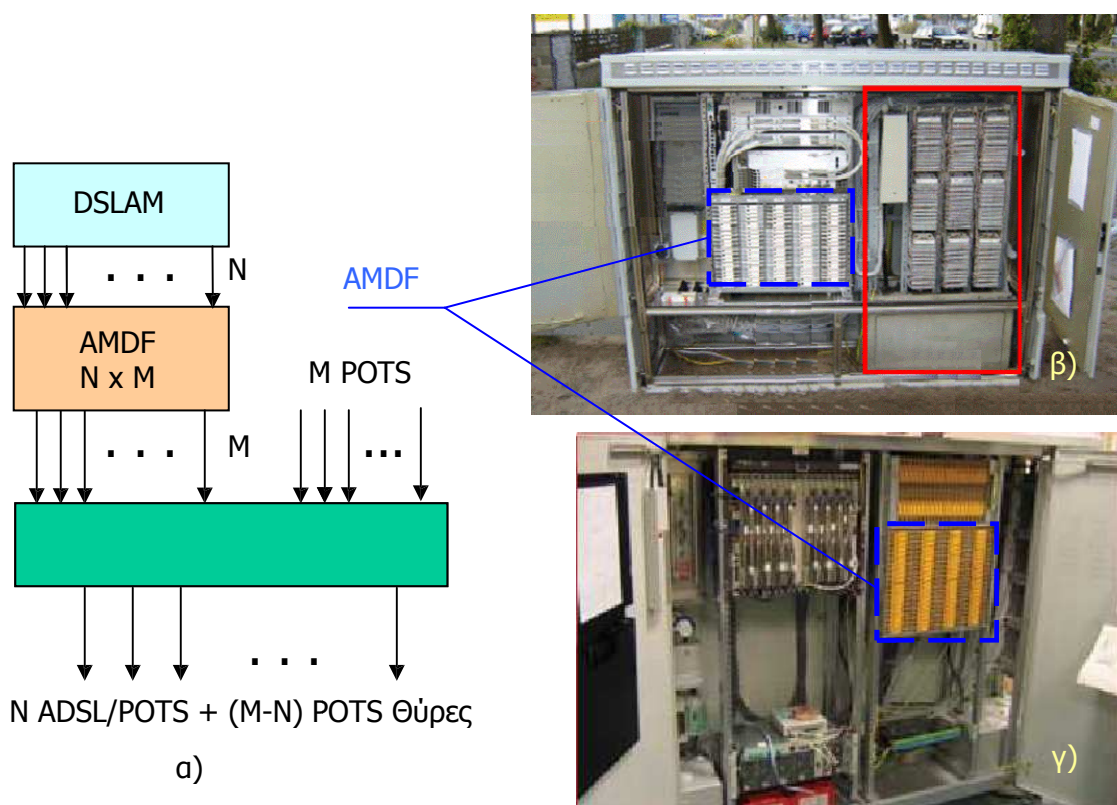
²³⁴ Σχέδια για σύμπτυξη των αστικών κέντρων μπορούν εύκολα να υλοποιηθούν οδηγώντας τους συνδρομητές των KV σε άλλο μεγαλύτερο αστικό κέντρο.

²³⁵ Πιλοτική εγκατάσταση καμπίνας τύπου G2 από ΟΤΕ στην περιοχή της Κηφισιάς – Ιούνιος 2009.

Αντίθετα η «επέκταση καθ' ύψος» αποτελεί μια χαμηλότερου κόστους τεχνική λύση για μαζική διείσδυση, με περιορισμένο όμως χρόνο ζωής δέκα περίπου ετών, που μπορεί να χρησιμεύσει ως μεταβατικό στάδιο προς υλοποιήσεις δικτύων FTTH/B.

Οι επιλογές FTTC χαρακτηρίζονται από υψηλό λειτουργικό κόστος, που σχετίζεται κυρίως με την παροχή της υπηρεσίας από την καμπίνα, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.1. Το κόστος αυτό μπορεί να μειωθεί με δύο τρόπους: α) εγκαθιστώντας στην καμπίνα έναν αυτοματοποιημένο κατανομητή (AMDF), ή β) εφαρμόζοντας την συνδεσμολογία "DSL-ready", με την ανάλογη επιβάρυνση στο κόστος του εξοπλισμού CAPEX. Σημειώνεται ότι και οι δύο λύσεις αφορούν έργα FTTC με αντικατάσταση περιβλήματος.

Το AMDF αναφέρεται σε «πλαίσιο κατανομητή αυτόματης διαχείρισης»²³⁶, μια τηλε-διαχειριζόμενη ηλεκτρομηχανική μήτρα μεταγωγής N εισόδων και M εξόδων ($M > N$), η αρχή λειτουργίας της οποίας περιγράφεται στο σχήμα 48. Είναι ογκώδες και η ανάγκη για εγκατάσταση σε μια υπαίθρια καμπίνα επηρεάζει σημαντικά τις τελικές διαστάσεις της καμπίνας (βλέπε σχήμα 48β). Έχει υψηλό κόστος, που, όταν επιμερίζεται στις θύρες που εξυπηρετεί, πλησιάζει εκείνο της DSL θύρας, ενώ υπάρχουν πληροφορίες για υποβάθμιση των παρεχόμενων υπηρεσιών VDSL2 λόγω κακής προσαρμογής στην σύνθετη αντίσταση των ζευγών του χάλκινου δικτύου διανομής²³⁷.



Σχήμα 48 α) Αρχή λειτουργίας AMDF, β) AMDF εγκατεστημένο σε καμπίνα της DT (υλοποίηση με αντικατάσταση μανδύα)²³⁸ και γ) AMDF σε καμπίνα²³⁹.

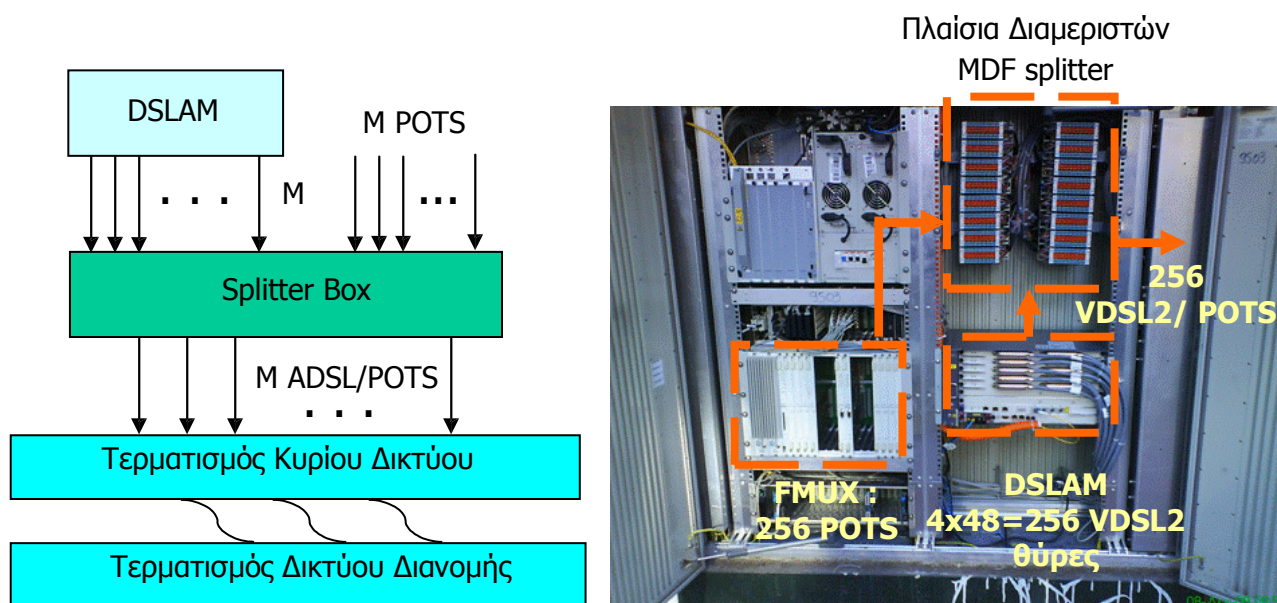
²³⁶ Απόδοση των όρων Automated Main Distribution Frame

²³⁷ Η DT πρόσφατα (2008) σταμάτησε την χρήση AMDF στο δίκτυο FTTC T-Com.

²³⁸ T-Com VDSL2 project case study, ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ: NSN

²³⁹ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ: Network Automation, OSP Magazine

Συγκριτικά, η αρχή του “DSL-ready” είναι απλούστερη και άμεσα εφαρμόσιμη. Η βασική ιδέα, που περιγράφεται στο σχήμα 49, είναι η δέσμευση μιας θύρας VDSL2 για κάθε ενεργό συνδρομητή POTS του KV. Με δεδομένο ότι η χωρητικότητα του DSLAM/MSAN καλύπτει το σύνολο των συνδρομητών του KV, είναι εύκολο να κατασκευαστεί η καλωδίωση κάθε σύνδεσης POTS με μία θύρα VDSL2/POTS διαμέσου της μονάδας διαμεριστή MDF (βλέπε σχήμα 49β). Η θύρα VDSL2 είναι αρχικά σε «ανενεργή» κατάσταση και μπορεί να ενεργοποιηθεί από το σύστημα διαχείρισης του DSLAM με την λήψη του αιτήματος για νέα σύνδεση, εξοικονομώντας χρόνο και κόστος.



Σχήμα 49 α) Περιγραφή λειτουργίας «DSL-ready», β) Συνδεσμολογία DSL-ready σε υπαίθρια καμπίνα του Οπτικού Δικτύου Πρόσβασης²⁴⁰.

7.5 Σχεδιασμός και έργα FTTB και FTTH

Οι υλοποιήσεις FTTB και FTTH ομοιάζουν μεταξύ τους ως προς την δομή του εξωτερικού δικτύου, που αγνοεί συνήθως το υφιστάμενο δίκτυο χαλκού και αναπτύσσει ένα νέο επάλληλο οπτικό δίκτυο πρόσβασης, που ξεκινά από τον κεντρικό κόμβο συγκέντρωσης (ΚΚΣ) - ενδεχομένως ταυτίζεται με το αστικό κέντρο - και φθάνει μέχρι την εισαγωγή του κτιρίου (MB-ODF), όπως αναφέρθηκε στις παραγράφους 4.2 και 4.3. Οι επιλογές FTTH επιβαρύνονται επιπλέον²⁴¹ με την ανάπτυξη του κτιριακού δικτύου, που συνδέει τα επιμέρους διαμερίσματα με το MB-ODF, όπως αναφέρθηκε λεπτομερώς στην παράγραφο 4.3. Σε κάθε περίπτωση, η διαστασιοποίηση του εξωτερικού δικτύου πρέπει να είναι η ίδια και στις δύο επιλογές, λαμβάνοντας υπόψη την προοπτική για μελλοντική εξέλιξη του FTTB σε FTTH.

Ο σχεδιασμός ενός νέου δικτύου NGA βασισμένου σε επιλογές FTTH και FTTB προϋποθέτει την λήψη αποφάσεων σε σχεδιαστικές παραμέτρους, που επηρεάζουν

²⁴⁰ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ: ΟΤΕ πιλοτικά έργα εγκατάστασης VDSL2 σε ONU

²⁴¹ Συμπεριλαμβανομένου του κόστους εγκατάστασης

άμεσα την διαστασιοποίηση της δικτυακής υποδομής. Οι επιλογές αυτές αναλύονται στις ακόλουθες παραγράφους.

7.5.1 Πλήθος ινών ανά σύνδεση.

Στις περισσότερες οπτικές ζεύξεις η εκπομπή και η λήψη γίνονται μέσω διαφορετικών ινών. Επίσης σε πολλές περιπτώσεις υπολογίζεται και ένα πρόσθετο ποσοστό, ως εφεδρεία για κάλυψη έκτακτων αναγκών, άρση βλαβών κλπ. Στο δίκτυο πρόσβασης όμως, η πυκνότητα του δικτύου, ιδιαίτερα σε επιλογές FTTH P2P, επιτάσσει την μεγαλύτερη δυνατή εξοικονόμηση ινών, επομένως η χρήση μιας οπτικής ίνας ανά ζεύξη εμφανίζεται ως η πλέον λογική επιλογή²⁴². Στην περίπτωση αυτή πρέπει να χρησιμοποιηθούν δύο μήκη κύματος ανά σύνδεση, το ανερχόμενο στα 1310 nm και το κατερχόμενο στα 1550 nm, επιβαρύνοντας, σε κάποιο βαθμό, το κόστος του ενεργού εξοπλισμού. Σε περίπτωση, που απαιτηθεί στο μέλλον η δυνατότητα παροχής στην ίδια σύνδεση συμπληρωματικών υπηρεσιών από περισσότερους φορείς, αυτή μπορεί να ικανοποιηθεί με χρήση τεχνικών CWDM, που αξιοποιούν πλήρως της δυνατότητας της ΟΙ G.652.d, με μέχρι 12 μήκη κύματος ανά ΟΙ. Είναι επίσης απαραίτητο να προβλεφθεί περίσσεια ΟΙ της τάξης του 20 % για την κάλυψη έκτακτων αναγκών ή αντικατάστασης ίνας σε περίπτωση βλάβης. Άρα η τελική απαίτηση ανέρχεται σε 1,2 ΟΙ/σύνδεση.

7.5.2 Καθορισμός δικτυακής αρχιτεκτονικής

Προτείνεται να διατηρηθεί η υφιστάμενη αρχιτεκτονική του δικτύου πρόσβασης με διαχωρισμό σε δύο τμήματα, κύριο δίκτυο και δίκτυο διανομής. Στο κύριο δίκτυο μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρο-καλώδια 72 ή 96 ΟΙ σε μικρο-σωλήνες M1 (7xΦ10/8), ενώ στο δίκτυο διανομής ινο-ομάδες έως 12 ΟΙ σε πολύ-σωληνίσκους M2 (μέχρι 24 x Φ5/3,5). Ως σημείο διεπαφής μεταξύ των δύο τμημάτων ορίζεται ο περιφερειακός κόμβος συγκέντρωσης (ΠΚΣ), που στεγάζεται σε υπαίθρια καμπίνα επί του πεζοδρομίου και αντιστοιχεί στο KV του συμβατικού δικτύου πρόσβασης.

Μια βασική επιλογή αφορά στη διάρθρωση του νέου δικτύου σε σταθερή ή αρθρωτή δομή, και επηρεάζει σημαντικά το μέγεθος και τον εξοπλισμό του ΠΚΣ.

Αν θεωρήσουμε ότι το οπτικό δίκτυο πρόσβασης αναπτύσσεται σε αστικές περιοχές, οι οποίες έχουν φθάσει σε πλήρη πληθυσμιακή κάλυψη, η επιλογή ενός σταθερού δικτύου είναι περισσότερο αποδεκτή. Διατηρώντας την υφιστάμενη διαστασιοποίηση των περίπου 300 συνδρομητών ανά KV, σε κάθε ΠΚΣ μπορεί να τερματίζονται μέχρι 3 μικρο-καλώδια των 72 ή 96 ΟΙ και μέχρι 32 σωληνίσκοι για εμφύσηση ινο-ομάδων έως 12 ΟΙ. Στην περίπτωση αυτή, ο ΠΚΣ περιλαμβάνει μόνο κασέτες σύνδεσης των ΟΙ του κυρίου δικτύου (μικρο-καλώδιο) με τις ΟΙ του δικτύου διανομής (ινο-ομάδες), με αποτέλεσμα οι ανάγκες σε χώρο να είναι σημαντικά μικρότερες, διευκολύνοντας την επιλογή του κατάλληλου χώρου εγκατάστασης.

Όταν το οπτικό δίκτυο πρόσβασης αναπτύσσεται σε περιοχές, στις οποίες η οικιστική ανάπτυξη δεν έχει πλήρως ολοκληρωθεί²⁴³ θα πρέπει να επιλεγεί η δομή αρθρωτού δικτύου, που προϋποθέτει την χρήση ODF (μαζί με κασέτες σύνδεσης) στον ΠΚΣ για τον

²⁴² Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι για ένα κέντρο 40.000 συνδέσεων, στην περίπτωση δύο ινών ανά σύνδεση πρέπει να τερματιστούν 80.000 ΟΙ, ενώ με μία ίνα ανά σύνδεση μόνο 40.000 ΟΙ.

²⁴³ Η περίπτωση αυτή αναμένεται να είναι σπάνια, αφού το κόστος ανάπτυξης στην περίπτωση αυτή είναι σημαντικά μεγαλύτερο.

τερματισμό των ΟΙ των κυρίου δικτύου και του δικτύου διανομής, αυξάνοντας τις απαιτήσεις για περισσότερο χώρο, καθώς και για καλύτερη ποιότητα περιβάλλοντος²⁴⁴.

7.5.3 Επιλογή δικτυακής τοπολογίας P2P ή P2MP

Η επιλογή της δικτυακής τοπολογίας για το νέο οπτικό δίκτυο πρόσβασης επηρεάζει σημαντικά την διαστασιοποίηση του κυρίου δικτύου και τις ανάγκες τερματισμού ΟΙ στον ΚΚΣ.

Αν έπρεπε σήμερα να σχεδιασθεί ένα νέο οπτικό δίκτυο πρόσβασης, αγνοώντας την διαμορφωμένη υφιστάμενη κατάσταση, είναι πολύ πιθανό ότι η αρχιτεκτονική του θα προσομοιάζε εκείνη του υφιστάμενου δικτύου χαλκού, υιοθετώντας μια τοπολογία P2P. Η εφαρμογή της προσέγγισης αυτής, με διατήρηση της γεωγραφικής κάλυψης των υφιστάμενων αστικών κέντρων, ως σημείων συγκέντρωσης δικτύου, προϋποθέτει την αντικατάσταση των πολύζευγων καλωδίων του κυρίου δικτύου με καλώδια ή μικροκαλώδια ΟΙ και του κύριου καταναμητή καλωδίων χαλκού (MDF) στο αστικό κέντρο από αντίστοιχης χωρητικότητας οπτικό καταναμητή (ODF).

Μια άμεση επίπτωση της δικτυακής τοπολογίας P2P σχετίζεται με το μέγεθος του κεντρικού κόμβου συγκέντρωσης των ΟΙ. Θεωρώντας ότι ένα τυπικό αστικό κέντρο εξυπηρετεί 40.000 συνδρομητές, μια υλοποίηση FTTH σε τοπολογία P2P θα απαιτούσε τον τερματισμό 48.000 ΟΙ²⁴⁵ στον ODF, που θα αντικαθιστούσε τον MDF στο αστικό κέντρο. Με δεδομένη την σημαντική διαφορά στην πυκνότητα τερματισμού μεταξύ ΚΟΙ και ίδιας χωρητικότητας καλωδίων χαλκού²⁴⁶, ο απαιτούμενος χώρος είναι κατά πολύ μεγαλύτερος (48 ODF των 1000 τερματισμών ΟΙ), ενώ οι οπτικοί τερματισμοί και τα οπτικά κορδόνια διασύνδεσης είναι περισσότερο ευαίσθητα στο χειρισμό από το σύρμα μικτονόμησης του MDF. Το υλικό του ODF απαιτεί ένα πολύ πιο καθαρό περιβάλλον (ευαισθησία σε σκόνη), ενώ τα οπτικά κορδόνια δεν μπορούν επί του παρόντος να κατασκευαστούν στο πεδίο, και πρέπει να αγοράζονται σε συγκεκριμένα μήκη, με αποτέλεσμα να απαιτείται συχνά πρόσθετος χώρος για αποθήκευση του υπερμήκους.

Μια άλλη προϋπόθεση, για επιλογές FTTH P2P, είναι η ανάπτυξη και διαχείριση υποδομών ΚΟΙ ή συγκεντρώσεων ΚΟΙ μεγάλης χωρητικότητας, αντίστοιχης με εκείνη των πολύζευγων καλωδίων του κυρίου δικτύου. Με δεδομένο ότι στο κύριο δίκτυο του ΟΤΕ χρησιμοποιούνται καλώδια μέχρι και 2.400 ζευγών, είναι δύσκολο να φανταστεί κανείς ΚΟΙ αντίστοιχης χωρητικότητας, ακόμη και αν χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία ινοταινιών σε εγκοπές, που αναφέρθηκε στην παράγραφο 6.2. Επομένως, οι υλοποιήσεις αυτές θα βασίζονται σε συγκεντρώσεις μικροκαλωδίων εντός πολλαπλών μικρο-σωλήνων M1 (7x72 =504 ή 7x96=672 ΟΙ σε κάθε M1). Για την οδήγηση 48.000 ινών σε ένα κόμβο συγκέντρωσης μέσω δύο διακριτών εισαγωγών και τεσσάρων ισοδύναμων διαδρομών, απαιτείται η δημιουργία κυρίων αξόνων με συγκεντρώσεις μέχρι 12.000 ΟΙ

²⁴⁴ Καλύτερη προστασία από υγρασία, σκόνη κλπ.

²⁴⁵ Ο υπολογισμός έχει γίνει λαμβάνοντας υπόψη μία ΟΙ ανά σύνδεση και 20% περίσσεια.

²⁴⁶ Ένας ODF μεγάλης χωρητικότητας τερματισμού 1.000 ΟΙ, μαζί με τον κατάλληλο χώρο διαχείρισης και αποθήκευσης των καλωδιακών στοιχείων έχει διαστάσεις: 90 cm x 30 cm x 220 cm (ΠxΒxΥ), ενώ μια οριολωρίδα (IDC) τερματισμού 500 ζευγών χαλκού έχει διαστάσεις: 18 cm x 15 cm x 150 cm.

(δηλαδή μέχρι και 24 M1). Οι συγκεντρώσεις αυτές θεωρούνται πολύ μεγάλες με τα σημερινά δεδομένα και η ανάγκη προστασίας τους από επεμβάσεις τρίτων οδηγεί σε μεγαλύτερη θωράκιση των υποδομών²⁴⁷ και αυξημένο κόστος υλοποίησης.

Σε κάθε περίπτωση, οι διαδικασίες και το υλικό συναρμογής των ΟΙ θα πρέπει να εξελιχθούν περαιτέρω, ώστε ο χειρισμός των ΟΙ κατά την διαδικασία άρσης βλαβών να προσομοιάζει σε απλότητα και ταχύτητα με τον χειρισμό των καλωδίων χαλκού.

Τα ανωτέρω συνηγορούν υπέρ της δημιουργίας περισσότερων, μικρότερου μεγέθους σημείων δικτυακής συγκέντρωσης στα γεωγραφικά πλαίσια ενός υφιστάμενου αστικού κέντρου. Σχετικές μελέτες²⁴⁸ υποδεικνύουν τυπικά μεγέθη σημείων δικτυακής συγκέντρωσης ως 20.000 συνδρομητικών γραμμών. Για τέτοιες συγκεντρώσεις, οι υλοποιήσεις P2P είναι απλούστερες και το κόστος υποδομής χαμηλότερο. Υπάρχει όμως σημαντική επίπτωση στο πλήθος των σημείων παρούσας, τα οποία αυξάνονται κατά 50 %, αφού ένα αστικό κέντρο των 40.000 συνδρομητών θα εξυπηρετείται πλέον από δύο κόμβους συγκέντρωσης, δημιουργώντας την ανάγκη για την εξεύρεση και αγορά νέων χώρων²⁴⁹. Μια τέτοια πολιτική είναι πάντως αντίθετη με την γενικότερη τάση για μείωση των σημείων τηλεπικοινωνιακής παρούσας και την δημιουργία μεγαλύτερων κόμβων συγκέντρωσης.

Συγκρινόμενη με την P2P, η εφαρμογή της τοπολογίας P2MP σε έργα GPON FTTH και FTTB έχει μικρότερες επιπτώσεις στη υφιστάμενη διάρθρωση του δικτύου, μειώνοντας σημαντικά το κόστος υλοποίησης της απαιτούμενης δικτυακής υποδομής. Μια σημαντική επιλογή, που επηρεάζει την μορφή του δικτύου είναι η θέση εγκατάστασης του οπτικού διακλαδωτή. Υπάρχουν δυο προφανείς επιλογές. Η πρώτη στον ΠΚΣ και η δεύτερη στην εισαγωγή του κτιρίου.

Η επιλογή της υπαίθριας καμπίνας του ΠΚΣ ως χώρου τοποθέτησης του οπτικού διακλαδωτή, όπως φαίνεται στο σχήμα 50, δεν επηρεάζει το δίκτυο διανομής, που για 288 συνδέσεις υλοποιείται με 24 σωληνίσκους διανομής για εμφύσηση ινο-ομάδων μέχρι 12 ΟΙ σε κάθε σωληνίσκο. Αν και η τεχνολογία GPON επιτρέπει διαμερισμό οπτικού σήματος 1:64, για την καλύτερη μελλοντική αξιοποίηση της υποδομής προτείνεται η χρήση οπτικού διακλαδωτή 1:32. Άρα, για την εξυπηρέτηση των 288 συνδέσεων του ΠΚΣ απαιτείται η εγκατάσταση 9 οπτικών διακλαδωτών σε κάθε καμπίνα, και οι απαιτήσεις κυρίου δικτύου ανά ΠΚΣ ανέρχονται σε $288:32=9$ ΟΙ (ΚΟΙ $12=9$). Για την κάλυψη επομένως ενός αστικού κέντρου των 40.000 συνδέσεων (με πρόσθετη περίσσεια ΟΙ ίση με 20 %) απαιτούνται 170 καμπίνες ΠΚΣ, και οι συνολικές ανάγκες κυρίου δικτύου ανέρχονται σε $12 \times 170 = 2.040$ ΟΙ, με απαιτήσεις τερματισμού στο αστικό κέντρο μόνο 2 ικριωμάτων ODF, έκαστο των 1.020 τερματισμών.

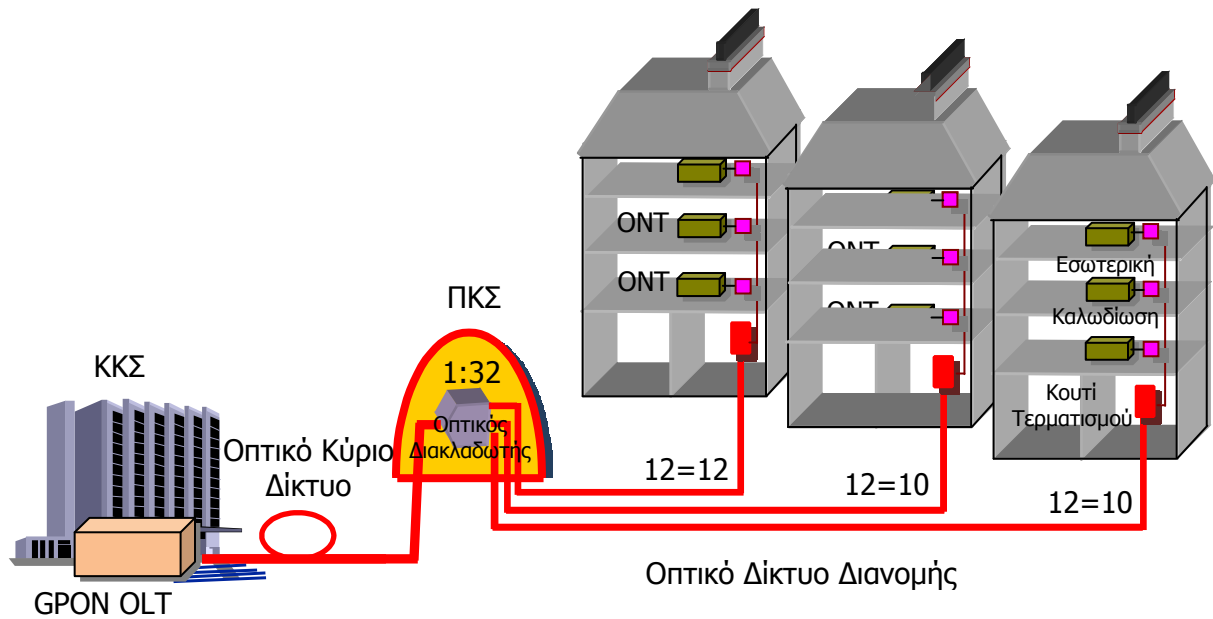
Η εγκατάσταση του οπτικού διακλαδωτή στο κουτί τερματισμού ΟΙ στην εισαγωγή κάθε κτιρίου διατηρεί την δικτυακή υποδομή ενός σωληνίσκου ανά κτίριο, επηρεάζει όμως

²⁴⁷ Μεγαλύτερο βάθος τάφρου και προστασία αντίστοιχη της στεγανής σωλήνωσης.

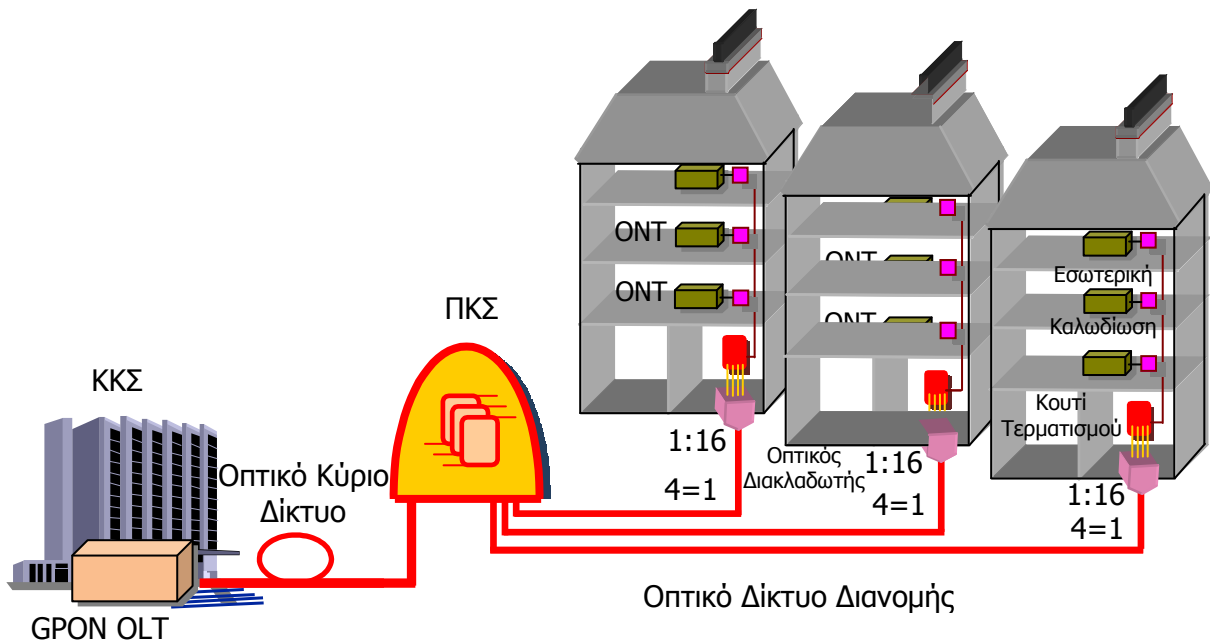
²⁴⁸ Τυπική μελέτη της AT KEEARNEY and PLANNING SA με τίτλο "Developing the Hellenic Ministry of Transport and Communications 5-year broadband strategy for Greece" – που παρουσιάστηκε στο Workshop for public discussion, 16/05/2008.

²⁴⁹ Με τις απαιτούμενες παροχές για την στέγαση και του αντίστοιχου ενεργού εξοπλισμού (π.χ. κλιματισμού, ηλεκτρικής τροφοδοσίας, μπαταριών για αδιάλειπτη λειτουργία)

σημαντικά το πλήθος των ΟΙ της ινο-ομάδας που εγκαθίσταται σε κάθε σωληνίσκο (2 ή 4), όπως φαίνεται στο σχήμα 51. Η επιλογή αυτή μπορεί να αποτελέσει και την σταδιακή μετάβαση από υλοποίηση FTTB σε FTTH.

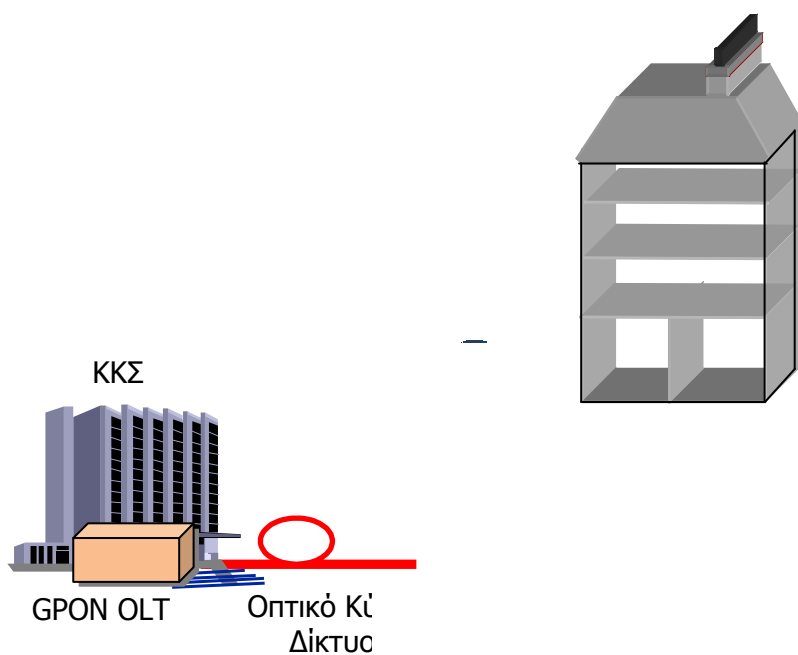


Σχήμα 50 Υλοποίηση δικτύου FTTH P2MP GPON με εγκατάσταση του οπτικού διακλαδωτή στην υπαίθρια καμπίνα του ΠΚΣ.



Σχήμα 51 Υλοποίηση δικτύου FTTH P2MP GPON με εγκατάσταση του οπτικού διακλαδωτή στην εισαγωγή του κτιρίου.

Τέλος, παρέχεται η δυνατότητα για χρήση οπικών διακλαδωτών σε περισσότερα στάδια, ένα στην καμπίνα του ΠΚΣ, με λόγο διαίρεσης 1:4, και ένα στο κουτί τερματισμού στην εισαγωγή του κτιρίου, με λόγο 1:8, όπως περιγράφεται στο σχήμα 52.



Σχήμα 52 Υλοποίηση δικτ
ένα στο ΠΚΣ (1

Στον πίνακα 13 γίνεται μι
ένα σημείο συγκέντρωση
GRPON εμφανίζονται σημ
τόσο στο εξωτερικό δίκτυ
ενδεδειγμένη επιλογή σε
επιλογή P2P Ethernet €
υπηρεσιών σε επιχειρησιαί

Πίνακας 13 Σύγκριση υλε
συγκέντρωστ

Παράμετροι Σύγκρισης
Κύριο Δίκτυο (ΟΙ)
Μέγιστη συγκέντρωση υπι
Δίκτυο Διανομής (ΟΙ)
Ικρίώματα ODF Διασύνδεσ
90cm x 30cm x 220cm
Ικρίώματα ODF Τερματισμ
90cmx30cmx220cm
Απαιτήσεις χώρου ODF στ
Απαιτήσεις ισχύος ενεργοί

ERROR: undefined
OFFENDING COMMAND: doNi

STACK: