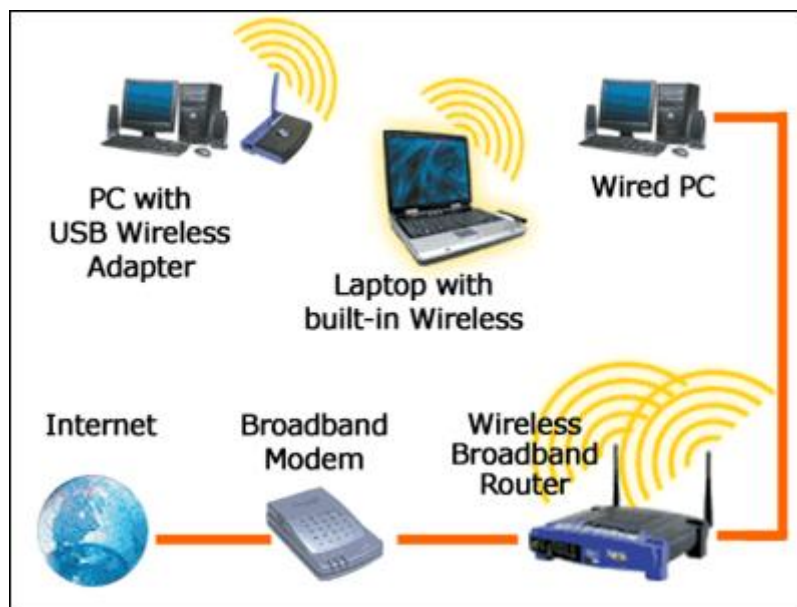


Πανεπιστήμιο Μακεδονίας  
ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα  
Δίκτυα Υπολογιστών  
Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

University of Macedonia  
Master Information Systems  
Computer Networks  
Professor: A.A. Economides

**Ανάλυση των Δικτύων Πρόσβασης και Κατανάλωση Ενέργειας.  
Access Networks Analysis and Energy Consumption.**



Αναγνωστέλλου Ειρήνη

Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2013

## Περιεχόμενα

<b>Εισαγωγή</b> .....	σελ.4
<b>Δίκτυα Πρόσβασης</b> .....	σελ.6
<b>1. Ενσύρματα Δίκτυα Πρόσβασης</b> .....	σελ.6
<b>1.1 Digital Subscriber Line (DSL)</b> .....	σελ.6
<b>1.2 Hybrid Fiber Coaxial Network (HFC)</b> .....	σελ.8
<b>1.3 Passive Optical Network (PON)</b> .....	σελ.9
<b>1.4 Active Optical Network (AON) Point-to-Point</b> .....	σελ.11
<b>1.5 Fiber to the node (FTTN) using VDSL</b> .....	σελ.12
<b>2. Ασύρματα Δίκτυα Πρόσβασης</b> .....	σελ.13
<b>2.1 Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)</b> .....	σελ.13
<b>2.2 WiMAX</b> .....	σελ.14
<b>3. Κατανάλωση Ενέργειας στα Δίκτυα Πρόσβασης</b> .....	σελ.16
<b>3.1 Μοντέλο κατανάλωσης ενέργειας</b> .....	σελ.18
<b>3.2 Εναλλακτικές περιπτώσεις μοντελοποίησης της ενέργειας</b> .....	σελ.22
<b>Συμπεράσματα</b> .....	σελ.23
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	σελ.25

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αναλυτικά η δομή και η λειτουργία των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στα ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα πρόσβασης. Τα δίκτυα που αναλύονται είναι τα DSL, HFC, PON, AON και FTTN, όσον αφορά τα ενσύρματα καθώς επίσης τα UMTS και τα μελλοντικά WiMAX, όσον αφορά τα ασύρματα. Στο τελευταίο κεφάλαιο λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά των δικτύων καθώς και τους εξοπλισμούς που χρησιμοποιούν θα εκτιμήσουμε με τη χρήση ενός μοντέλου την ενέργεια που καταναλώνουν, ένα θέμα ιδιαίτερα σημαντικό για το σύγχρονο άνθρωπο. Τέλος, ως αποτέλεσμα της εργασίας, καταγράφονται χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν τόσο την απόδοση όσο και την ενέργεια των διαφόρων δικτύων πρόσβασης.

## ABSTRACT

In this paper are presented analytically the architecture and the function of technologies that are used in wired and wireless access networks. Access networks that are displayed are DSL, HFC, PON, AON and FTTN, for wired networks, as wells as UMTS and the future WiMAX for wireless networks. In last section considering the features and equipment that is used of access networks we will try to estimate with a power consumption model the energy that they consume, a very significant issue for the contemporary human. Finally, as a result of this paper, useful conclusions are written down for the effectiveness and the energy consumption in different cases of access networks.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τότε που το διαδίκτυο έγινε ευρέως γνωστό και ξεκίνησε η συστηματική χρήση του από εκατομμύρια χρήστες ανά τον κόσμο, γεννήθηκε η ανάγκη για ευκολότερες και ταχύτερες τεχνολογίες πρόσβασης σε αυτό. Με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη της τεχνολογίας έχουν αναπτυχθεί διάφορα δίκτυα πρόσβασης τα οποία προσπαθούν να εξασφαλίσουν στους χρήστες τόσο γρήγορες ταχύτητες όσο και μεγάλες χωρητικότητες δεδομένων.

Τα δίκτυα πρόσβασης είναι οι τεχνολογίες εκείνες που συνδέουν τον τελικό χρήστη με τον κυρίως κορμό του τηλεπικοινωνιακού παρόχου. (Διακονικολάου, Αγιακάτσικα, Μπούρας, 2007). Διακρίνονται σε ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα πρόσβασης.

Τα ενσύρματα δίκτυα που θα μελετήσουμε είναι το Digital Subscriber Line (DSL) το οποίο παρέχεται μέσω των παραδοσιακών τηλεφωνικών γραμμών, δηλαδή μέσω του κλασσικού τηλεφωνικού καλωδίου που αποτελείται από ζεύγος χαλκού. Το Hybrid Fiber Coaxial Network (HFC) που είναι συνδυασμός ομοαξονικού καλωδίου και οπτικών ινών όπου το καθένα μεταφέρει διαφορετικό σήμα. Το Passive Optical Network (PON) όπου πρόκειται για παθητικά οπτικά δίκτυα, τα οποία χρησιμοποιούν διαχωριστές για να μοιράσουν το σήμα μέσω πολλών οπτικών μονάδων. Στη συνέχεια είναι τα ενεργά οπτικά δίκτυα (AON), τα οποία χρησιμοποιούν οπτικές ίνες σε Point-to-Point (PtP) σύνδεση μεταξύ του χρήστη και του τερματικού σταθμού. Τέλος είναι το Fiber to the node (FTTN) , το οποίο είναι δίκτυο που χρησιμοποιεί οπτικές ίνες μέχρι τον τερματικό σταθμό και μετά ζεύγος καλωδίων χαλκού υψηλής ταχύτητας μέχρι το χρήστη. (Baliga, Ayre, Hinton, & Tucker, 2011 ; Φετοκάκης, 2006)

Τα ασύρματα δίκτυα που θα αναλύσουμε στη συνέχεια είναι το Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) που αποτελεί την εξέλιξη των δικτύων κινητής

τηλεφωνίας και τα WiMAX τα οποία είναι τα μελλοντικά ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα.

(Baliga, Ayre, Hinton, & Tucker, 2011 ; Φετοκάκης, 2006)

Σημαντικό χαρακτηριστικό των δικτύων πρόσβασης είναι η ενέργεια που καταναλώνουν. Σκοπός της εργασίας είναι να προσδιορίσουμε αυτή την ενέργεια, για το λόγο αυτό παρουσιάζεται παρακάτω ένα ενεργειακό μοντέλο που προσομοιάζει την κατανάλωση ενέργειας του κάθε δικτύου πρόσβασης από αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τέλος θα παρουσιαστούν πίνακες συσχέτισμού και συγκρίσεως μεταξύ των διαφόρων τύπων δικτύου όσον αφορά στην κατανάλωση ενέργειας και στα διάφορα χαρακτηριστικά τους.

(Baliga, Ayre, Hinton, & Tucker, 2011)

## **Δίκτυα Πρόσβασης**

Δίκτυο πρόσβασης είναι το κομμάτι του τηλεπικοινωνιακού δικτύου το οποίο συνδέει τους χρήστες με τον κεντρικό πάροχο υπηρεσιών. (Access network , 2012)

Σε κάθε περίπτωση η αρχιτεκτονική του δομή και η λειτουργία του αλλάζει ανάλογα με τον τρόπο που συνδέεται ο χρήστης. Στα ενσύρματα δίκτυα πρόσβασης ο χρήστης συνδέεται είτε με το απλό τηλεφωνικό καλώδιο χαλκού (DSL) , είτε με συνδυασμό τηλεφωνικού καλωδίου και οπτικής ίνας (HFC, PON, AON, FTTN). Στα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης ο χρήστης συνδέεται ασύρματα στο δίκτυο έχοντας τον κατάλληλο εξοπλισμό όπως ένα WiMAX modem στα δίκτυα πρόσβασης WiMAX ή ένα κινητό τερματικό στα δίκτυα UMTS.

### **1. Ενσύρματα Δίκτυα Πρόσβασης**

#### **1.1 Digital Subscriber Line (DSL)**

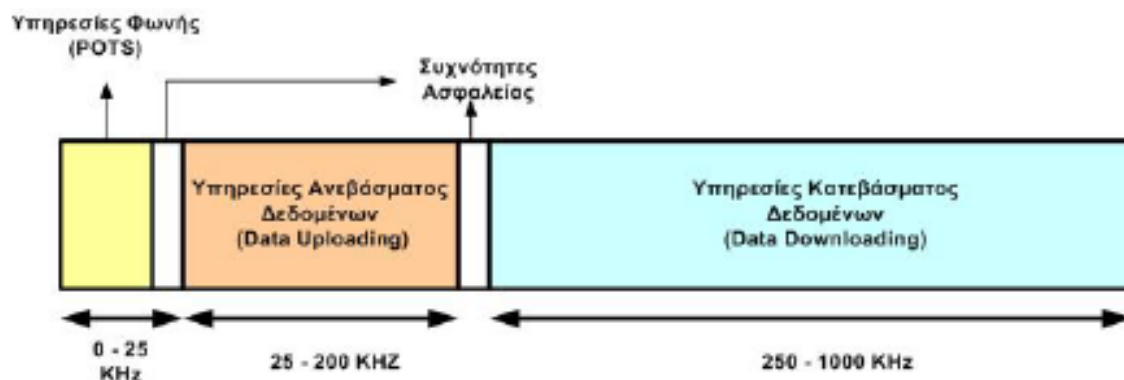
Για πολλά χρόνια το απλό χάλκινο τηλεφωνικό καλώδιο χρησιμοποιούνταν μόνο για τη μεταφορά φωνής χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η ικανότητα του για χωρητικότητα δεδομένων. Το εύρος ζώνης του χαλκού είναι αρκετά μεγάλο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες εφαρμογές όπως είναι το DSL. Το DSL που σημαίνει Digital Subscriber Line (Ψηφιακή Γραμμή Συνδρομητή) χρησιμοποιεί το υπάρχον τηλεφωνικό καλώδιο για να μεταφέρει ταυτόχρονα χαμηλές και υψηλές συχνότητες για τη μετάδοση του σήματος της φωνής και των δεδομένων αντίστοιχα. Το DSL, τοποθετώντας modem στις άκρες της γραμμής, μετατρέπει το απλό τηλεφωνικό καλώδιο σε ένα μέσο ψηφιακής επικοινωνίας. (Τηλεπικοινωνιακό Κέντρο ΑΠΘ, 2012)

Μέσω ενός αποκλειστικού ζεύγους χαλκού το modem του κάθε χρήστη συνδέεται με το πλησιέστερο τηλεφωνικό κέντρο. Με αυτή την τεχνολογία θεωρητικά παρέχεται η μέγιστη ταχύτητα των 24 Mb/sec προς το χρήστη κοντά στο κεντρικό γραφείο και 1 Mb/sec από το

χρήστη. Λαμβάνοντας όμως υπόψη την υποβάθμιση στην απόδοση που οφείλεται στο μήκος της γραμμής, στην απώλεια της γραμμής και στο θόρυβο υποθέτουμε πως τον ανώτατο όριο πρόσβασης είναι 15 Mb/sec. (Baliga, Ayre, Hinton, & Tucker, 2011)

Οι παραλλαγές του DSL είναι το ADSL, ADSL2, ADSL2+, RADSL, VDSL και VDSL2. (Φετοκάκης, 2006) Οι τεχνολογίες αυτές είναι ασύμμετρες δηλαδή επιτρέπουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης από τον πάροχο προς το χρήστη (downstream) και μικρότερο εύρος ζώνης αντίστροφα (upstream). (Asymmetric Digital Subscriber Line, 2012)

Με το ADSL το εύρος ζώνης του καλωδίου χωρίζεται σε τρία μέρη. Το εύρος 0-25 KHz χρησιμοποιείται για υπηρεσίες φωνής, το εύρος 25-200 KHz για μεταφορά δεδομένων από το χρήστη στον πάροχο (upstream) και το εύρος 250-1100 KHz χρησιμοποιείται για μεταφορά δεδομένων από τον πάροχο στον χρήστη (downstream). Για λόγους ασφαλείας από τυχόν παρεμβολές χρησιμοποιείται η διαφορά των 50 KHz. (Φετοκάκης, 2006)



**Σχήμα 1:** Το εύρος ζώνης του καλωδίου

Τέλος, οι ταχύτητες εξαρτώνται και από την απόσταση του χρήστη από τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο. Ενδεικτικά αυτές είναι:

Ταχύτητα (Mbps)	Απόσταση (km)
1.5	5.5
2.0	4.9
6.3	3.6
8.4	2.7

**Πίνακας 1:** Η ταχύτητα των δεδομένων αναλογικά με την απόσταση

## 1.2 Hybrid Fiber Coaxial (HFC)

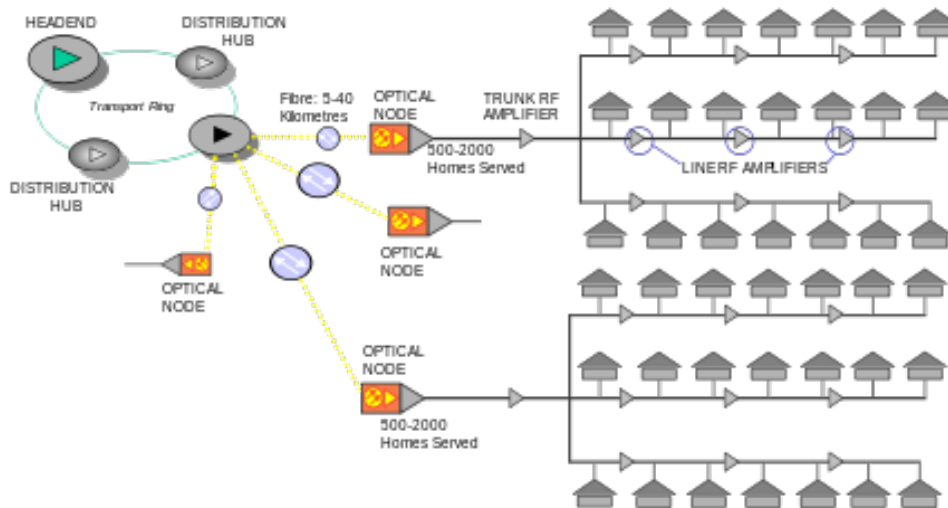
Το HFC δίκτυο είναι συνδεδεμένο έτσι ώστε να προσφέρει υπηρεσίες όπως μετάδοση βίντεο, διαδραστική τηλεόραση, δεδομένα και τηλεφωνία. Η μετάδοση των υπηρεσιών αυτών γίνεται διαμέσου οπτικών ινών από τον κεντρικό πάροχο προς τον κόμβο των ινών (fiber node) και έπειτα από τον κόμβο ινών προς το χρήστη με ομοαξονικό καλώδιο. Η περιοχή εξυπηρέτησης ενός δικτύου HFC διαφέρει από 200-2000 σπίτια ανά κόμβο. (Baliga, Ayre, Hinton, & Tucker, 2011 ; Gebru, 1997)

Η αρχιτεκτονική ενός τέτοιου δικτύου αποτελείται από μία ίνα η οποία πηγαίνει από τον κεντρικό πάροχο στον κόμβο ινών, κοντά στο σπίτι του χρήστη όπου εκεί ομοαξονικά καλώδια μεταφέρουν τις μεταδιδόμενες υπηρεσίες στους χρήστες. Κάθε κόμβος χωρίζεται σε τέσσερα μέρη, τα οποία συνδέονται με ομοαξονικό καλώδιο. Κάθε μέρος μπορεί να εξυπηρετεί 120 χρήστες, επομένως ένας κόμβος εξυπηρετεί 480 χρήστες συνολικά. (Gebru, 1997)

Το εύρος συχνοτήτων του HFC, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να μεταφέρει όλες τις υπηρεσίες, είναι 5-750 MHz. Το φάσμα συχνοτήτων από 5-40 MHz χρησιμοποιείται από το χρήστη για την αποστολή του σήματος δεδομένων και τηλεφωνία (upstream), ενώ το φάσμα από 54-750 MHz χρησιμοποιείται για μετάδοση δεδομένων από τον πάροχο (downstream). Συγκεκριμένα οι συχνότητες 54-550 MHz χρησιμοποιούνται για μετάδοση αναλογικού βίντεο, οι συχνότητες 550-700 MHz για ψηφιακό βίντεο και οι συχνότητες 700-750 MHz για



μεταφορά δεδομένων και τηλεφωνίας. Τέλος οι συχνότητες 40-54 MHz χρησιμοποιούνται ως φίλτρο για να διαχωρίσουν τα downstream και upstream βήματα. (Gebru, 1997)



**Σχήμα 2:** Η αρχιτεκτονική των υβριδικών δικτύων πρόσβασης

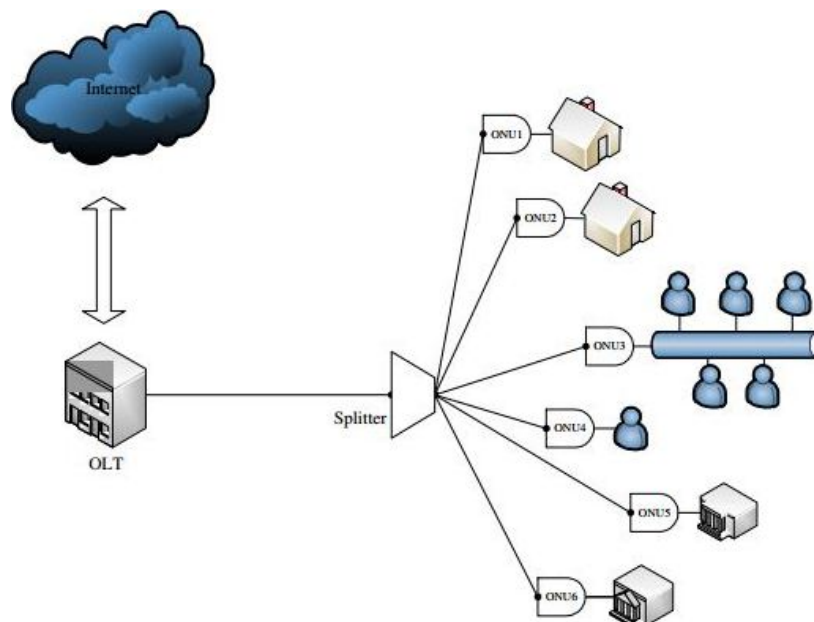
Σήμερα η τεχνολογία HFC παρέχει μεγάλο εύρος ζώνης (bandwidth) ενώ ταυτόχρονα είναι και οικονομική λύση. Μία τέτοια εγκατάσταση προσφέρει στο χρήστη 750 MHz και μπορεί να αναβαθμιστεί σε 1 GHz χωρίς αλλαγή στο καλώδιο χαλκού απλά αντικαθιστώντας τους αρχικούς ενισχυτές γραμμής. (Podlesny, 1995)

Το τελικό κόστος από ένα δίκτυο HFC, το οποίο μπορεί να εξυπηρετήσει 200-300 χρήστες είναι περίπου 125 \$ ανά χρήστη. (Podlesny, 1995)

### 1.3 Passive Optical Network (PON)

Τα PON είναι παθητικά οπτικά δίκτυα, δηλαδή δίκτυα που χρησιμοποιούν παθητικό εξοπλισμό για το διαχωρισμό του σήματος στους κόμβους διανομής. (Φετοκάκης, 2006)  
Ένα παθητικό οπτικό δίκτυο αποτελείται από έναν οπτικό τερματικό σταθμό (optical line terminal OLT) που συνήθως βρίσκεται στο κεντρικό γραφείο και από πολλαπλές οπτικές

μονάδες δικτύου (optical network units ONU) που τοποθετούνται σε μια περιοχή ενδιαφέροντος. Ο οπτικός τερματικός σταθμός αποτελεί την κύρια πύλη του PON, ενώ οι οπτικές μονάδες δικτύου παρέχουν απευθείας σύνδεση στους χρήστες. Το PON χρησιμοποιεί ένα παθητικό οπτικό διαμοιραστή (splitter) ο οποίος λαμβάνει μία κεντρική οπτική ίνα και διαμοιράζει το σήμα σε πολλές άλλες οπτικές ίνες όπου κάθε μία συνδέεται με μία οπτική μονάδα δικτύου. Αυτό γίνεται για να αποφευχθεί η ακριβής point-to-point σύνδεση και να υιοθετηθεί η point-to-multipoint σύνδεση. (Sarigiannidis, Pechlivanidou, Louta, & Angelidis, 2011)



**Σχήμα 3:** Η αρχιτεκτονική των παθητικών οπτικών δικτύων πρόσβασης

Η επικοινωνία μεταξύ των χρηστών και του κεντρικού γραφείου γίνεται με δύο τρόπους. Στη λήψη δεδομένων (downstream) ο οπτικός τερματικός σταθμός διαμοιράζει όλα τα σήματα σε όλες τις οπτικές τερματικές μονάδες οι οποίες επιλέγουν και επεξεργάζονται τα δεδομένα τα οποία έχουν σταλεί για την κάθε μία. Στην αποστολή δεδομένων (upstream) οι

οπτικές μονάδες στέλνουν δεδομένα προς τον οπτικό τερματικό σταθμό. (Sarigiannidis, Pechlivanidou, Louta, & Angelidis, 2011)

Τα PON έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα. Πρώτον, είναι αξιόπιστα και οικονομικά. Δεύτερον είναι εύκολα στη συντήρηση και τέλος είναι εύκολα αναβαθμίσιμα χωρίς σημαντικές αλλαγές στη δομή τους. (Vlachos, 2012)

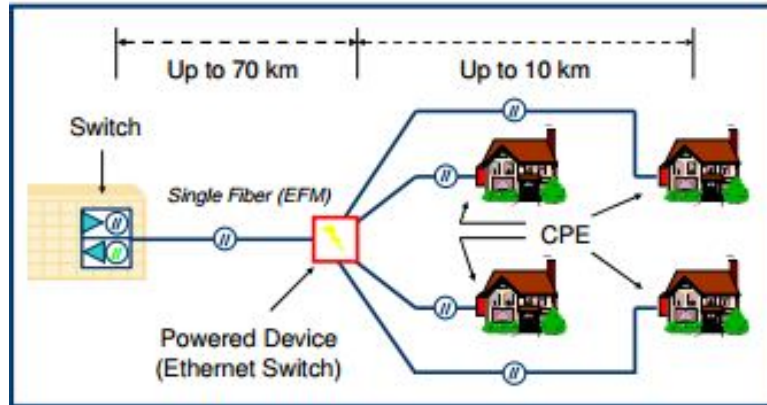
Οι διαθέσιμες τεχνολογίες για τα παθητικά οπτικά δίκτυα είναι (PON) είναι το EPON (Ethernet PON) το BPON (Broadband PON) και το GPON (Gigabit PON). Το EPON έχει μέγιστο εύρος ζώνης 1 Gbit/sec, μπορεί να εξυπηρετήσει έως 16 χρήστες με μέσο εύρος ζώνης 60 Mbit/sec ανά χρήστη και έχει το χαμηλότερο κόστος. Το BPON έχει μέγιστο εύρος ζώνης 622 Mbit/sec, μπορεί να εξυπηρετήσει 32 χρήστες με μέσο εύρος ζώνης 20 Mbit/sec ανά χρήστη και έχει χαμηλό κόστος. Τέλος, το GPON έχει μέγιστο εύρος ζώνης 2,488 Mbit/sec, μπορεί να εξυπηρετήσει 64 χρήστες με μέσο εύρος ζώνης 40 Mbit/sec ανά χρήστη και έχει μέτριο κόστος. (Effenberger et al., 2007 ; Φετοκάκης, 2006)

#### **1.4 Active Optical Network (AON)**

Τα AON (Active Optical Networks), σε αντίθεση με τα PON, χρησιμοποιούν ενεργητικό εξοπλισμό στα σημεία διανομής του σήματος. Ο εξοπλισμός αυτός, ο οποίος απαιτεί ηλεκτρική τροφοδοσία, μετατρέπει το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό και αντίστροφα αποτρέποντας έτσι την εξασθένιση του σήματος. (Φετοκάκης, 2006)

Η αρχιτεκτονική του δικτύου AON είναι ίδια με αυτή του PON έχοντας πάλι οπτικές μονάδες δικτύου για τη πρόσβαση των χρηστών στο οπτικό δίκτυο. Σε αντίθεση με τα PON δεν έχουν διαμοιραστή (splitter) έτσι ώστε από μία αρχική ίνα να διαμοιράζεται το σήμα μέσω πολλών ινών στις οπτικές μονάδες δικτύου (point to multipoint) αλλά μέσω του

ενεργητικού εξοπλισμού (Ethernet switch) πραγματοποιείται point to multipoint σύνδεση με την κάθε οπτική μονάδα δικτύου. (Φετοκάκης, 2006)



**Σχήμα 4:** Η αρχιτεκτονική των ενεργητικών οπτικών δικτύων πρόσβασης

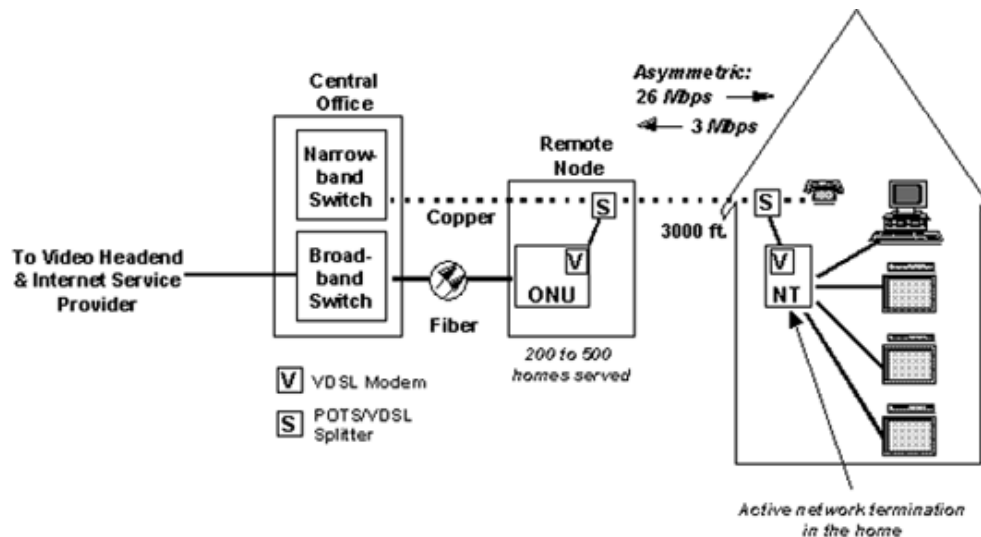
Οι point to point συνδέσεις εκτός του ότι προσφέρουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης διότι δε διαμοιράζουν το σήμα είναι και εύκολα αναβαθμίσιμες αφού οι αλλαγές επηρεάζουν το χρήστη μεμονωμένα χωρίς να απαιτούνται αλλαγές στις εγκαταστάσεις. (Φετοκάκης, 2006)

Επίσης τα AON έχουν εύρος απόστασης έως και 80 km ανεξάρτητα από τον αριθμό των χρηστών που εξυπηρετούνται. Τέλος, ο αριθμός των χρηστών εξαρτάται μόνο από τους μετατροπείς του σήματος και όχι από την υποδομή του δικτύου όπως συμβαίνει με τα PON. (Allied Telesyn, 2004)

### 1.5 Fiber to the node (FTTN) using VDSL

Το δίκτυο πρόσβασης FTTN χρησιμοποιεί και αυτό το κλασικό καλώδιο χαλκού μέσω μιας τεχνολογίας DSL. Η οπτική ίνα μεταφέρει τα δεδομένα από το κύριο δίκτυο σε ένα DSLAM στο κιβώτιο σύνδεσης δίπλα σε ένα αριθμό χρηστών οι οποίοι συνδέονται στο

internet μέσω ενός ζεύγους χαλκού χρησιμοποιώντας την τεχνολογία VDSL (very high speed DSL). Όπως και στα AON το OLT, το οποίο βρίσκεται στο κεντρικό γραφείο, συνδέεται με οπτικές ίνες με ένα Ethernet switch το οποίο δίνει το σήμα στα ONU. Η διαφορά είναι ότι τα ONU συνδέονται με τα VDSL DSLAM τερματικά, τα οποία προσφέρουν στους χρήστες μέσω VDSL πρόσβαση στο internet. (Baliga, Ayre, Hinton, & Tucker, 2011)



Σχήμα 5: Η αρχιτεκτονική των FTTN δικτύων πρόσβασης

## 2. Ασύρματα Δίκτυα Πρόσβασης

### 2.1 Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)

Η ανάγκη του σύγχρονου χρήστη της τεχνολογίας για κινητή τηλεφωνία αλλά και πρόσβαση σε υπηρεσίες του internet οδήγησε στην ανάγκη για τη δημιουργία των UMTS.

Το UMTS το οποίο είναι το παγκόσμιο σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών είναι η εξέλιξη των κινητών δεύτερης γενιάς. Ένα δίκτυο UMTS αποτελείται από το δίκτυο κορμού και από το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης. Απαραίτητος είναι ο εξοπλισμός του χρήστη ο οποίος χρησιμοποιεί ένα κινητό τερματικό για να συνδεθεί στο δίκτυο. (Φετοκάκης, 2006)

Η αποδοτικότητα των UMTS έχει αυξηθεί σημαντικά διαμέσου της οδηγίας HSDPA (high speed downlink packet access), HSUPA (high speed uplink packet access) και της HSPA+ (high speed packet access). Η τελευταία μπορεί να προσφέρει ταχύτητες των 42 Mb/sec downlink και 11 Mb/sec uplink. Σε αστικές όμως περιοχές οι ταχύτητες περιορίζονται σε 30Mb/sec downlink και 6 Mb/sec uplink. (Baliga, Ayre, Hinton, & Tucker, 2011)

## 2.2 World Wide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)

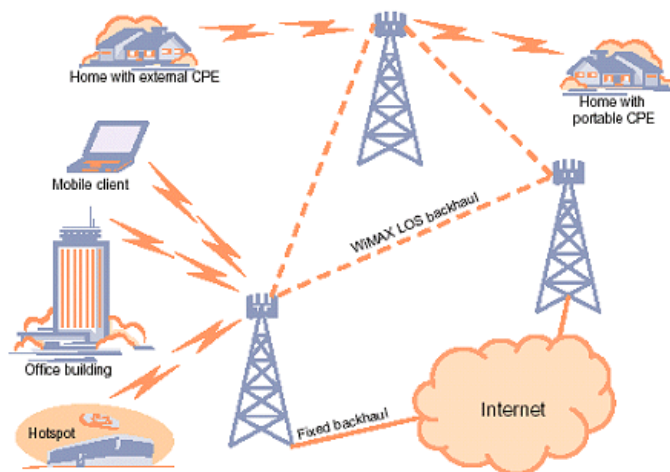
Τα τελευταία χρόνια οι ασύρματες τεχνολογίες δικτύου ακμάζουν διότι η ζήτηση για ευρυζωνικό διαδίκτυο είναι μεγάλη. (Johnston & Walker, 2004) Τα WiMAX είναι η τεχνολογία αυτή που εκτός του ότι προσφέρει ένα διαφορετικό τρόπο σύνδεσης στο δίκτυο, έχει τη δυνατότητα μεγάλης κάλυψης με χαμηλό κόστος και μεγάλης προσβασιμότητας. (Φετοκάκης, 2006)

Τα γνωστά μέχρι τώρα Wifi, τα οποία προσφέρουν ασύρματη πρόσβαση σε ένα “hot-spot” σε σύγκριση με τα WiMAX είναι πολύ μικρότερης εμβέλειας και πολύ μικρότερης προσβασιμότητας. Τα WiMAX μπορούν να καλύψουν με την εμβέλειά τους αποστάσεις μέχρι και 48,3 Km. Επίσης μπορούν να εξυπηρετήσουν από ένα μέχρι εκατοντάδες εξοπλισμούς πελατών με απεριόριστους χρήστες σε αυτούς. (Li, 2011)

Τα δίκτυα WiMAX χαρακτηρίζονται από δύο μέρη. Πρώτον, το σταθμό βάσης, ο οποίος είναι μία κεραία WiMAX που μεταφέρει τα δεδομένα στους χρήστες. Οι σταθμοί βάσης επικοινωνούν μεταξύ τους με point-to-point σύνδεση και πολλοί μαζί δημιουργούν ένα δίκτυο έτσι ώστε να μπορούν να καλύψουν μεγάλες περιοχές. Δεύτερον, το δέκτη που επικοινωνεί με το σταθμό βάσης και του παρέχεται πρόσβαση στο διαδίκτυο. Πολλοί δέκτες επικοινωνούν με κάθε σταθμό βάσης με point-to-multipoint σύνδεση. (Φετοκάκης, 2006)

Τα WiMAX μπορούν να προσφέρουν τιμές πρόσβασης μέχρι και 70 Mb/sec. Αυτό όμως σε αστικές περιοχές δεν είναι εφικτό διότι δεν υπάρχει οπτική επικοινωνία μεταξύ του χρήστη και του σταθμού βάσης και σε συνδυασμό με την αποδυνάμωση του σήματος και των παρεμβολών στο σήμα η τιμή της πρόσβασης πέφτει στο 35 Mb/sec για αποστάσεις μέχρι 7 Km. (Baliga, Ayre, Hinton, & Tucker, 2011)

Τα δίκτυα WiMAX παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η μείωση εν μέρει των δικτύων κινητής τηλεφωνίας όπου η εγκατάστασή τους αποτελεί μία οικονομικά ακριβότερη λύση. Επίσης παρέχει μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης σε μεγάλες αποστάσεις και μπορεί να καλύψει περιοχές όπου δεν είναι δυνατό να φτάσουν οι ενσύρματες τεχνολογίες όπως καλώδια χαλκού ή οπτικές ίνες. (Φετοκάκης, 2006)



**Σχήμα 6:** Η αρχιτεκτονική των WiMAX δικτύων πρόσβασης

### **3. Κατανάλωση Ενέργειας στα Δίκτυα Πρόσβασης**

Με την πάροδο του χρόνου η κατανάλωση ενέργειας των δικτύων πρόσβασης γίνεται ένα περιβαλλοντικό, πολιτικό και κοινωνικό θέμα. (Baliga, Ayre, Hinton, Sorin, & Tucker, 2009 ; Baliga, Ayre, Sorin, Hinton, & Tucker, 2008) Η διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας και ειδικά στα κέντρα δεδομένων γίνεται ολοένα και περισσότερο θέμα ανησυχίας. (Baliga, Ayre, Hinton, Sorin, & Tucker, 2009) Καθώς η ταχύτητα πρόσβασης στο internet αυξάνεται, η κατανάλωση του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την πρόσβαση στο internet αυξάνεται επίσης. (Baliga, Ayre, Sorin, Hinton, & Tucker, 2008) Επομένως, τίθεται το ζήτημα κατά πόσο το διαδίκτυο μπορεί να περιοριστεί όχι από την πυκνότητα των οπτικών και ηλεκτρονικών τεχνολογιών αλλά από την ενέργεια που καταναλώνει. (Baliga, Ayre, Hinton, Sorin, & Tucker, 2009)

Το ενεργειακό κόστος σε ηλεκτρισμό που χρειάζεται για να τροφοδοτήσει το δίκτυο αυξάνεται όσο ο αριθμός των δεδομένων αυξάνεται. Η κατανάλωση ενέργειας και η πυκνότητα της ενέργειας είναι ήδη σημαντικό θέμα στο σχεδιασμό και την υλοποίηση των κέντρων δεδομένων και των servers. Έτσι καθώς η χωρητικότητα και η χρήση του internet επεκτείνεται η κατανάλωση ενέργειας έχει γίνει κυρίαρχο θέμα στις τηλεπικοινωνιακές εταιρίες ιδιαίτερα στις περιοχές που έχουν τοποθετηθεί μεγάλοι διαμοιραστές (router). Αυτοί οι διαμοιραστές καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας και παράγουν μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας. Για το λόγο αυτό οι διαχειριστές των δικτύων δίνουν μεγάλη προσοχή στην ενέργεια που καταναλώνεται από τους εξοπλισμούς των δικτύων και αποσκοπούν στη μείωση του ενεργειακού κόστους. (Tucker, Parthhiban, Baliga, Hinton, Ayre, & Sorin, 2009)

Ένα χρήσιμο μέτρο για την αποδοτικότητα της ενέργειας σε όλο το δίκτυο ή σε μέρος του δικτύου είναι η ενέργεια που χρειάζεται έτσι ώστε να μεταφερθεί ένα bit από δεδομένα



δια μέσου του δικτύου. Η κατανάλωση ενέργειας ανά bit είναι η κατανάλωση ισχύος διαιρεμένη με την τιμή χωρητικότητας σε bit του δικτύου. (Tucker, Parthhiban, Baliga, Hinton, Ayre, & Sorin, 2009)

Συγκεκριμένα, για τιμές πάνω από 100 Mb/sec η υποδομή του PON καταναλώνει τη λιγότερη ενέργεια από τα δίκτυα πρόσβασης τα οποία παρουσιάζονται εδώ. Το PtP Ethernet είναι η αμέσως χαμηλότερη κατανάλωση και ακολουθεί το FTTN. Το FTTN καταναλώνει περισσότερη ενέργεια λόγω της ενέργειας που χρειάζεται για να τροφοδοτηθεί ο εξοπλισμός στα node cabinets. Τα WIMAX καταναλώνουν την περισσότερη ενέργεια από όλα τα δίκτυα πρόσβασης. (Tucker, Parthhiban, Baliga, Hinton, Ayre, & Sorin, 2009)

Η κατανάλωση ενέργειας στον κορμό του δικτύου είναι σημαντική όταν ο αριθμός της μέσης πρόσβασης αυξάνεται πάνω από 4 Mb/sec. Σε χαμηλές τιμές πρόσβασης η συνολική ενέργεια ανά bit μειώνεται με αύξηση της τιμής πρόσβασης. Αυτό συμβαίνει γιατί η κατανάλωση ισχύος στο δίκτυο πρόσβασης υπερέχει της κατανάλωσης ισχύος σε χαμηλές τιμές bit και αυτή η κατανάλωση ισχύος είναι ανεξάρτητη της τιμής πρόσβασης. Σε υψηλές τιμές πρόσβασης ο κορμός του δικτύου επικρατεί και η ενέργεια ανά bit προσεγγίζει το 1  $\mu$ J. Η κατανάλωση ενέργειας στους κύριους διαμοιραστές (core routers) υπερτερεί της ενέργειας στον κορμό του δικτύου. Η ενέργεια ανά bit που καταναλώνεται στις WDM/SDH συνδέσεις προσεγγίζει το 0,1  $\mu$ J. (Tucker, Parthhiban, Baliga, Hinton, Ayre, & Sorin, 2009)

Η αποδοτικότητα της ενέργειας στους κυρίως διαμοιραστές βελτιώνεται με τα χρόνια και περιμένουμε ότι η αποδοτικότητα των routers θα συνεχίσει να βελτιώνεται στο μέλλον. (Tucker, Parthhiban, Baliga, Hinton, Ayre, & Sorin, 2009)

### 3.1 Μοντέλο κατανάλωσης ενέργειας

Η κατανάλωση ενέργειας από το κάθε δίκτυο πρόσβασης μπορεί να χωριστεί σε τρία μέρη. Η κατανάλωση ενέργειας στον εξοπλισμό του πελάτη (modem), στο remote node και στον τερματικό σταθμό ο οποίος βρίσκεται στο κεντρικό γραφείο. Η ανά πελάτη κατανάλωση μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση

$$P_A = P_{CPE} + \frac{P_{RN}}{N_{RN}} + 1.5 \frac{P_{TU}}{N_{TU}}$$

Όπου:  $P_{CPE}$  είναι η ενέργεια που καταναλώνει ο εξοπλισμός του χρήστη

$P_{RN}$  είναι η ενέργεια που καταναλώνει το remote node

$P_{TU}$  είναι η ενέργεια που καταναλώνει ο τερματικός σταθμός

$N_{RN}$  είναι ο αριθμός χρηστών που μοιράζονται ένα remote node

$N_{TU}$  είναι ο αριθμός χρηστών που μοιράζονται ένα τερματικό σταθμό

Στον τελευταίο όρο του δεξιού μέρους της εξίσωσης συμπεριλαμβάνεται ο πολλαπλασιαστής 1,5 για να μετρήσουμε επιπλέον κατανάλωση όπως επιπλέον ενίσχυση ισχύος, απώλεια ηλεκτρικής ενέργειας και εξοπλισμός ψύξης στα κτίρια που εδρεύουν οι τερματικοί σταθμοί. Ο εξοπλισμός στο remote node και στον πελάτη ψύχονται φυσικά από το περιβάλλον.

(Baliga, Ayre, Hinton, & Tucker, 2011)

Στο σημείο αυτό για να υπολογίσουμε την ενέργεια που καταναλώνει το κάθε δίκτυο πρόσβασης θα προχωρήσουμε σε κάποιες παραδοχές για το κάθε ένα δίκτυο.

- **DSL:** στο DSL κάθε modem συνδέεται δια μέσου ενός ζεύγους χαλκού με το DSLAM (DSL access multiplexer) στο πλησιέστερο κεντρικό γραφείο. Θεωρούμε ένα τυπικό DSLAM το οποίο έχει τη δυνατότητα να εξυπηρετήσει 1008 πελάτες έχοντας δυνατότητα χωρητικότητας 2 Gb/sec και καταναλώνει 1,7 KW. Το modem του πελάτη καταναλώνει 5 W.

- **HFC:** στα δίκτυα HFC συμπεριλαμβάνουμε πρώτον τον head-end εξοπλισμό όπου οι μεταφορείς του σήματος συνδυάζονται σε ένα broadband network platform (BNP) δηλαδή σε μία πλατφόρμα ευρυζωνικού δικτύου. Τον εξοπλισμό του node που μετατρέπει το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό. Επίσης ένα δίκτυο από splitters έτσι ώστε το κάθε node να υποστηρίζει έναν αριθμό πελατών. Τέλος, τον εξοπλισμό του κάθε πελάτη.

Το BNP καταναλώνει 620 W ενώ εξυπηρετεί έως 4 nodes. Αυτά τα 4 nodes μαζί καταναλώνουν 256 W. Οι ενισχυτές γραμμής καταναλώνουν 35 W ο καθένας. Με βάση τον αριθμό των συνδρομητών για κάθε υπηρεσία στο δίκτυο ενός παρόχου διαθέτουμε το 40% της κατανάλωσης ενέργειας του εξοπλισμού για την υποστήριξη πρόσβασης στο internet. Στην παρούσα φάση δεν λαμβάνουμε υπόψη την ενέργεια που καταναλώνει ο εξοπλισμός του κάθε πελάτη.

- **PON:** θα μελετήσουμε ένα GPON το οποίο παρέχει συμμετρικά 2,4 Gb/sec downstream και 1,2 Gb/sec upstream από το ONU στο OLT. Ο εξοπλισμός του OLT μπορεί να υποστηρίξει 32 γραμμές GPON (1024 πελάτες), έχει χωρητικότητα 16 Gb/sec και καταναλώνει 1,34 KW. Ο splitter που διαμοιράζει το σήμα στα ONU δε χρειάζεται τροφοδότηση ενέργειας. Το ONU αντλεί 5 W.
- **AON:** ένας τυπικός εξοπλισμός σε ένα κεντρικό γραφείο περιλαμβάνει ένα Ethernet switch το οποίο υποστηρίζει 116 Gb γραμμές, έχει 64 Gb/sec χωρητικότητα και καταναλώνει 474 W. Ο εξοπλισμός του πελάτη είναι ένας μετατροπέας είναι ένας μετατροπέας οπτικών μέσων (OMC) ο οποίος μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα και το οπτικό και καταναλώνει 4 W.
- **FTTN:** στο FTTN δίκτυο χρησιμοποιώντας VDSL το remote node περιέχει ένα VDSL DSLAM που επικοινωνεί με κάποια σπίτια. Μία γραμμή VDSL υποστηρίζει 16 πελάτες και καταναλώνει περίπου 42 W. Το ONU που συνδέει το VDSL DSLAM

με το OLT στο κεντρικό γραφείο καταναλώνει 5 W. Το modem του πελάτη καταναλώνει 10 W. Το Ethernet switch έχει 116 οπτικές Gb γραμμές, με 64 Gb/sec χωρητικότητα και καταναλώνει 474 W.

- **UMTS:** θεωρούμε έναν τυπικό σταθμό βάσης που καταναλώνει 1,5 KW. Το modem του κάθε χρήστη είναι ένα USB modem που καταναλώνει λιγότερο από 2 W.
- **WiMAX:** για να υπολογίσουμε την ενέργεια στα WiMAX θεωρούμε ότι ο σταθμός βάσης επικοινωνεί χρησιμοποιώντας point-to-point σύνδεση με ένα Ethernet switch. Επίσης ο σταθμός βάσης διαθέτει διπλή κεραία με τρεις τομείς και ενισχυτές σήματος. Κάθε τομέας προσφέρει 35 Mb/sec σε όλους τους χρήστες του τομέα και τελικά ο σταθμός βάσης καταναλώνει 1330W. Ο εξοπλισμός του κάθε χρήστη μπορεί να είναι ένα ξεχωριστό modem. Τα ξεχωριστά modem προσφέρουν καλύτερη πρόσβαση αλλά καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια. Θεωρούμε ότι ένα modem καταναλώνει 5 W. (Baliga, Ayre, Hinton, & Tucker, 2011)

Στα WiMAX μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μεθόδους για να εξοικονομήσουμε ενέργεια. Αυτό που είναι δυνατό, είναι να χρησιμοποιήσουμε στους κινητούς σταθμούς (δηλαδή τις συσκευές όπως κινητά κτλ που συνδέονται μέσω WiMAX) sleep modes όπου μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας. (Iseda, Tsuruoka, & Kato, n.d.)

Ο παρακάτω πίνακας απεικονίζει τους τύπους των εξοπλισμών των διαφόρων δικτύων που χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση της κατανάλωσης της ενέργειας.

	Terminal unit	Remote node	Customer premises equipment
ADSL	Alcatel Stinger FS+	N/A	D-Link DSL502
HFC	Motorola GX2	Motorola SG4000 Quad Node Motorola BLE100 RF Amplifier	Motorola SB6120
PON	Hitachi 1220	N/A	Wave7 ONT-G1000i
FTTN	Hitachi 1220	NEC AM3160	NEC VF200F6
PtP	Cisco 4503	N/A	TC Communications TC3300
WiMAX	Cisco 4503	Motorola WAP 450 Series	Alvarion BreezeMAX USB 200 Zyxel MAX-200M1
UMTS	Cisco 4503	Motorola Horizon 3G-nx	Sierra Wireless AirCard USB 306

**Πίνακας 2:** Τύποι εξοπλισμών των δικτύων πρόσβασης

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει την κατανάλωση ενέργειας του τερματικού σταθμού  $P_{TU}$  του remote node  $P_{RN}$  και του εξοπλισμού του χρήστη  $P_{CPE}$  ανάλογα με το δίκτυο πρόσβασης. Επίσης δείχνει το πλήθος των τερματικών σταθμών  $N_{TU}$  και των remote node  $N_{RN}$  ανάλογα με το δίκτυο πρόσβασης. Τέλος μας δίνει τις ταχύτητες και τη χωρητικότητα των τεχνολογιών που αναφέρθηκαν παραπάνω. (Baliga, Ayre, Hinton, & Tucker, 2011)

	$P_{TU}$ (kW)	$N_{TU}$	$P_{RN}$ (W)	$N_{RN}$	$P_{CPE}$ (W)	Technology limit	Per-user capacity
ADSL	1.7	1008	N/A	N/A	5	15 Mb/s	2 Mb/s
HFC	0.62	480	571	120	6.5	100 Mb/s	0.3 Mb/s
PON	1.34	1024	0	32	5	2.4 Gb/s	16 Mb/s
FTTN	0.47	1792	47	16	10	50 Mb/s	2 Mb/s
PtP	0.47	110	N/A	N/A	4	1 Gb/s	55 Mb/s
WiMAX	0.47	24400	1330	420	5	22 Mb/s	0.25 Mb/s
UMTS	0.47	15300	1500	264	2	20 Mb/s	0.25 Mb/s

**Πίνακας 3:** Τα χαρακτηριστικά των δικτύων πρόσβασης

### 3.2 Εναλλακτικές περιπτώσεις μοντελοποίησης της ενέργειας

#### *Περίπτωση 1<sup>η</sup>*

Ενδιαφέρουσα περίπτωση είναι ένα μοντέλο το οποίο αναφέρει ότι η ενέργεια σε ένα δίκτυο μπορεί να υπολογιστεί από το χρόνο στον οποίο το δίκτυο βρίσκεται σε ενεργή ή αδρανή κατάσταση. Ένα κομμάτι του δικτύου είναι ενεργό όταν υπάρχει κίνηση εισερχόμενων και εξερχόμενων δεδομένων. Αντίθετα είναι αδρανές όταν δεν υπάρχει κίνηση δεδομένων. Οπότε η κατανάλωση ενέργειας σε αυτό το κομμάτι του δικτύου δίνεται από τη σχέση

$$E = p_a T_a + p_i T_i$$

Όπου:  $p_a$  είναι η ενέργεια που καταναλώνει σε ενεργή κατάσταση

$p_i$  είναι η ενέργεια που καταναλώνει σε αδρανή κατάσταση

$T_a$  είναι ο χρόνος παραμονής σε ενεργή κατάσταση

$T_i$  είναι ο χρόνος παραμονής σε αδρανή κατάσταση

(Nedevschi, Popa, Iannaccone, Ratnasamy, & Wetherall, 2008)

#### *Περίπτωση 2<sup>η</sup>*

Ένα άλλο μοντέλο κατανάλωσης ενέργειας το οποίο αφορά ασύρματα δίκτυα είναι το μοντέλο κατανάλωσης ανά πακέτο δεδομένων. Σε αυτή την περίπτωση η ενέργεια καταναλώνεται από το δίκτυο όταν ένας χρήστης στέλνει, λαμβάνει ή απορρίπτει ένα πακέτο δεδομένων. Το μοντέλο αυτό είναι μία γραμμική σχέση η οποία εκφράζεται ως εξής

$$Energy = m * size + b$$

Όπου: size είναι το μέγεθος του πακέτου δεδομένων

Πειραματικά αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την ακρίβεια του γραμμικού μοντέλου και χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν τιμές στους γραμμικούς συντελεστές m και b για διάφορες λειτουργίες. (Feeney & Nilsson, 2001)

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν οι αρχιτεκτονικές δομές των διαφόρων δικτύων ενσύρματων και ασύρματων καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά τους όπως ταχύτητα και χωρητικότητα. Επιπρόσθετα παρουσιάστηκε η κατανάλωση ενέργειας αυτών των δικτύων όσον αφορά τα διάφορα μέρη τους και τους εξοπλισμούς που χρησιμοποιούν.

Το κάθε ένα δίκτυο πρόσβασης παρουσιάζει ξεχωριστό ενδιαφέρον και έχει τις δικές του ιδιαιτερότητες. Ξεκινώντας από το DSL, το οποίο είναι το πιο διαδεδομένο στην καθημερινή μας ζωή, είναι αξιοθαύμαστο το πώς ένα απλό τηλεφωνικό καλώδιο μπορεί να μας προσφέρει τόσες υπηρεσίες. Για πολλά χρόνια δε γνωρίζαμε ότι εκτός από τις υπηρεσίες φωνής ο χαλκός μπορούσε να προσφέρει μεγάλο εύρος ζώνης και επιπλέον χρησιμοποιώντας τις τεχνολογίες ADSL2+ και VDSL πολύ μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων.

Η επανάσταση στα δίκτυα πρόσβασης ήρθε όταν εμφανίστηκαν οι οπτικές ίνες. Πληθώρα δικτύων χρησιμοποιούν οπτικές ίνες είτε εξ ολοκλήρου είτε εν μέρει και εκμεταλλεύονται τις τεράστιες δυνατότητες που έχουν. Τα δίκτυα που χρησιμοποιούν οπτικές ίνες και παρουσιάστηκαν εδώ είναι τα παθητικά οπτικά δίκτυα, τα ενεργητικά οπτικά δίκτυα, τα υβριδικά δίκτυα και τα δίκτυα όπου οι οπτικές ίνες φτάνουν μέχρι το node κοντά στον πελάτη. Τα δίκτυα αυτά έχουν παρόμοιες αρχιτεκτονικές δομές και παρουσιάζουν πολλά κοινά.

Από τα δίκτυα που μελετήσαμε παραπάνω τα πιο αποδοτικά αλλά και πιο οικονομικά ενεργειακά είναι τα παθητικά οπτικά δίκτυα. Συγκεκριμένα με ένα GPON μπορούμε να έχουμε μεγάλες ταχύτητες πρόσβασης στο διαδίκτυο και μικρή κατανάλωση ενέργειας, δεδομένου ότι ο splitter που χρησιμοποιείται για να διαμοιράσει το σήμα στα ONUs δεν καταναλώνει ενέργεια. Σε αντίθεση με τα PON στα AON το Ethernet switch το οποίο χρησιμοποιεί point-to-point σύνδεση στα ONUs καταναλώνει 474 W.

Όσον αφορά στα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης δε μπορούμε να πούμε ότι είναι ιδιαίτερα οικονομικά στην ενέργεια που καταναλώνουν, αν και υπάρχουν τεχνικές με τις οποίες μπορούμε να μειώνουμε την κατανάλωση ενέργειας όπως το sleep mode στα WiMAX, παρόλα αυτά είναι πολύ σημαντικές οι καινοτομίες και οι ευκολίες που φέρνουν στην αγορά της ευρυζωνικότητας.

Με τα WiMAX μπορεί να καλυφθεί μια ολόκληρη πόλη και ο κάθε χρήστης να έχει ασύρματη πρόσβαση στο δίκτυο μόνο με ένα WiMAX modem. Αυτό είναι πολύ σημαντικό και για τις περιοχές όπου οι ενσύρματες τεχνολογίες είναι πρακτικά αδύνατο να φτάσουν. Επίσης, τα WiMAX προσφέρουν γρήγορες ταχύτητες εύκολα και πάνω απ' όλα ασύρματα.

Όσον αφορά στα UMTS, τα οποία είναι η εξέλιξη των κινητών δικτύων, φέρνουν την επανάσταση στα κινητά δίκτυα πρόσβασης διότι μπορούν να παρέχουν γρήγορη πρόσβαση στο διαδίκτυο και μάλιστα εν κινήσει.

Τέλος, παρουσιάστηκαν τρία μοντέλα τα οποία προσομοιώνουν την κατανάλωση ενέργειας. Δε μπορούμε να πούμε με σιγουριά το πόσο ακριβοί είναι αλλά σίγουρα μπορούν να δώσουν μία πρώτη εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας είτε σε όλο το δίκτυο είτε σε μέρος αυτού. Η συμβολή των μοντέλων αυτών είναι μεγάλη διότι μας βοηθούν να αναπτύξουμε νέες τεχνολογίες που με τη σειρά τους θα βοηθήσουν να γίνουν τα δίκτυα πρόσβασης πιο οικονομικά ενεργειακά αλλά και πιο αποδοτικά.

Η κατανάλωση ενέργειας είναι ένα ζήτημα που απασχολεί σημαντικά όχι μόνο στα δίκτυα πρόσβασης αλλά και σε άλλες επιστήμες. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας είναι ένα θέμα που πρέπει να αναπτύσσεται συνεχώς διότι ο άνθρωπος πρέπει να διορθώσει το ενεργειακό πρόβλημα που ο ίδιος προκάλεσε στον πλανήτη.



**BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-REFERENCES**

Access network (2012). Στο *Wikipedia, the Free Encyclopedia*. Ανακτήθηκε Δεκέμβριος 28, 2012, από [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Access\\_network&oldid=509651113](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Access_network&oldid=509651113)

Allied Telesyn (2004). *Active vs.PON FTTx Technology Choices*. Retrieved November 29, 2012 from [http://members.westnet.com.au/wizard/active\\_vs\\_pon\\_a\\_wp.pdf](http://members.westnet.com.au/wizard/active_vs_pon_a_wp.pdf)

Asymmetric Digital Subscriber Line (2012). Στο *Wikipedia, the Free Encyclopedia*.

Ανακτήθηκε Δεκέμβριος 10, 2012 από

[http://el.wikipedia.org/w/index.php?title=Asymmetric\\_Digital\\_Subscriber\\_Line&oldid=3311260](http://el.wikipedia.org/w/index.php?title=Asymmetric_Digital_Subscriber_Line&oldid=3311260)

Baliga, J., Ayre, R., Hinton, K., Sorin, W. V., & Tucker, R. S. (2009). Energy Consumption in Optical IP Networks. *Journal of Lightwave Technology*, 27(13), 2391 –2403.

doi:10.1109/JLT.2008.2010142

Baliga, J., Ayre, R., Hinton, K., & Tucker, R. S. (2011). Energy consumption in wired and wireless access networks. *IEEE Communications Magazine*, 49(6), 70 –77.

doi:10.1109/MCOM.2011.5783987

Baliga, J., Ayre, R., Sorin, W. V., Hinton, K., & Tucker, R. S. (2008). Energy Consumption in Access Networks. Στο *Conference on Optical Fiber communication/National Fiber Optic Engineers Conference, 2008. OFC/NFOEC 2008* (σσ 1 –3). Παρουσιάστηκε στο Conference on Optical Fiber communication/National Fiber Optic Engineers Conference, 2008.

OFC/NFOEC 2008. doi:10.1109/OFC.2008.4528538

Effenberger, F., Clearly, D., Haran, O., Kramer, G., Li, R. D., Oron, M., & Pfeiffer, T. (2007). An introduction to PON technologies [Topics in Optical Communications]. *IEEE Communications Magazine*, 45(3), 17–25. doi:10.1109/MCOM.2007.344582

Feeney, L. M., & Nilsson, M. (2001). Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment. Στο *IEEE INFOCOM 2001. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings* (T. 3, σσ 1548–1557 vol.3). Παρουσιάστηκε στο IEEE INFOCOM 2001. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. doi:10.1109/INFCOM.2001.916651

Gebru, S. (1997). *Performance of Uncooled 1.3 μm FP and DFB Lasers in Hybrid Fiber-Coax (HFC) Networks*. (Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1997) Retrieved from <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/45494/41227244.pdf>

Iseda, K., Tsuruoka, T., & Kato, T. (n.d.). Power Consumption Control Technology in WiMAX MAC Layer. *Fujitsu scientific and technical journal*, 44(3), 256–263.

Johnston, D., & Walker, J. (2004). Overview of IEEE 802.16 security. *IEEE Security Privacy*, 2(3), 40–48. doi:10.1109/MSP.2004.20

Li, N. (2011). *Overview of WiMax : technical and application analysis*. (Thesis, Turku University of Applied sciences, 2011) Retrieved from <http://publications.theseus.fi/handle/10024/30096>

Nedevschi, S., Popa, L., Iannaccone, G., Ratnasamy, S., & Wetherall, D. (2008). Reducing network energy consumption via sleeping and rate-adaptation. Στο *Proceedings of the 5th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation* (σσ 323–336).

Berkeley, CA, USA: USENIX Association. Ανακτήθηκε από

<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1387589.1387612>

Podlesny, C. (1995). Hybrid Fiber Coax: A Solution for Broadband Information Services.

*New Telecom Quarterly*, 9, 16-25. Retrieved from

[http://www.tfi.com/pubs/ntq/articles/view/95Q1\\_A3.pdf](http://www.tfi.com/pubs/ntq/articles/view/95Q1_A3.pdf)

Sarigiannidis, P. G., Pechlivanidou, V. D., Louta, M. D., & Angelidis, P. (2011). Towards an effective energy efficient passive optical network. Στο *2011 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)* (σσ 391 –396). Παρουσιάστηκε στο 2011 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC). doi:10.1109/ISCC.2011.5983869

Tucker, R. S., Parthiban, R., Baliga, J., Hinton, K., Ayre, R. W. A., & Sorin, W. (2009). Evolution of WDM Optical IP Networks: A Cost and Energy Perspective. *Journal of Lightwave Technology*, 27(3), 243–252.

Vlachos, K. (2012) *Οπτικά Δίκτυα Πρόσβασης* [Σημειώσεις]

Ανακτήθηκε από University of Patras

Blackboard Online:

[http://www.ceid.upatras.gr/faculty/kvlachos/courses/documents/onet/Chapter\\_10](http://www.ceid.upatras.gr/faculty/kvlachos/courses/documents/onet/Chapter_10)

Διακονικολάου, Γ., Αγιακάτσικα, Α., & Μπούρας, Η. (2007). *Επιχειρησιακή Διαδικτύωση*. (Β Έκδοση). Αθήνα: Κλειδάριθμος

Τηλεπικοινωνιακό Κέντρο ΑΠΘ (2012). *Τεχνολογία DSL (DSL TUTORIAL)*. Ανακτήθηκε Νοέμβριος 29, 2012, από <http://www.tcom.auth.gr/isdn/technologies/dsl-tutorial.html#dsl-connection>

Φετοκάκης, Σ. (2006). *Ευρυζωνικά Δίκτυα, Υποδομές Και Υπηρεσίες - Παρόν Και Μέλλον*. (Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2006). Ανακτήθηκε από <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/handle/123456789/4166>

## ΣΧΗΜΑΤΑ

**Σχήμα 1:** Φετοκάκης, Σ. (2006). *Ευρυζωνικά Δίκτυα, Υποδομές Και Υπηρεσίες - Παρόν Και Μέλλον*. (Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2006). Ανακτήθηκε από <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/handle/123456789/4166>

**Σχήμα 2:** Hybrid fibre-coaxial. (2012). Στο *Wikipedia, the Free Encyclopedia*. Ανακτήθηκε Δεκέμβριος 29, από [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Hybrid\\_fibre-coaxial&oldid=523052191](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Hybrid_fibre-coaxial&oldid=523052191)

**Σχήμα 3:** Sarigiannidis, P. G., Pechlivanidou, V. D., Louta, M. D., & Angelidis, P. (2011). Towards an effective energy efficient passive optical network. Στο *2011 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)* (σσ 391 –396). Παρουσιάστηκε στο 2011 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC). doi:10.1109/ISCC.2011.5983869

**Σχήμα 4:** Allied Telesyn (2004). *Active vs.PON FTTx Technology Choices*. Retrieved November 29, 2012 from [http://members.westnet.com.au/wizard/active\\_vs\\_pon\\_a\\_wp.pdf](http://members.westnet.com.au/wizard/active_vs_pon_a_wp.pdf)

**Σχήμα 5:** <http://www.sjs.com/interests/visone.html>

**Σχήμα 6:** [http://engweb.info/courses/wdt/lecture04/WIMAX\\_Technology\\_r.html](http://engweb.info/courses/wdt/lecture04/WIMAX_Technology_r.html)

## ΠΙΝΑΚΕΣ

**Πίνακας 1:** Τηλεπικοινωνιακό Κέντρο ΑΠΘ (2012). *Τεχνολογία DSL (DSL TUTORIAL)*. Ανακτήθηκε Νοέμβριος 29, 2012, από <http://www.tcom.auth.gr/isdn/technologies/dsl-tutorial.html#dsl-connection>

**Πίνακας 2:** Baliga, J., Ayre, R., Hinton, K., & Tucker, R. S. (2011). Energy consumption in wired and wireless access networks. *IEEE Communications Magazine*, 49(6), 70 –77. doi:10.1109/MCOM.2011.5783987

**Πίνακας 3:** Baliga, J., Ayre, R., Hinton, K., & Tucker, R. S. (2011). Energy consumption in wired and wireless access networks. *IEEE Communications Magazine*, 49(6), 70 –77.

doi:10.1109/MCOM.2011.5783987

## ΕΞΩΦΥΛΛΟ

### **Εικόνα:**

[http://www.microcentertech.com/tech\\_center/DB/read\\_article.php?faqid=./Info/INF5001011](http://www.microcentertech.com/tech_center/DB/read_article.php?faqid=./Info/INF5001011)

D.htm