



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Μελέτη Συστήματος Ευφυσών Μετρήσεων σε Αστικές και Ημιαστικές Περιοχές

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Πλιάγκου Αντωνίου

Επιβλέπων : Παναγιώτης Π. Κωττής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Μελέτη Συστήματος Ευφύων Μετρήσεων σε Αστικές και Ημιαστικές Περιοχές

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Πλιάγκου Αντωνίου

Επιβλέπων : Παναγιώτης Π. Κωπτής

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 31^η Μαρτίου 2015.

.....

Παναγιώτης Κωπτής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Χρήστος Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Γεώργιος Φικιώρης
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Πλιάγκος Αντώνιος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Πλιάγκος Αντώνιος, 2015.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Στην εργασία αυτή μελετάται το δίκτυο πρόσβασης και το δίκτυο κορμού συστημάτων ευφυών μετρητών (SM) για διάφορες περιπτώσεις εφαρμογής. Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται και διαστασιολογούνται οι περιπτώσεις εφαρμογής συστημάτων ευφυούς μέτρησης και αντιστοιχίζονται στις καταλληλότερες τηλεπικοινωνιακές λύσεις σύμφωνα με πληθυσμιακά και πολεοδομικά χαρακτηριστικά.

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγή για το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο και τα προβλήματά του και η οδήγησή του προς έναν νέο τύπου δικτύου, του ευφυούς. Επίσης, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά του ευφυούς δικτύου.

Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται η αρχιτεκτονική του δικτύου των ευφυών μετρητών, τα δομικά του στοιχεία και η τοπολογία του.

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφονται οι τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες για μετάδοση δεδομένων στο δίκτυο πρόσβασης και στο δίκτυο κορμού των SM συστημάτων.

Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται η καταλληλότητα των τεχνολογιών στο δίκτυο πρόσβασης και στο δίκτυο κορμού. Γίνεται αναφορά στην γεφύρωση των δύο δικτύων καθώς της υπάρχουσας τηλεπικοινωνιακής υποδομής.

Το Κεφάλαιο 5 αναφέρεται στον προσδιορισμό του όγκου της διακινούμενης πληροφορίας στα δίκτυα πρόσβασης και κορμού.

Στο Κεφάλαιο 6 γίνεται μελέτη τριών επιλεγμένων περιοχών για την εύρεση του ακριβή αριθμού των μετρητών και των υποσταθμών καθώς και ο προσδιορισμός του όγκου των SM δεδομένων που μεταδίδεται από τους μετρητές στον συγκεντρωτή και από τον συγκεντρωτή στο MDMS. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα μελέτη.

Λέξεις-κλειδιά

Ευφύες δίκτυο, Ευφυής μετρητής, Δίκτυο πρόσβασης, Δίκτυο κορμού, GPRS, 3G, PLC, NAN

Abstract

The scope of this thesis is to study the access network and the backhaul network of a smart metering (SM) system. The thesis presents the analysis and dimensioning of the main SM system implementation cases and matches the most appropriate communication technologies with each implementation area according to its population and urban characteristics.

The 1st Chapter is an introduction for the existing electrical infrastructure and its problems. Also, there is a reference to the leading towards to a new type of network, the smart network. Characteristics of the new type are presented.

The 2nd Chapter describes the architecture of the network of smart meters, the components of the network infrastructure and the network topology.

The 3rd Chapter describes the technologies of telecommunication of smart meters in access and backhaul network.

The 4th Chapter the suitable technologies for the access and backhaul network. There is a reference for the interface of these networks.

The 5th Chapter is referring to the calculation of the transmitted information over the access and backhaul network.

The 6th Chapter studies three selected areas for the calculation of the exact number of smart meters and substations and the transmitted information from smart meters to concentrators and from concentrators to MDMS. Finally, the conclusions from this thesis are presented.

Key Words

Smart network, Smart meter, access network, backhaul network, GPRS, 3G, PLC ,
NAN

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθ. Παναγιώτη Κωττή για τη ευκαιρία που μου προσέφερε να πραγματοποιήσω τη διπλωματική μου εργασία υπό την επίβλεψή του, την άριστη συνεργασία, την εμπιστοσύνη, την βοήθεια και τις πολύτιμες γνώσεις που μου πρόσφερε κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένειά μου για την ενθάρρυνση, τη συμπαράσταση και τη στήριξή τους κατά τη διάρκεια όλων αυτών των χρόνων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ανδρονίκη για την στήριξή της και για όλες τις όμορφες στιγμές που περάσαμε όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Abstract.....	2
Ευχαριστίες.....	3
Συνοτομογραφίες.....	7
Ευρετήριο Σχημάτων.....	9
Ευρετήριο Πινάκων.....	10
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.....</u>	<u>11</u>
1.1 Το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο.....	11
1.2 Το ευφυές δίκτυο.....	13
1.3 Πλαίσιο και χαρακτηριστικά των ευφυών δικτύων.....	15
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΥΦΥΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ.....</u>	<u>21</u>
2.1 Δομικά στοιχεία ευφυούς δικτύου.....	21
2.2 Ιεραρχική αρχιτεκτονική.....	22
2.3 ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	23
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Τεχνολογίες επικοινωνιών για εφαρμογές Έξυπνων Δικτύων.....</u>	<u>26</u>
3.1 Τεχνολογίες επικοινωνιών.....	26
3.2 Ασύρματες Τεχνολογίες (Wireless Technologies).....	29
3.2.1 Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless LAN).....	30
3.2.2 WiMAX.....	30
3.2.3 Κυψελωτές Επικοινωνίες (Cellular network Communication).....	31
3.2.4 ZigBee.....	32
3.2.5 Bluetooth.....	33
3.2.6 Ασύρματα Δίκτυα Πλέγματος (Wireless Mesh Networks – WMN).....	33
3.2.7 Δορυφορικές επικοινωνίες.....	34
3.3 Ενσύρματες Τεχνολογίες (Wire line/Wired Technologies).....	35
3.3.1 Powerline Communications (PLC).....	36
3.3.2 Digital Subscriber Lines (DSL).....	37

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΔΙΚΤΥΟ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟ ΚΟΡΜΟΥ</u>	38
4.1 Καταλληλότητα τεχνολογιών στο δίκτυο πρόσβασης.....	38
4.2 Μετάδοση δεδομένων στο δίκτυο κορμού.....	40
4.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των επικοινωνιών στο δίκτυο κορμού.....	41
4.3.1 Μικροκυματικές ζεύξεις.....	41
4.3.2 WiMAX.....	41
4.3.3 Επικοινωνίες οπτικών ινών (fiber – optic).....	42
4.3.4 Κυψελωτά δίκτυα κινητών επικοινωνιών (cellular networks).....	43
4.3.5 DSL και PLC.....	43
4.4 Διαχείριση κίνησης.....	43
4.5 Η υπάρχουσα τηλεπικοινωνιακή υποδομή.....	44
4.5.1 Το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο.....	45
4.5.2 Το δίκτυο κινητών επικοινωνιών.....	45
4.5.3 Το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.....	46
4.6 Γεφύρωση μεταξύ δικτύου πρόσβασης και δικτύου κορμού.....	46
4.7 Επικοινωνία ευφύων μετρητών.....	47
4.7.1 Έλεγχος δρομολόγησης κίνησης.....	48
4.7.2 Περιορισμός φορτίου.....	49
4.7.3 Διασπορά χρόνων μετάδοσης (TDMA).....	50
4.7.4 Εισαγωγή προτεραιοτήτων.....	51
4.7.5 Λειτουργία σε διαφορετικές συχνότητες (FDMA).....	52
4.7.6 Λειτουργία με το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης (CSMA/CD).....	52
4.8 Κριτήρια επιλογής για συστήματα και εγκαταστάσεις SM.....	53
4.8.1 Απαιτήσεις εφαρμογών και υπηρεσιών.....	53
4.8.2 Δικτυακή τοπολογία και απαιτήσεις αρχιτεκτονικής.....	54
4.9 Πληθυσμιακά -γεωγραφικά- πολεοδομικά κριτήρια επιλογής.....	55
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Προσδιορισμός του όγκου της διακινούμενης πληροφορίας</u>	58
5.1 Προσδιορισμός του όγκου της διακινούμενης πληροφορίας.....	58
5.2 SM δίκτυα πρόσβασης ενσύρματης τεχνολογίας.....	60
5.3 Διαστασιολόγηση SM δικτύων πρόσβασης ενσύρματης τεχνολογίας.....	61

5.4 Πρόσβαση στο κοινό μέσο μετάδοσης μέσω TDMA.....	63
5.5 Πρόσβαση στο κοινό μέσο μετάδοσης μέσω CSMA/CD.....	64
5.6 Σύγκριση των πρωτοκόλλων TDMA και CSMA/CD για μετάδοση δεδομένων μεταξύ SM και συγκεντρωτή.....	65
5.7 SM δίκτυα πρόσβασης ασύρματης τεχνολογίας.....	67
5.8 Διαστασιολόγηση SM δικτύων πρόσβασης ασύρματης τεχνολογίας.....	68
5.9 Αποστολή δεδομένων μέσω GPRS.....	69
5.10 Προσδιορισμός ζητούμενης χωρητικότητας για επικοινωνία μέσω GPRS.....	70
5.11 Αποστολή δεδομένων μέσω 3G.....	72
5.12 Προσδιορισμός ζητούμενης χωρητικότητας για επικοινωνία μέσω 3G.....	73
5.13 Αποστολή δεδομένων από τους συγκεντρωτές στο MDMS.....	74
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Διαστασιολόγηση περιπτώσεων εφαρμογής του πιλοτικού προγράμματος SM του ΔΕΔΔΗΕ.....</u>	<u>75</u>
6.1 Σύνοψη παρουσίαση των προδιαγραφών του προγράμματος.....	75
6.2 Αδυναμίες της Διακήρυξης.....	78
6.3 Υλοποίηση του SM προγράμματος του ΔΕΔΔΗΕ σε επιλεγμένες περιοχές με πραγματικά στοιχεία.....	80
6.3.1 Υπολογισμός των μετρητών σε οικοδομικό τετράγωνο.....	81
6.4 Πυκνοκατοικημένη αστική περιοχή.....	83
6.5 Αραιοκατοικημένη αστική περιοχή.....	85
6.6 Αγροτική περιοχή.....	86
6.7 Συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων.....	87
6.8 Συμπεράσματα.....	89
Βιβλιογραφία.....	93

Συντομογραφίες

2G/3G/4G	Second/Third/Fourth Generation
6LoWPAN	IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Network
AES	Advanced Encryption Standard
AMI	Advanced Metering Infrastructure
AODV	Ad – Hoc On – Demand Distance Vector
BAN	Building Area Network
BS	Base Station
CBA	Cost – Benefit Analysis
CDMA	Code Division Multiple Access
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
DER	Distributed Energy Resources
DCS	Digital Communication System
DES	Data Encryption Standard
DSL	Digital Subscriber Loop
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EMI	Electromagnetic Interference
FAN	Field Area Network
FDD	Frequency – Division Duplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FFD	Full Function Device
GoS	Grade of Service
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System Mobile
H2H	Human – to – Human
HAN	Home Area Network
HSPA	High Speed Packet Access
IAN	Industrial Area Network
IHD	In Home Display
IoT	Internet of Things
IPv6	IP version 6
KV	Kabelverteiler
LAN	Local Area Network
LE	Low Energy
LOS	Line of Sight
LTE	Long Term Evolution

M2M	Machine – to – Machine
MDMS	Meter Data Management System
NAN	Neighbour Area Network
NLOS	None Line of Sight
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoS	Quality of Service
PLC	Powerline Communication/Carrier
RF	Radio Frequency
RFD	Reduced Function Device
RFI	Radio Frequency Interference
ROLL	Routing over Low Power or Lossy Networks
SG	Smart Grid
SIR	Signal to Interference Ratio
SLA	Service Level Agreement
SM	Smart Meter
SMP	Smart Meter Project
TDD	Time – Division Duplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WAN	Wide Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network
WSN	Wireless Sensor Network
ΔΕΔΔΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
HE	Ηλεκτρική Ενέργεια
ΚΠΑ	Καθαρή Παρούσα Αξία
MT	Μέση Τάση
ΣΗΕ	Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΧΤ	Χαμηλή Τάση

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1.1 Ένα παράδειγμα του παραδοσιακού ηλεκτρικού δικτύου.....	12
Σχήμα 1.2 Τα χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις ενός Έξυπνου δικτύου.....	15
Σχήμα 2.1 Δομή και επικοινωνία στοιχείων του ευφυούς δικτύου.....	21
Σχήμα 3.1 Κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών επικοινωνιών.....	26
Σχήμα 4.1 Ταξινόμηση τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών συναρτήσει ρυθμού-απόστασης....	39
Σχήμα 4.2 Δομή ενός SM συστήματος.....	40
Σχήμα 4.3 Επικοινωνία σταθμών βάσης με MDMS.....	46
Σχήμα 4.4: Access network – backhaul network interface.....	47
Σχήμα 4.5: Συνδυασμός τοπολογίας διαύλου – αστέρα.....	49
Σχήμα 4.6: Δρομολόγηση σε διαφορετικό συγκεντρωτή.....	50
Σχήμα 4.7: Διασπορά χρόνου μετάδοσης.....	51
Σχήμα 4.8: Προτεραιότητες πακέτων δεδομένων.....	51
Σχήμα 4.9: Λειτουργία FDMA.....	52
Σχήμα 5.1: Λειτουργία σε περίπτωση βλάβης – συντήρησης υποσταθμού.....	61
Σχήμα 6.1 Χάρτης διαδρομής συλλογής στοιχείων.....	80
Σχήμα 6.2 Ενδεικτικός κατάλογος πληροφοριών καταναλωτή.....	81
Σχήμα 6.3 Παράδειγμα υπολογισμού μετρητών σε κτίριο.....	82
Σχήμα 6.4 : Χάρτης πυκνοκατοικημένης περιοχής.....	83
Σχήμα 6.5 : Χάρτης αραιοκατοικημένης (βιομηχανικής) περιοχής.....	85
Σχήμα 6.6 : Χάρτης αγροτικής περιοχής.....	86

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1-1 Σύνομη σύγκριση μεταξύ του υπάρχοντος και του ευφυούς δικτύου.....	14
Πίνακας 4.1: Σύνοψη τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών.....	39
Πίνακας 4.2 Σύνοψη τοπολογιών.....	55
Πίνακας 4.3 Χαρακτηρισμός περιοχής ανάλογα με την πυκνότητα των μετρητών.....	56
Πίνακας 5.1: Bytes ανά ηλεκτρικό μέγεθος.....	58
Πίνακας 5.2: Ενεργειακές παροχές XT ανά υποσταθμό MT/XT συναρτήσει της πολεοδομικής πυκνότητας.....	60
Πίνακας 5.3: Αντιστοιχία συμβόλων και τηλεπικοινωνιακών μεγεθών.....	62
Πίνακας 5.4: Προσδιορισμός πυκνότητας συγκεντρωτών ανά κυψέλη.....	69
Πίνακας 5.5: Ρυθμός μετάδοσης συναρτήσει του πλήθους ταυτοχρόνως υποστηριζόμενων τερματικών διατάξεων.....	72
Πίνακας 6.1: Ποσοστά μετρητών που χρησιμοποιούν τις δύο επιλεγμένες τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες πρόσβασης.....	76
Πίνακας 6.2 Προσδιορισμός μετρητών σε κτίριο.....	82
Πίνακας 6.3 Προσδιορισμός του ακριβούς αριθμού μετρητών σε κάθε υποσταθμό.....	84
Πίνακας 6.4 Συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων.....	87

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

1.1 ΤΟ ΥΠΑΡΧΟΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

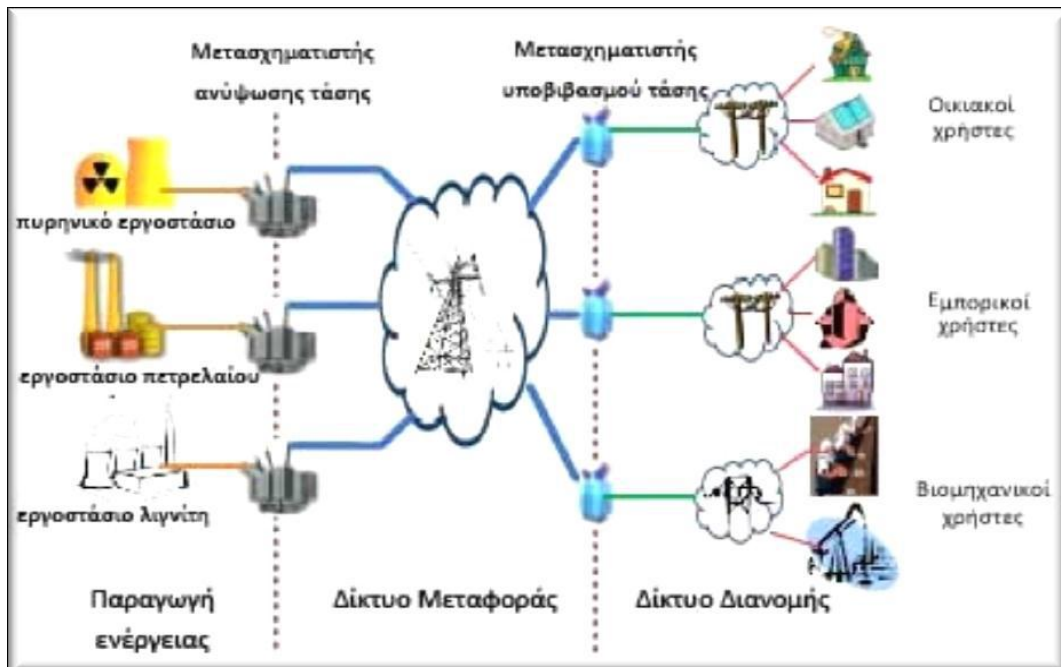
Τα κύρια στοιχεία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι η παραγωγή, η μετάδοση, η διανομή και τα φορτία. Η ενέργεια παράγεται από μεγάλους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής και τροφοδοτείται σε ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης. Η μεταφερόμενη σε μεγάλες αποστάσεις ισχύς μεταβιβάζεται, μέσω μιας σειράς μετασχηματιστών διανομής, στα τελικά κυκλώματα για τη διανομή στους καταναλωτές.

Το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας έχει προοδευτικά αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια εκατό χρόνια, από το αρχικό σχέδιο των τοπικών DC δικτύων χαμηλής τάσης, στα τριφασικά AC δίκτυα υψηλής τάσης και τελικά στα μοντέρνα τεράστια διασυνδεδεμένα δίκτυα με διάφορα επίπεδα τάσης και πολλαπλά, πολύπλοκα ηλεκτρικά συστατικά στοιχεία.

Τα σημερινά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, που μας εξυπηρετούν για δεκαετίες, στηρίζονται κατά βάση στα ορυκτά καύσιμα, συμπεριλαμβανομένου του πετρελαίου, του άνθρακα και του φυσικού αερίου ως πηγών ενέργειας. Αυτά τα ορυκτά καύσιμα είναι μη ανανεώσιμα και τα αποθέματά τους στη γη καταναλώνονται ταχύτατα. Η αναδυόμενη ενεργειακή κρίση καλεί την παγκόσμια προσοχή να στραφεί στην ανεύρεση εναλλακτικών πηγών ενέργειας που μπορούν να στηρίξουν μια μακροπρόθεσμη ανάπτυξη της βιομηχανίας. Οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν την αιολική, την ηλιακή, την παλιρροιακή, τη γεωθερμική, την υδροηλεκτρική ενέργεια και τη βιομάζα. Ονομάζονται, επίσης, πράσινες πηγές ενέργειας γιατί δεν απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα κατά τη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν σημαντικά συμπληρώματα και αντικαταστάτες των ορυκτών καυσίμων λόγω της διάρκειας εκμετάλλευσής τους και τη φιλικότητα προς το περιβάλλον.

Η αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια, σε συνδυασμό με την πολύπλοκη φύση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, προκαλούν σοβαρά προβλήματα στο ήδη καταπονημένο δίκτυο, όπως διακοπές ρεύματος, βυθίσεις τάσης και υπερφορτίσεις, τα οποία μειώνουν σημαντικά την ποιότητα ρεύματος και την αξιοπιστία.

Το υπάρχον δίκτυο, λοιπόν, βρίσκεται υπό μεγάλη πίεση από τις διάφορες προκλήσεις και ανάγκες που προκύπτουν από το περιβάλλον, τους καταναλωτές, την αγορά αλλά και από λόγω της υπάρχουσας υποδομής. Αυτές οι προκλήσεις και ανάγκες είναι περισσότερο σημαντικές και επείγουσες από ποτέ και θα οδηγήσουν το δίκτυο σε επέκταση αλλά και σε ενίσχυση των λειτουργιών του προς εξυπνότερα χαρακτηριστικά, με τη βοήθεια των ταχύτατα αναπτυσσόμενων τεχνολογιών. Για να αντιμετωπιστούν τέτοια προβλήματα, προέβλεψε μια νέα έννοια, ενός ηλεκτρικού δικτύου επόμενης γενιάς, του ευφυούς δικτύου. Η στροφή στην ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς ώστε να είναι περισσότερο ευφυή έχει συνοπτικά οριστεί ως “Εξυπνο Δίκτυο”(Smart Grid), ενώ άλλες ονομασίες αποτελούν τα IntelliGrid, GridWise, FutureGrid, κλπ. .



Σχήμα 1.1 Ένα παράδειγμα του παραδοσιακού ηλεκτρικού δικτύου.

1.2 ΤΟ ΕΥΦΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟ

Τα αναμενόμενα οφέλη από ένα σύγχρονο ηλεκτρικό δίκτυο είναι πολλά καθώς το έξυπνο δίκτυο αναμένεται να:

- Βελτιώσει την αξιοπιστία και την ποιότητα της ενέργειας
- Βελτιστοποιήσει την αξιοποίηση των εγκαταστάσεων και αποτρέψει την κατασκευή εφεδρικών (για φορτία αιχμής) σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Ενισχύσει τη χωρητικότητα και την αποδοτικότητα των υπαρχόντων ηλεκτρικών δικτύων
- Βελτιώσει την ανθεκτικότητα προς βλάβες ή διακοπές
- Επιτρέψει την προληπτική συντήρηση και την αυτό-αποκατάσταση σε περίπτωση διαταραχών του συστήματος
- Διευκολύνει την ευρεία ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Αξιοποιήσει τις κατανεμημένες πηγές ενέργειας
- Αυτοματοποιήσει τη συντήρηση και τη λειτουργία
- Μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα επιτρέποντας τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων και νέων πηγών ενέργειας
- Μειώσει την κατανάλωση πετρελαίου, μειώνοντας την ανάγκη για ανεπαρκή παραγωγή κατά τις περιόδους χρήσης αιχμής
- Προσφέρει βελτίωση της ασφάλειας του δικτύου
- Προσφέρει τη δυνατότητα μετάβασης σε plug-in ηλεκτρικά οχήματα και νέων επιλογών αποθήκευσης της ενέργειας
- Αυξήσει τις επιλογές των καταναλωτών
- Προσφέρει τη δυνατότητα για νέα προϊόντα, υπηρεσίες και αγορές και επιτρέψει την πρόσβαση των καταναλωτών σε αυτά.

Συνοψίζοντας κάποιους ορισμούς, ο όρος Έξυπνο Δίκτυο αναφέρεται σε ένα τελείως εκσυγχρονισμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο παρακολουθεί, προστατεύει και βελτιστοποιεί τη λειτουργία των διασυνδεδεμένων σε αυτό στοιχείων από άκρο σε άκρο. Πρόκειται για μια υποδομή που αποσκοπεί στην ενίσχυση της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας μέσω αυτομάτου ελέγχου, μετατροπών υψηλής ισχύος, σύγχρονης δομής επικοινωνιών, τεχνολογιών αισθητήρων/μετρητών και σύγχρονων τεχνικών διαχείρισης ενέργειας βασισμένων στη βελτιστοποίηση της απόκρισης στη ζήτηση, τη διαθεσιμότητας της ενέργειας και του δικτύου κ.ά. Το σύστημα περιλαμβάνει κεντρικές και κατανεμημένες ηλεκτρικές γεννήτριες μέσω του δικτύου υψηλής τάσης και σύστημα διανομής χαμηλής τάσης σε βιομηχανικούς χρήστες ή συστήματα αυτοματισμού οικιακών κτηρίων, σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας και σε τελικούς καταναλωτές. Το

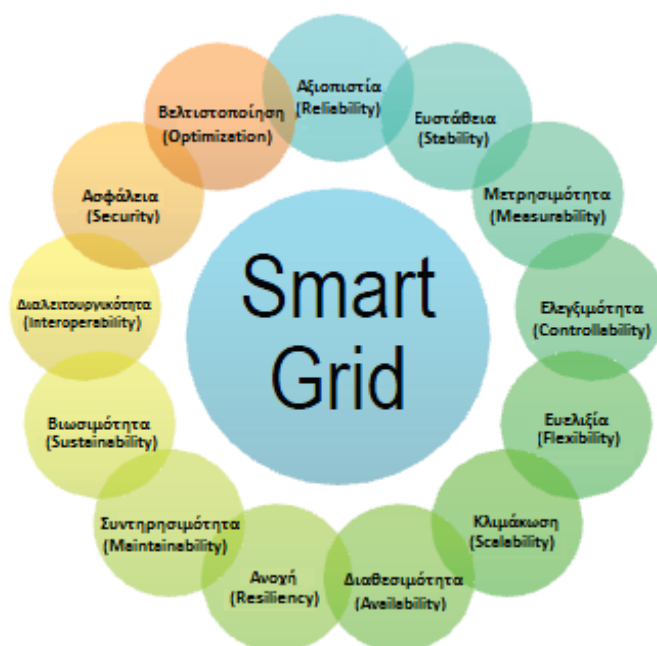
έξυπνο δίκτυο θα χαρακτηρίζεται από αμφίδρομη ροή ηλεκτρικής ενέργειας και πληροφοριών για τη δημιουργία ενός αυτοματοποιημένου, ευρέως καταναμημένου δικτύου διανομής ενέργειας. Ενσωματώνει στο δίκτυο τα πλεονεκτήματα των καταναμημένων υπολογιστικών συστημάτων και των επικοινωνιών, για τη μεταφορά σε πραγματικό χρόνο πληροφοριών με σκοπό την εξισορρόπηση της παροχής και της ζήτησης ρεύματος.

Υπάρχον Δίκτυο	Έξυπνο Δίκτυο
Ηλεκτρομηχανολογικό	Ψηφιακό
Μονόδρομη επικοινωνία	Αμφίδρομη επικοινωνία
Κεντρική παραγωγή	Καταναμημένη παραγωγή
Λίγοι αισθητήρες	Αισθητήρες παντού
Χειροκίνητη παρακολούθηση	Αυτο-παρακολούθηση
Χειροκίνητη αποκατάσταση/επαναφορά	Αυτο-θεραπεία
Βλάβες και διακοπές ρεύματος	Προσαρμοστικότητα και νησιδοποίηση
Περιορισμένος έλεγχος	Εις βάθος έλεγχος
Λίγες επιλογές των πελατών	Πολλές επιλογές των πελατών

Πίνακας 1-1 Σύντομη σύγκριση μεταξύ του υπάρχοντος και του ευφυούς δικτύου.

1.3 Πλαίσιο και χαρακτηριστικά των ευφυών δικτύων

Στο σχήμα 1.2 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά που καλείται να έχει ένα έξυπνο δίκτυο, τα οποία αναλύονται παρακάτω. Όπως φαίνεται, διασυνδέονται με μια στενή σχέση αιτίου-αποτελέσματος το ένα με το άλλο και αποτελούν προκλήσεις που θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός έξυπνου δικτύου.



Σχήμα 1.2 Τα χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις ενός Έξυπνου δικτύου.

Αξιοπιστία και Ευστάθεια (Reliability and Stability)

Με τον όρο *αξιοπιστία* εννοείται η ικανότητα ενός συστήματος ή και στοιχείων αυτού να εκτελούν τις απαιτούμενες λειτουργίες υπό δεδομένες συνθήκες επί καθορισμένο χρονικό διάστημα. Η αξιοπιστία έχει ένα χαρακτηριστικό ανθεκτικότητας. Σε γενικές γραμμές, αποτυπώνει την ορθή λειτουργία και το βαθμό μεταβλητότητας όλου του συστήματος. Επιπλέον, περιγράφει κατάσταση υψηλής συνοχής, επαναληψιμότητας και φερεγγυότητας που το έξυπνο δίκτυο θα διατηρήσει σύμφωνα με αποτελεσματικές μετρήσεις και εκτιμήσεις. Με υψηλή αξιοπιστία υπονοεί ότι βλάβες του συστήματος χαρακτηρίζονται από μικρή πιθανότητα, ενώ σε περίπτωση βλάβης, η επίπτωσή τους στο συνολικό σύστημα είναι ελάχιστη ενώ το δυσλειτουργικό στοιχείο να αντικατασταθεί ή επιδιορθωθεί όσο το δυνατό συντομότερα. Η αξιοπιστία εξαρτάται από την επίτευξη άλλων καθοριστικών παραγόντων, που περιγράφονται στις ακόλουθες υποενότητες.

Η *ευστάθεια* ενός συστήματος καθορίζει το επίπεδο αξιοπιστίας που το χαρακτηρίζει. Το έξυπνο δίκτυο πρέπει να εγγυάται σταθερότητα της τάσης και του ρεύματος, να περιορίζει τη ζήτηση αιχμής και τη μεταβλητότητα του φορτίου, με την εφαρμογή κατανεμημένης ηλεκτροπαραγωγής (Distributed Generation - DG) και αποθήκευση ενέργειας σε μεγάλες εκτάσεις, και να αποκλείει διάφορα ανεπιθύμητα περιστατικά.

Μετρησιμότητα και Ελεγχιμότητα του έξυπνου δικτύου (Measurability and Controllability)

Η διακοπή υπηρεσιών και οι βλάβες είναι περιστατικά σοβαρά με μεγάλη πιθανότητα να συμβούν. Είναι σημαντικό, τα περιστατικά αυτά, να είναι *μετρήσιμα* και *ελέγξιμα* με τρόπο ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν σκόπιμες εκτιμήσεις και αξιολογήσεις. Το έξυπνο δίκτυο είναι σε θέση να εντοπίζει και να διορθώνει λειτουργικές διαταραχές μέσω μετρήσεων και παρακολούθηση πραγματικού χρόνου. Παράλληλα, πρέπει να υπάρχει ικανός βαθμός παρατηρησιμότητας με στόχο την αποτελεσματική ανάλυση, διαχείριση, καθώς και την πρόβλεψη και αντίδραση στις μεταβαλλόμενες καταστάσεις του δικτύου. Οι πληροφορίες, που ουσιαστικά καθιστούν το δίκτυο έξυπνο πρέπει επίσης να είναι μετρήσιμες, παρατηρήσιμες και διαχειρίσιμες.

Ευελιξία και Κλιμάκωση (Flexibility and Scalability)

Το σημερινό δίκτυο μεταβαίνει από μια κεντρική δομή σε πολλαπλά αποκεντρωμένα μικροδίκτυα (Microgrids - MGs). Η *κλιμάκωση* του έξυπνου δικτύου είναι σημαντικό να οριστεί καλά. Μέσω της νησιδοποίησης (islanding), τα μικροδίκτυα προσπαθούν να ενσωματώσουν την κατανεμημένη παραγωγή (DG) και την αποθήκευση ενέργειας για να συνεισφέρουν ενέργεια στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας σε περιόδους ζήτησης αιχμής. Η νησιδοποίηση εισάγει μια έννοια ενός γιγάντιου έξυπνου δικτύου που αποτελείται από πολλαπλά μικρά έξυπνα δίκτυα. Κάθε τοπικό δίκτυο μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα ως προς τη Διαχείριση της Ζήτησης (Demand Side Management - DSM), το μοντέλο ποιότητας και αξιοπιστίας, τη διαχείριση προβλημάτων και τη διαχείριση ασφάλειας. Η *ευελιξία* επιτρέπει στο έξυπνο δίκτυο να παρέχει πολλαπλές εναλλακτικές διαδρομές για τη ροή της ενέργειας και των δεδομένων, ενώ επίσης παρέχει επιλογές ώστε να είναι εφικτός ο έλεγχος και η λειτουργία του δικτύου όποτε χρειάζεται. Το δίκτυο παρουσιάζει τέσσερις πτυχές: α) επεκτασιμότητα για μελλοντική ανάπτυξη με τη διεύθυνση καινοτόμων και διαφορετικών τεχνολογιών παραγωγής, β) προσαρμοστικότητα στις ποικίλες γεωγραφικές τοποθεσίες και τις κλιματικές ζώνες, γ) πολλαπλές στρατηγικές ελέγχου για το συντονισμό των

αποκεντρωμένων συστημάτων ελέγχου ανάμεσα στους υποσταθμούς και τα κέντρα ελέγχου, δ) απρόσκοπτη συμβατότητα με τα διάφορα μοντέλα της αγοράς και plug-and-play δυνατότητα να πραγματοποιήσει σταδιακή αναβάθμιση, κάνοντας χρήση υλικού και λογισμικού.

Η ευελιξία μπορεί ακόμη να εφαρμοστεί σε ένα σύνολο προτύπων (standards) που εφαρμόζονται στο δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων των ANSI, IEC, PLC, wireless M-Bus και ZigBee, ούτως ώστε να είναι διαθέσιμα και αναβαθμίσιμα σε όλο τον κόσμο.

Διαθεσιμότητα (Availability)

Η *διαθεσιμότητα* της ενέργειας και των επικοινωνιών είναι ουσιώδης για τη ζήτηση ενέργειας και πληροφοριών από τους καταναλωτές και βασίζεται στη διαθεσιμότητα των δεδομένων που ανταλλάσσονται στο δίκτυο. Ο βαθμός διαθεσιμότητας πόρων που απαιτείται, ειδικά όταν πρόκειται για θέματα που σχετίζονται με την *καθυστέρηση* (latency) ή την *ασφάλεια*, είναι υψηλός. Για παράδειγμα, στα συστήματα προστασίας και ελέγχου της γραμμής η καθυστέρηση χρειάζεται να είναι της τάξης των χιλιοστών του δευτερολέπτου, αλλά μια επίθεση άρνησης υπηρεσίας (Denial of Service - DoS) μπορεί να επιδεινώσει την επίδοση του δικτύου κάνοντας τους servers ή τις υπηρεσίες προσωρινά μη διαθέσιμες. Ο *πλεονασμός* (redundancy) θα μπορούσε να είναι ένα μέτρο επίλυσης του προβλήματος. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητά του θα εξαρτηθεί από το πώς θα σχεδιαστεί το σύστημα για να αποφεύγει παράλληλα το επακόλουθο κόστος της μεγάλης πολυπλοκότητας δικτύου, καθώς και από το θέμα της κλιμάκωσης.

Ανθεκτικότητα (Resiliency)

Ο βαθμός της *ανθεκτικότητας* καθορίζει πόσο πραγματικά ανθεκτικό είναι το έξυπνο δίκτυο όταν συμβαίνουν δυσμενή περιστατικά λειτουργίας. Γενικά, το δίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στους πελάτες με ασφάλεια και αξιοπιστία παρά τους οποιουδήποτε εσωτερικούς ή εξωτερικούς κινδύνους. Ειδικά από τη πλευρά της ασφάλειας, η ανθεκτικότητα περιγράφει την ικανότητα ανάκτησης των δεδομένων και αποκατάστασης του δικτύου μετά από τις οποιεσδήποτε διαταραχές ή δυσλειτουργίες, μέσω μιας εύρωστης διαδικασίας ταχείας απόκρισης. Η ικανότητα αυτή της αυτό-θεραπείας καθιστά το δίκτυο ικανό να επαναπροσδιορίζεται δυναμικά ώστε να ανακάμτει από επιθέσεις, διακοπές ρεύματος, φυσικές καταστροφές, κακόβουλες δραστηριότητες και βλάβες των κατασκευαστικών στοιχείων του. Τα ευάλωτα σημεία του είναι οι γραμμές μεταφοράς και οι σταθμοί, οι μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας, καθώς και οι πυρηνικοί σταθμοί λόγω ενδεχόμενης διαρροής.

Δυνατότητα συντήρησης (Maintainability)

Η *συντηρησιμότητα* αντανακλά ουσιαστικά τη μακροβιότητα και την αξιοπιστία ενός συστήματος. Συνήθως δείχνει την ικανότητά του να εκτελεί αποτελεσματικά και αποδοτικά μια σειρά δράσεων για εργασίες συντήρησης. Οι διαδικασίες που γίνονται ειδικά κατά τη συντήρηση περιλαμβάνουν την επιθεώρηση των δομικών στοιχείων του δικτύου, την αντιμετώπιση προβλημάτων και την αντικατάσταση των μη λειτουργικών στοιχείων. Το έξυπνο δίκτυο πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνει τη συντήρηση, έτσι ώστε τα διάφορα στοιχεία ενέργειας και επικοινωνιών (π.χ. εγκαταστάσεις, εξοπλισμός, συστήματα, υποσυστήματα, ασφάλεια του δικτύου και διαχείριση) να επιδιορθώνονται ταχέως και με οικονομικό τρόπο. Παρομοίως, η υψηλή αποδοτικότητα εργατοώρας, καθώς και των εργαλείων και του εξοπλισμού αποτελεί σημαντικό παράγοντα για το σύστημα συντήρησης του δικτύου.

Βιωσιμότητα (Sustainability)

Η άνοδος της ανησυχίας για το περιβάλλον αλλά και οι κίνδυνοι από την αύξηση της ζήτησης αιχμής καθιστούν κρίσιμο χαρακτηριστικό

για τη λειτουργία του έξυπνου δικτύου μεταφοράς τη *βιωσιμότητα*, η οποία παρουσιάζεται ως επάρκεια, αποδοτικότητα και φιλικότητα προς το περιβάλλον. Η αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να ικανοποιηθεί με την εφαρμογή προσιτών εναλλακτικών ενεργειακών πόρων, την αύξηση εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της τεχνολογίας στη λειτουργία του συστήματος παροχής και μετριασμό της συμφόρησης δικτύου. Οι καινοτόμες τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να προκαλούν λιγότερη μόλυνση ή εκπομπές και να είναι ανεξαρτημένες από τον άνθρακα, λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές και κλιματικές αλλαγές.

Διαλειτουργικότητα (Interoperability)

Η αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα της συνολικής επίδοσης του συστήματος θα εξαρτηθεί κατά κύριο λόγο από τη *διαλειτουργικότητα* που παρουσιάζει η υποδομή. Τα κατασκευαστικά στοιχεία του έξυπνου δικτύου προϋποθέτουν την ύπαρξη ενός συνόλου κοινών και διαλειτουργικών προτύπων για τη μεταφορά τόσο της ενέργειας όσο και των εδεδομένων. Αυτή η δυνατότητα απαιτείται κατά την ενσωμάτωση και σύγκλιση διαφόρων τεχνολογιών και πρωτοκόλλων επικοινωνιών, προκειμένου να γίνονται κατανοητά το ένα στο άλλο και να παρέχουν αδιάλειπτη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων. Αναποτελεσματική αλληλεπίδραση και ενοποίηση μεταξύ των

ποικιλόμορφων μερών θα επιβράδυνε το χρόνο απόκρισης και θα υποβάθμιζε τη λειτουργία του συνολικού συστήματος καθώς και την αποδοτικότητα.

Ασφάλεια (Security)

Η έννοια της *ασφάλειας* απευθύνεται στις δυσλειτουργίες του συστήματος που οφείλονται σε ανθρώπινα αίτια, όπως εσκεμμένες επιθέσεις και μη εξουσιοδοτημένες επεμβάσεις. Μια ασφαλής συνδεσιμότητα μεταξύ προμηθευτών και καταναλωτών παρέχει προστασία για τις κρίσιμες εφαρμογές και τα δεδομένα αλλά και αντιμετώπιση των παραβιάσεων της ασφάλειας. Λήψη μέτρων και χρήση εργαλείων ασφαλείας αποτελούν στοιχειώδεις απαιτήσεις για το έξυπνο δίκτυο, όπως τα συστήματα Firewall, τα συστήματα ανίχνευσης και αποτροπής εισβολών (IDS/IPS), τα εικονικά ιδιωτικά δίκτυα (virtual private network - VPN), τα εικονικά τοπικά δίκτυα (virtual local area network-VLAN) και ο έλεγχος πρόσβασης.

Βελτιστοποίηση (Optimization)

Η *βελτιστοποίηση* της λειτουργίας και η αξιοποίηση των στοιχείων ενεργητικού του έξυπνου δικτύου είναι επιτακτικές και μπορούν να επιτευχθούν με τη βοήθεια των προηγμένων τεχνολογιών και των έξυπνων ηλεκτρικών συσκευών (Intelligent electronic devices - IEDs), καθώς και με ευφυή διαχείριση και αυτοματισμό, εξισορροπώντας ταυτόχρονα μια ποικιλομορφία μεταβλητών και tradeoffs. Το έξυπνο δίκτυο καλείται να βελτιστοποιηθεί σύμφωνα με όρους α) αξιοπιστίας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, β) αποδοτικότητας μετατροπής και χρήσης της ενέργειας, γ) ποιότητας παραγωγής και διανομής ενέργειας, δ) διαθεσιμότητας για τη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων, ε) αποτελεσματικότητας και ακρίβειας των δεδομένων και των επικοινωνιών, στ) χρονικής απόκρισης και διαχείρισης σφαλμάτων, ζ) οικονομικό κέρδος. Εν τω μεταξύ, η μείωση του κόστους κεφαλαίου, η πολυπλοκότητα του δικτύου και η χρήση των πόρων είναι αποφασιστικής σημασίας για το έξυπνο δίκτυο που θα αναπτυχθεί στην πράξη.

Εκτός από όσα απεικονίζονται και αναλύθηκαν παραπάνω, ως επιπλέον ιδιότητες ενός μελλοντικού έξυπνου δικτύου θα μπορούσαμε να σημειώσουμε και τα εξής:

Ψηφιοποίηση (Digitalization)

Το έξυπνο δίκτυο θα χρησιμοποιεί μια μοναδική, ψηφιακή πλατφόρμα για γρήγορη και αξιόπιστη ανίχνευση δυσλειτουργιών, μέτρηση, επικοινωνία, υπολογισμό, έλεγχο, προστασία, απεικόνιση και συντήρηση ολόκληρου του

συστήματος μεταφοράς. Πρόκειται για θεμελιώδες χαρακτηριστικό που θα διευκολύνει την υλοποίηση άλλων έξυπνων λειτουργιών. Αυτή η πλατφόρμα χαρακτηρίζεται από φιλική προς το χρήστη απεικόνιση για ενημέρωση ευαίσθητων καταστάσεων αλλά και από υψηλή ανοχή προς ανθρωπογενή λάθη.

Ευφυΐα (Intelligence)

Ευφυείς τεχνολογίες και ανθρώπινη τεχνογνωσία θα ενσωματωθούν στο έξυπνο δίκτυο μεταφοράς. Αυτό-επίγνωση της κατάστασης λειτουργίας του συστήματος θα είναι διαθέσιμη με τη βοήθεια online ανάλυσης στο πεδίο του χρόνου, όπως ανάλυση της σταθερότητας τάσης/γωνίας και της ασφάλειας. Θα υπάρχει, επίσης, αυτό-θεραπεία για να ενισχύσει την ασφάλεια του δικτύου μεταφοράς μέσω συντονισμένων σχημάτων προστασίας και ελέγχου.

Προσαρμογή (Customization)

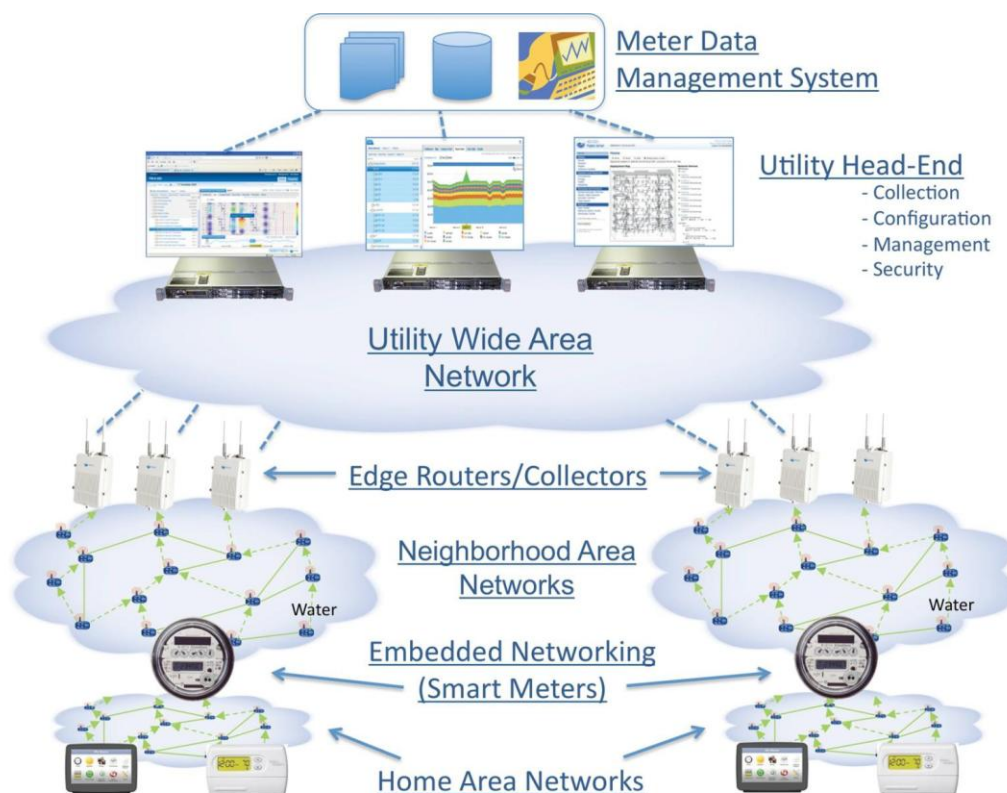
Προς διευκόλυνση των φορέων εκμετάλλευσης, ο σχεδιασμός του έξυπνου δικτύου μεταφοράς θα είναι, προσαρμοσμένος στον πελάτη, χωρίς να χάνει τις λειτουργίες του και τη διαλειτουργικότητά του. Επίσης, θα εξυπηρετεί τους πελάτες παρέχοντας περισσότερες επιλογές κατανάλωσης ενέργειας για έναν υψηλότερο λόγο ποιότητας/τιμής. Το έξυπνο δίκτυο θα απελευθερώσει περαιτέρω την αγορά ενέργειας με την αύξηση της διαφάνειας και τη βελτίωση του ανταγωνισμού για τους συμμετέχοντες στην αγορά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΥΦΥΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

2.1 Δομικά στοιχεία ευφυούς δικτύου.

Τα SM συστήματα αποτελούν δίκτυα επικοινωνιών που αποσκοπούν στην αμφίδρομη μετάδοση πληροφορίας μεταξύ των μετρητών και του κέντρου διαχείρισης δεδομένων – μετρήσεων (Meter Data Management System – MDMS). Στο πλαίσιο της μετρητικής διαδικασίας οι SM συλλέγουν δεδομένα και τα αποστέλλουν στο κέντρο διαχείρισης προς επεξεργασία, ενώ το κέντρο διαχείρισης αποστέλλει εντολές ελέγχου στα τερματικά, δηλαδή τους ευφείς μετρητές.



Σχήμα 2.1 Δομή και επικοινωνία στοιχείων του ευφυούς δικτύου

Προκύπτει ότι τα SM συστήματα αποτελούν πλήρως λειτουργικά πληροφοριακά δίκτυα, τα οποία απαρτίζονται τα εξής στοιχεία :

1. *Ευφείς μετρητές (SM)*: Αποτελούν τις τερματικές διατάξεις του δικτύου που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή και μετάδοση πληροφορίας.
2. *Συγκεντρωτής – Πύλη (Concentrator – Gateway)*: Πρόκειται για την οντότητα του δικτύου που επιτρέπει τη σύνδεση των τερματικών συσκευών με το δίκτυο κορμού.

3. *Σύστημα Διαχείρισης Δεδομένων (Meter Data Management System – MDMS)*: Αποτελεί σημείο συγκέντρωσης της πληροφορίας που συλλέγουν οι μετρητές. Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται μέσω πληροφοριακών συστημάτων. Επίσης, άλλες εφαρμογές μπορεί να έχουν εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στα δεδομένα.

4. *Δίκτυο SM – SM Area Network*: Αναφέρεται στη γεωγραφική περιοχή που περιλαμβάνει τα τερματικά και τους συγκεντρωτές.

5. *Δίκτυο Επικοινωνιών SM – SM Communication Network*: Είναι το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο που διασυνδέει τα SM με τους συγκεντρωτές και οι συγκεντρωτές με το MDMS.

Η κύρια λειτουργία των SM συστημάτων είναι η μέτρηση συγκεκριμένων μεγεθών με καθορισμένη συχνότητα και η αποστολή των μετρήσεων στο MDMS. Άλλες λειτουργίες έχουν ως αντικείμενο την άμεση αναφορά κάποιου προβλήματος που εντοπίστηκε στα τερματικά ή στο δίκτυο SM. Επίσης, τα ευφυή τερματικά είναι σε θέση να δέχονται εντολές από το κέντρο διαχείρισης προκειμένου να εκτελέσουν ενέργειες που αποσκοπούν στη διόρθωση δυσλειτουργιών ή σφαλμάτων του ηλεκτρικού δικτύου. Επιπλέον, η επικοινωνία των μετρητών και του MDMS μπορεί να γίνεται για καθαρά διαχειριστικούς λόγους ή για ανανέωση του λογισμικού των SM.

2.2 Ιεραρχική αρχιτεκτονική

Έχει επικρατήσει η προσέγγιση ότι το δίκτυο AMI πρέπει να έχει ιεραρχική δομή που παρακολουθεί την αρχιτεκτονική του δικτύου HE. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική αποσκοπεί στην καλύτερη διαχείριση του τεράστιου αριθμού έξυπνων μετρητών. Τα στρώματα ενός δικτύου AMI (υποδίκτυα - tiers) είναι:

- **Home Area Network (HAN)**: Το HAN προσφέρει διασύνδεση σε ευφυείς μετρητές, έξυπνες συσκευές, αισθητήρες, συσκευές κατανάλωσης ενέργειας και συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας. Πύλη (gateway ή οικιακός συγκεντρωτής) του HAN θεωρείται ο έξυπνος μετρητής.
- **Local/Industrial /Block Area Network (LAN/IAN/BAN)**: Αφορά μια ευρύτερη περιοχή, όπως ένα εργοστάσιο ή μία πολυκατοικία προσφέρει διασύνδεση μεταξύ μιας ομάδας έξυπνων μετρητών, οι οποίοι είναι πύλες σε δίκτυα HAN. Πύλη του BAN θεωρείται κάθε τοπικός συγκεντρωτής (local gateway).
- **Neighborhood Area Network (NAN)**: Αποτελεί την δικτύωση μια ομάδας έξυπνων μετρητών και local gateways σε χωρική έκταση διαμέτρου της τάξης εκατοντάδων μέτρων. Πύλη του NAN θεωρείται ένας

συγκεντρωτής, που επικοινωνεί με έξυπνους μετρητές και τοπικούς συγκεντρωτές.

- **Wide Area Network (WAN):** Το δίκτυο αυτό έχει γεωγραφική έκταση διαμέτρου μερικών χιλιομέτρων (π.χ. κάλυψη μιας πόλης) και περιλαμβάνει συγκεντρωτές. Πύλες του WAN θεωρούνται τοπικά κέντρα ελέγχου, που επικοινωνούν με ομάδες συγκεντρωτών. Το σύνολο των τοπικών κέντρων ελέγχου συνδέονται με τον MDMS και σχηματίζουν το δίκτυο κορμού του AMI. Όμως, ως δίκτυο WAN μπορεί να θεωρηθεί και το δίκτυο επικοινωνίας ενός ποσοστού συγκεντρωτών απευθείας με το MDMS.

2.3 ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η τοπολογία ενός SM δικτύου εξαρτάται από τη χωρική κατανομή των ευφυών μετρητών και από τον τρόπο που αυτοί επικοινωνούν μεταξύ τους. Με κριτήριο την υπολογιστική τους ικανότητα, οι SM κατηγοριοποιούνται σε :

- **Full – Function Device (FFD):** οι κόμβοι που ανήκουν στην κατηγορία αυτή μπορεί να λειτουργήσουν είτε ως συντονιστές του δικτύου, είτε ως απλοί ενδιάμεσοι κόμβοι. Εκτός της δυνατότητας καταγραφής δεδομένων από το εξωτερικό περιβάλλον, μπορούν να επικοινωνήσουν με άλλους κόμβους, μεταφέροντας μηνύματα διαχείρισης και ελέγχου.
- **Reduced – Function Device (RFD):** πρόκειται για κόμβους που διαθέτουν μόνο λειτουργίες καταγραφής και επικοινωνίας με κόμβους FFD. Ως εκ τούτου, δεν μπορούν να λειτουργήσουν ως συντονιστές του δικτύου.

Υπάρχουν πέντε είδη τοπολογιών που απαντώνται σε ένα δίκτυο SM. Αυτές μπορεί να είναι:

- Τοπολογία αστέρα (star)
- Τοπολογία δένδρου (tree)
- Τοπολογία κατανεμημένου δικτύου (mesh network)
- Τοπολογία διαύλου (bus)
- Τοπολογία βρόχου (ring)

- **Τοπολογία Αστέρα**

Η τοπολογία αστέρα (ή Ακτινωτή) περιλαμβάνει ένα κόμβο FFD και πλήθος απλών κόμβων καταγραφής RFD. Αποκαλείται και επικοινωνία σημείου προς σημείο (point-to-point), καθώς όλοι οι κόμβοι καταγραφής επικοινωνούν απευθείας με τον κόμβο πλήρους λειτουργίας, που έχει και το ρόλο συγκεντρωτή όντας υπεύθυνος για την περαιτέρω προώθηση των δεδομένων. Απαραίτητη προϋπόθεση, που αποτελεί ταυτόχρονα και σημαντικό περιορισμό της τοπολογίας αυτής, είναι η εγκατάσταση των τελικών κόμβων εντός της εμβέλειας του FFD, προκειμένου να είναι δυνατή η επικοινωνία και η μεταφορά δεδομένων. Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η απευθείας δρομολόγηση.

- **Τοπολογία Δένδρου**

Η τοπολογία δένδρου προκύπτει με ομαδοποίηση τελικών κόμβων που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από το συγκεντρωτή και αδυνατούν να επικοινωνήσουν απευθείας μαζί του. Κάθε ομάδα τελικών κόμβων επικοινωνεί με ένα επαναλήπτη, που είναι κόμβος FFD, αφού πρέπει να διαθέτει λειτουργίες καταγραφής, λήψης και προώθησης πακέτων. Λειτουργία του επαναλήπτη είναι η συγκέντρωση δεδομένων από τους κόμβους κατώτερου επιπέδου και η προώθηση τους προς τον κόμβο – συγκεντρωτή. Είναι φανερό ότι κάθε πακέτο δεδομένων πραγματοποιεί πολλαπλά βήματα για να φθάσει στον τελικό προορισμό του, χρησιμοποιώντας έτσι μια multi-hop δρομολόγηση. Αυτό το είδος τοπολογίας διαθέτει το πλεονέκτημα της κλιμακωσιμότητας, καθώς κάθε νέος κόμβος μπορεί να εντάσσεται σε μια υπάρχουσα ομάδα, γεγονός που τον καθιστά άμεσα λειτουργικό. Ωστόσο, η τοπολογία αυτή χρειάζεται πρωτόκολλα δρομολόγησης που πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τα περιορισμένα ενεργειακά αποθέματα των κόμβων. Παραδείγματα αλγορίθμων δρομολόγησης είναι οι ROLL και AODV. Επίσης, οι αλγόριθμοι οφείλουν να είναι ευέλικτοι σε αλλαγές, όπως η είσοδος νέων κόμβων.

- **Mesh Τοπολογία**

Η κατανεμημένη (mesh) τοπολογία παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με την τοπολογία δένδρου, χαρακτηριζόμενη, ωστόσο, από μικρότερη ομοιομορφία στη χωρική κατανομή των κόμβων. Η δρομολόγηση γίνεται με παρόμοιους αλγόριθμους έχει πολυβηματική (multi-hop) δρομολόγηση, ενώ τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα δεν διαφέρουν σημαντικά από εκείνα της τοπολογίας δένδρου. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της mesh τοπολογίας είναι η διαθεσιμότητα εναλλακτικών

διαδρομών. Ακριβώς επειδή υπάρχει χωρική ανομοιομορφία, η επικοινωνία με τον κόμβο RFD μπορεί να γίνει μέσω εναλλακτικής multi-hop δρομολόγησης. Όλοι οι κόμβοι βασίζονται στους γειτονικούς τους για να μεταδώσουν δεδομένα. Μέσω της mesh τοπολογίας και της εναλλακτικής δρομολόγησης, η επικοινωνία είναι εφικτή και σε περιπτώσεις όπου γειτονικός κόμβος τεθεί εκτός λειτουργίας. Σε τοπολογία δένδρου δεν είναι εφικτή η εναλλακτική δρομολόγηση στην περίπτωση όπου τεθεί εκτός λειτουργίας ο κόμβος – πατέρας.

- **Τοπολογία Διαύλου**

Στην τοπολογία διαύλου, όλοι οι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι στον ίδιο φυσικό δίαυλο. Δεδομένα από ένα κόμβο φθάνουν σε όλους και κάθε κόμβος ελέγχει αν είναι ο παραλήπτης. Έχει μικρό κόστος υλοποίησης, αφού χρησιμοποιείται ένας δίαυλος, αλλά και δυσκολότερη διαχείριση. Στην περίπτωση όπου διακοπεί η σύνδεση, το δίκτυο πρόσβασης παύει να λειτουργεί, αφού δεν υπάρχει εναλλακτική διαδρομή.

- **Τοπολογία Βρόχου**

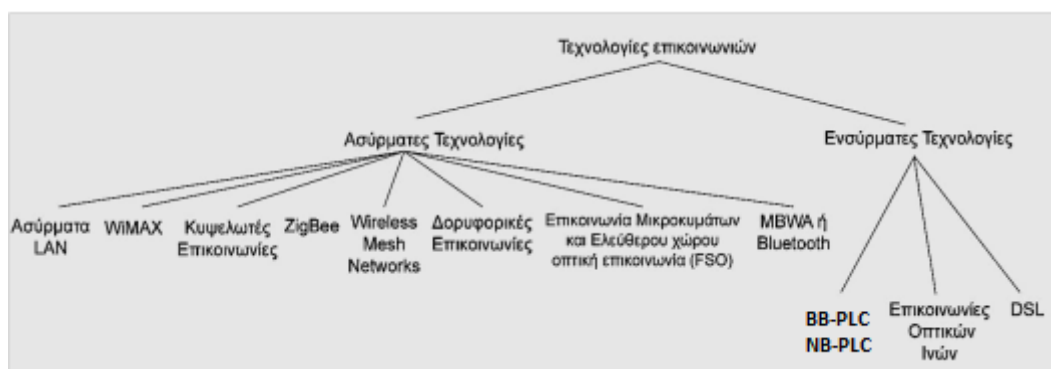
Στη βροχοειδή τοπολογία, όλοι οι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζουν ένα κλειστό βρόχο. Δηλαδή, κάθε κόμβος είναι συνδεδεμένος με άλλους δύο κόμβους. Τα δεδομένα μεταδίδονται ημιαμφίδρομα και διέρχονται από όλους τους κόμβους του δικτύου, που λειτουργούν και ως επαναλήπτες για να διατηρούν την ισχύ του σήματος υψηλή. Τέλος, η τοπολογία βρόχου προσφέρει εναλλακτική δρομολόγηση όταν μια ζεύξη σταματήσει να λειτουργεί, ενεργοποιώντας την αντίστροφη διαδρομή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Τεχνολογίες επικοινωνιών για εφαρμογές Ευφύων Δικτύων

3.1 Τεχνολογίες επικοινωνιών.

Οι απαιτήσεις ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου μερικές φορές μπορεί να είναι δύσκολο να οριστούν, ειδικά σε εφαρμογές που τώρα αναδύονται όπως τα έξυπνα δίκτυα ενέργειας. Οι δύο σημαντικότεροι παράγοντες που χρειάζεται να ληφθούν υπόψη είναι η απόδοση του καναλιού (throughput), που συχνά αναφέρεται και ως ταχύτητα ή εύρος ζώνης και η καθυστέρηση μετάδοσης του καναλιού (latency). Αν οι στόχοι που τίθενται για αυτούς τους παράγοντες δεν επιτευχθούν, το σύστημα δεν είναι αποδεκτής QoS. Παράγοντες που έπονται αλλά είναι επίσης σημαντικοί, είναι η αξιοπιστία και η ασφάλεια. Η απόδοση του καναλιού καθορίζει πόση πληροφορία είναι δυνατό να σταλεί από ένα σημείο σε ένα άλλο σε δεδομένο χρόνο. Σε αναλογικά συστήματα η απόδοση είναι ανάλογη του εύρους ζώνης και συνήθως δίνεται σε Hertz, ενώ στα ψηφιακά συστήματα συνήθως υπολογίζεται σε bits ανά δευτερόλεπτο (bps). Πολλές τεχνολογίες δικτύου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα έξυπνο δίκτυο στους τομείς της μεταφοράς, της διανομής και στο τελικό επίπεδο των καταναλωτών, αλλά καμία από αυτές δεν είναι όλες τις εφαρμογές.



Σχήμα 3.1 Κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών επικοινωνιών

- **Field area networks**

Τα δίκτυα FAN αποτελούν τη μονάδα επικοινωνίας μεταξύ στοιχείων του δικτύου για τα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ηλεκτρικοί αισθητήρες στα τροφοδοτικά και τους μετασχηματιστές της διανομής, οι έξυπνες ηλεκτρικές συσκευές (IEDs) ικανές να εκτελούν εντολές ελέγχου από

τα συστήματα DMS (Distribution Management System), οι κατακεντρωμένοι ενεργειακοί πόροι (Distributed Energy Resources – DER) στα συστήματα διανομής, οι σταθμοί φόρτισης plug-in ηλεκτρικών οχημάτων (PEVs) και οι έξυπνοι μετρητές στις εγκαταστάσεις των πελατών αποτελούν τις κύριες πηγές πληροφοριών προς παρακολούθηση και έλεγχο από τα συστήματα DMS στα κέντρα ελέγχου. Οι εφαρμογές του συστήματος ενέργειας στον τομέα της διανομής χρησιμοποιούν δίκτυα FAN για να μοιράζονται και να ανταλλάσσουν πληροφορίες.

Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν είτε με βάση τον τομέα διανομής, οπότε είναι αυτές που σχετίζονται είτε με τις γραμμές μεταφοράς, τους αισθητήρες, τους ρυθμιστές τάσης κ.τ.λ, είτε με τους καταναλωτές, οπότε σχετίζονται γενικά με τους τελικούς καταναλωτές, όπως σπίτια, κτίρια, βιομηχανικούς χρήστες κ.τ.λ. Οι δυο κατηγορίες εφαρμογών που λειτουργούν στον τομέα της διανομής έχουν διαφορετικές βασικές απαιτήσεις. Για παράδειγμα, οι εφαρμογές βασισμένες στους καταναλωτές (σε αυτές περιλαμβάνονται τα AMI, DR, LMS κ.ά.) απαιτούν το δίκτυο επικοινωνίας μεταξύ της επιχείρησης κοινής ωφέλειας και του καταναλωτή να είναι επεκτάσιμο, κάτι που θα επιτρέψει την εξυπηρέτηση περισσότερων εφαρμογών και καταναλωτών στο μέλλον, ενώ ο παράγοντας χρόνος σεν τις επηρεάζει ιδιαίτερα. Από την άλλη, οι βασισμένες στον τομέα διανομής εφαρμογές (περιλαμβάνονται εφαρμογές SCADA και OMS, παρακολούθηση και έλεγχο των DER, κ.ά.) είναι περισσότερο ευαίσθητες στην καθυστέρηση μετάδοσης. Ως εκ τούτου, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν να επιλέξουν να υιοθετήσουν είτε αφιερωμένα δίκτυα επικοινωνίας σε κάθε κατηγορία εφαρμογών, είτε ένα ενιαίο και κοινόχρηστο δίκτυο για τις δυο κατηγορίες. Ένα κοινόχρηστο δίκτυο θα ελαχιστοποιήσει το κόστος ανάπτυξης, ενώ τα ξεχωριστά δίκτυα έχουν το πλεονέκτημα της δυνατότητας επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο και της πρόσθετης ασφάλειας.

- **Home Area Networks**

Τα οικιακά δίκτυα απαιτούνται στον τομέα του καταναλωτή, για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των έξυπνων συσκευών στο χώρο των πελατών και για την εφαρμογή νέων λειτουργιών όπως DR και AMI. Τα πρώτα HAN εμφανίστηκαν προς τα τέλη της δεκαετίας του '90 και άρχισαν να εξαπλώνονται από τις αρχές του 2000 με την ανάπτυξη του Διαδικτύου. Πλέον, με την εμφάνιση και ανάπτυξη του έξυπνου δικτύου, τα de facto πρότυπα (Ethernet και 802.11 Wi-Fi) δικτύωσης HAN πρέπει να αναμένουν και νέα πρότυπα στον τομέα αυτό, με τις κύριες διαφορές τους να στρέφονται γύρω από τους ρυθμούς δεδομένων και την κατανάλωση ενέργειας. Το Διαδίκτυο

και οι τεχνολογίες περί αυτό αναπτύχθηκαν με στόχο τη μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων μέσω ενός δικτύου σε τμήματα. Οι ανάγκες ενός έξυπνου δικτύου, όμως, είναι αρκετά διαφορετικές, απαιτώντας σχετικά χαμηλό εύρος ζώνης αλλά τακτική και αδιάλειπτη επικοινωνία. Εντός των οικιών, για παράδειγμα, συσκευές όπως θερμοστάτες, συστήματα HVAC, συστήματα οικιακού αυτοματισμού ή διαχείρισης οικιακής ενέργειας, μετρητές νερού και μετρητές ηλεκτρικού ρεύματος θα διασυνδέονται και θα επικοινωνούν, επιτρέποντας στους ιδιοκτήτες να αντιλαμβάνονται και να διαχειρίζονται καλύτερα την κατανάλωση ενέργειας. Οι συσκευές αυτές έχουν μικρότερες απαιτήσεις εύρους ζώνης, αλλά προϋποθέτουν τακτική και συνεχή ροή δεδομένων.

Γενικά, υπάρχει πληθώρα προτύπων και πρωτοκόλλων που ανταγωνίζονται για την κυριαρχία στην αγορά των έξυπνων δικτύων. Με τόσες πολλές συσκευές που χρειάζεται να συνδεθούν στο δίκτυο, επαφίεται στην ευχέρεια των καταναλωτών και των κατασκευαστών να καθορίσουν τα καταλληλότερα από αυτά και να επιλέξουν όποια υπερτερούν ως προς τη διαλειτουργικότητα, την κλίμακα οικονομίας και την ευκολία εγκατάστασης και λειτουργίας.

Με τόσες συσκευές που αναμένεται να ενσωματωθούν στα έξυπνα δίκτυα, εύλογα τίθεται το ερώτημα πώς πρόκειται να συνδεθούν. Φαίνεται να υπάρχουν δυο διαφορετικές προσεγγίσεις για την αρχιτεκτονική HAN και τον τρόπο που σχετίζεται με την επιχείρηση κοινής ωφέλειας. Η πρώτη προσέγγιση είναι ότι η επιχείρηση, που παραδοσιακά ελέγχει το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής υποδομής, αν όχι ολόκληρη, θα είναι σε θέση να ελέγχει και όλες τις συσκευές εντός των οικιών για να διαχειρίζεται καλύτερα το δίκτυο. Η δεύτερη προσέγγιση προβλέπει ότι η επιχείρηση θα έχει πρόσβαση σε μία πύλη των οικιών αλλά ο καταναλωτής αυτοτελώς ή μέσω τρίτων θα ελέγχει τι συμβαίνει μέσα στην οικία του. Αυτή η επιλογή είναι πιο βολική γιατί ταιριάζει τόσο στους καταναλωτές, δεν επιθυμούν που να μπορεί η επιχείρηση να χειρίζεται τις συσκευές μέσα στο ίδιο τους το σπίτι, όσο και στους παρόχους και τους κατασκευαστές, που ασχολούνται με τη διαλειτουργικότητα.

Τα πρότυπα για τα δίκτυα HAN μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κατηγορίες, αυτά που χρειάζονται νέα καλώδια, αυτά που δεν απαιτούν νέα καλώδια και τα ασύρματα, με κάθε κατηγορία να εμφανίζει πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Στην ενσύρματη δικτύωση, το πλέον διαδεδομένο, και χωρίς ανταγωνισμό, πρότυπο είναι το Ethernet. Στην περίπτωση που είναι επιθυμητό να διατηρηθεί η υπάρχουσα καλωδίωση, οι ενσύρματες επιλογές

που υπάρχουν σχεδόν σε κάθε οικία είναι οι τηλεφωνικές γραμμές και οι γραμμές του ηλεκτρικού ρεύματος. Υπάρχουν πρότυπα και τεχνολογίες και για τις δύο περιπτώσεις, αλλά δεδομένου ότι ένας από τους κύριους στόχους του έξυπνου δικτύου είναι να παρακολουθεί και να ελαχιστοποιεί τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, η χρήση των γραμμών ρεύματος έχει το προβάδισμα. Ένας επιπλέον λόγος που η χρήση των γραμμών ρεύματος έχει προβάδισμα είναι η περιορισμένη κάλυψη των τηλεφωνικών γραμμών στην κατασκευή του σπιτιού. Το HomePlug είναι το πιο διαδεδομένο πρότυπο για επικοινωνία μέσω ηλεκτρικών γραμμών, το HomePNA χρησιμοποιεί τις τηλεφωνικές γραμμές ή ομοαξονικά καλώδια, ενώ το G.hn είναι ένα ITU πρότυπο για δικτύωση μέσω γραμμών ρεύματος, τηλεφωνικών γραμμών ή ομοαξονικών καλωδίων, με ρυθμούς δεδομένων έως 1Gbps. Από την άλλη πλευρά, ολοένα μεγαλύτερο ενδιαφέρον αποκτά συνεχώς η ασύρματη σύνδεση των συσκευών, μια τάση που αναμένεται να συνεχιστεί. Δύο από τις εξέχουσες ασύρματες τεχνολογίες που ανταγωνίζονται στο χώρο των έξυπνων δικτύων είναι τα πρότυπα IEEE 802.11n (WiFi) και το 802.15.4 (που χρησιμοποιεί το ZigBee).

3.2 Ασύρματες Τεχνολογίες (Wireless Technologies)

Γενικά, τα σήματα στις ασύρματες επικοινωνίες υφίστανται σημαντική εξασθένηση λόγω μετάδοσης και αντιμετωπίζουν παρεμβολές από το περιβάλλον. Κατά συνέπεια, τα ασύρματα δίκτυα περιορίζονται σε συνδέσεις μικρών αποστάσεων με συγκριτικά χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων.

Η εφαρμογή ασύρματων τεχνολογιών προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις ενσύρματες, όπως μικρό κόστος εγκατάστασης, κινητικότητα, κάλυψη απομακρυσμένων περιοχών, ταχεία εγκατάσταση κ.ά. Ωστόσο, για κάθε τεχνολογία υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις που πρέπει να διευθετηθούν πριν την επιλογή της σε περιβάλλον έξυπνων δικτύων. Κάποιες κοινές ανησυχίες για τις ασύρματες τεχνολογίες είναι: 1) Οι ασύρματες τεχνολογίες που λειτουργούν σε μη αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων είναι περισσότερο ευάλωτες σε θορύβο και παρεμβολές, 2) Οι ασύρματες τεχνολογίες με αδειοδοτημένο φάσμα αντιμετωπίζουν μικρότερες παρεμβολές, αλλά είναι συγκριτικά μια δαπανηρή λύση, 3) η ασφάλεια στα ασύρματα μέσα επικοινωνίας είναι μικρότερη.

Ασύρματες τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις διάφορες εφαρμογές των έξυπνων δικτύων παρουσιάζονται ακολούθως.

3.2.1 Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless LAN)

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (LAN), βασίζονται στο πρότυπο IEEE 802.11, παρέχουν εύρωστη, υψηλής ταχύτητας επικοινωνία σημείου-προς-σημείο (point-to-point) και σημείου-προς-πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint), σε ρυθμούς των 1 και 2Mbps. Στο πρότυπο αυτό υιοθετήθηκε τεχνολογία απλωμένου φάσματος που επιτρέπει να χρησιμοποιείται η ίδια ζώνη συχνοτήτων από πολλούς χρήστες με ελάχιστη παρεμβολή σε άλλους χρήστες. Το πρότυπο IEEE 802.11b, γνωστό επίσης και ως Wi-Fi, προσφέρει μέγιστο ρυθμό δεδομένων στα 11Mbps και λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 2.4GHz με διαμόρφωση DSSS. Επιπλέον, πρόσφατα διαθέσιμες τεχνολογίες βασισμένες στο IEEE 802.11a και 802.11g μπορούν να επιτύχουν ρυθμούς μέχρι 54 Mbps. Το IEEE 802.11a λειτουργεί στα 5.4GHz με OFDM διαμόρφωση και το IEEE 802.11g, γνωστό ως ενισχυμένο Wi-Fi, λειτουργεί στα 2,4GHz με DSSS διαμόρφωση. Το IEEE 802.11n, βασισμένο σε τεχνολογία MIMO (Multiple Input Multiple Output) προορίζεται να αυξήσει τους ρυθμούς μεταφοράς, φθάνοντας τα 600Mbps, ενώ το IEEE 802.11i, γνωστό ως WPA-2, ενισχύει την ασφάλεια στα ασύρματα LANs χρησιμοποιώντας προηγμένα πρότυπα κρυπτογράφησης (AES).

Η εφαρμογή ασύρματων LAN πλεονεκτεί σε σχέση με τα ενσύρματα γιατί είναι εύκολο να εγκατασταθούν, λιγότερο ακριβά και παρέχουν κινητικότητα των συσκευών. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές, όπως στον αυτοματισμό και την προστασία υποσταθμών διανομής και στην απεικόνιση και τον έλεγχο των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (DERs), ειδικά σε περιπτώσεις απομακρυσμένων, μικρών υποσταθμών και DERs, όπου οι απαιτήσεις για ρυθμούς μετάδοσης και ασύρματες παρεμβολές είναι συγκριτικά χαμηλότερες.

3.2.2 WiMAX

Η τεχνολογία WiMAX (Worldwide inter-operability for Microwave Access) είναι μέρος της σειράς προτύπων 802.16 για δίκτυα WMAN (Wireless Metropolitan Area Network). Κύριος στόχος του WiMAX είναι να επιτύχει διαλειτουργικότητα σε παγκόσμιο επίπεδο για μικροκυματική πρόσβαση. Το 2001, όταν εκδόθηκε το πρώτο σχέδιο του IEEE 802.16, όριζε το ευρύ φάσμα των 10-66GHz για τις επικοινωνίες. Κατόπιν, δεσμεύτηκε ένα υποσύνολο του φάσματος για διαλειτουργικότητα. Στις σταθερές επικοινωνίες αφιερώθηκαν οι ζώνες 3.5 και 5.8GHz, ενώ στις κινητές επικοινωνίες ανατέθηκαν οι ζώνες 2.3, 2.5 και 3.5GHz. Οι ζώνες των 2.3, 2.5, 3.5GHz είναι αδειοδοτημένα, ενώ των 5.8GHz είναι μη αδειοδοτημένο. Το WiMAX παρέχει ρυθμούς δεδομένων μέχρι 70Mbps και εμβέλειας μέχρι 48km. Ωστόσο, η κάλυψη και η ταχύτητα

του δικτύου είναι μεγέθη αντιστρόφως. Τα αδειοδοτημένα φάσματα επιτρέπουν μετάδοση υψηλότερης ισχύος και σε μεγαλύτερες αποστάσεις, κάτι που τα καθιστά καταλληλότερα για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων.

Μερικές από τις εφαρμογές των έξυπνων δικτύων όπου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το WiMAX είναι: 1) Ασύρματα Αυτόματα Συστήματα Ανάγνωσης Μετρητών (WAMRS), 2) Τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο (Real-time Pricing), 3) Ανίχνευση και αποκατάσταση διακοπής λειτουργίας.

Στα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας WiMAX συμπεριλαμβάνονται το μικρότερο κόστος ανάπτυξης και λειτουργίας, η ομαλή επικοινωνία, οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης (που φθάνουν τα 75Mbps), το επαρκές εύρος ζώνης και η επεκτασιμότητα.

Ένα από τα αρνητικά του WiMAX είναι ότι το εύρος ζώνης διαμοιράζεται με τους χρήστες. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι οι συχνότητες πάνω από 10GHz δεν μπορούν να διαδοθούν μέσω εμποδίων. Έτσι, ειδικά για αστικές περιοχές, οι χαμηλότερες συχνότητες είναι πιο χρήσιμες, όμως έχουν ήδη αδειοδοτηθεί. Άρα, ο πλέον πρόσφορος τρόπος να χρησιμοποιήσουν οι πάροχοι των έξυπνων δικτύων την τεχνολογία αυτή είναι να μισθώσουν υπηρεσίες από άλλον.

3.2.3 Κυψελωτές Επικοινωνίες (Cellular network Communication)

Το υπάρχον δίκτυο κυψελωτών επικοινωνιών είναι μια καλή επιλογή τόσο για την επικοινωνία μεταξύ των έξυπνων μετρητών και των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας όσο και μεταξύ απομακρυσμένων κόμβων. Χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα υποδομή επικοινωνιών, οι επιχειρήσεις αποφεύγουν σημαντικό κόστος και χρόνο που θα απαιτούνταν για τη δημιουργία μιας νέας και αποκλειστικής υποδομής.

Οι 3G (3rd Generation) / 4G (4rd Generation) τεχνολογίες λειτουργούν στο φάσμα 824-894MHz/1900MHz, που είναι οι αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων αυτής της τεχνολογίας έχουν αυξηθεί τελευταία, αλλά η απόσταση κάλυψης της περιοχής εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα της κυψελωτής υπηρεσίας. Η τοπολογία του δικτύου περιλαμβάνει κυψέλες, που καλύπτουν μια ευρεία περιοχή και η καθεμία εξυπηρετείται από τουλάχιστον ένα ασύρματο πομπό χαμηλής ισχύος, γνωστό ως σταθμό βάσης. Κάθε κυψέλη χρησιμοποιεί διαφορετικό σύνολο καναλιών από τις γειτονικές της, ώστε να αποφεύγεται η παρεμβολή και να παρέχεται εγγυημένο εύρος ζώνης εντός των ορίων της.

Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα, το σημαντικότερο είναι ότι τα κυψελωτά δίκτυα έχουν ήδη αναπτυχθεί. Έτσι, όπως έχει αναφερθεί, οι πάροχοι δεν επιβαρύνονται με κόστος κατασκευής. Επίσης, παρέχεται επαρκές εύρος ζώνης για αρκετές από τις εφαρμογές, ενώ με την πρόσφατη ανάπτυξη των 3G / 4G τεχνολογιών, ο ρυθμός δεδομένων και η ποιότητα υπηρεσίας (QoS) βελτιώνονται ραγδαία.

Από την άλλη πλευρά, μερικές κρίσιμες εφαρμογές των έξυπνων δικτύων χρειάζονται αδιάλειπτη διαθεσιμότητα επικοινωνιών. Ωστόσο, το κυψελωτό δίκτυο χρησιμοποιείται κυρίως και παράλληλα αυτό μπορεί να οδηγήσει σε συμφόρηση του δικτύου ή μείωση της QoS σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Ακόμη, οι κυψελωτές επικοινωνίες είναι πιθανόν ακατάλληλες για εφαρμογές που διακινούν μεγάλο όγκο δεδομένων και απαιτούν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης.

3.2.4 ZigBee

Το ZigBee είναι μια αξιόπιστη, αποτελεσματική ως προς το κόστος, ασύρματη τεχνολογία επικοινωνιών, χαμηλής κατανάλωσης ισχύος, χαμηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων, μικρού κόστους εφαρμογής και πολυπλοκότητας. Είναι ιδανική τεχνολογία για έξυπνο φωτισμό, παρακολούθηση της ενέργειας, οικιακό αυτοματισμό κλπ. Το ZigBee και το ZigBee Smart Energy Profile (SEP) έχουν αναγνωριστεί ως τα καταλληλότερα πρότυπα για εφαρμογές έξυπνου δικτύου στον οικιακό τομέα. Λειτουργεί στη μη αδειοδοτημένη ζώνη των 868MHz στην Ευρώπη, στη ζώνη των 915MHz στην Βόρεια Αμερική και στη ζώνη των 2.4GHz παγκοσμίως. Η ζώνη των 2.4GHz, όπου λειτουργούν συχνότερα οι ZigBee συσκευές, έχει 16 κανάλια εύρους 2MHz το καθένα, τοποθετημένα σε απόσταση 5MHz μεταξύ τους και χρησιμοποιεί την OQPSK τεχνική διαμόρφωσης. Επιλέγεται αυτό το σχήμα, που είναι μια παραλλαγή της κλασσικής QPSK, επειδή απαιτεί λιγότερη ισχύ συγκριτικά με παρόμοια σχέδια διαμόρφωσης, ενώ επιτυγχάνει την ίδια ή καλύτερη απόδοση. Το ZigBee προσφέρει ρυθμούς δεδομένων 20-250Kbps και κάλυψη 10-100m.

Το ZigBee θεωρείται πολύ καλή επιλογή για μετρήσεις (metering) και διαχείριση ενέργειας και είναι ιδανικό για εφαρμογές έξυπνων δικτύων χάρη στην απλότητα, την κινητικότητα που παρέχει, τις χαμηλές απαιτήσεις εύρους ζώνης, τη λειτουργία του σε μη αδειοδοτημένο φάσμα και την ευκολία εφαρμογής του.

Υπάρχουν, όμως, κάποιοι περιορισμοί στη χρήση του ZigBee σε πρακτικές εφαρμογές, όπως η μικρή δυνατότητα επεξεργασίας, το μικρό

μέγεθος μνήμης, και οι παρεμβολές από άλλες συσκευές που μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης.

3.2.5 Bluetooth

Το Bluetooth συμπεριλαμβάνεται στο πρότυπο IEEE 802.15.1 για τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (wireless personal area network- WPAN). Είναι πρότυπο χαμηλής ισχύος και μικρού εύρους ζώνης. Λειτουργεί στη μη αδειοδοτημένη ISM ζώνη των 2.4-2.4835GHz και παρέχει ρυθμό μετάδοσης 721Kbps. Οι συσκευές με ρύθμιση Bluetooth αποτελούνται από την πλήρη δομή 7 επιπέδων κατά OSI. Η τεχνολογία Bluetooth μπορεί να διευκολύνει τόσο την επικοινωνία σημείου προς σημείο, όσο και σημείου προς πολλαπλά σημεία. Ανάλογα με τη ρύθμιση παραμέτρων της επικοινωνίας, προσφέρει κάλυψη μεταξύ 1m-100m. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τοπικές, online εφαρμογές απεικόνισης ως μέρος των συστημάτων αυτοματισμού των υποσταθμών.

Οι συσκευές που χρησιμοποιούν Bluetooth επηρεάζονται πολύ από γειτονικές χωρικά ζεύξεις και μπορεί να αλληλοπαρεμβάλλονται με τα ασύρματα LAN δίκτυα. Γενικά, το Bluetooth δεν προσφέρει ικανοποιητική ασφάλεια συγκριτικά με άλλα πρότυπα.

3.2.6 Ασύρματα Δίκτυα Πλέγματος (Wireless Mesh Networks – WMN)

Ένα δίκτυο πλέγματος (mesh network) είναι ένα ευέλικτο δίκτυο αποτελούμενο από μια ομάδα κόμβων, όπου νέοι κόμβοι μπορούν να εντάσσονται στην ομάδα και κάθε κόμβος μπορεί να δρά ως ανεξάρτητος δρομολογητής. Τα WMN συχνά αποτελούνται από πελάτες πλέγματος (mesh clients), δρομολογητές πλέγματος (mesh routers) και πύλες. Οι πελάτες είναι συχνά φορητοί υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα και άλλες ασύρματες συσκευές, ενώ οι δρομολογητές πλέγματος προωθούν κίνηση από και προς τις πύλες, οι οποίες είναι ενδεχομένως συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο. Η περιοχή κάλυψης των ραδιοκόμβων, που αποτελεί ενιαίο δίκτυο, καλείται και σύννεφο πλέγματος. Τα WMN δίκτυα είναι αξιόπιστα και προσφέρουν πλεονασμό. Αυτού του είδους τα δίκτυα έχουν, επίσης, την ιδιότητα της αυτό-ίασης, που επιτρέπει στα σήματα επικοινωνιών να βρίσκουν εναλλακτική διαδρομή μέσω των ενεργών κόμβων, σε περίπτωση όπου κάποιος κόμβος εγκαταλείψει το δίκτυο.

Τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος και τα δίκτυα χαμηλής ισχύος και χαμηλού ρυθμού (low-power and low-rate, LPLR) έχουν σημαντικό ρόλο στην επικοινωνιακή υποδομή των έξυπνων δικτύων. Από την μία πλευρά, τα WMN δίκτυα, που αρχικά ήταν σχεδιασμένα για επικοινωνία σε επίπεδο κοινότητας ή

γειτονιάς, θεωρούνται μία από τις προβλεπόμενες λύσεις που θα υποστηρίξουν τα έξυπνα δίκτυα. Βασίζονται κυρίως στο πρότυπο IEEE 802.11 για να παρέχουν αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική δικτύωση πλέγματος, με εύκολη εγκατάσταση και εφαρμογή και αποτελούν μια προσιτή επένδυση. Μπορούν να διαχειρίζονται αποδοτικά εφαρμογές των έξυπνων δικτύων, ταυτόχρονα με άλλες χρήσεις που δεν αφορούν έξυπνα δίκτυα. Από την άλλη πλευρά, τα LPLR δίκτυα εφαρμόζουν γενικά το πρότυπο IEEE 802.15.4 και αποτελούνται από πολυάριθμες συσκευές, οι οποίες είναι βασισμένες σε αισθητήρες.

3.2.7 Δορυφορικές επικοινωνίες

Οι δορυφορικές επικοινωνίες είναι μια καλή λύση για τον απομακρυσμένο έλεγχο και την παρακολούθηση, αφού παρέχουν παγκόσμια κάλυψη και γρήγορη εγκατάσταση. Σε ορισμένα σενάρια όπου δεν υπάρχει επίγεια υποδομή επικοινωνίας, ιδιαίτερα σε απομακρυσμένους υποσταθμούς και μονάδες παραγωγής, οι δορυφορικές επικοινωνίες είναι μια οικονομικά αποδοτική λύση. Τέτοιου είδους επικοινωνία μπορεί να εγκατασταθεί εύκολα και απαιτεί μόνο την απόκτηση του απαραίτητου εξοπλισμού δορυφορικής επικοινωνίας. Στο σημείο αυτό αξιωματικά σημειωθεί ότι ορισμένες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν ήδη εγκαταστήσει τέτοιον εξοπλισμό για την παρακολούθηση των αγροτικών υποσταθμών.

Επιπλέον, μια αποκλειστικά επίγεια αρχιτεκτονική είναι ευάλωτη σε καταστροφές ή βλάβες του συστήματος επικοινωνίας. Κατά συνέπεια, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία και η παράδοση της κρίσιμης κίνησης δεδομένων σε περιπτώσεις καταστροφών ή βλαβών του επίγειου συστήματος επικοινωνιών, οι δορυφόροι μπορούν να προσφέρουν εφεδρική τηλεπικοινωνιακή λύση.

Ωστόσο, πρέπει να σημειωθούν και τα μειονεκτήματα των δορυφορικών επικοινωνιών. Πρώτον, ένα δορυφορικό σύστημα επικοινωνίας έχει σημαντικά υψηλότερη καθυστέρηση από αυτή ενός επίγειου συστήματος. Αυτό καθιστά κάποια πρωτόκολλα π.χ. TCP, τα οποία είχαν αρχικά σχεδιαστεί για επίγεια επικοινωνία, ακατάλληλα για τις δορυφορικές επικοινωνίες. Δεύτερον, τα χαρακτηριστικά ενός δορυφορικού καναλιού επηρεάζονται δραστικά από τις καιρικές συνθήκες. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να μειώσει σε μεγάλο βαθμό τη διαθεσιμότητα του συστήματος επικοινωνίας.

3.3 Ενσύρματες Τεχνολογίες (Wire line/Wired Technologies)

Οι ενσύρματες τεχνολογίες, όπως οι οπτικές ίνες και το BB-PLC (BroadBand Power Line Communications), μπορεί να προτιμηθούν από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας όταν είναι ήδη διαθέσιμες στις εξυπηρετούμενες περιοχές και ταυτοχρόνως μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις επίδοσης. Βέβαια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή επικοινωνιακών δικτύων και αφιερωμένα καλώδια που είναι διαφορετικά από τις ηλεκτρικές γραμμές. Αυτά τα ειδικά αφιερωμένα δίκτυα απαιτούν επιπλέον επένδυση για την εγκατάσταση των καλωδίων, αλλά μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερη χωρητικότητα και μικρότερη καθυστέρηση για την επικοινωνία.

Ανάλογα με το μέσο μετάδοσης που χρησιμοποιείται, τα ενσύρματα δίκτυα περιλαμβάνουν τα SONET/SDH, Ethernet, DSL και ομοαξονικού καλωδίου δίκτυα πρόσβασης.

Το DSL και τα ομοαξονικά καλώδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Η προς το παρόν διαθέσιμη τεχνολογία επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων μέσω DSL και ομοαξονικών καλωδίων με ρυθμό ως 10Mbps.

Οι τεχνολογίες οπτικών ινών και οπτικών δικτύων, όπως η επόμενη γενιά Σύγχρονη Οπτική Δικτύωση και Σύγχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία (SONET/SDH), είναι ικανές να παρέχουν διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στα επίπεδα πρόσβασης, συγκέντρωσης και πυρήνα, οι οποίοι κυμαίνονται μεταξύ 155Mbps και 160Gbps. Προσφέρουν πλατφόρμες που παρέχουν πολλαπλές υπηρεσίες, που βασίζονται στα πρωτόκολλα IP και Ethernet. Ως αποτέλεσμα της απλότητας του Ethernet και της αποδοτικότητάς του σχετικά με το κόστος, η υιοθέτηση του IP με MPLS (MultiProtocol Label Switching) για την επίτευξη μεταφοράς πάνω από SONET/SDH στα υπάρχοντα δίκτυα μεταγωγής πακέτων (γνωστά ως carrier Ethernet) θα ενισχύσει την αξιοπιστία, την ποιότητα υπηρεσίας και την ασφάλεια για τις κρίσιμες εφαρμογές των έξυπνων δικτύων. Το Ethernet είναι σήμερα σε θέση να προσφέρει ταχύτητες ενός Gbps στο Gigabit Ethernet (GbE) και 10 Gbps στο 10GbE. Τα αναδυόμενα 40GbE/100GbE με άφθονη χωρητικότητα θα είναι επωφελή για τη συνολική κίνηση δεδομένων στο έξυπνο δίκτυο.

3.3.1 Powerline Communications (PLC)

Η τεχνολογία PLC μπορεί να χρησιμοποιήσει την υπάρχουσα καλωδίωση ηλεκτροδότησης σαν μέσο μετάδοσης δεδομένων. Η τεχνολογία PLC μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να συνδέσει (δικτυώσει) οικιακούς υπολογιστές ή περιφερειακά, όμως αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει ένα καθολικό πρότυπο για αυτή την εφαρμογή. Ταυτόχρονα, μπορεί να υποστηρίξει τις κλασικές υπηρεσίες που σχετίζονται με τη διανομή ενέργειας, π.χ. έλεγχο φορτίου και απομακρυσμένη ανάγνωση μετρητών. Η τεχνολογία PLC, εφαρμόζεται επί του δικτύου μεταφοράς μέσης τάσης (MT) καθώς και του δικτύου διανομής χαμηλής τάσης (XT). Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για PLC μετάδοση είναι κυρίως στενού εύρους ζώνης (NarrowBand –NB-PLC) που λειτουργούν σε χαμηλές συχνότητες (μερικά KHz) και ευρυζωνικές (BroadBand – BB-PLC) που λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες (1-100 MHz). Τα δεδομένα μεταδίδονται με υψηλή ταχύτητα (2-3Mbps) μέσω του BB-PLC. Σε ένα τυπικό PLC δίκτυο, οι έξυπνοι μετρητές συνδέονται στο συγκεντρωτή δεδομένων μέσω των ηλεκτρικών γραμμών μεταφοράς και τα δεδομένα μεταφέρονται στο MDMS με τεχνολογίες κυψελωτών δικτύων. Για παράδειγμα, οποιαδήποτε ηλεκτρική συσκευή, όπως ένας έξυπνος μετρητής πομποδέκτη, μπορεί να συνδεθεί στη γραμμή μεταφοράς και να χρησιμοποιηθεί για να μεταφέρει τα δεδομένα των μετρήσεων σε μια κεντρική τοποθεσία. Τα πρωτόκολλα πρόσβασης μέσου που χρησιμοποιούνται στην PLC υποδομή βασίζονται στις τοπολογίες master-slave αστέρα, δακτυλίου με σκυτάλη, αρτηρίας με TDM και την Aloha ή CSMA-CD τεχνική.

Η PLC τεχνολογία μπορεί να θεωρηθεί μια υποσχόμενη τεχνολογία για τις εφαρμογές των έξυπνων δικτύων λόγω του ότι η υπάρχουσα υποδομή μειώνει το κόστος εγκατάστασης μιας νέας. Οι προσπάθειες προτυποποίησης στα PLC δίκτυα, η αποδοτικότητα ως προς το κόστος και η παρουσία τους παντού είναι λόγοι που η PLC τεχνολογία είναι δημοφιλής. Βέβαια, το στοιχείο της ασφάλειας είναι κρίσιμο. Η εμπιστευτικότητα, ο έλεγχος ταυτότητας-αυθεντικότητας, η ακεραιότητα, η παρέμβαση του χρήστη είναι μερικά από τα κρίσιμα θέματα στις επικοινωνίες των έξυπνων δικτύων. Η χρήση σε οικιακά δίκτυα (HAN) είναι η συνηθέστερη εφαρμογή για την PLC τεχνολογία. Ακόμη, μπορεί να φανεί κατάλληλη σε αστικές περιοχές για εφαρμογές όπως έξυπνες μετρήσεις, παρακολούθηση και έλεγχος.

Εντούτοις, η PLC μετάδοση χαρακτηρίζεται από προβλήματα εξασθένησης, θορύβου και παραμόρφωσης, που συναντώνται στις RF επικοινωνίες όταν υλοποιούνται μέσω των καλωδίων ηλεκτρικής ενέργειας. Λόγω του ότι οι ηλεκτρικές γραμμές δεν είχαν σχεδιαστεί για μετάδοση

δεδομένων, πρέπει να αντιμετωπιστεί ένας αριθμός σημαντικών ζητημάτων όταν χρησιμοποιείται η PLC τεχνολογία:

- Την διαφορετική αντίσταση και κατάσταση κάθε ηλεκτρικής γραμμής
- Την εξασθένηση που εξαρτάται από τη συχνότητα μετάδοσης και το μήκος των ηλεκτρικών γραμμών
- Την αλλαγή φάσης (από μονοφασική σε τριφασική και αντίθετα).

Γενικά, οι ηλεκτρικές γραμμές μεταφοράς ως μέσο μετάδοσης αποτελούν δυσμενές περιβάλλον. Το χαρακτηριστικό του χαμηλού εύρους ζώνης (20Kbps) για δίκτυα σε επίπεδο γειτονιάς (Neighborhood area networks) περιορίζει την χρήση PLC τεχνολογίας σε εφαρμογές που απαιτούν μεγαλύτερο εύρος. Επιπλέον, η τοπολογία του δικτύου, ο αριθμός και τύπος των συνδεδεμένων συσκευών στις ηλεκτρικές γραμμές, η απόσταση καλωδίωσης μεταξύ συγκεντρωτή και τερματικής συσκευής, όλα επηρεάζουν δυσμενώς την ποιότητα των σημάτων PLC που μεταδίδουν μέσω των γραμμών μεταφοράς ισχύος.

3.3.2 Digital Subscriber Lines (DSL)

Πρόκειται για μια τεχνολογία υψηλής ταχύτητας μετάδοσης ψηφιακών δεδομένων που χρησιμοποιεί τα καλώδια του τηλεφωνικού δικτύου. Η ήδη υπάρχουσα υποδομή των DSL γραμμών μειώνει το κόστος εγκατάστασης νέου δικτύου. Έτσι, πολλές επιχειρήσεις επιλέγουν το DSL για τα έργα των έξυπνων δικτύων τους. Ωστόσο, η ταχύτητα της DSL σύνδεσης εξαρτάται από το πόσο μακριά είναι ο συνδρομητής από το τηλεφωνικό κέντρο που τον εξυπηρετεί και κάτι τέτοιο δυσκολεύει τον προσδιορισμό της επίδοσης της DSL τεχνολογίας.

Η υψηλή διαθεσιμότητα, το χαμηλό κόστος και η υψηλού εύρους μετάδοση δεδομένων αποτελούν τους σημαντικότερους λόγους που θέτουν το DSL στις πρώτες θέσεις των υποψήφιων τεχνολογιών για τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας για την υλοποίηση των έξυπνων δικτύων.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν κρίσιμες εφαρμογές που απαιτούν υψηλή αξιοπιστία και αδιάλειπτη σύνδεση της DSL τεχνολογίας π.χ. online monitoring. Τα επικοινωνιακά συστήματα που βασίζονται σε DSL τεχνολογία απαιτούν την εγκατάσταση και τακτική συντήρηση καλωδίων και εξοπλισμού και συνεπώς δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε αγροτικές περιοχές λόγω του ασύμφορου κόστους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΙΚΤΥΟ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟ ΚΟΡΜΟΥ (ACCESS NETWORK AND BACKHAUL NETWORK)

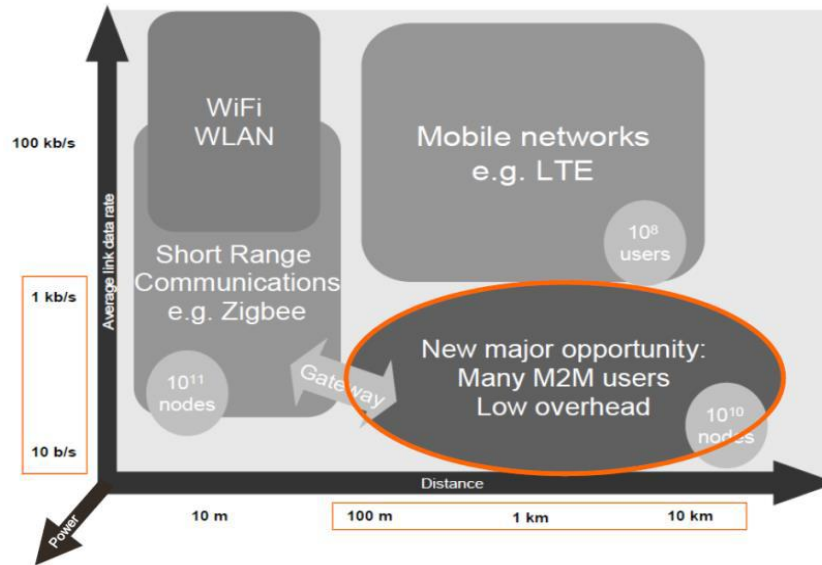
4.1 Καταλληλότητα τεχνολογιών στο δίκτυο πρόσβασης

Η καταλληλότητα των τεχνολογιών για την υλοποίηση ενός SM συστήματος εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Το περιβάλλον λειτουργίας του SM συστήματος, την πυκνότητα των κόμβων, τη ρυμοτομική κατάσταση, τα εμπόδια που υπάρχουν κατά τη μετάδοση και το ανάγλυφο του εδάφους.
- Την απαιτούμενη διάρκεια ζωής του SM συστήματος.
- Τους διαθέσιμους ενεργειακούς πόρους των τερματικών διατάξεων.

Γίνεται, λοιπόν, αντιληπτό ότι για επικοινωνία μικρών αποστάσεων κατάλληλες τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες είναι το Bluetooth ή το UWB. Για εφαρμογές χαμηλών ρυθμών μετάδοσης που απαιτούν μικρή κατανάλωση ισχύος ή κάλυψη ελαφρώς μεγαλύτερων αποστάσεων καταλληλότερες τεχνολογίες είναι αυτές που βασίζονται στα πρότυπα IEEE 802.15.4 και IEEE 802.11. Τέλος, για εγκατάσταση συστημάτων με χαμηλό κόστος, υψηλότερες ταχύτητες και ακτίνα κάλυψης της τάξης των χιλιομέτρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες DSL, PLC και GPRS. Αυτές διαθέτουν το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν το υπάρχον δίκτυο.

Στο Σχήμα 4.1 απεικονίζεται ποια είναι η καταλληλότερη τεχνολογία με κριτήριο την απόσταση κάλυψης και το ρυθμό μετάδοσης που απαιτείται για SM ή M2M εφαρμογές.



Σχήμα 4.1 Ταξινόμηση τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών συναρτήσει ρυθμού-απόστασης

	Φάσμα	Ρυθμός μετάδοσης	Ακτίνα κάλυψης	Περιορισμοί	Εφαρμογές
GSM	900-1800MHz	Μέχρι 14.4Kbps	1-10km	Χαμηλός ρυθμός μετάδοσης	AMI, , HAN
GPRS	900-1800MHz	Μέχρι 170Kbps	1-10km	Χαμηλός ρυθμός μετάδοσης	AMI,, HAN
3G	1.92-1.98GHz 2.11-2.17GHz (licensed)	348Kbps-2Mbps	1-10km	Υψηλό κόστος ενοικίασης φάσματος	AMI, HAN
Wi-Fi	2.4, 3.6 and 5GHz	22Mbps (802.11g) 144Mbps (802.11n)	100m	Μικρή ακτίνα κάλυψης	Διασύνδεση WLAN οικιακών εγκαταστάσεων
WiMAX	2.5-3.5GHz, 5.8GHz	Μέχρι 75Mbps	10-50km (LOS) 1-5km (NLOS)	Χρησιμοποιείται σπανίως	AMI, Προσφορά – Ζήτηση
PLC	1-30MHz	2-3Mbps	1-3km	Δύσκολο και θορυβώδες φυσικό μέσο	AMI
ZigBee	868MHz, 918MHz, 2.4GHz	250Kbps	30-50m	Χαμηλός ρυθμός μετάδοσης, μικρή ακτίνα κάλυψης	AMI, HAN
Bluetooth	2.4GHz	3Mbps (enhanced) 1Mbps (basic or LE)	1m, 10m, 100m (κλάσεις) 5-15m (LE)	Μικρή ακτίνα κάλυψης, υψηλή κατανάλωση ισχύος	Smart Meters, Μεταφορά δεδομένων, Παρακολούθηση

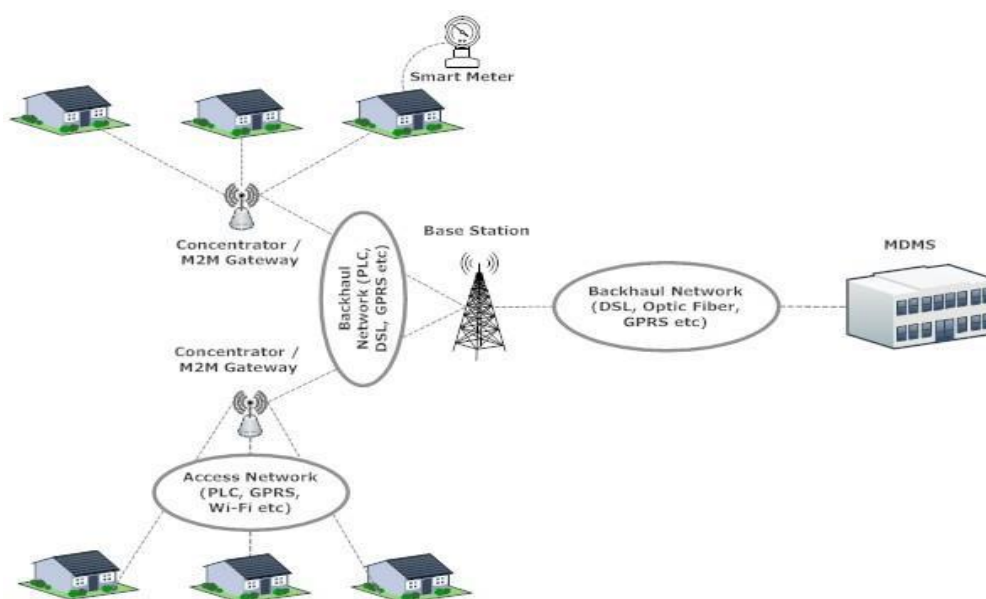
Πίνακας 4.1: Σύνοψη τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών

Είναι φανερό ότι η ορθή επιλογή της τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας αποτελεί σύνθετο πρόβλημα. Η απόφαση για την καταλληλότερη τεχνολογία

λαμβάνεται με κριτήριο την εφαρμογή που πρόκειται να εξυπηρετηθεί, τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης, την απόσταση των κόμβων του δικτύου, τους περιορισμούς ως προς την ενεργειακή κατανάλωση και τους κατά περίπτωση οικονομικούς περιορισμούς.

4.2 Μετάδοση δεδομένων στο δίκτυο κορμού

Οι τεχνολογίες που περιγράφηκαν προηγουμένως αφορούν το δίκτυο πρόσβασης, δηλαδή το τμήμα μεταξύ SM και συγκεντρωτών (concentrator). Στη συνέχεια, οι συγκεντρωτές αναλαμβάνουν να προωθήσουν τη συνολική κίνηση που προκύπτει από κάθε περιοχή στον πλησιέστερο σταθμό βάσης μέσω, ενδεχομένως, διαφορετικής τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας. Η διαφοροποίηση οφείλεται στον αυξημένο όγκο κίνησης που καλείται να εξυπηρετήσει η ζεύξη συγκεντρωτή – σταθμού βάσης, καθώς και στην απόσταση που ενδέχεται να υπάρχει μεταξύ τους. Στη συνέχεια, οι σταθμοί βάσεις προωθούν τα δεδομένα προς το κέντρο διαχείρισης (MDMS). Η τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία ενδέχεται και πάλι να διαφοροποιηθεί καθώς η κίνηση και η απόσταση μετάδοσης είναι πλέον ακόμα μεγαλύτερη. Οι συγκεντρωτές και οι σταθμοί βάσεις τροφοδοτούνται ηλεκτρικά από το ηλεκτρικό δίκτυο και αυτό επιτρέπει τη χρήση πρωτοκόλλων που απαιτούν υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας με δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων σε μεγαλύτερη απόσταση. Αξίζει να αναφερθεί ότι η ζεύξη σταθμού βάσης – MDMS μπορεί να απουσιάζει στις περιπτώσεις όπου ο συγκεντρωτής ταυτίζεται τοπολογικά και λειτουργικά με το σταθμό βάσης. Το τμήμα του δικτύου που αναπτύσσεται από τους συγκεντρωτές προς το κέντρο διαχείρισης αποτελεί το δίκτυο κορμού (backhaul network).



Σχήμα 4.2 Δομή ενός SM συστήματος

Κατά τη μετάβαση από τα τερματικά προς το κέντρο διαχείρισης δεδομένων, οι τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις πρέπει να διαθέτουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης και μηχανισμούς που αποτρέπουν την καθυστέρηση.

4.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των επικοινωνιών στο δίκτυο κορμού.

4.3.1 Μικροκυματικές ζεύξεις

Υπό τον όρο αυτό εννοείται οποιαδήποτε μορφή ασύρματης μετάδοσης σήματος, η τεχνολογία της οποίας χρησιμοποιεί την περιοχή του φάσματος από περίπου 1GHz έως περίπου 30GHz. Όπως κάθε τεχνολογία μετάδοσης σήματος, οι μικροκυματικές ζεύξεις εμφανίζουν θετικά και αρνητικά χαρακτηριστικά.

- **Πλεονεκτήματα:** Λόγω του μεγάλου διαθέσιμου φάσματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά φέροντα με διαφορετικούς ρυθμούς και να επιλέγεται ο καταλληλότερος εξ αυτών σύμφωνα με τις απαιτήσεις της SM εφαρμογής. Η καθυστέρηση μετάδοσης της πληροφορίας είναι ανεπαίσθητη, ενώ η υψηλή κατευθυντικότητα που χαρακτηρίζει τις μικροκυματικές κεραίες εκμηδενίζει τις παρεμβολές από και σε άλλες εκπομπές. Η μεγάλη απόσβεση ελευθέρου χώρου (free space loss) λόγω μετάδοσης σε υψηλές συχνότητες και ο εκμηδενισμός των παρεμβολών λόγω υψηλής κατευθυντικότητας επιτρέπουν την αναχρησιμοποίηση συχνοτήτων σε γειτονικές περιοχές, χωρίς να επηρεάζεται το SNIR.

- **Μειονεκτήματα:** Ο μικροκυματικός δίαυλος επηρεάζεται έντονα από καιρικά φαινόμενα, ενώ σε συχνότητες μεγαλύτερες των 10GHz έντονη βροχόπτωση μπορεί να θέσει το δίαυλο εκτός λειτουργίας για μεγάλο χρονικό διάστημα, εφόσον το περιθώριο διαλείψεων είναι ανεπαρκές. Οι μικροκυματικές ζεύξεις απαιτούν Line of Sight (LOS) επικοινωνία για να εξασφαλίσουν το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό διαθεσιμότητας της ζεύξης.

4.3.2 WiMAX

Αρχικά, η ασύρματη τεχνολογία του WiMAX διαμορφώθηκε ως εναλλακτική λύση της ενσύρματης πρόσβασης στο Διαδίκτυο μέσω του DSL. Όπως φάνηκε αργότερα, η χρήση της επεκτάθηκε και σε άλλους τομείς, όπως η παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών σε φορητές συσκευές, η παροχή triple play, καθώς επίσης σε εφαρμογές smart grid και smart metering. Η ακτίνα κάλυψης μιας WiMAX κυψέλης καθορίζεται με βάση την ισχύ εκπομπής και μπορεί να φθάσει ακόμα και τα 50km. Όπως συμβαίνει σε κάθε μορφή ασύρματης

επικοινωνίας, ο ρυθμός μετάδοσης του WiMAX συμπεριφέρεται αντίστροφα προς την ακτίνα κάλυψης, φθάνοντας ακόμα και τα 70Mbps σε περιοχές κοντά στο σημείο εκπομπής. Η φασματική απόδοση του WiMAX προσεγγίζει αυτή των δικτύων κινητών επικοινωνιών (3.5G – 4G) με 3.7bps/Hz.

- **Πλεονεκτήματα:** Η δυνατότητα ρύθμισης της επιθυμητής ισχύος εκπομπής των συγκεντρωτών συμβάλλει στην επίτευξη διαφόρων συνδυασμών ταχύτητας και ακτίνων κάλυψης, προσδίδοντας έτσι ευελιξία στο σχεδιασμό του SM (ή M2M) δικτύου. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι χρησιμοποιούνται τόσο αδειοδοτημένες (δυνατότητα χρήσης ελεύθερων φασματικών ζωνών λόγω μετάβασης στην ψηφιακή εκπομπή τηλεόρασης), όσο και ελεύθερες περιοχές φάσματος στα 2.3GHz, 2.5GHz και 3.5GHz.

- **Μειονεκτήματα:** Το ότι το WiMAX λειτουργεί στην ίδια περιοχή συχνοτήτων με το Wi-Fi συνεπάγεται υψηλό επίπεδο αμοιβαίων παρεμβολών. Η ποικιλία ρυθμών μετάδοσης μέσα στην ίδια την κυψέλη προσδίδει ανομοιομορφία στις υπηρεσίες που μπορούν να εξυπηρετηθούν, αφού η υποστήριξη ευρυζωνικών υπηρεσιών στα άκρα των κυψελών απαιτεί τη διάσπαση των κυψελών προς σχηματισμό νέων, αυξάνοντας έτσι το κόστος υλοποίησης του SM (ή M2M) δικτύου, καθώς επίσης και το επίπεδο παρεμβολών από άλλες κυψέλες. Τέλος, η μετάδοση WiMAX σημάτων υποβαθμίζεται από φαινόμενα πολυδιαδρομικής μετάδοσης (multipath) και σκίασης (fading) λόγω της εδαφικής ή και ρυμοτομικής ανομοιομορφίας των περιοχών κάλυψης.

4.3.3 Επικοινωνίες οπτικών ινών (fiber – optic)

Οι επικοινωνίες οπτικών ινών αποτέλεσαν επαναστατικό βήμα στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, καθώς οι συχνότητες μετάδοσης της πληροφορίας είναι της τάξης των THz και οι συνήθεις ταχύτητες είναι της τάξης των Gbps. Με χρήση διαφόρων τεχνικών πολύπλεξης και πρόσβασης στο μέσο (TDMA, OFDMA, OCDMA), επιτυγχάνεται ο επιθυμητός συνδυασμός ρυθμών μετάδοσης αντίστοιχα προς την εφαρμογή.

- **Πλεονεκτήματα:** Η μετάδοση μέσω οπτικών ινών είναι αξιόπιστη, χωρίς να επηρεάζεται από θόρυβο ή ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (ElectroMagnetic Interference – EMI) και παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Interference – RFI). Για το λόγο αυτό αποτελεί το ιδανικό μέσο για περιβάλλοντα λειτουργίας υψηλής τάσης, όπως οι υποσταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση επαναληπτών χρειάζεται μόνο στις περιπτώσεις όπου το σήμα πρέπει να διανύσει αρκετά χιλιόμετρα, μειώνοντας το κόστος του δικτύου οπτικών ινών για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων.

- **Μειονεκτήματα:** Για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης εμφανίζονται έντονα φαινόμενα διασποράς, ενώ η ισχύς έγχυσης στην οπτική ίνα πρέπει να ελέγχεται προς αποφυγή μη γραμμικών φαινομένων. Με την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης αυξάνεται σημαντικά το κόστος των lasers, ενώ η επιλεκτικότητα των οπτικών φίλτρων είναι περιορισμένη, σε σχέση με τα ψηφιακά ηλεκτρονικά φίλτρα. Επιπλέον, για σήματα μικρού εύρους ζώνης απαιτείται η χρήση ηλεκτρονικών φίλτρων έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους.

4.3.4 Κυψελωτά δίκτυα κινητών επικοινωνιών (cellular networks)

Τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών αποτελούν πολύ καλή λύση και για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ συγκεντρωτών και σταθμού βάσης. Σύντομη παρουσίαση των τύπων των δικτύων κινητών επικοινωνιών έγινε στην παράγραφο 2.3, ωστόσο αξίζει να επισημανθεί το εξής. Δεδομένου ότι το δίκτυο κινητών επικοινωνιών θα χρησιμοποιηθεί για πρόσβαση στο δίκτυο κορμού, οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, ρυθμούς μετάδοσης και ευαισθησίας στην καθυστέρηση είναι αυξημένες. Επομένως, είναι αναγκαία η λειτουργία σε υψηλότερες συχνότητες από αυτή του GSM (900MHz), όπως είναι το UMTS (1800MHz), το DCS (2100MHz) και το LTE (1800MHz,2600MHz).

4.3.5 DSL και PLC

Είναι αναμενόμενο ότι οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε δίκτυα κορμού. Τα σχετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έχουν ήδη αναφερθεί. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ένας σημαντικός περιορισμός. Οι PLC επικοινωνίες μπορούν να υποστηρίξουν ρυθμούς μετάδοσης ως 24Mbps στη μέση τάση, με αποτέλεσμα μελλοντικά να αποτελέσουν στενωπό του δικτύου, αφού το πλήθος δεδομένων που θα κληθούν να εξυπηρετήσουν ενδεχομένως να υπερβαίνει τις δυνατότητές τους.

4.4 Διαχείριση κίνησης

Η διαχείριση της κίνησης πρέπει να γίνεται βάσει των προτεραιοτήτων των πακέτων. Ένα σύστημα SM εξυπηρετεί διάφορες ροές δεδομένων που σχετίζονται με πληροφορίες τηλεμετρίας, πληροφορίες ελέγχου και διαχείρισης του δικτύου ή μηνύματα ενημέρωσης των καταναλωτών. Η σχεδίαση πρέπει να γίνει έτσι ώστε να υποστηρίζεται επιτυχώς η εξυπηρέτηση μελλοντικών εφαρμογών, όπως παρακολούθηση εγκαταστάσεων σε πραγματικό χρόνο,

προσαρμογή του δικτύου στις απαιτήσεις νέων φορτίων όπως η φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων κτλ.

Ως εκ τούτου, τα πακέτα πληροφορίας πρέπει να διαθέτουν και πεδίο προτεραιότητας, ώστε να έχουν την κατάλληλη αντιμετώπιση από το δίκτυο. Η μεταφορά δεδομένων που σχετίζεται με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (best effort) με ελαστικές απαιτήσεις ως προς την καθυστέρηση μετάδοσης. Πακέτα που ενδέχεται να χαθούν λόγω σφάλματος, αδυναμίας επικοινωνίας του κόμβου, ή υπερφόρτωσης του δικτύου, μπορούν να ανακτηθούν από τα MDMS με απευθείας κλήση στο κόμβο που παρουσίασε αστοχία.

Η δεύτερη κατηγορία ιεράρχησης πληροφορίας σχετίζεται με πακέτα διαχείρισης του δικτύου. Αυτά μπορεί να εμπεριέχουν εντολές εισόδου – εξόδου δευτερευουσών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή DER (Distributed Energy Resources), απομακρυσμένη διαχείριση συσκευών για εξισορρόπηση φορτίου (load balancing) κτλ. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται επίσης και πακέτα με πληροφορία σφαλμάτων, αστοχιών, υπερφόρτωσης και γενικότερα προβλήματα του δικτύου. Η ανωτέρω πληροφορία συμβάλλει στην άμεση εποπτεία της λειτουργίας του ηλεκτρικού δικτύου και τη διατήρηση υψηλής QoS για τους καταναλωτές. Συνεπώς, τα πακέτα αυτά αποτελούν υπηρεσίες πραγματικού χρόνου και πρέπει να αντιμετωπίζονται από το δίκτυο επικοινωνιών με τον αντίστοιχο τρόπο. Οι ανωτέρω υπηρεσίες είναι ευαίσθητες τόσο στην καθυστέρηση όσο και στην απώλεια πακέτων, ώστε να εξασφαλίζεται το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Επίσης, απαιτούν ταχεία και αξιόπιστη μετάδοση και επεξεργασία της πληροφορίας από τους ενδιαμέσους κόμβους, ταχείες διαδικασίες στο κέντρο διαχείρισης και άμεση ανατροφοδότηση της πληροφορίας ελέγχου στο δίκτυο.

4.5 Η υπάρχουσα τηλεπικοινωνιακή υποδομή

Τα συστήματα SM μπορούν να αξιοποιούν την υπάρχουσα τηλεπικοινωνιακή υποδομή προς ελαχιστοποίηση του κόστους εγκατάστασης τους και ταχείας έναρξης της λειτουργίας τους. Είναι ήδη διαθέσιμα τρία δίκτυα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τηλεπικοινωνιακό υπόβαθρο των συστημάτων SM.

- Το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο – PSTN
- Το δίκτυο κινητών επικοινωνιών
- Το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

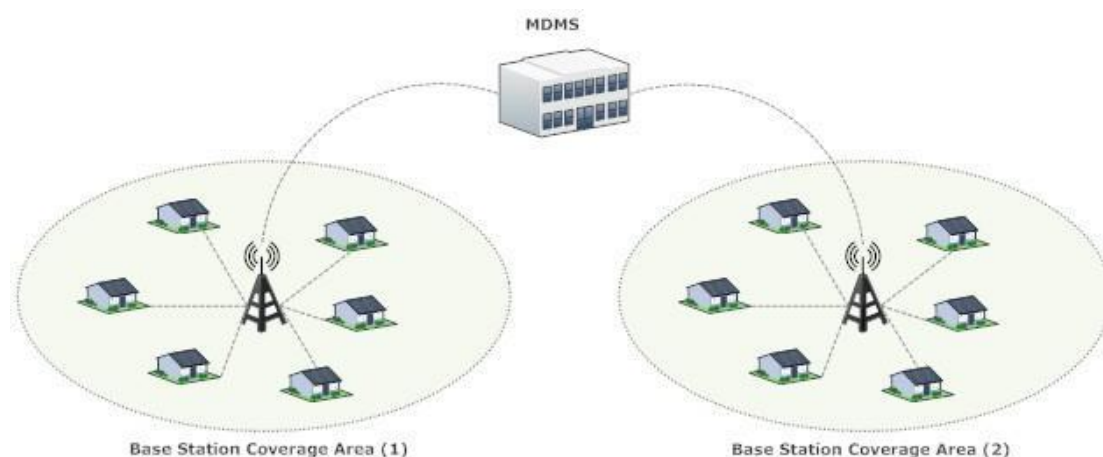
4.5.1 Το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο

Το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο χαρακτηρίζεται από ποσοστό κάλυψης που αγγίζει το 100%, ενώ σημαντικό τμήμα του έχει ψηφιοποιηθεί ώστε να παρέχει ευρυζωνικές υπηρεσίες μέσω DSL τεχνολογιών. Το δίκτυο κορμού αποτελείται σε μεγάλο ποσοστό από οπτικές ίνες. Το ποσοστό αυτό αυξάνεται συνεχώς λόγω της προοδευτικής αντικατάστασης του χαλκού. Η χαμηλότερη ταχύτητα που επιτυγχάνεται είναι της τάξης των Mbps, δηλαδή υποστηρίζονται υπηρεσίες ευρείας ζώνης. Τα SM συστήματα μπορούν να αξιοποιήσουν την υπάρχουσα υποδομή και να βασίσουν την επικοινωνία τους σε DSL συνδέσεις. Η ταχύτητα των συνδέσεων αυτών είναι επαρκής για να εξυπηρετήσει επιτυχώς SM εφαρμογές αλλά και να υποστηρίξει την είσοδο νέων υπηρεσιών. Μπορεί να λύσει τόσο τη αξιόπιστη σύνδεση με μηδενική απώλεια δεδομένων, όσο και την εξυπηρέτηση εφαρμογών πραγματικού χρόνου. Υπό την παραδοχή ότι σε κάθε εγκατάσταση όπου θα τοποθετηθεί ένας SM υπάρχει και σύνδεση στο Διαδίκτυο μέσω DSL, γίνεται αμέσως αντιληπτό πόσο ταχέως μπορεί να τεθεί ένα αντίστοιχο SM σύστημα σε λειτουργία. Εκτός αυτού, η συνολική επιβάρυνση που θα επιφέρει η εξυπηρέτηση SM εφαρμογών μέσω του PSTN στις υπόλοιπες ευρυζωνικές υπηρεσίες αναμένεται να είναι ελάχιστη ως μηδενική, καθώς η κίνηση των SM είναι περιοδική και όχι συνεχής, ενώ ο όγκος πληροφορίας είναι της τάξης των μερικών δεκάδων bytes.

4.5.2 Το δίκτυο κινητών επικοινωνιών

Μια άλλη υπάρχουσα τηλεπικοινωνιακή υποδομή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για SM δίκτυα είναι αυτή του δικτύου κινητών επικοινωνιών. Το υπάρχον δίκτυο υποστηρίζει τεχνολογίες GPRS/EDGE/3G – HSPA/4G – LTE. Οι δύο πρώτες τεχνολογίες υποστηρίζουν μόνο μετάδοση δεδομένων, ενώ οι δύο τελευταίες είναι ευρυζωνικού χαρακτήρα και υποστηρίζουν πολυμεσικές εφαρμογές. Όλες οι ανωτέρω τεχνολογίες μπορούν να εξυπηρετήσουν SM συστήματα σε πιλοτικό στάδιο, αν και μόνο οι δύο τελευταίες είναι βέβαιο ότι μπορούν να υποστηρίξουν ενδεχόμενες μελλοντικές εφαρμογές με ανάγκη για μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης. Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η άμεση λειτουργία των SM συστημάτων. Το δίκτυο κινητών επικοινωνιών μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές που δεν διαθέτουν DSL τεχνολογία, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει κάλυψη του δικτύου κινητών επικοινωνιών. Ένα ακόμα πλεονέκτημα οφείλεται στην άμεση επικοινωνία του SM με το σταθμό βάσης, παρακάμπτοντας έτσι το συγκεντρωτή. Η επιλογή της θέσης των μετρητών πρέπει να γίνει προσεκτικά, καθώς πρέπει να εξασφαλίζεται η σύνδεσή τους στη βέλτιστη διαθέσιμη τεχνολογία επικοινωνιών. Τέλος, επισημαίνεται ότι τα SM τερματικά που

επικοινωνούν μέσω δικτύου κινητών επικοινωνιών έχουν υψηλές απαιτήσεις σε κατανάλωση ενέργειας. Συνεπώς, η επιλογή αυτής της υποδομής μπορεί να γίνει μόνο αν εξασφαλίζεται η συνεχής ενεργειακή τροφοδότηση των SM.



Σχήμα 4.3 Επικοινωνία σταθμών βάσης με MDMS

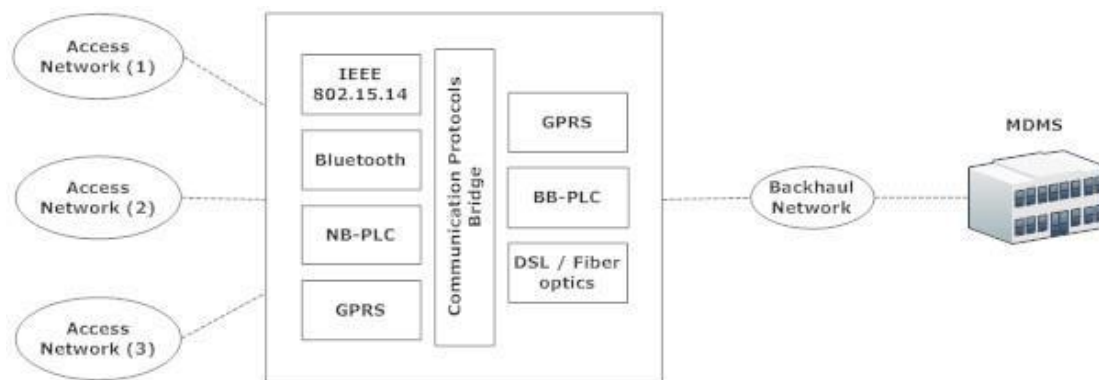
4.5.3 Το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Ως τηλεπικοινωνιακή υποδομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, υπό την προϋπόθεση ότι θα γίνουν κατάλληλες τροποποιήσεις ώστε να υποστηρίζονται PLC επικοινωνίες. Από πλευράς γεωγραφικής κάλυψης, η PLC τεχνολογία αποτελεί τη βέλτιστη λύση, ενώ παράλληλα επιτρέπει την άμεση λειτουργία SM συστημάτων. Παρά το πλεονέκτημα της μεγάλης γεωγραφικής κάλυψης και της άμεσης λειτουργίας, η τεχνολογία PLC εμφανίζει και αρκετά μειονεκτήματα. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι ο θορυβώδης διάυλος επικοινωνίας που δυσκολεύει τη μετάδοση πληροφορίας καθώς και η σημαντική εξασθένηση που προξενείται σε μεγάλες αποστάσεις. Συνεπώς, πρόκειται για εναλλακτική τεχνολογία που προτιμάται στις περιπτώσεις όπου η ασύρματη επικοινωνία είναι αδύνατη. Ωστόσο, πρέπει να αποφεύγεται όταν μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές μέθοδοι.

4.6 Γεφύρωση μεταξύ δικτύου πρόσβασης και δικτύου κορμού

Από την αναφορά που έγινε προηγουμένως, προκύπτει ότι η καταλληλότητα των τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το δίκτυο πρόσβασης και το δίκτυο κορμού ποικίλλει. Η επιλογή της τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας επηρεάζεται από κριτήρια που σχετίζονται με την απόσταση των κόμβων, τον επιθυμητό ρυθμό μετάδοσης, το ανάγλυφο του εδάφους, τη ρυμοτομική κατάσταση κτλ. Επομένως, τα διάφορα δίκτυα

πρόσβασης μπορεί να χρησιμοποιούν διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας, ενώ μπορεί να διαφέρει και η τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία στο δίκτυο κορμού. Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται η κατάλληλη διεπαφή (interface) μεταξύ δικτύου πρόσβασης και δικτύου κορμού. Το Σχήμα 4.4 απεικονίζει τη γεφύρωση των πρωτοκόλλων που απαιτείται κατά τη μετάβαση από το δίκτυο πρόσβασης στο δίκτυο κορμού και αντιστρόφως.



Σχήμα 4.4: Διεπαφή μεταξύ δικτύου πρόσβασης και δικτύου κορμού

Τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε επιλεγμένου δικτύου πρόσβασης είναι αυτά που καθορίζουν την κατάλληλη τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία. Στη συνέχεια, η θέση του MDMS και η κίνηση που αυτό καλείται να εξυπηρετήσει καθορίζουν τον τρόπο μεταφοράς δεδομένων στο δίκτυο κορμού. Η γεφύρωση πρωτοκόλλων πρέπει να πραγματοποιείται στα σημεία του δικτύου όπου υπάρχει μετάβαση στην τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία που χρησιμοποιείται και πρέπει να είναι διαφανής στη λειτουργία του δικτύου. Η διεπαφή πρέπει να διαθέτει λειτουργίες που σχετίζονται με την προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης και την αναδιοργάνωση – μετατροπή των πακέτων σε μορφή που να υποστηρίζεται από το δίκτυο κορμού. Αντίστοιχες λειτουργίες συμβαίνουν και στο downlink των εντολών από το MDMS, συνεπώς πρέπει να υπάρχει μια αμφίδρομη συμπεριφορά των διεπαφών. Η διεπαφή οφείλει επίσης να εκτελεί λειτουργίες διαχείρισης κίνησης ώστε να εξυπηρετεί εφαρμογές πραγματικού χρόνου, να αντιμετωπίζει φαινόμενα συμφόρησης και γενικότερα να εξασφαλίζει τη διατήρηση υψηλού QoS.

4.7 Επικοινωνία ευφών μετρητών

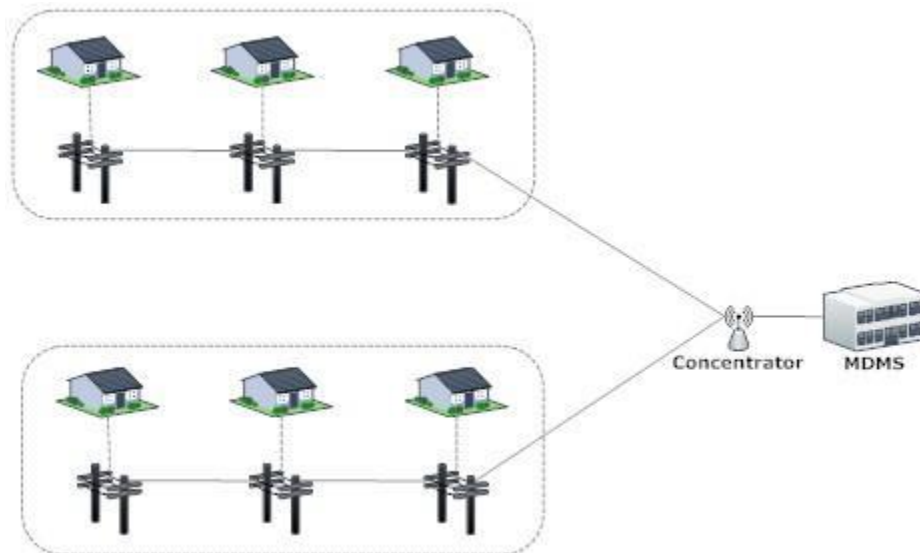
Κατά την εγκατάσταση ενός SM συστήματος, το δίκτυο πρόσβασης απαιτεί ενδελεχή μελέτη. Η μετάδοση δεδομένων από τους μετρητές προς το συγκεντρωτή γίνεται σε διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον διάδοσης. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε στην αστοχία λειτουργίας – επικοινωνίας κάποιων μετρητών λόγω εξάντλησης πόρων, είτε στη μεταβολή του περιβάλλοντος διάδοσης λόγω κινούμενων εμποδίων και σκεδαστών. Αυτά πρέπει να

λαμβάνονται υπόψη κατά τη σχεδίαση και να χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα αντίμετρα για την αντιμετώπισή τους. Από την άλλη πλευρά, το δίκτυο κορμού χαρακτηρίζεται από σταθερά σημεία σύνδεσης και εξυπηρετείται από τεχνολογίες που δεν επηρεάζονται σημαντικά από τις μεταβολές στο περιβάλλον διάδοσης. Ακολούθως, θα γίνει αναφορά στις θεμελιώδεις λειτουργίες που δρουν ως αντίμετρα στις μεταβολές των συνθηκών μετάδοσης και διασφαλίζουν τη διαθεσιμότητα του δικτύου. Οι λειτουργίες προσαρμόζονται κατάλληλα στην τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία που επιλέγεται για να εξυπηρετήσει κάθε περίπτωση.

4.7.1 Έλεγχος δρομολόγησης κίνησης

Στην περίπτωση όπου ένα SM δίκτυο έχει σχεδιαστεί με mesh τοπολογία, υπάρχει η δυνατότητα άμεσης ανταπόκρισης σε μεταβολές του περιβάλλοντος διάδοσης λόγω της δυνατότητας εναλλακτικής δρομολόγησης. Κάθε τερματική διάταξη ανακαλύπτει μόνη της τη διαδρομή προς το συγκεντρωτή, χαρακτηριστικό που επιτρέπει δυναμική προσαρμογή σε μεταβολές του περιβάλλοντος διάδοσης και εύρεση νέων διαδρομών όταν αυτό είναι απαραίτητο. Αυτό αυξάνει την ανταλλαγή μηνυμάτων σηματοδοσίας μεταξύ των μετρητών, διασφαλίζει όμως την ανταλλαγή δεδομένων και την τελική μετάδοσή τους στο MDMS. Η σηματοδοσία γίνεται ενόσω τα SM είναι αδρανή όσον αφορά τη μετάδοση δεδομένων. Συνεπώς, μηνύματα σηματοδοσίας δεν δεσμεύουν χωρητικότητα κατά τη μετάδοση ωφέλιμης πληροφορίας.

Σε περίπτωση χρήσης PLC το δίκτυο χαρακτηρίζεται από συνδυασμό τοπολογίας διαύλου και αστέρα. Γειτονικοί κόμβοι μεταδίδουν περιοδικά πληροφορία μέσω του δικτύου διανομής και, στη συνέχεια, η πληροφορία μεταφέρεται προς τον πλησιέστερο συγκεντρωτή. Η δρομολόγηση είναι προσεγγιστικά point – to – point ενώ απαιτείται και υιοθέτηση τεχνικής πρόσβασης στο μέσο μεταφοράς, ώστε να αποφεύγονται οι συγκρούσεις. Ως τεχνική πρόσβασης μπορεί να επιλεγεί κάποια εκ των TDMA/FDMA ή κάποιο πρωτόκολλο πρόσβασης όπως το CSMA/CD ή CSMA/CA.



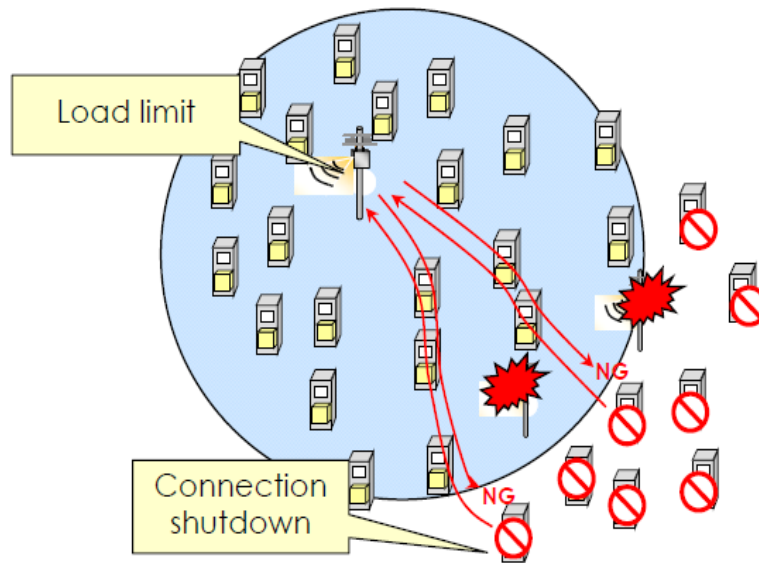
Σχήμα 4.5: Συνδυασμός τοπολογίας διαύλου – αστέρα

Σε SM συστήματα ασύρματης τεχνολογίας που επικοινωνούν μέσω του δικτύου κινητών επικοινωνιών, η δρομολόγηση είναι απλούστερη, καθώς κάθε τερματικό επικοινωνεί απευθείας με το σταθμό βάσης, χωρίς να μεσολαβούν ενδιάμεσα βήματα.

Η τοπολογία διαύλου – αστέρα μειώνει την πολυπλοκότητα της υλοποίησης του δικτύου και της δρομολόγησης της πληροφορίας, αν και δεν εξασφαλίζει εναλλακτική διαδρομή σε περίπτωση διακοπής κάποιας ζεύξης. Σε PLC δίκτυα, σε περίπτωση σφάλματος ενδιάμεσου κόμβου ή διακοπής της σύνδεσης αποκτάται σημαντικός αριθμός μετρητών. Πρέπει να λαμβάνονται μέτρα που εξασφαλίζουν εναλλακτική δρομολόγηση, ακόμα και σε PLC ή ασύρματες τεχνολογίες.

4.7.2 Περιορισμός φορτίου

Η τοπολογία πλέγματος προσφέρει εναλλακτική δρομολόγηση σε περιπτώσεις αστοχίας κατά την επικοινωνία με το συγκεντρωτή ή με γειτονικούς κόμβους. Δεδομένου ότι τα σύνορα μεταξύ περιοχών είναι δυσδιάκριτα, κάποιο SM ενδέχεται να επικοινωνήσει με άλλο SM που είναι υπό το συντονισμό διαφορετικού συγκεντρωτή και να δρομολογήσει τα δεδομένα μέσω αυτού [1].



Σχήμα 4.6: Δρομολόγηση σε διαφορετικό συγκεντρωτή

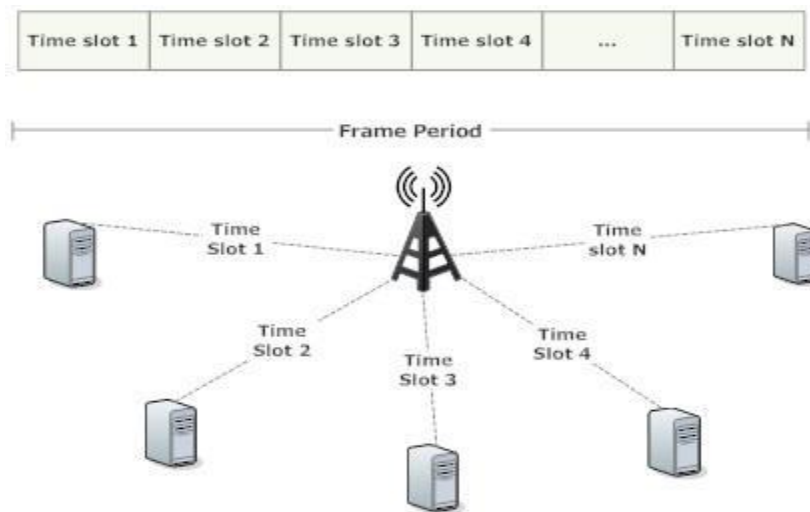
Αυτό ενδεχομένως οδηγεί σε σημαντική αύξηση του φορτίου που καλείται να υποστηρίξει ο εναλλακτικός συγκεντρωτής που μπορεί να προκαλέσει είτε συμφόρηση είτε απώλεια δεδομένων. Επομένως, είναι αναγκαίος ο ακριβής προσδιορισμός του φορτίου που καλείται να εξυπηρετήσει κάθε συγκεντρωτής και κάθε SM.

Αντίστοιχο πρόβλημα μπορεί να παρουσιαστεί και στις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται PLC τεχνολογία. Κατά τη σχεδίαση εναλλακτικών διαδρομών σε περίπτωση διακοπής κάποιας ζεύξης μπορεί να προκληθεί φαινόμενο συμφόρησης σε ενδιάμεσο κόμβο που αδυνατεί να υποστηρίξει την επιπλέον κίνηση που καλείται να δρομολογήσει. Συνεπώς, η σχεδίαση εναλλακτικών διαδρομών απαιτεί μεγάλη προσοχή, ώστε να αποκόπτονται όσο το δυνατό λιγότεροι κόμβοι και ταυτόχρονα να εξασφαλίζεται η επιτυχής διέλευση της πληροφορίας.

4.7.3 Διασπορά χρόνων μετάδοσης (TDMA)

Η συλλογή των SM δεδομένων γίνεται περιοδικά, βάσει της περιόδου δειγματοληψίας που έχει τεθεί από τις προδιαγραφές. Μέσα στο χρονικό αυτό διάστημα οφείλει να ισοκατανεμηθεί η αποστολή δεδομένων όλων των μετρητών, ώστε να μην προκαλούνται φαινόμενα συμφόρησης στο συγκεντρωτή και απώλεια δεδομένων σε ενδιάμεσους κόμβους. Δηλαδή πρέπει να διαμορφωθεί κατάλληλο σχήμα TDMA μεταξύ των SM που θα συμβάλει στη βέλτιστη αξιοποίηση των δικτυακών πόρων, ώστε ο διάυλος επικοινωνίας

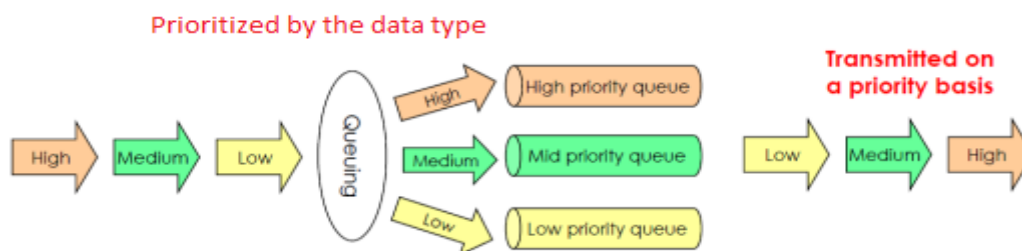
να είναι συνεχώς απασχολημένος και συγχρόνως να ελαχιστοποιείται το απαιτούμενο μέγεθος ενταμιευτών τόσο στους ενδιάμεσους κόμβους όσο και στο συγκεντρωτή.



Σχήμα 4.7: Κατανομή του χρόνου μετάδοσης

4.7.4 Εισαγωγή προτεραιοτήτων

Πέρα από την ανάθεση χρονοσχημάτων για τη μετάδοση πληροφορίας, απαραίτητος κρίνεται και ο διαχωρισμός της κίνησης μέσω εισαγωγής προτεραιοτήτων στα πακέτα, ανάλογα με το είδος των δεδομένων που μεταφέρουν.

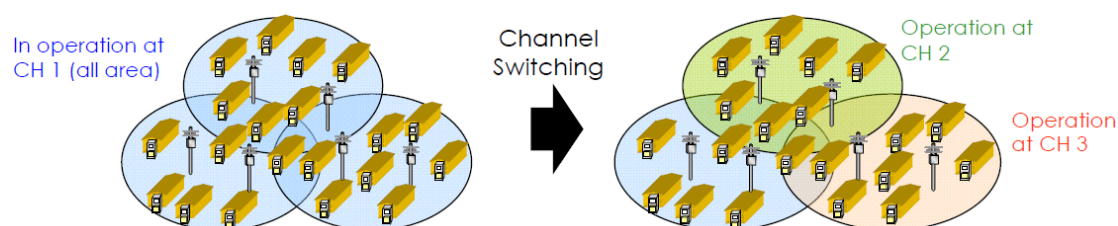


Σχήμα 4.8: Προτεραιότητες πακέτων δεδομένων

Ο διαχωρισμός της κίνησης πρέπει να γίνεται κατά τρόπο που να εξασφαλίζει την αποδεκτή QoS των διαφορετικών ροών καθώς επίσης και σε κάθε σημείο του SM δικτύου όπου δημιουργείται ουρά αναμονής. Στη συνέχεια, η μετάδοση πρέπει να γίνεται βάσει των προτεραιοτήτων που έχουν αποδοθεί και όχι βάσει της σειράς άφιξης.

4.7.5 Λειτουργία σε διαφορετικές συχνότητες (FDMA)

Το σχήμα TDMA έχει αποτελεσματική εφαρμογή στην περιοχή κάλυψης ενός συγκεντρωτή. Το συνολικό δίκτυο περιλαμβάνει πλήθος συγκεντρωτών, έκαστος των οποίων ελέγχει τη δική του κυψέλη και εξυπηρετεί πολυάριθμους SM. Προκειμένου να μειώνονται τα επίπεδα παρεμβολής μεταξύ γειτονικών κυψελών απαιτείται η χρήση FDMA. Κάθε συγκεντρωτής επικοινωνεί με τα προσαρτημένα σε αυτόν τερματικά σε κανάλια συχνοτήτων διαφορετικά από τα κανάλια που χρησιμοποιούν οι γειτονικοί συγκεντρωτές. Αυτός ο τρόπος κυψελωτής δομής ενός SM δικτύου αποτελεί συγχρόνως και αντίμετρο για τον περιορισμό φορτίου που αναφέρθηκε προηγουμένως. Δίκτυα που υποστηρίζουν PLC τεχνολογία μπορούν να χρησιμοποιήσουν και τεχνικές FDMA. Το ίδιο ισχύει για μετρητές που αποστέλλουν δεδομένα ασύρματα μέσω του δικτύου κινητών επικοινωνιών.



Σχήμα 4.9: Λειτουργία FDMA

4.7.6 Λειτουργία με το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης (CSMA/CD)

Η χρήση TDMA ή FDMA απαιτεί αυστηρό προσδιορισμό των τηλεπικοινωνιακών πόρων που χρησιμοποιεί κάθε τερματική διάταξη για τη μετάδοση δεδομένων. Στην περίπτωση χρήσης TDMA προσδιορίζονται με ακρίβεια και αυστηρότητα η διάρκεια και η θέση της χρονικής σχισμής εντός του χρονικού πλαισίου μετάδοσης, ενώ στο FDMA προσδιορίζεται αυστηρά η φέρουσα συχνότητα και το εύρος ζώνης του καναλιού όπου μεταδίδεται η πληροφορία από κάθε τερματική διάταξη. Το πρωτόκολλο CSMA/CD αίρει τον περιορισμό της αποστολής δεδομένων εντός συγκεκριμένης χρονικής σχισμής ή προκαθορισμένου καναλιού. Η πρόσβαση στο μέσο γίνεται κατά τυχαίο τρόπο, καίτοι ακολουθείται συγκεκριμένος αλγόριθμος για την αποφυγή των συγκρούσεων. Όταν μια τερματική διάταξη έχει δεδομένα προς αποστολή, ανιχνεύει την ισχύ του καναλιού για να διαπιστώσει αν κάποιος άλλος κόμβος μεταδίδει εκείνη τη στιγμή. Αν το κανάλι είναι απασχολημένο, η

τερματική διάταξη αναμένει μέχρι το κανάλι να καταστεί ελεύθερο. Μόλις το κανάλι ελευθερωθεί, μεταδίδεται ένα πλαίσιο. Σε περίπτωση σύγκρουσης η μετάδοση διακόπτεται άμεσα και κάθε τερματική διάταξη αναμένει για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και επαναλαμβάνει την ίδια διαδικασία. Η απόδοση του CSMA/CD ως προς τη χρησιμοποίηση του διαύλου είναι μεγαλύτερη σε σχέση με άλλα πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης (π.χ. ALOHA). Το πρωτόκολλο CSMA/CD διευκολύνει την κλιμακωσιμότητα του δικτύου SM όταν προστίθονται νέων SM στο δίκτυο πρόσβασης, καθώς δεν απαιτείται επαναπρογραμματισμός των προς διάθεση χρονοσχημάτων ή καναλιών.

4.8 Κριτήρια επιλογής για συστήματα και εγκαταστάσεις SM

Η επιτυχής μελέτη και εγκατάσταση ενός SM συστήματος επικεντρώνεται σε δύο κύρια χαρακτηριστικά. Το πρώτο σχετίζεται με τις απαιτήσεις των υπηρεσιών που καλείται να υποστηρίξει το SM σύστημα ενώ το δεύτερο σχετίζεται με την τοπολογία και την αρχιτεκτονική του SM δικτύου [3]. Στόχος της μελέτης είναι η επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος ως προς την εξασφάλιση των απαιτήσεων της προς εξυπηρέτηση τηλεπικοινωνιακής κίνησης με παράλληλη μείωση του κόστους και της πολυπλοκότητας του SM συστήματος. Παράλληλα, είναι απαραίτητη και η κλιμακωσιμότητα του SM δικτύου.

4.8.1 Απαιτήσεις εφαρμογών και υπηρεσιών

Η πληροφορία που διακινείται αμφίδρομα εντός του SM συστήματος πρέπει να ποσοτικοποιηθεί και κατηγοριοποιηθεί κατάλληλα. Ο χαρακτηρισμός της τηλεπικοινωνιακής κίνησης προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτουν οι κόμβοι – αισθητήρες και καθορίζει την επιλογή της δικτυακής τοπολογίας και της αντίστοιχης τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας. Οι απαντήσεις στα ακόλουθα ερωτήματα θα συμβάλουν στον προσδιορισμό των τηλεπικοινωνιακών χαρακτηριστικών του SM δικτύου.

- Ποιά είναι η απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) των υποστηριζομένων εφαρμογών; Ποιά πληροφορία σχετίζεται με παρακολούθηση πραγματικού χρόνου και ποιά είναι ανεκτική σε καθυστέρηση;
- Η καταγραφή και αποστολή των δεδομένων εκτός από περιοδική, πρέπει να πραγματοποιείται και κατά περίπτωση περιστατικών ενδιαφέροντος;

Η ποιότητα υπηρεσιών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το διαθέσιμο ρυθμό μετάδοσης της τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας που χρησιμοποιείται και το μέγεθος του πακέτου.

4.8.2 Δικτυακή τοπολογία και απαιτήσεις αρχιτεκτονικής

Το είδος της τοπολογίας του τηλεπικοινωνιακού δικτύου επηρεάζει τον τρόπο δρομολόγησης των δεδομένων προς το συγκεντρωτή, τις ενεργειακές απαιτήσεις των τερματικών διατάξεων και, κατ' επέκταση, το κόστος λειτουργίας του SM δικτύου, καθώς και τη μέγιστη δυνατή απόσταση των κόμβων από το συγκεντρωτή. Η επιλογή της τοπολογίας πρέπει να είναι τέτοια ώστε να καλύπτεται αποτελεσματικά η προς εξυπηρέτηση γεωγραφική περιοχή. Η τοπολογίας καθορίζει επίσης τις λειτουργίες που πρέπει να επιτελεί κάθε κόμβος. Αυτές μπορεί να αφορούν μόνο την αποστολή ιδίων δεδομένων από κάθε κόμβο, ή να επεκτείνονται σε συλλογή δεδομένων από γειτονικούς κόμβους και προώθηση προς τον κόμβο – συγκεντρωτή. Σε τοπολογία αστέρα, οι κόμβοι απλά αποστέλλουν τα ίδια δεδομένα, ενώ σε τοπολογία πλέγματος ή τοπολογία δένδρου οι λειτουργίες των κόμβων αυξάνονται καθώς αυτοί πλησιάζουν προς το συγκεντρωτή.

Η αξιολόγηση και η κατά περίπτωση καταλληλότητα των κυριότερων τοπολογιών για δίκτυα πρόσβασης συνοψίζεται στον Πίνακα 4.2. Στο παρακάτω υποκεφάλαιο γίνεται αντιστοιχία των τοπολογιών του τηλεπικοινωνιακού δικτύου με τις εκάστοτε περιοχές εφαρμογής ανάλογα με την πληθυσμιακή πυκνότητα, τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά και το ανάγλυφο του εδάφους.

Αρχιτεκτονική SM συστήματος	Χαρακτηριστικά	Περιοχές εφαρμογής
RF δίκτυο τοπολογίας πλέγματος (mesh network)	<ul style="list-style-type: none"> • Μείωση κόστους με προσδιορισμό του βέλτιστου πλήθους μετρητών ανά συγκεντρωτή • Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας λόγω μικρών αποστάσεων μετάδοσης • Υψηλή πυκνότητα χρηστών προς εξασφάλιση της δυνατότητας υλοποίησης του δικτύου • Προσεκτική επιλογή των θέσεων εγκατάστασης των μετρητών ώστε να εξασφαλίζεται η επικοινωνία με γειτονικούς κόμβους 	Αστικές περιοχές
Ασύρματο δίκτυο τοπολογίας αστέρα	<ul style="list-style-type: none"> • Δυνατότητα συνεργασίας με παρόχους κινητών επικοινωνιών ή δημιουργία αυτόνομου δικτύου • Μίσθωση φάσματος από υπάρχοντες τηλεπικοινωνιακούς παρόχους προς μείωση του κόστους εγκατάστασης • Η περιοχή κάλυψης του δικτύου περιορίζεται από την αντίστοιχη των σταθμών βάσης του δικτύου κινητών επικοινωνιών ή την εμβέλεια των συγκεντρωτών αν το δίκτυο είναι αυτόνομο • Χρέωση των τερματικών ανάλογα με τα δεδομένα που αποστέλλουν 	Αραιοκατοικημένες περιοχές
PLC δίκτυο τοπολογίας διαύλου	<ul style="list-style-type: none"> • Χρήση της υπάρχουσας καλωδίωσης του ηλεκτρικού δικτύου • Δυνατότητα εφαρμογής σε περιοχή με απουσία ασύρματων τεχνολογιών • Ακατάλληλο για ευρεία κάλυψη λόγω αυξημένων απωλειών διάδοσης • Χαμηλή δυνατότητα συγκέντρωσης δεδομένων 	Πολυόροφα κτίρια

Πίνακας 4.2 Αντιστοίχιση τοπολογιών και είδος περιοχής

4.9 Πληθυσμιακά -γεωγραφικά- πολεοδομικά κριτήρια επιλογής

Κατά την επιλογή τεχνολογίας επικοινωνιών σε ένα ΣΕΜ πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η πληθυσμιακή πυκνότητα, τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά καθώς και το εδαφικό ανάγλυφο της περιοχής υλοποίησης.

Προς χαρακτηρισμό της πληθυσμιακής πυκνότητας υπάρχουν τρεις κατηγορίες. Μια περιοχή μπορεί να χαρακτηριστεί ως αστική, ημιαστική, αγροτική. Ο χαρακτηρισμός γίνεται με κριτήριο την πυκνότητα των ευφών μετρητών, κατ' αναλογία της πυκνότητας των κατοίκων. Στον Πίνακα 4.3 εμφανίζεται ο χαρακτηρισμός κάθε περιοχής ανάλογα με την πυκνότητα ευφών μετρητών.

Χαρακτηρισμός Περιοχής	Ενδεικτική Πυκνότητα Ευφύων Μετρητών (EM)
Αστική	>2000 EM/km ²
Ημιαστική	800 EM/km ²
Αγροτική	10 EM/km ²

Πίνακας 4.3 Χαρακτηρισμός περιοχής ανάλογα με την πυκνότητα των μετρητών

Τα αστικά κέντρα χωρίζονται σε υποπεριοχές, εκάστη των οποίων χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα πολεοδομικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά. Επίσης, οι αστικές περιοχές χαρακτηρίζονται από αυξημένη οικοδομική δραστηριότητα και τάσεις επέκτασης, γεγονός που θα προκαλέσει μελλοντικές αλλαγές στον πληθυσμό και την πολεοδομική τους κατάσταση. Συγκεκριμένα, διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:

- Περιοχές αστικών κέντρων υψηλής πληθυσμιακής πυκνότητας**

Η πληθυσμιακή πυκνότητα των περιοχών αυτών υπερβαίνει τους 8.000 κατοίκους/km². Υπάρχει πυκνή δόμηση και πολεοδομική ομοιομορφία με πολύροφα κτίρια. Η πολεοδομική δραστηριότητα είναι κορεσμένη στις περισσότερες περιπτώσεις, διατηρώντας αμετάβλητα τα χαρακτηριστικά της περιοχής.
- Περιοχές αστικών κέντρων μέτριας πληθυσμιακής πυκνότητας**

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται τα προάστια των αστικών κέντρων. Η πληθυσμιακή πυκνότητα κυμαίνεται μεταξύ 2.500 και 8.000 κατοίκων/km². Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από πολεοδομική ανομοιομορφία, αφού υπάρχουν τόσο πολυκατοικίες όσο και μονοκατοικίες. Υπάρχει μέτρια πολεοδομική δραστηριότητα που μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές κυρίως στην πληθυσμιακή πυκνότητα.
- Περιοχές αστικών κέντρων μικρής πληθυσμιακής πυκνότητας**

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει περιοχές με πληθυσμιακή πυκνότητα μικρότερη των 2.500 κατοίκων/km². Οι περιοχές αυτές θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ημιαστικές, ωστόσο κατατάσσονται στις αστικές περιοχές. Υπάρχει αραιή δόμηση οικιστικού χαρακτήρα με μονοκατοικίες και χαμηλά κτίρια. Η πολεοδομική δραστηριότητα είναι εντονότερη σε σχέση με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις και μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές κυρίως στην πληθυσμιακή πυκνότητα.

Οι ημιαστικές περιοχές αναπτύσσονται σε λεκανοπέδια ή πεδιάδες μικρότερης έκτασης με ομοιομορφία ως προς το γεωγραφικό ανάγλυφο. Εμφανίζουν συγκεκριμένα πολεοδομικά χαρακτηριστικά με πολύροφα κτίρια

στο κέντρο της πόλης και μονοκατοικίες στην περιφέρεια. Η πληθυσμιακή πυκνότητα ανέρχεται σε μερικές εκατοντάδες κατοίκους ανά km^2 . Η οικοδομική δραστηριότητα είναι έντονη στην περιφέρεια και συντελεί στη γεωγραφική και πληθυσμιακή επέκταση της ημιαστικής περιοχής διατηρώντας, ωστόσο, ημιαστικά πολεοδομικά χαρακτηριστικά.

Οι αγροτικές περιοχές χαρακτηρίζονται από μεικτό γεωγραφικό ανάγλυφο καθώς περιλαμβάνουν τόσο πεδιάδες όσο και ορεινές περιοχές. Παρουσιάζουν συγκεκριμένα πολεοδομικά χαρακτηριστικά με μονοκατοικίες και αγροτικές εγκαταστάσεις στην ευρύτερη περιφέρεια. Η πληθυσμιακή πυκνότητα ανέρχεται σε μερικές δεκάδες κατοίκους ανά km^2 . Η οικοδομική δραστηριότητα είναι περιορισμένη διατηρώντας αμετάβλητα τα πολεοδομικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Προσδιορισμός του όγκου της διακινούμενης πληροφορίας

Ο όγκος της παραγόμενης κίνησης από τα SM τερματικά είναι σταθερός και ανεξάρτητος των πληθυσμιακών και πολεοδομικών χαρακτηριστικών της προς εξυπηρέτηση περιοχής και εξαρτάται από το πλήθος, την επιθυμητή ακρίβεια και τη συχνότητα δειγματοληψίας των μετρούμενων ηλεκτρικών μεγεθών. Οι SM διατάξεις του πιλοτικού προγράμματος τηλεμέτρησης του ΔΕΔΔΗΕ καταγράφουν:

- Εισερχόμενη – εξερχόμενη ενέργεια
- Εισερχόμενη – εξερχόμενη άεργο ενέργεια
- Τάση και ένταση
- Αποκλίσεις μεταξύ των τριών φάσεων για τριφασικούς μετρητές
- Κατεύθυνση ροής ενέργειας
- Ώρα καταγραφής

Τα πακέτα πληροφορίας που εμπεριέχουν τις μετρήσεις των ανωτέρων ηλεκτρικών μεγεθών πρέπει να πλαισιώνονται από πληροφορίες σχετικές με την ταυτότητα και τη θέση του μετρητή, καθώς και την ακριβή ώρα καταγραφής κάθε μέτρησης.

Η αποστολή δεδομένων από τους SM πραγματοποιείται περιοδικά ανά 15 λεπτά. Τα ηλεκτρικά μεγέθη δειγματοληπτούνται συνεχώς και οι μετρήσεις αποθηκεύονται στους μετρητές μέχρι να αποσταλούν στον αρμόδιο συγκεντρωτή. Στην περίπτωση επικοινωνίας μέσω GPRS/3G, οι μετρητές αποστέλλουν τα δεδομένα τους μια φορά ανά 24 ώρες απευθείας στο MDMS μέσω του δικτύου κινητών επικοινωνιών. Ο όγκος της πληροφορίας κυμαίνεται από μερικές δεκάδες ως εκατοντάδες bytes.

Η περιγραφή κάθε μετρούμενου ηλεκτρικού μεγέθους απαιτεί 4 bytes. Ο Πίνακας 5.1 παρουσιάζει τον, κατά περίπτωση, συνολικό όγκο πληροφορίας:

Ηλεκτρικό μέγεθος	Bytes
Εισερχόμενη – εξερχόμενη ενέργεια	2*4=8
Εισερχόμενη – εξερχόμενη άεργος ενέργεια	2*4=8
Τάση και ένταση	2*4=8
Αποκλίσεις μεταξύ των τριών φάσεων για τριφασικούς μετρητές	3*4=12
Κατεύθυνση ροής ενέργειας	4
	Σύνολο : 40 bytes

Πίνακας 5.1: Bytes ανά ηλεκτρικό μέγεθος

Η επικεφαλίδα κάθε πακέτου είναι 50 bytes και χρησιμοποιούνται επιπλέον 22 bytes για προστασία των πακέτων μέσω DES (Data Encryption Standard) και AES (Advanced Encryption Standard). Ο συνολικός όγκος πληροφορίας εξαρτάται από τα δεδομένα που αποστέλλονται από τα SM τερματικά στο MDMS. Για την εξαγωγή των καμπυλών φορτίου απαιτούνται μόνο τέσσερα μεγέθη, η εισερχόμενη και εξερχόμενη ενεργός και η άεργος ισχύς, δηλαδή $(4 \cdot 4) = 16$ bytes. Στην περίπτωση όπου το κέντρο διαχείρισης απαιτεί όλα τα δεδομένα τηλεμέτρησης ισχύει ότι:

- Κάθε PLC μετρητής αποστέλλει ένα πακέτο των 128 bytes ανά 15 λεπτά. Η δομή του PLC πακέτου είναι:

$$P_{\text{PLC}} = \text{Επικεφαλίδα} + \text{Δεδομένα} + \text{κωδικοποίηση} + \text{Padding}$$

$$P_{\text{PLC}} = 50 + 40 + 22 + 16 = 128 \text{ bytes}$$

Στα 128 bytes έχει συμπεριληφθεί και ένα μικρό περιθώριο (padding) 16 bytes για ενδεχόμενη πλεονάζουσα πληροφορία επικεφαλίδας και ασφάλειας. Μηνύματα λαθών και απομακρυσμένων εντολών σύνδεσης/αποσύνδεσης έχουν μικρότερο όγκο πληροφορίας και πλαισιώνονται σε μικρότερα πακέτα. Το μέγιστο μέγεθος πακέτου των 128 bytes και ο ελάχιστος ρυθμός μετάδοσης των 4.8kbps που επιβάλλει η Διακήρυξη υποστηρίζονται επιτυχώς από όλα τα PLC πρωτόκολλα.

- Κάθε GPRS μετρητής αποθηκεύει τις ημερήσιες μετρήσεις (ανά 15 λεπτά, δηλαδή 96 φορές ανά ημέρα) και τις αποστέλλει μια φορά ανά ημέρα στο MDMS. Επομένως, ο συνολικός όγκος δεδομένων ενός GPRS μετρητή είναι:

$$P_{\text{GPRS}} = \text{Επικεφαλίδα} + \text{Δεδομένα ανά 15 λεπτά} * 96 \text{ φορές την ημέρα} + \text{Κωδικοποίηση}$$

$$P_{\text{GPRS}} = \text{Επικεφαλίδα} + 40 * 96 + \text{Κωδικοποίηση} \approx 4 \text{ KB}$$

υποθέτοντας πως η επικεφαλίδα και η κωδικοποίηση προσθέτουν 160 bytes στα δεδομένα τηλεμέτρησης. Τα μεγέθη δεδομένων και αποτελούν την πλέον απαιτητική σε όγκο περίπτωση ανταλλαγής πληροφορίας (worst case scenario). Στην πράξη, η διακινούμενη πληροφορία είναι μικρότερου όγκου καθώς οι μετρητές και οι συγκεντρωτές έχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων και συμπίεσης της αρχικής πληροφορίας, ενώ δεν ανταλλάσσονται πάντα όλα τα καταγεγραμμένα ηλεκτρικά μεγέθη μεταξύ SM και MDMS.

5.2 SM δίκτυα πρόσβασης ενσύρματης τεχνολογίας

Η PLC τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για μετρητές εσωτερικού χώρου (συνήθως σε υπόγειους χώρους), όσο και μετρητές εξωτερικού χώρου. Οι μετρητές που επικοινωνούν με PLC τεχνολογία αποστέλλουν δεδομένα στο συγκεντρωτή που βρίσκεται στον πλησιέστερο υποσταθμό MT/XT. Η ισχύς των μετασχηματιστών MT/XT κυμαίνεται μεταξύ 25 – 1000KVA και καθορίζει το πλήθος των εξυπηρετούμενων παροχών ηλεκτρικής ενέργειας. Στα αστικά κέντρα, οι συνήθεις τιμές ισχύος είναι 400, 630 και σπανιότερα 1.000KVA. Υποσταθμοί μεγάλης ισχύος (1000KVA) υποστηρίζουν μέχρι 350 οικιακές παροχές. Το πλήθος των παροχών ηλεκτρικής ενέργειας που εξυπηρετούνται από ένα υποσταθμό MT/XT είναι ίσο με το πλήθος των μετρητών που οφείλουν να υποστηρίξουν οι αντίστοιχοι συγκεντρωτές. Κάθε υποσταθμός μπορεί να έχει από 1 έως 12 αναχωρήσεις (γραμμές) XT μήκους 200 – 500m (θεωρητικό μέγιστο 1.200m). Οι μετρήσεις των SM διαβιβάζονται στο συγκεντρωτή μέσω των γραμμών XT.

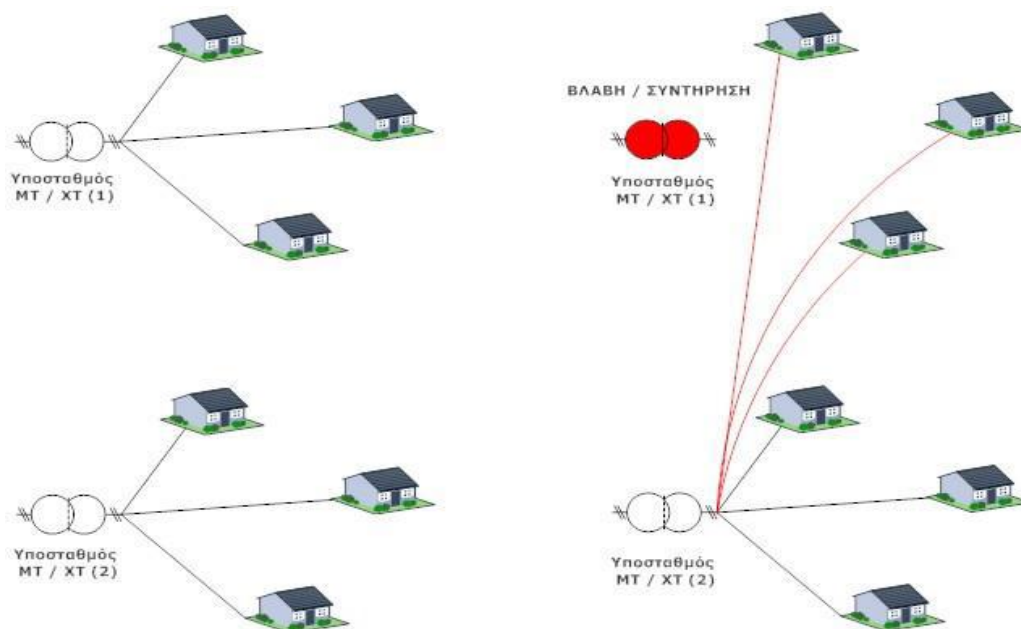
Το πλήθος μετρητών που μπορεί να υποστηρίξει κάθε συγκεντρωτής εξαρτάται και από τον όγκο πληροφορίας που αποστέλλουν οι μετρητές και το μέγεθος του ενταμιευτή του (buffer size). Συγκεντρωτές του εμπορίου υποστηρίζουν επιτυχώς 1.000 (μέγιστο 2.000) κόμβους. Οι συγκεντρωτές συλλέγουν δεδομένα ανά 15 λεπτά από κάθε μετρητή και τα αποθηκεύουν προσωρινά. Η αποτελεσματικότητα της αποθήκευσης καθορίζεται από το μέγεθος των ενταμιευτών σε σχέση με το πλήθος των μετρητών και τον όγκο πληροφορίας που αποστέλλει κάθε μετρητής. Η αποστολή των συνολικών δεδομένων από τους συγκεντρωτές στο MDMS πραγματοποιείται μια φορά ανά ημέρα μέσω GPRS τεχνολογίας.

Πολεοδομική πυκνότητα	Παροχές XT ανά υποσταθμό MT/XT
Υψηλή	150 – 350
Μέτρια	80 – 150
Χαμηλή	< 80

Πίνακας 5.2: Ενεργειακές παροχές XT ανά υποσταθμό MT/XT συναρτήσει της πολεοδομικής πυκνότητας

Η εγκατάσταση των συγκεντρωτών στους υποσταθμούς MT/XT πρέπει να εξασφαλίζει τη μετάδοση των SM δεδομένων προς το MDMS ακόμα και σε περίπτωση διακοπής λειτουργίας κάποιου μετασχηματιστή MT/XT λόγω βλάβης ή συντήρησης, οπότε η ηλεκτροδότηση των αποκομμένων καταναλώσεων πραγματοποιείται μέσω γειτονικού υποσταθμού. Οι ενεργειακοί πόροι του μετασχηματιστή και οι τηλεπικοινωνιακοί πόροι του συγκεντρωτή διαμοιράζονται σε όλες τις νέες παροχές που καλείται να

εξυπηρετήσει ο γειτονικός υποσταθμός. Ο συγκεντρωτής του γειτονικού υποσταθμού συντονίζει πλέον όλους τους μετρητές. Το αυξημένο πλήθος μετρητών που καλείται να υποστηρίξει προσωρινά ένας υποσταθμός πρέπει να είναι μικρότερο της δυναμικότητας του συγκεντρωτή που είναι συνήθως 1.000 μετρητές. Στο Σχήμα 5.1 απεικονίζεται το σενάριο που μόλις περιγράφηκε.



Σχήμα 5.1: Λειτουργία σε περίπτωση βλάβης – συντήρησης υποσταθμού

Στην πράξη, τα περιθώρια ισχύος των μετασχηματιστών MT/XT δεν επαρκούν για την υποστήριξη του συνόλου μιας γειτονικής περιοχής, οπότε ο διαμοιρασμός των αποκομμένων καταναλώσεων γίνεται σε περισσότερους υποσταθμούς. Το μερίδιο που αναλαμβάνει κάθε γειτονικός υποσταθμός εξαρτάται από τα περιθώρια ισχύος του αντίστοιχου μετασχηματιστή MT/XT.

5.3 Διαστασιολόγηση SM δικτύων πρόσβασης ενσύρματης τεχνολογίας

Στην παράγραφο αυτή αναλύεται η διαστασιολόγηση του δικτύου πρόσβασης με PLC τεχνολογία και εξετάζεται η πλέον επιβαρυνόμενη περίπτωση από πλευράς τηλεπικοινωνιακού φορτίου. Στον Πίνακα 5.3 συνοψίζονται τα τηλεπικοινωνιακά μεγέθη που εμφανίζονται στην ανάλυση που ακολουθεί

Σύμβολο	Μέγεθος
N_t	Συνολικό πλήθος SM του NAN
T	Περίοδος συγκέντρωσης μετρήσεων από το συγκεντρωτή
k	Πλήθος αναχωρήσεων από τον υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ
L_i	Μήκος γραμμής μεταφοράς
n_i	Πλήθος SM ανά αναχώρηση (γραμμή ΧΤ)
t_i	Διαθέσιμο χρονικό διάστημα ανά αναχώρηση προς αποστολή δεδομένων
$t_{d,TDMA}$	Χρόνος μετάδοσης πληροφορίας από SM στο συγκεντρωτή
t_{SM}	Μέγιστο διαθέσιμο χρονικό διάστημα ανά SM προς αποστολή δεδομένων
R	Ρυθμός μετάδοσης SM
P	Όγκος πληροφορίας ανά SM ανά T

Πίνακας 5.3: Αντιστοιχία συμβόλων και τηλεπικοινωνιακών μεγεθών

Κάθε SM δίκτυο NAN δομείται γύρω από τον συγκεντρωτή που τοποθετείται στον υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ και συντονίζει N_{total} μετρητές. Δεδομένου ότι το πλήθος των μετρητών είναι ίσο προς το πλήθος των παροχών ηλεκτρικής ενέργειας του υποσταθμού ισχύει

$$N_t \leq 350 \quad (5.1)$$

Ας υποτεθεί ότι κάθε υποσταθμός διαθέτει k αναχωρήσεις (γραμμές) ΧΤ με n_i παροχές ανά αναχώρηση. Δεδομένου ότι ο μέσος όρος αναχωρήσεων ανά μετασχηματιστή είναι $\bar{k} = 7$, το μέσο πλήθος παροχών ανά αναχώρηση είναι ίσο με $\bar{n} = 50$. Σε κάθε περίπτωση πρέπει

$$N = \sum_{i=1}^k n_i \leq 350 \quad (5.2)$$

Ο ρυθμός μετάδοσης κάθε μετρητή προδιαγράφεται από τη Διακήρυξη του ΔΕΔΔΗΕ ίσος με

$$R_{SM} = 4.8 \text{ Kbps} \quad (5.2)$$

Κάθε συγκεντρωτής συγκεντρώνει τα δεδομένα από τις SM διατάξεις κατά περιοδικό τρόπο ανά

$$T = 15 * 60 = 900 \text{ s} \quad (5.4)$$

Η περίοδος δειγματοληψίας κάθε συγκεντρωτή T διασπάται σε διαστήματα t_i ώστε κάθε αναχώρηση του υποσταθμού ΜΤ/ΧΤ να έχει t_i δευτερόλεπτα για τη μετάδοση των δεδομένων της. Επομένως

$$T = \sum_{i=1}^k t_i \quad (5.5)$$

Το χρονικό διάστημα t_i εξαρτάται από το πλήθος των παροχών n_i κάθε αναχώρησης με στόχο να διατίθενται χρονοσχισμές μετάδοσης για όλους τους μετρητές. Επομένως:

$$t_i = n_i \frac{900}{350} \quad (5.6)$$

Η σχέση (5.6) αποδίδει το συνολικό χρόνο που ανατίθεται σε κάθε αναχώρηση του υποσταθμού MT/XT προκειμένου να μεταδώσουν τις μετρήσεις τους οι n_i SM διατάξεις που είναι συνδεδεμένες στην εκάστοτε γραμμή XT.

5.4 Πρόσβαση στο κοινό μέσο μετάδοσης μέσω TDMA

Ο χρόνος t_i πρέπει να κατανεμηθεί μεταξύ των μετρητών της αντίστοιχης αναχώρησης προς μετάδοση των δεδομένων τους. Οι μετρητές θεωρούνται ισότιμοι ως προς την προς αποστολή τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Συνεπώς, το μέγιστο χρονικό διάστημα που έχει στη διάθεση του κάθε μετρητής για μετάδοση δεδομένων είναι:

$$t_{SM} = \frac{t_i}{n_i} \quad (5.7)$$

Ο χρόνος μετάδοσης των δεδομένων κάθε μετρητή συνδέεται με τον όγκο πληροφορίας (σε bits) και το ρυθμό μετάδοσης του μετρητή R_{SM} μέσω της σχέσης

$$t_{d,TDMA} = \frac{P}{R_{SM}} \quad (5.8)$$

Προκειμένου να είναι επιτυχής η μετάδοση δεδομένων πρέπει να ισχύει

$$t_{SM} \geq t_{d,TDMA} \quad (5.9)$$

Η σχέση (5.9) εξασφαλίζει την επιτυχή μετάδοση του συνολικού όγκου δεδομένων με ρυθμό μετάδοσης R_{SM} .

Δεδομένου ότι $\bar{k} = 7$ και $\bar{n} = 50$, προκύπτουν κατά σειρά:

$$t_i = 50 \times \frac{900}{350} \approx 128 \text{ s} \quad (5.10)$$

$$t_{SM} = \frac{t_i}{n} = \frac{128}{50} = 2.56 \text{ s} \quad (5.11)$$

επειδή πρέπει

$$t_{SM} \geq t_{d,TDMA} = \frac{P}{R_{SM}}$$

ο μέγιστος επιτρεπτός όγκος πληροφορίας ανά SM για χρονοπρογραμματισμένη μετάδοση (TDMA) προκύπτει:

$$P_{max} = t_{SM} \times R_{SM} \Rightarrow P_{max} = 1536 \text{ bytes} \quad (5.12)$$

5.5 Πρόσβαση στο κοινό μέσο μετάδοσης μέσω CSMA/CD

Το CSMA/CD είναι ένα πρωτόκολλο τυχαίας πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης και η λειτουργία του αναλύθηκε στην παράγραφο 4.7.6. Η ανάγκη ταχείας ανίχνευσης των συγκρούσεων προς ελαχιστοποίηση του μέσου χρόνου μετάδοσης πακέτων και μεγιστοποίηση της διέλευσης απαιτεί μια ελάχιστη τιμή στο μέγεθος πακέτου. Το ελάχιστο μέγεθος πακέτου εξαρτάται από το μέγιστο μήκος του κοινού διαύλου μετάδοσης (γραμμή XT) και από την ταχύτητα διάδοσης του φωτός ($\cong 2 \times 10^8 \text{ m/sec}$ για γραμμές μεταφοράς XT) και ορίζεται μέσω της σχέσης

$$P_{\min(bits)} = 2 \times t_{prop} \times R = 2 \times \frac{L_{max}}{c_{wired}} \times R_{sm} \Rightarrow$$

$$P_{\min(bits)} = 2 \times \frac{1000}{2 \times 10^8} \times 4.8 \times 10^3 \ll 1 \quad (5.13)$$

Όπου t_{prop} ο χρόνος διάδοσης ενός πακέτου δεδομένων μέσω των γραμμών XT, L_{max} το μέγιστο μήκος των γραμμών XT και c_{wired} η μέση ταχύτητα διάδοσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στις γραμμές XT. Επειδή από την (5.13) το P_{\min} προκύπτει πολύ μικρότερο του 1 bit, δεν προκύπτει περιορισμός ως προς το ελάχιστο μήκος πακέτου.

Ο μέσος χρόνος μετάδοσης ενός πακέτου πληροφορίας μεταξύ SM και συγκεντρωτή με χρήση του πρωτοκόλλου CSMA/CD είναι :

$$t_{d,CSMA/CD} = \frac{P}{R_{SM}} + e \times 2 \times t_{prop} = \frac{P}{R_{SM}} + e \times 2 \times \frac{L_{max}}{c_{wired}} \quad (5.14)$$

Η σχέση (5.14) πρέπει να συμμορφώνεται με τον περιορισμό (5.9), δηλαδή

$$t_{d,CSMA/CD} \leq t_{SM}$$

Οι χρονικές διάρκειες που περιγράφονται στις (5.8) και (5.14) και αφορούν το συνολικό χρόνο μετάδοσης πληροφορίας μεταξύ SM και συγκεντρωτή διαφέρουν κατά τον όρο

$$e \times 2 \times \frac{L_{max}}{c_{wired}}$$

Η πρόσθετη αυτή καθυστέρηση οφείλεται στις αναμεταδόσεις που οφείλονται σε προσκρούσεις λόγω της τυχαίας πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης. Λόγω της χρήσης του πρωτοκόλλου CSMA/CD αυξάνεται ο μέσος χρόνος μετάδοσης κάθε πλαισίου σε σχέση με το πρωτόκολλο TDMA, χωρίς ωστόσο να απαιτείται συγχρονισμός των μεταδόσεων των SM διατάξεων, γεγονός που προσφέρει εύκολη είσοδο νέων SM στο δίκτυο πρόσβασης.

Προκειμένου να είναι επιτυχής η μετάδοση δεδομένων όλων των SM που είναι συνδεδεμένοι στην ίδια γραμμή XT, πρέπει να ικανοποιείται η συνθήκη :

$$t_i \geq n_i \times t_{d,CSMA/CD} \quad (5.15)$$

5.6 Σύγκριση των πρωτοκόλλων TDMA και CSMA/CD για μετάδοση δεδομένων μεταξύ SM και συγκεντρωτή

Στην παράγραφο 5.3.2, ο συνολικός όγκος πληροφορίας που μεταδίδεται μεταξύ SM και συγκεντρωτή ανά 15 λεπτά βρέθηκε ίσος με 128 bytes. Τα πρωτόκολλα PLC G3 και PRIME χρησιμοποιούν μέγιστο μήκος πακέτου ίσο με 235 και 377 bytes αντίστοιχα . Συνεπώς, κατά περίπτωση αρκεί μόνο ένα πακέτο των 128 bytes για τη μετάδοση της πληροφορίας.

Προκύπτουν κατά σειρά:

$$t_{d,TDMA} = \frac{P}{R_{SM}} = \frac{128 \times 8}{4.8 \times 10^3} = 0.21 \text{ sec} \quad (5.16)$$

$$t_{d,CSMA/CD} = \frac{P}{R_{SM}} + e \times 2 \times \frac{L_i}{c_{wired}} \quad (5.17)$$

Δεδομένου ότι για $500m \leq L_i \leq 1000m$

$$e \times 2 \times \frac{L_i}{c_{wired}} \rightarrow 0 \quad (5.18)$$

$$t_{d,TDMA} \cong t_{d,CSMA/CD} \quad (5.19)$$

Η σχέση (5.19) καταδεικνύει ότι λόγω του μικρού μήκους των γραμμών XT και του χαμηλού ρυθμού μετάδοσης, τα πρωτόκολλα TDMA και CSMA/CD έχουν την ίδια απόδοση ως προς το χρόνο μετάδοσης πληροφορίας μεταξύ SM και συγκεντρωτή. Συνεπώς, το πρωτόκολλο CSMA/CD είναι προτιμητέο καθώς μειώνει την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού του SM δικτύου αφού δεν απαιτεί χρονοπρογραμματισμό για μετάδοση της SM πληροφορίας. Επίσης, το CSMA/CD διευκολύνει την κλιμακωσιμότητα του SM δικτύου, αφού η είσοδος νέων SM γίνεται χωρίς να απαιτείται ανασχεδιασμός των αρχικών χρονοσχημάτων, όπως συμβαίνει στην περίπτωση χρήσης TDMA.

Οι τιμές $t_{d,TDMA}$ και $t_{d,CSMA/CD}$ ικανοποιούν τον περιορισμό (5.9). Ωστόσο, ο συνολικός χρόνος μετάδοσης δεδομένων είναι μεγαλύτερος, καθώς προστίθεται ο χρόνος εγκατάστασης/τερματισμού των συνδέσεων και επεξεργασίας των μηνυμάτων σηματοδότησης μεταξύ μετρητών και συγκεντρωτή. Σε κάθε περίπτωση, ο συνολικός χρόνος μετάδοσης παραμένει μικρός καθώς οι πρόσθετες αυτές καθυστερήσεις είναι μικρές και δεν επιβαρύνουν σημαντικά το PLC δίκτυο. Η μετάδοση δεδομένων ολοκληρώνεται σε χρονικό διάστημα πολύ μικρότερο των 15 λεπτών, επιτρέποντας, όταν αυτό χρειάζεται ή ζητείται, την ενδιάμεση ανταλλαγή μηνυμάτων ελέγχου από το MDMS, μηνυμάτων σφαλμάτων κτλ.

Για παράδειγμα, υποθέτοντας $t_{d,total} = 1 \text{ sec}$ (αύξηση του $t_{d,TDMA}$ κατά 350%) η αποστολή των δεδομένων τηλεμέτρησης όλων των SM διαρκεί 350 sec, αφήνοντας 550 sec (9 λεπτά) διαθέσιμα σε λοιπές υπηρεσίες.

5.7 SM δίκτυα πρόσβασης ασύρματης τεχνολογίας

Η επικοινωνία SM – MDMS γίνεται άμεσα, χωρίς τη μεσολάβηση συγκεντρωτή και με χρήση της βέλτιστης διαθέσιμης τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας μεταξύ GPRS και 3G. Δεδομένου ότι τα σημεία εγκατάστασης των μετρητών μπορεί να βρίσκονται ή εντός ή εκτός κάλυψης του δικτύου κινητών επικοινωνιών, διακρίνονται δύο περιπτώσεις:

1. Υπάρχει διαθεσιμότητα GPRS/3G τεχνολογίας στο σημείο εγκατάστασης των SM: Οι ανωτέρω ασύρματες τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας από τους SM άμεσα. Κάθε μετρητής λειτουργεί ανεξάρτητα και αποστέλλει στο MDMS μια φορά ανά 24 ώρες τα δεδομένα που καταγράφει. Κάθε μετρητής μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά τόσο με GPRS όσο και με 3G, επιλέγοντας τη βέλτιστη διαθέσιμη εκ των δύο.

2. Δεν υπάρχει διαθεσιμότητα GPRS/3G τεχνολογίας στο σημείο εγκατάστασης των SM: Προκειμένου να καταστεί δυνατή η επικοινωνία SM - MDMS ακολουθείται η εξής τεχνική:

- Οι συνδεδεμένοι μετρητές εκτός GPRS/3G κάλυψης ονομάζονται εξαρτημένοι μετρητές (slaves). Οι θύρες επικοινωνίας (π.χ. RS485) των μετρητών αυτών συνδέονται ενσύρματα μεταξύ τους.
- Ένας εκ των εκτός κάλυψης μετρητών τοποθετείται σε σημείο που καλύπτεται από GPRS/3G και καλείται κύριος μετρητής (master). Ο κύριος μετρητής διαθέτει ασύρματη διεπαφή για την επικοινωνία με το MDMS με χρήση τεχνολογίας GPRS/3G ενώ επικοινωνεί ενσύρματα με τους υπόλοιπους εξαρτημένους μετρητές.
- Οι εξαρτημένοι μετρητές αποστέλλουν τα δεδομένα τους ενσύρματα στον αντίστοιχο κύριο μετρητή, ο οποίος συντονίζει την επικοινωνία. Η αποστολή δεδομένων από κάθε SM γίνεται με διαφανή προς τους υπόλοιπους μετρητές τρόπο.
- Ο κύριος μετρητής συγκεντρώνει τόσο τα δικά του δεδομένα όσο και τα δεδομένα των εξαρτημένων από αυτόν μετρητών και αποστέλλει τη συνολική πληροφορία στο MDMS μέσω GPRS/3G. Λόγω του μεγάλου όγκου της συνολικής πληροφορίας, η αποστολή δεδομένων στο MDMS απαιτεί τηλεπικοινωνιακή ζεύξη υψηλής χωρητικότητας. Συνεπώς, προτιμάται η 3G τεχνολογία για την επικοινωνία κύριου SM – MDMS, εφόσον αυτό είναι δυνατό.

5.8 Διαστασιολόγηση SM δικτύων πρόσβασης ασύρματης τεχνολογίας

Η διαστασιολόγηση του δικτύου πρόσβασης όταν χρησιμοποιείται ασύρματη τεχνολογία διαφέρει από την αντίστοιχη διαστασιολόγηση όταν χρησιμοποιείται η PLC τεχνολογία. Η σημαντικότερη διαφορά εντοπίζεται στο ότι στην περίπτωση ασύρματης τεχνολογίας η αποστολή δεδομένων τηλεμέτρησης μεταξύ SM – MDMS γίνεται μια φορά ανά 24 ώρες. Συνεπώς, για την αποθήκευση των ημερήσιων μετρήσεων, κάθε μετρητής που επικοινωνεί μέσω GPRS/3G απαιτεί μεγαλύτερο μέγεθος ενταμιευτή σε σχέση με τους μετρητές που επικοινωνούν μέσω PLC. Λόγω της διαφοροποίησης που αναφέρθηκε στην παράγραφο 5.3.5, ο όγκος της προς μετάδοση πληροφορίας εμφανίζει διαφοροποιήσεις αφού υπάρχουν μετρητές που μεταδίδουν μόνο τις δικές τους μετρήσεις και μετρητές που, εκτός από τις δικές τους, μεταδίδουν και μετρήσεις γειτονικών SM. Επομένως, διακρίνονται δύο περιπτώσεις, αντίστοιχες προς την κατηγοριοποίηση της παραγράφου 5.3.5 με όγκους πληροφορίας:

- P_{SM} : ημερήσιος όγκος πληροφορίας συνήθους μετρητή που αποστέλλει μόνο δικές του μετρήσεις
- $P_{SM(n)}$: ημερήσιος όγκος πληροφορίας ενός κύριου μετρητή με n εξαρτημένους μετρητές

Το δίκτυο πρόσβασης των δικτύων κινητών επικοινωνιών χωρίζεται σε κυψέλες, για την καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμης ζώνης συχνοτήτων, την αύξηση της χωρητικότητας των δικτύων και τη μείωση της ισχύος εκπομπής κινητών συσκευών και σταθμών βάσης. Το χωρικό εύρος που καλύπτει μια κυψέλη εξαρτάται από παράγοντες, όπως το περιβάλλον διάδοσης, η συχνότητα εκπομπής, η πληθυσμιακή πυκνότητα, οι διαφορές τύπων παρεμβολές και το κόστος λειτουργίας ενός ΣΒ.

Είναι σημαντικό για τους διαχειριστές του ΣΕΜ και τους διαχειριστές των δικτύων κινητών επικοινωνιών να έχουν μια εκτίμηση για το πλήθος των συγκεντρωτών που κατά μέσο όρο εξυπηρετούνται από τους ΣΒ μιας κυψέλης. Τα στοιχεία που προκύπτουν σχετικά με τον εκτιμώμενο αριθμό συγκεντρωτών ανά κυψέλη είναι τυπικά, καθώς δεν έχουν συνυπολογιστεί παράγοντες όπως η κατευθυντικότητα των κεραιών, που περιορίζουν το εύρος της περιοχής κάλυψης μιας κυψέλης.

Περιοχή	Εκτιμώμενος Αριθμός ΕΜ ανά Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ	Πυκνότητα ΕΜ/km ²	Ακτίνα κυψέλης	Εμβαδόν κύκλου κυψέλης	Εκτιμώμενος Αριθμός Συγκεντρωτών ανά κυψέλη
Αστική-Υψηλή Πυκνότητα ΕΜ	150-350	>2000	500m	0.785 km ²	>11
Ημιαστική-Μέτρια Πυκνότητα ΕΜ	80-150	800	1.5 km	7.065 km ²	40-60
Αγροτική-Χαμηλή Πυκνότητα ΕΜ	<80	10	10km	314 km ²	40

Πίνακας 5.4: Προσδιορισμός πυκνότητας συγκεντρωτών ανά κυψέλη

5.9 Αποστολή δεδομένων μέσω GPRS

Η GPRS τεχνολογία χαρακτηρίζεται από μεγάλο ποσοστό κάλυψης. Κάθε ραδιοδιάυλος εύρους ζώνης 200kHz χωρίζεται σε 8 χρονοσχισμές προκειμένου να εξυπηρετηθούν έως 8 χρήστες ανά ραδιοδιάυλο μέσω TDMA. Ο ρυθμός μετάδοσης κάθε χρονοσχισμής είναι 21.525kbps. Συνεπώς, ο μέγιστος θεωρητικός ρυθμός μετάδοσης ισούται με 171.2kbps και απαιτεί τη χρήση και των 8 διαθέσιμων χρονοσχισμών. Ωστόσο, Στην πράξη, οι ρυθμοί μετάδοσης για uplink και downlink ζεύξεις περιορίζονται σε $R = 40Kbps$ καταλαμβάνοντας 2 χρονοσχισμές ενός ραδιοδιαύλου προκειμένου να αυξηθεί το πλήθος των χρηστών ανά κυψέλη. Η συνολική χωρητικότητα ενός GPRS δικτύου μετάδοσης SM δεδομένων εξαρτάται από το πλήθος των χρονοσχισμών που θα δεσμευτούν για αποκλειστική αποστολή δεδομένων μέσω GPRS. Υπάρχει εκτενής ανάλυση της GPRS τεχνολογίας στην διεθνή βιβλιογραφία.

Η απομάστευση της πληροφορίας των GPRS μετρητών γίνεται μεταξύ 00:00 – 08:00 , χρονικό διάστημα κατά το οποίο το φορτίο τηλεπικοινωνιακής κίνησης για εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας είναι χαμηλό. Κατά το διάστημα αυτό προσφέρεται η δυνατότητα καλύτερης εξυπηρέτησης της αποστολής δεδομένων τηλεμέτρησης, αφού τότε, είναι διαθέσιμες περισσότερες

χρονοσχιμές προς αύξηση του ρυθμού μετάδοσης. Σημαντικός είναι ο χρόνος ολοκλήρωσης της αποστολής δεδομένων

$$t_{SM,GPRS} = \frac{P_{SM}}{R_{GPRS}} \text{ ή } t_{SM,GPRS} = \frac{P_{SM(n)}}{R_{GPRS}} \quad (5.20)$$

καθώς καθορίζει το πλήθος των μεταδόσεων κατά τη διάρκεια της απομάστευσης των δεδομένων από τους SM. Το πέρας της μετάδοσης των δεδομένων κάποιου μετρητή αποδεσμεύει τηλεπικοινωνιακούς πόρους επιτρέποντας την αποστολή των δεδομένων του επόμενου μετρητή.

Οι ανεξάρτητοι μετρητές αποστέλλουν μόνο τα δικά τους δεδομένα και χαρακτηρίζονται από μικρότερο όγκο κίνησης σε σχέση με τους κύριους μετρητές. Συνεπώς, η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ ανεξάρτητων μετρητών και MDMS μπορεί να γίνει αξιόπιστα ακόμα και με τους χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης που προσφέρει η GPRS τεχνολογία. Αντιθέτως, σε περιπτώσεις μετάδοσης μεγάλου όγκου πληροφορίας, αντί του απλού GPRS, πρέπει να χρησιμοποιείται η 3G τεχνολογία.

5.10 Προσδιορισμός ζητούμενης χωρητικότητας για επικοινωνία μέσω GPRS

Δεδομένου ότι ο ημερήσιος όγκος πληροφορίας κάθε ανεξάρτητου μετρητή που επικοινωνεί μέσω ασύρματης τεχνολογίας ισούται με 4kB και ότι ο ρυθμός μετάδοσης της ζεύξης uplink όταν χρησιμοποιείται GPRS τεχνολογία είναι 40kbps, ο χρόνος μετάδοσης των δεδομένων είναι ίσος με

$$t_{SM,GPRS} = \frac{P_{SM}}{R_{GPRS}} = \frac{4 \times 10^3 \times 8}{40 \times 10^3} = 0.8 \text{ sec} \quad (5.21)$$

Ωστόσο, ο χρόνος εγκατάστασης/τερματισμού μιας GPRS σύνδεσης αυξάνει σημαντικά τη συνολική διάρκεια αποστολής δεδομένων τηλεμέτρησης που κυμαίνεται μεταξύ 25 – 50 sec και, μάλιστα, όταν ο χρόνος μετάδοσης δεδομένων είναι μόλις 0.8 sec.

Η Διακήρυξη του ΔΕΔΔΗΕ θέτει το διάστημα απομάστευσης των δεδομένων τηλεμέτρησης μεταξύ 00:00 – 08:00. Συνεπώς η διάρκεια απομάστευσης είναι

$$T_{collection} = 8 \times 60 \times 60 = 28800 \text{ sec} \quad (5.22)$$

Αναφέρθηκε ήδη ότι, στην πράξη, χρησιμοποιούνται 2 χρονοσχισμές ανά SM με ρυθμό μετάδοσης ίσο με 40kbps. Δεδομένου ότι κάθε ραδιοδιάυλος διαθέτει 8 χρονοσχισμές, επιτρέπεται η ταυτόχρονη μετάδοση μέχρι και 3 SM, υποθέτοντας ότι μια εκ των οκτώ χρονοσχισμών χρησιμοποιείται για σηματοδότηση από το δίκτυο κινητών επικοινωνιών.

Το πλήθος των SM που μπορούν να εξυπηρετηθούν κατά τη διάρκεια απομάστευσης ισούται με

$$N_{SM} = \frac{T_{collection}}{T_{GPRS}} \times N_{συν} \quad (5.23)$$

Όπου T_{GPRS} η συνολική διάρκεια μιας GPRS συνεδρίας και $N_{συν} = 3$ το πλήθος των ταυτοχρόνως υποστηριζόμενων τερματικών ανά ραδιοδιάυλο σε μια GPRS κυψέλη.

Συνεπώς :

$$N_{SM} = \begin{cases} \frac{28800}{25} \times 3 = 3400 \text{ για } T_{GPRS} = 25 \text{ sec} \\ \frac{28800}{50} \times 3 = 1700 \text{ για } T_{GPRS} = 50 \text{ sec} \end{cases} \quad (5.24)$$

Οι ανωτέρω τιμές ισχύουν όταν μισθώνεται ένας ραδιοδιάυλος κινητής τηλεφωνίας για μετάδοση δεδομένων τηλεμέτρησης. Η μίσθωση περισσότερων διαύλων αυξάνει το πλήθος των SM ανά GPRS κυψέλη, αυξάνοντας ταυτόχρονα και το κόστος μίσθωσης του φάσματος.

Λαμβάνοντας υπόψη τον Πίνακα 4.3 και τα αποτελέσματα της σχέσης (5.24) προκύπτει ότι μια GPRS κυψέλη μπορεί να υποστηρίξει όλα τα είδη των υποψήφιων αντιπροσωπευτικών περιοχών εξυπηρέτησης. Η εξυπηρέτηση είναι οριακή για αστικές περιοχές που χαρακτηρίζονται από μεγάλη διάρκεια GPRS συνεδρίας. Η διάρκεια αυτή δεν μπορεί να προσδιοριστεί μονοσήμαντα, καθώς ποικίλλει και εξαρτάται από το τηλεπικοινωνιακό φορτίο του δικτύου κινητών επικοινωνιών, ενώ αποτελεί καθοριστικό παράγοντα περιορισμού του πλήθους των υποστηριζόμενων τερματικών σε μία GPRS κυψέλη βάσει της (5.24). Η περίπτωση των ανεξάρτητων GPRS μετρητών είναι η πλέον επιβαρυνόμενη χρονικά εκ των δύο περιπτώσεων της παραγράφου 5.7, καθώς απαιτούνται τόσες GPRS συνεδρίες όσοι και οι ανεξάρτητοι SM. Ο όγκος πληροφορίας αυξάνεται στην περίπτωση κυρίων μετρητών, δεν υπάρχει, όμως, ανάγκη επικοινωνίας των εξαρτημένων μετρητών. Συνεπώς, η ανάλυση που προηγήθηκε αποτελεί το χειρότερο δυνατό σενάριο και τα αποτελέσματα καλύπτουν και τις δύο περιπτώσεις της παραγράφου 5.7.

5.11 Αποστολή δεδομένων μέσω 3G

Η τεχνολογία 3G χαρακτηρίζεται από μικρότερες περιοχές κάλυψης, προσφέρει, όμως, υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Οι πραγματικοί ρυθμοί μετάδοσης κυμαίνονται περί τα $R_u = 350 \text{ Kbps}$ στη ζεύξη uplink και $R_d = 1.2 \text{ Mbps}$ στη ζεύξη downlink. Ως πρωτόκολλο πρόσβασης χρησιμοποιείται συνήθως το WCDMA. Κάθε SM τερματικό διαθέτει τη δική του ψηφιακή ταυτότητα προς κωδικοποίηση της πληροφορίας του για πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης. Το πλήθος των ταυτοχρόνων υποστηριζόμενων τερματικών διατάξεων εξαρτάται από το πλήθος των διαφορετικών δυαδικών ταυτοτήτων. Η ταυτόχρονη υποστήριξη μεγάλου πλήθους τερματικών διατάξεων επιφέρει μείωση του ρυθμού μετάδοσης. Στον Πίνακα 5.4 παρουσιάζεται η αναλογία μεταξύ ταυτοχρόνων υποστηριζόμενων τερματικών και ρυθμού μετάδοσης.

Ταυτοχρόνως υποστηριζόμενα τερματικά	Ρυθμός μετάδοσης ζεύξης uplink (kbps)
512	-
256	15
128	30
64	60
32	120
16	240
8	480
4	960

Πίνακας 5.5: Ρυθμός μετάδοσης συναρτήσσει του πλήθους ταυτοχρόνων υποστηριζόμενων τερματικών διατάξεων

Στο WCDMA FDD (Frequency – Division Duplexing) χρησιμοποιούνται έως και 256 κώδικες για το uplink, ενώ στο WCDMA TDD (Time – Division Duplexing) χρησιμοποιούνται έως και 16 κώδικες για το uplink.

Η επικοινωνία SM – MDMS μέσω 3G εμφανίζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης.
- Μικρός χρόνος μετάδοσης δεδομένων.
- Μεγαλύτερο πλήθος των SM τερματικών που υποστηρίζονται ταυτόχρονα σε σχέση με τη χρήση GPRS.
- Μείωση κατά 50% της διάρκειας συνεδρίας σε σχέση με το απλό GPRS.

Συνεπώς, εφόσον είναι διαθέσιμη, η επικοινωνία με χρήση τεχνολογίας 3G πρέπει να προτιμάται, καθώς συνδυάζει μειωμένο χρόνο μετάδοσης και ταυτόχρονη υποστήριξη περισσότερων SM τερματικών.

5.12 Προσδιορισμός ζητούμενης χωρητικότητας για επικοινωνία μέσω 3G

Στην ανάλυση που ακολουθεί αλλάζει μόνο το είδος της ασύρματης τεχνολογίας. Ο ημερήσιος όγκος πληροφορίας παραμένει ίσος με 4kB. Για την πρόσβαση χρησιμοποιείται WCDMA με 16 διαθέσιμες ψηφιακές ταυτότητες, ώστε να λαμβάνεται υπόψη τόσο η FDD όσο και η TDD επιλογή. Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 5.4, ο ρυθμός μετάδοσης είναι ίσος με 240kbrps, οπότε

$$t_{SM,3G} = \frac{P_{SM}}{R_{3G}} = \frac{4 \times 10^3 \times 8}{240 \times 10^3} = 0.13 \text{ sec} \quad (5.25)$$

Δεδομένου ότι ο χρόνος εγκατάστασης/τερματισμού μιας σύνδεσης 3G είναι μειωμένη κατά 50% σε σχέση με το GPRS, η συνολική διάρκεια μιας 3G συνεδρίας κυμαίνεται μεταξύ 13 – 25 sec.

Το διάστημα απομάστευσης των δεδομένων τηλεμέτρησης παραμένει ίσο με

$$T_{collection} = 28800 \text{ sec}$$

Η χρήση 16 ψηφιακών ταυτοτήτων επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση των δεδομένων από 16 SM. Δεδομένου του μειωμένου χρόνου μιας 3G συνεδρίας και της σχέσης (5.23) που δίνει το πλήθος των SM που μπορούν να εξυπηρετηθούν κατά τη διάρκεια απομάστευσης, προκύπτει

$$N_{SM} = \begin{cases} \frac{28800}{13} \times 16 = 35400 \text{ για } T_{GPRS} = 13 \text{ sec} \\ \frac{28800}{25} \times 16 = 18400 \text{ για } T_{GPRS} = 25 \text{ sec} \end{cases} \quad (5.26)$$

Τα 3G δίκτυα δεν αντιμετωπίζουν απολύτως κανένα πρόβλημα στην εξυπηρέτηση περιοχών οποιασδήποτε κατηγορίας, αφού το μέγιστο πλήθος μετρητών που μπορεί να προκύψει σε οποιαδήποτε κυψέλη 3G καλύπτεται από τα αποτελέσματα της (5.26). Επιπλέον, τα δίκτυα 3G αποδίδουν πολύ καλύτερα σε σχέση με τα δίκτυα GPRS λόγω του ότι προσφέρουν εξυπηρέτηση μεγαλύτερου πλήθους χρηστών και μικρότερη διάρκεια συνεδριών.

Στην πράξη, παρατηρούνται τιμές μεγαλύτερες των αποτελεσμάτων της (5.24) και μικρότερες των αποτελεσμάτων της (5.26) καθώς στις κυψέλες του δικτύου κινητής τηλεφωνίας είναι διαθέσιμες και οι δύο τεχνολογίες (GPRS και 3G). Η GPRS τεχνολογία είναι διαθέσιμη σχεδόν παντού, ενώ η διαθεσιμότητα της 3G τεχνολογίας εξαρτάται από την κυψέλη που ανήκει μια SM διάταξη.

5.13 Αποστολή δεδομένων από τους συγκεντρωτές στο MDMS

Ο μέγιστος όγκος δεδομένων που συγκεντρώνει ένας συγκεντρωτής ανά ημέρα είναι

$$D_t = N_t \times P \times 96 = 350 \times 128 \times 96 = 4.3 \text{ MB} \quad (5.27)$$

Ο ανωτέρω όγκος δεδομένων προκύπτει όταν ο συγκεντρωτής δεν επεξεργάζεται τα δεδομένα που συγκεντρώνει και κάθε μετρητής αποστέλλει μετρήσεις όλων των μεγεθών που καταγράφει.

Η θέση των συγκεντρωτών πρέπει να είναι τέτοια που να εξασφαλίζεται η διαθεσιμότητα 3G τεχνολογίας προκειμένου να ελαχιστοποιείται ο χρόνος αποστολής δεδομένων προς το MDMS. Δεδομένου ότι μια τυπική 3G σύνδεση εξασφαλίζει ρυθμό μετάδοσης ίσο με 350kbps στη ζεύξη uplink, η διάρκεια αποστολής των δεδομένων του συγκεντρωτή είναι

$$t_{concentrator} = \frac{4.3 \times 10^6 \times 8}{350 \times 10^3} \approx 100 \text{ sec} \quad (5.28)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Διαστασιολόγηση περιπτώσεων εφαρμογής του πιλοτικού προγράμματος SM του ΔΕΔΔΗΕ

6.1 Σύντομη παρουσίαση των προδιαγραφών του προγράμματος

Το Κεφάλαιο 6 μελετά τις προδιαγραφές του Smart Metering Project (SMP) του ΔΕΔΔΗΕ. Πρόκειται για ένα πιλοτικό σύστημα τηλεμέτρησης και διαχείρισης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας οικιακών καταναλωτών και μικρών εμπορικών επιχειρήσεων. Στη Διακήρυξη προδιαγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πιλοτικού συστήματος τηλεμέτρησης, το κεντρικό σύστημα επεξεργασίας των SM δεδομένων και οι προδιαγραφές των ευφών μετρητών.

Οι ευφείς μετρητές αποτελούν την κύρια συνιστώσα για την ανάπτυξη του SMP του ΔΕΔΔΗΕ. Οι SM καταγράφουν σε πραγματικό χρόνο την κατανάλωση ενέργειας και άλλων ηλεκτρικών μεγεθών και έχουν τη δυνατότητα αποστολής δεδομένων και λήψης εντολών. Κύριες λειτουργίες των SM είναι :

- Η επικοινωνία με το κέντρο διαχείρισης για την αποστολή μετρήσεων, η επεξεργασία των οποίων αποσκοπεί στην τιμολόγηση των καταναλωτών, την παρακολούθηση και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του δικτύου διανομής και τη διαχείριση των σφαλμάτων/διακοπών.
- Η διάθεση πολυζωνικών τιμολογίων από τους παρόχους/προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές.
- Η ενημέρωση των καταναλωτών για την κατανάλωση, την ορθολογική χρήση και την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι ευφείς μετρητές και η εγκατάσταση συστήματος ευφών μετρήσεων αποτελούν το πρώτο και ίσως το σημαντικότερο βήμα προς τη δημιουργία των Smart Grids (SG), δηλαδή ευφών ηλεκτρικών δικτύων που αξιοποιούν τεχνολογίες πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών με σκοπό να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια με υψηλή απόδοση, οικονομία και ασφάλεια.

Επιπλέον, η Διακήρυξη επιδιώκει τη διασφάλιση της δυνατότητας επεξεργασίας δεδομένων από εσωτερικά συστήματα του ΔΕΔΔΗΕ με στόχο τη διαχείριση βλαβών, τη διαχείριση του ηλεκτρικού δικτύου κτλ, χωρίς να υποβαθμίζεται η λειτουργία και να σπαταλώνται τηλεπικοινωνιακοί πόροι του SM δικτύου. Επειδή είναι επιθυμητό το κέντρο διαχείρισης και επεξεργασίας των μετρητικών δεδομένων (Meter Data Management System, MDMS) να

συνδεθεί με άλλα ήδη λειτουργούντα συστήματα διαχείρισης και ελέγχου του ηλεκτρικού δικτύου όπως τα SCADA – DMS, OMS, GIS, CIS, WFM και DR είναι αναγκαία η διαλειτουργικότητα μεταξύ του SM συστήματος και των οντοτήτων αυτών.

Τελικός στόχος του υπό διακήρυξη SM συστήματος είναι η δημιουργία υποδομής που θα επιτρέπει :

- Την αποτελεσματική απομάστευση, συγκέντρωση, αποθήκευση, επεξεργασία και διαχείριση μετρητικών δεδομένων από τα σημεία κατανάλωσης του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας
- Την πρόσβαση στα ανωτέρω δεδομένα από τις συνεργαζόμενες οντότητες του ηλεκτρικού δικτύου και τους κατά περίπτωση αρμόδιους φορείς.

Επίσης, στις προδιαγραφές της Διακήρυξης ορίζονται οι τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες που επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν στο δίκτυο πρόσβασης. Επιθυμητά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών επικοινωνίας είναι η υψηλή αξιοπιστία και διαθεσιμότητα, η επαρκής γεωγραφική κάλυψη των επιλεγμένων προς εξυπηρέτηση περιοχών, το χαμηλό κόστος εγκατάστασης και η επεκτασιμότητα του δικτύου επικοινωνιών. Σύμφωνα με τη Διακήρυξη, η μετάδοση δεδομένων θα γίνεται με χρήση είτε ενσύρματης PLC τεχνολογίας είτε ασύρματης GPRS/3G τεχνολογίας.

Στον Πίνακα 6.1 εμφανίζεται η επιθυμητή κατανομή των ανωτέρω τεχνολογιών στις διάφορες περιοχές εξυπηρέτησης .

Τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία	Αστική	Ημιαστική	Αγροτική
PLC	Χαμηλό ποσοστό μετρητών	Υψηλό ποσοστό μετρητών	Χαμηλό ποσοστό μετρητών
GSM/GPRS/3G/4G	Υψηλό ποσοστό μετρητών	Μεσαίο ποσοστό μετρητών	Υψηλό ποσοστό μετρητών

Πίνακας 6.1: Ποσοστά μετρητών που χρησιμοποιούν τις δύο επιλεγμένες τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες πρόσβασης

Η Διακήρυξη προδιαγράφει κάθε τεχνολογία να εφαρμοστεί σε ένα ελάχιστο ποσοστό 20% του συνολικού πλήθους των μετρητών (τουλάχιστον 20% PLC και τουλάχιστον 20% GRPS/3G ανά γεωγραφική περιοχή). Το υπόλοιπο 60% των μετρητών μπορεί να λειτουργήσει με PLC ή GPRS, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της προς εξυπηρέτησης γεωγραφικής περιοχής. Το ποσοστά

αυτά είναι ορισμένα κατά αυθαίρετο τρόπο και εισάγουν περιορισμό στην υλοποίηση του πιλοτικού SM συστήματος. Η τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί για την από-άκρο-σε-άκρο επικοινωνία SM και MDMS με επιβεβλημένα τα ανωτέρω ποσοστά ενδέχεται να μην είναι η καταλληλότερη για κάθε περίπτωση. Για παράδειγμα, επειδή οι σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας είναι κατάλληλα διασπαρμένοι, εξασφαλίζεται πολύ υψηλό ποσοστό κάλυψης και επιλεξιμότητα της ασύρματης τεχνολογίας σε πολλές περιοχές. Ωστόσο, η ανάγκη ικανοποίησης του ποσοστού του 20% μπορεί να μην επιτρέπει τη χρήση της ασύρματης τεχνολογίας. Ένας πρόσθετος περιορισμός τον οποίο επιβάλλει η Διακήρυξη είναι η αναγκαστική εγκατάσταση του συγκεντρωτή στον πλησιέστερο υποσταθμό MT/XT. Περιοχές εκτός κάλυψης των δικτύων κινητών επικοινωνιών θεωρούνται κατάλληλες για χρήση PLC. Ωστόσο, μπορεί να βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τον πλησιέστερο υποσταθμό. Η μετάδοση πληροφορίας μέσω PLC σε μεγάλες αποστάσεις απαιτεί τη χρήση επαναληπτών λόγω του δυσμενούς ενσύρματου διαύλου επικοινωνίας. Συνεπώς, η επιβαλλόμενη εγκατάσταση των συγκεντρωτών σε υποσταθμούς MT/XT σε συνδυασμό με τα εγγενή χαρακτηριστικά της PLC τεχνολογίας μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στη μετάδοση πληροφορίας.

Επίσης, στη Διακήρυξη αναφέρονται προδιαγραφές που αφορούν τα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Αυτά πρέπει να είναι σύμφωνα με τα πρότυπα της CENELEC/TC13, ενώ κάθε μέθοδος μετάδοσης δεδομένων πρέπει να υποστηρίζει το πρωτόκολλο IP. Σύμφωνα με τη Διακήρυξη, ο ρυθμός μετάδοσης των SM που επικοινωνούν μέσω PLC δεν πρέπει να είναι μικρότερος των 4.8kbps, ενώ μετρητές που χρησιμοποιούν ασύρματη τεχνολογία πρέπει να επιλέγουν τη βέλτιστη διαθέσιμη τεχνολογία εκ των 2G/3G. Όσον αφορά στο δίκτυο κορμού, η τεχνολογία επικοινωνιών δεν προσδιορίζεται κατά αποκλειστικό τρόπο.

Η Διακήρυξη εισάγει και προδιαγραφές που σχετίζονται με το MDMS. Συγκεκριμένα, αναφέρει ότι το κεντρικό σύστημα θα περιλαμβάνει και ένα εφεδρικό MDMS ίσης δυναμικότητας για λειτουργία σε περίπτωση αδυναμίας λειτουργίας του πρώτου. Το εφεδρικό σύστημα εισάγει μεγάλο κόστος στην υλοποίηση του έργου, ενώ θα χρησιμοποιείται για σχετικά μικρό χρονικό διάστημα σε ετήσια βάση. Ενδεχομένως, η κατανεμημένη διαχείριση ή η ύπαρξη ενός κύριου MDMS και η εφεδρική λειτουργία μέσω cloud computing σε περίπτωση αδυναμίας του κύριου MDMS αποτελούν οικονομικότερη προσέγγιση. Μια άλλη λύση, έναντι του εφεδρικού κέντρου διαχείρισης, συνίσταται στην ανάθεση επιμέρους λειτουργιών σε τοπικά κέντρα διαχείρισης μικρότερης δυναμικότητας. Ορισμένες λειτουργίες, όπως καταγραφή

σφαλμάτων στο τοπικό δίκτυο διανομής, σύνδεση και αποσύνδεση καταναλωτών κτλ. μπορούν να πραγματοποιηθούν αποκεντρωμένα επιφέροντας μικρότερη επιβάρυνση του κεντρικού συστήματος.

6.2 Αδυναμίες της Διακήρυξης

Η διαβούλευση της αρχικής Διακήρυξης ανέδειξε ορισμένους αυθαίρετους περιορισμούς στην υλοποίηση του ελληνικού SMP και οδήγησε στη διαμόρφωση της αναθεωρημένης τελικής Διακήρυξης. Ωστόσο, και η τελική Διακήρυξη παρουσιάζει σημαντικές αδυναμίες, κυρίως από τηλεπικοινωνιακής σκοπιάς. Οι αδυναμίες αυτές παρουσιάζονται ακολούθως.

➤ **Περιορισμός στις τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες του δικτύου πρόσβασης:**

Η Διακήρυξη ορίζει τις PLC και GPRS/3G τεχνολογίες ως τις μοναδικές υποψήφιες για την επικοινωνία των μετρητών στο δίκτυο πρόσβασης. Οι τεχνολογίες PLC και GPRS ενδέχεται να είναι καταλληλότερες για μεγάλο ποσοστό των μετρητών αλλά ο περιορισμός στην αποκλειστική χρήση μιας εκ των δύο είναι αυθαίρετος και περιορίζει σημαντικά τη μελέτη, σχεδίαση και υλοποίηση του ελληνικού SMP. Οι τεχνολογίες WiFi □ DSL και WiMAX αποτελούν παραδείγματα εναλλακτικών τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών.

➤ **Ελάχιστο ποσοστό PLC και GPRS μετρητών:**

Το ελάχιστο ποσοστό μετρητών τροποποιήθηκε στην τελική Διακήρυξη και ορίστηκε στο 20% ανά περιοχή/νομό εγκατάστασης για κάθε τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία. Αν και μειώθηκε το αρχικό υποχρεωτικό ποσοστό, η τήρηση του 20% εισάγει περιορισμούς στην τηλεπικοινωνιακή μελέτη του δικτύου πρόσβασης και οδηγεί σε ενδεχόμενη απόκλιση από τη βέλτιστη λύση. Το ποσοστό PLC και GPRS μετρητών θα έπρεπε να προκύπτει μετά από μελέτη και να μην αποτελεί αρχικό περιορισμό.

➤ **Θέση μετρητών:**

Ο ΔΕΔΔΗΕ προδιαγράφει την εγκατάσταση των νέων μετρητών στα σημεία που βρίσκονται οι παραδοσιακοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, οι παραδοσιακοί μετρητές βρίσκονται συνήθως σε σημεία όπου δεν υπάρχει κάλυψη από δίκτυα κινητών επικοινωνιών μειώνοντας έτσι τους βαθμούς ελευθερίας κατά τη σχεδίαση του δικτύου πρόσβασης. Επίσης, η αναγκαστική εγκατάσταση των SM στα σημεία των παραδοσιακών μετρητών εισάγει την ανάγκη για εγκατάσταση IHDs, αυξάνοντας το κόστος υλοποίησης του SMP. Λύση στα ανωτέρω προβλήματα αποτελεί η δυνατότητα εγκατάστασης εντός της ηλεκτροδοτούμενης εγκατάστασης (π.χ. στον πίνακα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας). Έτσι καταργείται η ανάγκη για IHD, καθώς ο

καταναλωτής έχει άμεση πρόσβαση στις μετρητικές ενδείξεις ενώ είναι ευκολότερη η επικοινωνία SM – MDMS μέσω GPRS/3G. Επίσης, η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ SM – MDMS μπορεί να γίνεται μέσω του οικιακού δικτύου WiFi→DSL, χρησιμοποιώντας το υπάρχον τηλεφωνικό δίκτυο.

➤ **Υποχρεωτική εγκατάσταση των συγκεντρωτών στους υποσταθμούς MT/XT:**

Η Διακήρυξη προδιαγράφει τον πλησιέστερο υποσταθμό MT/XT ως μοναδικό σημείο εγκατάστασης του συγκεντρωτή. Η επιλογή αυτή είναι ορθή αφού ο μετασχηματιστής MT/XT αποτελεί το σημείο συγκέντρωσης όλης της πληροφορίας των μετρητών που επικοινωνούν μέσω PLC, καθώς εκεί καταλήγουν όλες οι γραμμές μεταφοράς XT των οικιακών καταναλώσεων. Ωστόσο, η Διακήρυξη θα μπορούσε να αφήσει ανοικτή την επιλογή διαφορετικού σημείου εγκατάστασης των συγκεντρωτών, αν αυτό κρίνεται απαραίτητο μετά από μελέτη του δικτύου πρόσβασης.

➤ **Χαμηλό ποσοστό μετρητών στα μεγαλύτερα αστικά κέντρα:**

Σημαντική αδυναμία της τελικής Διακήρυξης είναι η υπο – αντιπροσώπευση των αστικών περιοχών. Μόλις το 5.9% των μετρητών πρόκειται να εγκατασταθεί σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη, δηλαδή στα δύο μεγαλύτερα κέντρα ενεργειακής κατανάλωσης.

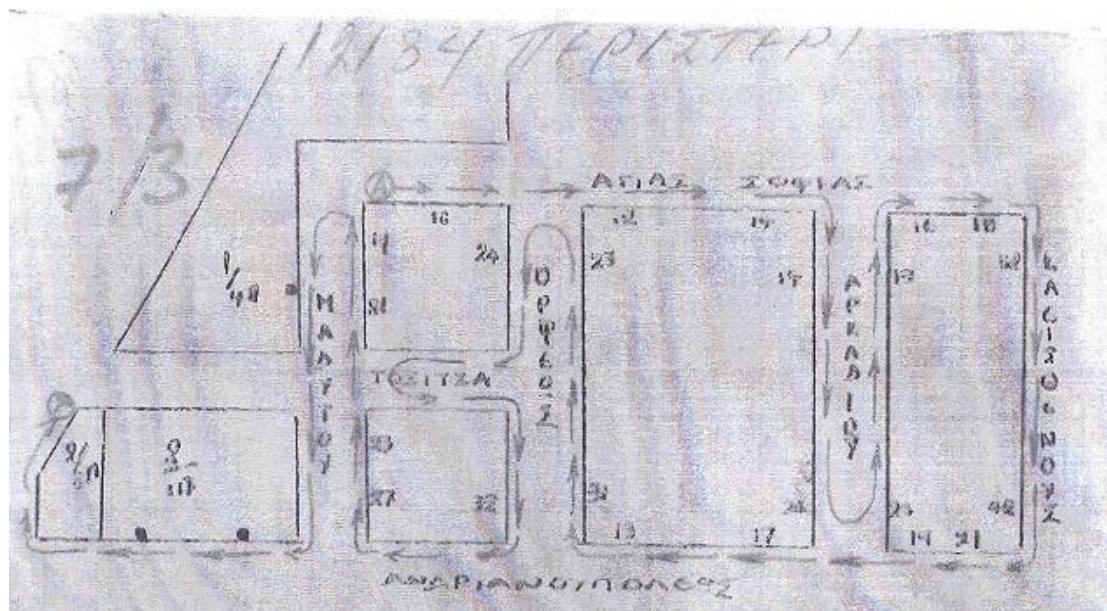
➤ **Αναγκαστική εγκατάσταση δύο MDMS:**

Η διαθεσιμότητα κύριου και εφεδρικού κέντρου διαχείρισης δεδομένων εξασφαλίζει την επιτυχή συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από τους μετρητές σε περίπτωση αποτυχίας του πρώτου, ωστόσο αυξάνει σημαντικά το κόστος υλοποίησης του SMP.

6.3 Υλοποίηση του SM προγράμματος του ΔΕΔΔΗΕ σε επιλεγμένες περιοχές με πραγματικά στοιχεία

Χωρίς την ανιδιοτελή βοήθεια του πρακτορείου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας Περιστερίου, το οποίο παρέσχε τα απαραίτητα στοιχεία δεν θα ήταν δυνατή η εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Τα στοιχεία που παρέσχε ήταν ο ακριβής αριθμός των προς αντικατάσταση συμβατικών μετρητών καθώς και ο αριθμός των αστικών Υ/Σ ΜΤ/ΧΣ επίγειων και υπόγειων. Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται η διαδρομή που πραγματοποιεί ο υπάλληλος της υπηρεσίας (καταμετρητής) για τη συλλογή των ενδείξεων των μετρητών. Επίσης στο σχήμα αυτό είναι αναφέρονται οι διευθύνσεις των κτιρίων.



Σχήμα 6.1 Χάρτης διαδρομής συλλογής στοιχείων

Επίσης, διατέθηκε κατάλογος που αφορά την ανωτέρω περιοχή, στον οποίο αναγράφονται :

1. Η ημερομηνία της τελευταίας μέτρησης
2. Ο αριθμός της παροχής
3. Ο αριθμός του μετρητή
4. Το όνοματεπώνυμο του καταναλωτή που είναι σβησμένο για ευνόητους λόγους
5. Η διεύθυνση
6. Το είδος του τιμολογίου
7. Η τελευταία ένδειξη του μετρητή

Οι πληροφορίες αυτές φαίνονται στο Σχήμα 6.2 που αποτελεί ενδεικτικό τμήμα του καταλόγου που λόγω μεγέθους δεν μπορεί να παρατεθεί ολόκληρος.

Διαδ.	Βιβ.	Σελίδα	Ημερομηνία	Κ.Παροχή	Μετρητής	Καταναλωτής	Οδός-Αριθμός	Τιμολόγιο	ΔΕ	Ορι	Νέα Μέτρο	Ένδ
07	03	000100	06/03/2014	07070031-06	02724127		ΑΓ ΣΟΦΙΑΣ 4	21 Γ21	AK			
07	03	000200	06/03/2014	00156140-01	02417949		ΑΓ ΣΟΦΙΑΣ 8	21 Γ21			5906	
07	03	000300	06/03/2014	07178672-03	40070704		ΑΓ ΣΟΦΙΑΣ 8	10 Γ1-K			41889	
07	03	000300	06/03/2014	07178672-03	40070704		ΑΓ ΣΟΦΙΑΣ 8	13 Γ1N-M			49002	
07	03	000400	06/03/2014	07043991-01	05606955		ΑΓ ΣΟΦΙΑΣ 8	10 Γ1-K			70011	
07	03	000500	06/03/2014	07050998-03	00724075		ΑΓ ΣΟΦΙΑΣ 10	21 Γ21	AK			
07	03	000600	06/03/2014	00851956-01	06439361		ΑΓ ΣΟΦΙΑΣ 12	11 Γ1-K			4174	
07	03	000700	06/03/2014	00851957-01	00992917		ΑΓ ΣΟΦΙΑΣ 12	10 Γ1-K			79473	
07	03	000800	07/03/2014	07057652-01	00766517		ΑΓ ΣΟΦΙΑΣ 14	21 Γ21			67693	*
07	03	000900	07/03/2014	00245543-01	54307853		ΑΓ ΣΟΦΙΑΣ 14	11 Γ1-K			22392	*
07	03	000900	07/03/2014	00245543-01	54307853		ΑΓ ΣΟΦΙΑΣ 14	12 Γ1N-M			19	*
07	03	001000	06/03/2014	07193512-02	T1360571		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 14	11 Γ1-K		KO	36994	
07	03	001000	06/03/2014	07193512-02	T1360571		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 14	13 Γ1N-M		KO	18895	
07	03	001010	06/03/2014	17003020-01	M2496262		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 14	10 Γ1-K			51572	
07	03	001010	06/03/2014	17003020-01	M2496262		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 14	13 Γ1N-M			21601	
07	03	001100	06/03/2014	07025571-01	05278009		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 14	10 Γ1-K			47731	
07	03	001200	06/03/2014	00863175-01	00859425		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 14	14 ΓΠ-K			35711	
07	03	001300	06/03/2014	00172161-02	11713800		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 14	10 Γ1-K			86170	
07	03	001410	06/03/2014	17020413-02	T1822618		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 16	21 Γ21			14636	
07	03	001420	06/03/2014	17021448-03	93804458		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 16	11 Γ1-K			9249	
07	03	001420	06/03/2014	17021448-03	93804458		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 16	13 Γ1N-M			2882	
07	03	001430	06/03/2014	17021449-02	T1899553		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 16	11 Γ1-K			13013	
07	03	001430	06/03/2014	17021449-02	T1899553		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 16	13 Γ1N-M			5036	
07	03	001440	06/03/2014	17021450-01	M4067805		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 16	10 Γ1-K			15706	
07	03	001450	06/03/2014	17021451-01	34168448		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 16	10 Γ1-K			23712	
07	03	001450	06/03/2014	17021451-01	34168448		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 16	13 Γ1N-M			16966	
07	03	001460	06/03/2014	17021452-01	34131905		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 16	10 Γ1-K			9160	
07	03	001460	06/03/2014	17021452-01	34131905		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 16	13 Γ1N-M			2898	
07	03	001500	06/03/2014	00338070-02	34362247		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 18	10 Γ1-K			1643	
07	03	001500	06/03/2014	00338070-02	34362247		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 18	13 Γ1N-M			593	
07	03	001600	06/03/2014	00338071-02	03008106		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 18	10 Γ1-K			69195	
07	03	001600	06/03/2014	00338071-02	03008106		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 18	13 Γ1N-M			2211	
07	03	001700	06/03/2014	00217819-02	01495067		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 18	10 Γ1-K			91088	
07	03	001800	06/03/2014	00851950-02	40188462		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 18	10 Γ1-K			12159	
07	03	001800	06/03/2014	00851950-02	40188462		ΑΡΚΑΔΙΟΥ 18	13 Γ1N-M			28412	

Σχήμα 6.2 Ενδεικτικός κατάλογος πληροφοριών καταναλωτή

Από τον κατάλογο αυτό εξάγονται σημαντικές πληροφορίες, όπως αν η παροχή είναι μονοφασική ή τριφασική, αν βρίσκεται σε κοινόχρηστο χώρο, αν η παροχή χρησιμοποιείται από οικιακό ή βιομηχανικό καταναλωτή αλλά και ποιοί μετρητές βρίσκονται στη ίδια ηλεκτρική γραμμή χαμηλής τάσης (ΧΤ) καθώς και ποιές ηλεκτρικές γραμμές αναχωρούν από τον ίδιο Υ/Σ.

6.3.1 Υπολογισμός των μετρητών σε οικοδομικό τετράγωνο

Για να υπολογιστεί ο αριθμός των μετρητών σε ένα οικοδομικό τετράγωνο εκτελούνται τα εξής βήματα:

1. Προσδιορισμός των διευθύνσεων του οικοδομικού τετραγώνου
2. Καταμέτρηση των μετρητών των συγκεκριμένων διευθύνσεων από τον κατάλογο
3. Άθροιση των αριθμών των μετρητών και εξαγωγή συνόλου



Σχήμα 6.3 Παράδειγμα υπολογισμού μετρητών σε οικοδομικό τετράγωνο

Για το οικοδομικό τετράγωνο του Σχήματος 6.3 παρατηρούμε ότι περικλείεται από τις οδούς Αγίας Σοφίας (12-14), Αρκαδίου (14-24), Αδριανουπόλεως (13-17) και Ορφέως (23-31). Από τον κατάλογο του Σχήματος 6.2 προσδιορίζουμε ότι το σύνολο των μετρητών είναι:

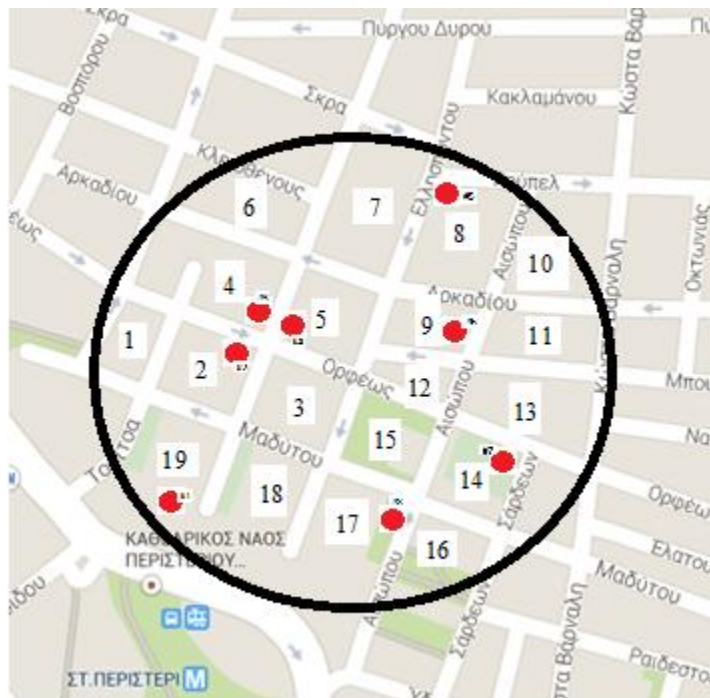
Οδός και αριθμός	Αριθμός Μετρητών
Αγίας Σοφίας 12-14	7
Αρκαδίου 14-24	42
Αδριανουπόλεως 13-17	21
Ορφέως 23-31	21
	Σύνολο: 91

Πίνακας 6.2 Προσδιορισμός μετρητών σε κτίριο

Για να προσδιοριστεί ο αριθμός των μετρητών που βρίσκεται σε συγκεκριμένη περιοχή, πρέπει να ακολουθηθεί η προαναφερθείσα διαδικασία για κάθε οικοδομικό τετράγωνο της περιοχής και εν συνεχεία να αθροιστεί κάθε σύνολο.

6.4 Πυκνοκατοικημένη αστική περιοχή

Η επιλογή της συγκεκριμένης περιοχής έγινε με κριτήριο την πυκνότητα και το μέγεθος των οικοδομικών τετραγώνων.



Σχήμα 6.4 : Χάρτης πυκνοκατοικημένης περιοχής

Η επιλεγμένη περιοχή του Σχήματος 6.4 περιλαμβάνει 19 οικοδομικά τετράγωνα καθώς και τους υποσταθμούς ΜΤ/ΧΤ που είναι σημειωμένοι με κόκκινο χρώμα. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 6.4, οι υποσταθμοί δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι. Αυτό συμβαίνει επειδή τα οικοδομικά τετράγωνα δεν είναι ίδια, με συνέπεια κάθε οικοδομικό τετράγωνο να έχει διαφορετικό αριθμό μετρητών άρα και διαφορετικά προς εξυπηρέτηση φορτία. Επίσης, όλα τα οικοδομικά τετράγωνα οικοδομήθηκαν σταδιακά, με αποτέλεσμα οι αρχικοί υποσταθμοί να μην είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν τα νέα φορτία από τα νέα κτίρια και να καταστεί απαραίτητη η εγκατάσταση και νέων γειτονικών υποσταθμών. Από τον κατάλογο του Σχήματος 6.2 και συγκεκριμένα από την στήλη «Παροχή» μπορεί να γίνει μια άμεση εκτίμηση για τον αριθμό των μετρητών που εξυπηρετεί κάθε υποσταθμός. Από κάθε υποσταθμό αναχωρούν, το πολύ, 12 ηλεκτρικές γραμμές ΧΤ. Παρατηρώντας τον αριθμό της παροχής, είναι δυνατό να προσδιοριστεί σε ποιά ηλεκτρική γραμμή ανήκει ο μετρητής και σε ποιόν υποσταθμό ανήκει η ηλεκτρική αυτή γραμμή. Οι γειτονικοί αριθμοί κάθε παροχής ανήκουν στον ίδιο υποσταθμό.

Παρατηρώντας τους αριθμούς των παροχών απο τους καταλόγους που διατέθηκαν, διαπιστώνεται ότι τα πέντε (5) πρώτα ψηφία τους παραμένουν ίδια ενώ διαφοροποιούνται τα τελευταία. Από αυτό γίνεται αντιληπτό ότι οι παροχές που έχουν ίδια τα πρώτα ψηφία εξυπηρετούνται από τον ίδιο υποσταθμό. Τα τελευταία ψηφία παρέχουν την αρίθμηση του μετρητή στη συγκεκριμένη ηλεκτρική γραμμή. Η αρίθμηση αυτή είναι διαφορετική από την ταυτότητα του μετρητή. Στην αρίθμηση αυτή λείπουν ορισμένοι αριθμοί. Τα κενά αυτά στην αρίθμηση οφείλονται είτε στην πρόβλεψη για εισαγωγή νέων μετρητών λόγω νεόδμητων κτιρίων είτε στη κατάργηση παλαιών λόγω βλάβης ή διακοπής της ηλεκτροδότησης ή ακόμα και κατεδάφισης του κτιρίου. Άρα η στήλη «Παροχή» παρέχει τη σημαντικότερη πληροφορία του καταλόγου γιατί μέσω αυτής προσδιορίζεται ακριβώς ποιός μετρητής συνδέεται σε κάθε ηλεκτρική γραμμή και ποιά ηλεκτρική γραμμή συνδέεται σε κάθε υποσταθμό. Δηλαδή, προσδιορίζεται ακριβώς ο αριθμός των μετρητών που εξυπηρετεί ένας υποσταθμός και κατά συνέπεια ο όγκος της πληροφορίας που καλείται να μεταδώσει ο συγκεντρωτής των SM δεδομένων που θα εγκατασταθεί στον υποσταθμό.

Στον Πίνακα 6.3 εμφανίζεται ο ακριβής αριθμός των μετρητών σε κάθε υποσταθμό της ενδεικτικής περιοχής που απεικονίζεται στο Σχήμα 6.4.

Αριθμός Υποσταθμού	Αριθμός Μετρητών
Υποσταθμός #1	271
Υποσταθμός #2	267
Υποσταθμός #3	197
Υποσταθμός #4	234
Υποσταθμός #5	235
Υποσταθμός #6	266
Υποσταθμός #7	277
Υποσταθμός #8	280
	Σύνολο: 2027

Πίνακας 6.3 Ακριβής αριθμός μετρητών σε κάθε υποσταθμό

Η ενδεικτική αυτή περιοχή έχει ακτίνα 250m περίπου και έχει έκταση $E = \pi * 0.25^2 \text{Km}^2 \approx 0.2 \text{ Km}^2$ και οι μετρητές που προσδιορίστηκαν μέσω της προαναφερθείσας διαδικασίας 2027. Η περιοχή αυτή εξυπηρετείται από 8 Υ/Σ (σύμφωνα με το πρακτορείο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας της περιοχής Περιστερίου). Άρα κάθε Υ/Σ, και κατά συνέπεια συγκεντρωτής, εξυπηρετεί, κατά μέσο όρο, $\frac{2027}{8} \approx 254$ ευφυείς μετρητές.

Κάθε συγκεντρωτής συλλέγει την ημέρα

$$P_{concentrator} = 254 \times P_{PLC} \times 4 \times 24 = 3.12 \text{ MB}$$

όπου $P_{PLC} = 128 \text{ bytes}$ το μήκος του πακέτου για PLC μετάδοση.

Ο χρόνος μετάδοσης των δεδομένων μέσω GPRS από τον συγκεντρωτή στο MDMS είναι :

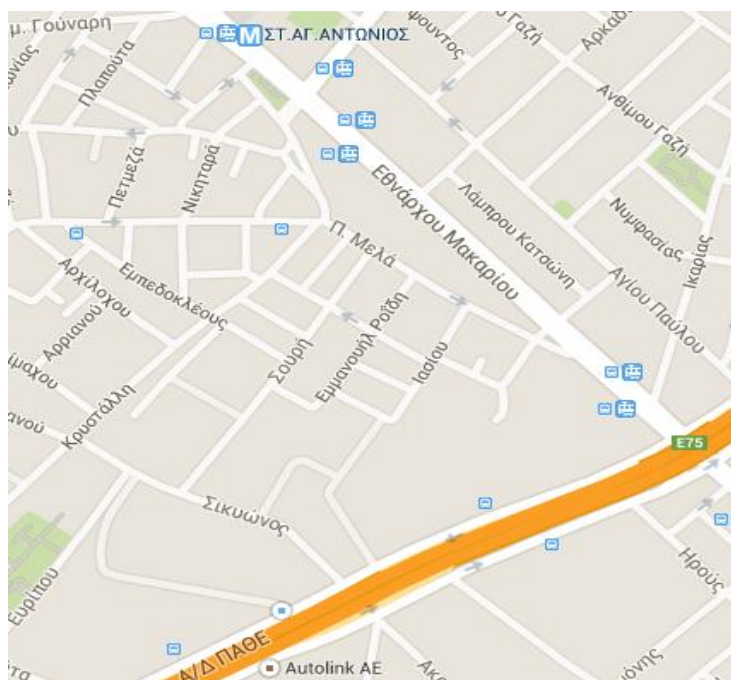
$$t_{concentrator,GPRS} = \frac{P_{concentrator}}{R_{GPRS}} = \frac{3.12 \times 10^6 \times 8}{40 \times 10^3} = 624 \text{ sec}$$

ενώ μέσω 3G ο χρόνος αποστολής είναι :

$$t_{concentrator,3G} = \frac{P_{concentrator}}{R_{3G}} = \frac{3.12 \times 10^6 \times 8}{350 \times 10^3} = 71.31 \text{ sec}$$

6.5 Αραιοκατοικημένη αστική περιοχή

Στο Σχήμα 6.5 φαίνεται ένα τμήμα της αραιοκατοικημένης (βιομηχανικής) περιοχής του Περιστερίου.



Σχήμα 6.5 : Χάρτης αραιοκατοικημένης (βιομηχανικής) περιοχής

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία για την περιοχή του σχήματος 6.5 με αυτήν του Σχήματος 6.4 υπολογίστηκε ότι στην ενδεικτική αυτή

αριοκατοικημένη περιοχή υπάρχουν 1200 μετρητές και 10 Υ/Σ. Άρα κάθε Υ/Σ, και κατ'επέκταση συγκεντρωτής SM δεδομένων εξυπηρετεί $\frac{1200}{10} = 120$ μετρητές. Η περιοχή αυτή έχει ακτίνα 500m και έκταση $E = \pi \cdot 5^2 \approx 0.8 \text{Km}^2$.

Κάθε συγκεντρωτής συλλέγει $120 \times 128 \times 96 = 1.48 \text{MB}$ την ημέρα.

Ο χρόνος αποστολής των δεδομένων μέσω GPRS είναι :

$$t_{concentrator,GPRS} = \frac{1.48 \times 10^6 \times 8}{40 \times 10^3} = 296 \text{sec}$$

ενώ μέσω 3G ο χρόνος αποστολής είναι :

$$t_{concentrator,3G} = \frac{1.48 \times 10^6 \times 8}{350 \times 10^3} = 33.82 \text{sec}$$

6.6 Αγροτική περιοχή

Στο Σχήμα 6.6 απεικονίζεται μια αγροτική περιοχή.



Σχήμα 6.6 : Χάρτης αγροτικής περιοχής

Στην περιοχή αυτή υπάρχουν 30 μετρητές και ένας Υ/Σ.

Ο συγκεντρωτής συλλέγει $30 \times 128 \times 96 = 368 \text{ KB}$ την ημέρα.

Ο χρόνος αποστολής των δεδομένων μέσω GPRS είναι :

$$t_{concentrator,GPRS} = \frac{368 \times 10^3 \times 8}{40 \times 10^3} = 73.6 \text{ sec}$$

ενώ μέσω 3G ο χρόνος αποστολής είναι :

$$t_{concentrator,3G} = \frac{368 \times 10^3 \times 8}{350 \times 10^3} = 8.41 \text{ sec}$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι, στην περίπτωση της αγροτικής περιοχής, όταν ο συγκεντρωτής που είναι τοποθετημένος στον Υ/Σ δεν βρίσκεται εντός της κάλυψης της διαθέσιμης ασύρματης τεχνολογίας, πρέπει να αποστείλει τα δεδομένα στο συγκεντρωτή γειτονικού Υ/Σ που βρίσκεται εντός κάλυψης ο οποίος θα αναλάβει τη μετάδοση και των δεδομένων του πρώτου συγκεντρωτή. Το φαινόμενο αυτό, η ύπαρξη δηλαδή εξαρτημένων συγκεντρωτών (slave) από έναν κύριο (master), αναμένεται σε πολύ αραιοκατοικημένες περιοχές, όπου η πυκνότητα των μετρητών ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο είναι μικρή. Επιπλέον, εφόσον το μήκος των ηλεκτρικών γραμμών είναι πολύ μεγάλο, πρέπει να χρησιμοποιηθούν επαναλήπτες.

6.7 Συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Στον ακόλουθο πίνακα 6.2 συνοψίζονται τα αποτελέσματα για τις τρεις περιοχές.

Περιοχή	Χρόνος μετάδοσης μέσω GPRS (sec)	Χρόνος μετάδοσης μέσω 3G (sec)	Αριθμός Μετρητών	Αριθμός Συγκεντρωτών (ανά Km ²)	Μέσος αριθμός μετρητών ανά συγκεντρωτή
πυκνοκατοικημένη	624	71.31	2027	40 (8/0.2)	254
αραιοκατοικημένη	296	33.82	1200	12 (10/0.8)	120
αγροτική	73.6	8.41	30	1	30

Πίνακας 6.2 Συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Είναι φανερό ότι οι χρόνοι μετάδοσης των SM δεδομένων από τον συγκεντρωτή στο MDMS είναι ικανοποιητικοί, ειδικά όταν είναι διαθέσιμη η

3G τεχνολογία. Επιπλέον, πρέπει να προσθεθεί και ο χρόνος έναρξης και λήξης της κάθε συνεδρίας που όμως είναι πολύ μικρός και δεν επηρεάζει τους χρόνους μετάδοσης. Αν ο μετρητής ή και ο συγκεντρωτής διαθέτουν λογισμικό επεξεργασίας ή και συμπίεσης των δεδομένων τότε ο όγκος της πληροφορίας μειώνεται με συνέπεια ο χρόνος μετάδοσης της πληροφορίας να μειώνεται και αυτός να μη θεωρείται σημαντικός παράγοντας για την μετάδοση της πληροφορίας. Οι ενταμιευτές των συγκεντρωτών πρέπει να έχουν μεγάλη χωρητικότητα για να μπορούν να εξυπηρετούν και τους μετρητές γειτονικών συγκεντρωτών σε περίπτωση δυσλειτουργίας.

Επίσης παρατηρούμε ότι ο εκτιμώμενος αριθμός συγκεντρωτών του Πίνακα 5.4 δεν συμφωνεί με τα πραγματικά στοιχεία του Πίνακα 6.2. Προφανώς τα συγκεκριμένα πολεοδομικά χαρακτηριστικά της περιοχής που εξετάστηκε επηρεάζουν την παρούσα μελέτη. Ενδεχομένως έπρεπε να επιλεγεί περιοχή μεγαλύτερης έκτασης ώστε να προκύψει καλύτερη εκτίμηση των μεγεθών. Όμως, αυτό δεν κατέστη αδύνατο όμως λόγω της αδυναμίας της υπηρεσίας να διαθέσει τόσο μεγάλο όγκο δεδομένων.

Συνοψίζοντας, μπορεί να υποστηριχθεί ότι ο ΔΕΔΔΗΕ είναι σε θέση κατά περίπτωση να μη βασίζεται σε εκτιμήσεις για τον αριθμό των μετρητών, των συγκεντρωτών και των τεχνολογιών που θα χρησιμοποιήσει αλλά να πραγματοποιεί επικεντρωμένες πλήρεις μελέτες αφού έχει στην διάθεσή του όλα τα απαραίτητα στοιχεία.

Συμπερασματικά, στο κεφάλαιο αυτό

1. Μελετήθηκε η διαδικασία εύρεσης του ακριβούς αριθμού των μετρητών σε κάποιο οικοδομικό τετράγωνο, του ακριβούς αριθμού των μετρητών σε συγκεκριμένη γραμμή αναχώρησης από υποσταθμούς MT/XT και του ακριβούς αριθμού των γραμμών αναχώρησης από κάθε υποσταθμό.
2. Προσδιορίστηκε ο ακριβής όγκος SM δεδομένων που αποθηκεύει κάθε συγκεντρωτής σε ημερήσια βάση και οι ακριβείς χρόνοι μετάδοσης των SM δεδομένων μέσω GPRS ή 3G τεχνολογίας από τους συγκεντρωτές στο MDMS.

Η διαδικασία εύρεσης των τριών πρώτων στοιχείων αποτελεί το αρχικό βήμα ώστε να καταστεί εφικτή η εκπόνηση αντίστοιχων μελετών για όλη την επικράτεια. Επίσης, η γνώση των προαναφερθέντων στοιχείων μπορεί να οδηγήσει σε χρησιμοποίηση διαφορετικών τεχνολογιών από τις προτεινόμενες από τον ΔΕΔΔΗΕ, λόγω της συνολικής εικόνας που παρέχεται για ολόκληρο το ηλεκτρικό δίκτυο.

Στη μελέτη που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο αυτό χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά στοιχεία που δόθηκαν από το πρακτορείο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας Περιστερίου. Οι περιοχές που επιλέχθηκαν όμως είχαν σχετικά μικρή έκταση και ιδιαίτερα ρυμοτομικά και πληθυσμιακά στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να οδηγήσουν σε αποκλίσεις των αποτελεσμάτων από αντίστοιχες μελέτες όταν επιλεγούν περιοχές με μεγαλύτερη έκταση. Σε κάθε περίπτωση, όμως, η διαδικασία που θα ακολουθηθεί από αντίστοιχες μελέτες θα είναι ίδια.

6.8 Συμπέρασμα - Προτάσεις

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η θεωρητική και η πρακτική προσέγγιση της διαστασιολόγησης ενός ΣΕΜ. Η κατάλληλη, κατά περίπτωση, δομή των δικτύων πρόσβασης και μεταφοράς του ΣΕΜ διαμορφώνεται ικανοποιώντας μια σειρά από κριτήρια.

Βασική συνεισφορά της εργασίας είναι η μελέτη ποικιλίας θεμάτων που αφορούν ένα ΣΕΜ και το ΕΔ γενικότερα. Συγκεκριμένα, στην εργασία μελετήθηκαν θέματα που αφορούν:

- Την ιεραρχική αρχιτεκτονική και τα δομικά στοιχεία του ΣΕΜ στα πρότυπα των M2M δικτύων.
- Τις υποψήφιες τεχνολογίες επικοινωνιών και τις δικτυακές τοπολογίες για όλα τα υποδίκτυα του ΣΕΜ.
- Τις μεθόδους ασφαλούς δικτύωσης και διαχείρισης ενός δικτύου.
- Τα διαθέσιμα πρωτόκολλα επικοινωνιών.
- Το προφίλ της τηλεπικοινωνιακής κίνησης που παράγουν οι υπηρεσίες του ΕΔ και ειδικότερα ο ημερήσιος όγκος δεδομένων.
- Τις προδιαγραφές και τους περιορισμούς που θέτει ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.
- Τη δομή του ΗΔ.
- Τα γεωγραφικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά.

Τέλος, μελετήθηκαν τρεις πραγματικές περιοχές με πραγματικά στοιχεία και δεδομένα.

Αρχικά, ειδικά για το δίκτυο μεταφοράς ΣΕΜ του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε., σημαντική θα ήταν η πρόσβαση σε χάρτες ραδιοκάλυψης των δικτύων κινητών επικοινωνιών, στοιχεία σχετικά με την υποδομή για την πρόσβαση στο Διαδίκτυο μέσω xDSL και χάρτες απεικόνισης των γραμμών ΜΤ και των Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ. Με την κατά τόπους μελέτη των ανωτέρω δεδομένων, θα προκύψει γνώση της διαθεσιμότητας των τεχνολογιών επικοινωνιών για τους ΕΜ και τους συγκεντρωτές, όπως π.χ. η εκτίμηση της ισχύος σήματος σε συγκεντρωτές

ή η απόσταση από το τοπικό DSLAM, ώστε να επιλεγούν οι κατάλληλες, κατά περίπτωση, τεχνολογίες επικοινωνιών.

Ο ΔΕΔΔΗΕ προδιαγράφει ότι τα σημεία εγκατάστασης των νέων μετρητών ταυτίζονται με αυτά των παραδοσιακών μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας. Η επιλογή αυτή εξυπηρετεί κυρίως λειτουργικούς στόχους που σχετίζονται με τη διατήρηση της υπάρχουσας ηλεκτρολογικής εγκατάστασης και τη μείωση του κόστους τροποποίησής της. Ωστόσο, όταν για την εγκατάσταση των SM χρησιμοποιηθούν οι θέσεις των παραδοσιακών μετρητών (εξωτερικός χώρος στη βάση των κτιρίων ή υπόγειοι χώροι), ως τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο η PLC τεχνολογία και, αν είναι δυνατό, η GPRS/3G τεχνολογία. Έτσι, προκύπτουν τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

- Ανάγκη εγκατάστασης συγκεντρωτών στους πλησιέστερους υποσταθμούς MT/XT για επικοινωνία μέσω PLC.
- Ανάγκη μίσθωσης φάσματος και εξάρτηση από τηλεπικοινωνιακό πάροχο σε περίπτωση επικοινωνίας μέσω GPRS/3G.
- Λόγω της εγκατάστασης των SM μακριά από την οικία υπάρχει :
 - Αδυναμία άμεσης ανάγνωσης των ενδείξεων των μετρητών από τους καταναλωτές.
 - Ανάγκη τοποθέτησης IHD για ανάγνωση των δεδομένων μέτρησης. Η τοποθέτηση IHD απαιτεί και τη μελέτη/υλοποίηση μετάδοσης δεδομένων μεταξύ μετρητή και IHD. Ωστόσο, η παραδοσιακή θέση του μετρητή δυσκολεύει την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ SM και IHD, καθώς η τελευταία σπάνια επιτυγχάνεται με ασύρματες τεχνολογίες όντας δυνατή μόνο μέσω PLC τεχνολογίας.
 - Ο μετρητής αδυνατεί να επικοινωνήσει και να ελέγξει συσκευές του οικιακού εξοπλισμού.

Ως εναλλακτική λύση προτείνεται η εγκατάσταση των νέων ευφυών μετρητών εντός της οικίας των καταναλωτών με μικρή τροποποίηση της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης. Το κόστος της τροποποίησης αυτής είναι πολύ μικρό σε σχέση με τα προσφερόμενα οφέλη που αναλύονται στη συνέχεια.

Οικονομικά Οφέλη

Τα οικονομικά οφέλη που προσφέρει η εναλλακτική προσέγγιση είναι τα ακόλουθα:

1. Μηδενισμός κόστους προμήθειας και εγκατάστασης συγκεντρωτών. Η επικοινωνία SM – MDMS γίνεται απευθείας μέσω της DSL υποδομής.

2. Μηδενισμός του κόστους μίσθωσης φάσματος αποκλειστικά για μετάδοση δεδομένων τηλεμέτρησης μέσω GPRS/3G.
3. Μείωση κόστους τηλεπικοινωνιακής μελέτης δικτύου πρόσβασης καθώς δεν απαιτούνται μελέτες ραδιοκάλυψης, ακριβής προσδιορισμός τηλεπικοινωνιακών χαρακτηριστικών για PLC δίκτυα κτλ. Η μετάδοση δεδομένων τηλεμέτρησης γίνεται πλέον μέσω WiFi→DSL χρησιμοποιώντας το υπάρχον τηλεφωνικό δίκτυο, ενώ τα δεδομένα τηλεμέτρησης αντιμετωπίζονται ως απλά δεδομένα μικρού όγκου που εξυπηρετούνται με διαφανή τρόπο από την uplink ζεύξη της οικιακής σύνδεσης WiFi→DSL.

Λειτουργικά Οφέλη

Τα λειτουργικά οφέλη που προσφέρει η εναλλακτική προσέγγιση είναι τα ακόλουθα:

1. Μετάδοση δεδομένων τηλεμέτρησης μεταξύ SM – MDMS μέσω WiFi→DSL που αποτελεί ώριμη και αποτελεσματική τεχνολογία με υψηλή διαθεσιμότητα και αξιοπιστία.
2. Δυνατότητα παροχής πρόσθετων υπηρεσιών πραγματικού χρόνου. Η μετάδοση της πληροφορίας μέσω DSL έχει ελάχιστη καθυστέρηση παρέχοντας τη δυνατότητα για παρακολούθηση προσφοράς – ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Αντίθετα, αν και το ελληνικό SMP προσφέρει πραγματική τιμολόγηση, υστερεί σε παροχή υπηρεσιών πραγματικού χρόνου καθώς και η συλλογή των δεδομένων από το MDMS γίνεται μια φορά την ημέρα.
3. Δυνατότητα σύνδεσης του μετρητή με άλλες οικιακές συσκευές μέσω οικιακού WLAN. Εισάγεται η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου του οικιακού εξοπλισμού και η ρύθμιση του φορτίου για εξίσωση προσφοράς και ζήτησης, μειώνοντας έτσι το κόστος ανά μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας. Η απομακρυσμένη διαχείριση του οικιακού εξοπλισμού έχει εφαρμοστεί ήδη σε ευρωπαϊκά SMP με οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη για τους καταναλωτές και τους προμηθευτές/παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας.
4. Δυνατότητα των καταναλωτών για άμεση πρόσβαση και ανάγνωση των μετρητικών ενδείξεων. Συνεπώς, η εγκατάσταση και η χρηματική επιβάρυνση των IHDs αφορά μόνο καταναλωτές που επιθυμούν αναλυτική απεικόνιση της ενεργειακής κατανάλωσης και την πρόσβαση στο ενεργειακό προφίλ τους.
5. Δεν απαιτείται η υιοθέτηση νέων πρωτοκόλλων για τη μετάδοση δεδομένων, όπως τα PLC PRIME και G3. Τα μετρητικά δεδομένα μεταδίδονται μέσω των αξιόπιστων και ώριμων πρωτοκόλλων IEEE 802.3 και IEEE 802.11.
6. Η διαδικασία προτυποποίησης της PLC τεχνολογίας είναι ακόμα σε εξέλιξη, ενώ δεν έχει λυθεί πλήρως το ζήτημα της ασφάλειας δεδομένων. Ωστόσο, μέσω της εναλλακτικής προσέγγισης, η ασφάλεια

δεδομένων εξασφαλίζεται με αξιοποίηση της ώριμης και πλέον αξιόπιστης DSL τεχνολογίας.

7. Μέσω των πρωτοκόλλων IEEE 802.3 και IEEE 802.11 εξασφαλίζεται η άμεση συμβατότητα με το πρωτόκολλο IP σε επίπεδο δικτύου και τα TCP/UDP σε επίπεδο εφαρμογής χωρίς να απαιτείται η χρήση διεπαφών.

Όσο αφορά τον όγκο δεδομένων που μεταδίδεται στο ΣΕΜ, πρέπει να γίνει μελέτη για τον προσδιορισμό του όγκου δεδομένων και από άλλες υπηρεσίες ΕΔ, εκτός της προγραμματισμένης τηλεμέτρησης. Παράλληλα, πρέπει να προσδιοριστεί και η πλεονάζουσα πληροφορία που προκύπτει από τα πρωτόκολλα επιπέδων συνεδρίας και εφαρμογής, επιπέδων μεταφοράς και δικτύου και πλεονάζουσα πληροφορία για ασφάλεια και κωδικοποίηση. Επίσης, δεν πρέπει να αγνοηθεί η βελτίωση που είναι σε θέση να προσφέρουν οι διάφορες μέθοδοι επεξεργασίας ή συνάθροισης της πληροφορίας στους συγκεντρωτές.

Σημαντική μελλοντική δραστηριότητα θα ήταν η εκτέλεση προσομοιώσεων για τις προτεινόμενες τηλεπικοινωνιακές λύσεις, όπως ΣΕΜ σε αστικές, ημιαστικές και αγροτικές περιοχές. Στις προσομοιώσεις αυτές θα μπορούσαν να εφαρμοστούν όλες οι διαθέσιμες τεχνολογίες επικοινωνιών μικρών/μεσαίων/μεγάλων αποστάσεων, οι πιθανές δικτυακές τοπολογίες και τα διαθέσιμα πρωτόκολλα και πρότυπα. Στόχος είναι η λεπτομερής καταγραφή των δεδομένων που μεταδίδονται, η καλύτερη εκτίμηση της διάρκειας απομάστευσης των δεδομένων προγραμματισμένων υπηρεσιών ΕΔ και η διαθεσιμότητα του ΣΕΜ για έκτακτες υπηρεσίες. Η ύπαρξη πειραματικών αποτελεσμάτων, σε συνδυασμό με τεχνογνωσία από ήδη ανεπτυγμένα ευρωπαϊκά ΣΕΜ, είναι σημαντική για την εκτίμηση της συμπεριφοράς του ΣΕΜ κατά την πιλοτική σχεδίαση και λειτουργία του.

Σχετικά με νέες τεχνολογίες επικοινωνιών, σημαντική είναι η μελέτη των προτύπων LTE και LTE advanced (4G+) σε ένα ΣΕΜ. Τα συγκεκριμένα πρότυπα θα είναι πλήρως λειτουργικά μετά το 2017 και αναμένεται να αποτελέσουν την πλέον αποτελεσματική ασύρματη τεχνολογία. Πρέπει, λοιπόν, να γίνει μελέτη εξυπηρέτησης ευφών συσκευών από τις συγκεκριμένες τεχνολογίες. Επίσης, σε ερευνητικό επίπεδο αναπτύσσονται και δίκτυα 5ης γενιάς (5G) που θα εφαρμόζουν εξελιγμένες τεχνικές διαχείρισης M2M δικτύων για την απρόσκοπτη (seamless) συνύπαρξή τους με δίκτυα προσανατολισμένα για ανθρώπινες επικοινωνίες (H2H).

Βιβλιογραφία

1. Fang, Satyajayant Misra, Guoliang Xue, Dejun Yang: Smart Grid – The New and Improved Power Grid, A Survey
2. Z. M. Fadlullah, M. M. Fouda, N. Kato, A. Takeuchi, N. Iwasaki και Y. Nozaki: Toward Intelligent Machine-to-Machine Communications in Smart Grid
3. Dusit Niyato, Lu Xiao, and Ping Wang: Machine-to-Machine Communications for Home Energy Management System in Smart Grid
4. Rahul Amin, Jim Martin and Xuehai Zhou: Smart Grid Communication using next Generation Heterogeneous Wireless Networks
5. V. C. Güngör, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergüt, C. Buccella, C. Cecati και G. P. Hancke: Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards
6. F. L. V.C. Gungor: A survey on communication networks for electric system automation, Elsevier
7. SmartC2Net: Smart Control of Energy Distribution Grids over Heterogeneous Communication Networks
8. Communications and Networking for Smart Grid Systems. Dusit Niyato, Rose Qingyang Hu, Ekram Hossain, Yi Qian
9. M2M communications architecture for large-scale AMI deployments, G. López, Dr.J. I. Moreno
10. Basic Specification for Smart Meter Communications, The Tokyo Electric Power Company.
11. Communication Diversity Architecture for Smart Meter Networks. Rob Kopmeiners
12. The Enhancement of Communication Technologies and Networks for Smart Grid Applications. Saida Elyengui, Riadh Bouhouchi, Tahar Ezzedine
13. Telecommunications for Smart Grid: Backhaul solutions for the Distribution Network, David M. Lavery, D. John Morrow, Robert Best and Peter A. Crossley
14. Q. Zhang, Y. Sun και Z. Cui, «Application and Analysis of ZigBee Technology for Smart Grid,» IEEE, 2010.
15. A. S. Tanenbaum, Computer Networks, 2011.
16. A. D. L. Fernandes και P. Dave, «Power Line Communication in Energy Markets,» 2011.
17. ΔΕΔΔΗΕ, ΕΡΓΟ: Πιλοτικό Σύστημα Τηλεμέτρησης και Διαχείρισης της Ζήτησης Παροχών Ηλεκτρικής Ενέργειας Οικιακών και Μικρών Εμπορικών Καταναλωτών και Εφαρμογής Έξυπνων Δικτύων
18. ΔΕΔΔΗΕ: Πιλοτικό Σύστημα Τηλεμέτρησης: Τεχνική Περιγραφή του Έργου (Κείμενο προς Διαβούλευση)
19. M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn και S. Rahman: Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN, Elsevier

20. Medium Access Control for Power Line Communications: An Overview of the IEEE 1901 and ITU-T G.hn Standards. Md. Mustafizur Rahman, Choong Seon Hong and Sungwon Lee, Jaejo Lee, Md. Abdur Razzaque and Jin Hyuk Kim
21. T. E. P. Company, «Basic Specifications for Smart Meter Communications,» 2012.
22. P. Cottis και P. Arapoglou, Wireless Communications
23. A. Canatas, F. Constantinou και G. Pantos, Mobile Communication Systems
24. M. Theologou, Mobile and Personal Communication Networks
25. Διπλωματική Εργασία Γιαννακόπουλου Αθανάσιου: Δίκτυα Πρόσβασης Συστημάτων Ευφυούς Μέτρησης
26. Διπλωματική Εργασία Ραφιά Ανάργυρου: Δίκτυα Μεταφοράς Συστημάτων Ευφυούς Μέτρησης .