



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Δίκτυα Μεταφοράς Συστημάτων Ευφυούς Μέτρησης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάργυρος Π. Ραφιάς

Επιβλέπων : Παναγιώτης Π. Κωττής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος, 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Δίκτυα Μεταφοράς Συστημάτων Ευφυούς Μέτρησης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάργυρος Π. Ραφιάς

Επιβλέπων : Παναγιώτης Π. Κωττής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 22^η Οκτωβρίου 2014.

.....

Παναγιώτης Κωττής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Χρήστος Καψάλης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Γεώργιος Φικιώρης

Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

.....

Ραφιάς Π. Ανάργυρος

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

Copyright © Ανάργυρος Π. Ραφιάς, 2014

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 παρούσα διπλωματική εργασία μελετώνται τα Συστήματα Ευφυούς Μέτρησης (ΣΕΜ) με έμφαση στο δίκτυο μεταφοράς. Ειδικότερα, αναλύονται και διαστασιολογούνται περιπτώσεις εφαρμογής ΣΕΜ και προτείνονται τηλεπικοινωνιακές λύσεις λαμβάνοντας υπόψη πληθυσμιακά, γεωγραφικά και ρυμοτομικά χαρακτηριστικά καθώς και τις υπάρχουσες τηλεπικοινωνιακές υποδομές.

Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται το Ευφύες Δίκτυο (ΕΔ) και τα προβλήματα που θα λύσει στα σημερινά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Στη συνέχεια, περιγράφονται τηλεπικοινωνιακές υποδομές που θα αναπτυχθούν στο ΕΔ με έμφαση στα ΣΕΜ. Γίνεται αναφορά στα χαρακτηριστικά, τις λειτουργίες, τις απαιτήσεις και τις υπηρεσίες ΕΔ.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η δομή των ΣΕΜ. Αναλύονται τα δομικά στοιχεία, η ιεραρχική αρχιτεκτονική και οι δικτυακές τοπολογίες που μπορούν να αξιοποιηθούν σε ΣΕΜ. Τέλος, αναφέρονται ζητήματα διαστασιολόγησης που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη σχεδίαση ενός ΣΕΜ.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά σε τεχνολογίες επικοινωνιών και δικτυακές τοπολογίες που είναι κατάλληλες για τη συλλογή μετρητικών δεδομένων. Ειδικότερα, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε τεχνολογίας. Επίσης, παρουσιάζονται σχήματα πολλαπλής πρόσβασης και οι βασικές λειτουργίες των δικτύων πρόσβασης ΣΕΜ.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται αναφορά σε τεχνολογίες επικοινωνιών που είναι κατάλληλες για το δίκτυο μεταφοράς ενός ΣΕΜ. Επίσης, γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση της υπάρχουσας τηλεπικοινωνιακής υποδομής που μπορεί να αξιοποιηθεί από τα ΣΕΜ. Στη συνέχεια, καταγράφονται θέματα διαλειτουργικότητας, διασύνδεσης δικτύου πρόσβασης και μεταφοράς ΣΕΜ καθώς και μέθοδοι ασφαλούς δικτύωσης του ΣΕΜ.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται οι προδιαγραφές του πιλοτικού ΣΕΜ σύμφωνα με τη Διακήρυξη του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. και γίνεται αναφορά σε αντίστοιχα ευρωπαϊκά ΣΕΜ. Τέλος, παρατίθεται η κριτική της Διακήρυξης από τηλεπικοινωνιακή σκοπιά.

Στο Κεφάλαιο 6 προτείνονται τηλεπικοινωνιακές λύσεις για το δίκτυο μεταφοράς και κορμού ΣΕΜ. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο τρόπος που το δίκτυο μεταφοράς εξυπηρετεί δεδομένα προγραμματισμένων υπηρεσιών ΕΔ.

Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται συμπεράσματα που προκύπτουν από τη διπλωματική εργασία, καθώς και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Λέξεις Κλειδιά

Ευφύες Δίκτυο, Ευφυείς Μετρητές, Συστήματα Ευφυούς Μέτρησης, Διαστασιολόγηση, Δίκτυο Μεταφοράς, Δίκτυο Κορμού, WAN, NAN, HAN, GPRS/3G, PLC, xDSL, Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε., M2M

Abstract

The scope of this thesis is to study the backhaul network of a Smart Metering System (SM). The thesis presents the analysis and dimensioning of the main SM system implementation cases and matches the appropriate communication technologies with various types of implementation areas taking into account population and urban characteristics. Also, the analysis takes into consideration the ground relief.

The first chapter is an introduction to the Smart Grid (SG) and discusses the evolution of the existing electric infrastructure. Also, reference is made to basic telecommunication infrastructure such as the Advanced Metering Infrastructure (AMI). Requirements, features, services and SG applications of AMI are presented.

The second chapter outlines the structure of AMI. Key-elements, hierarchical architecture and possible network topologies are analyzed. In addition, basic dimensioning criteria and related issues are discussed.

The third chapter refers to candidate communication technologies and network topologies for access networks of Smart Metering Systems. Moreover, multiple access techniques and features of access networks are presented.

The fourth chapter refers to candidate communication technologies for the backhaul networks of Smart Metering Systems. Moreover, the existing telecommunication infrastructure to be utilized in the SM backhaul network is presented. Finally, interoperability, NAN-WAN interfacing and secure networking methods are also discussed.

The fifth chapter studies the specifications of the Greek pilot Smart Metering Project. The study also focuses on the other European SM Projects.

The sixth chapter proposes telecommunication solutions for the backhaul and the backbone networks of Smart Metering Systems and how these networks handle data from scheduled smart grid services.

The seventh chapter outlines the conclusions drawn from the thesis. Finally, future perspectives are presented.

Key Words

Smart Grid, Smart Meter, Smart Metering System, AMI, Backhaul Network, Backbone Network, Dimensioning, NAN, WAN, PLC, GPRS/3G, HEDNO, M2M, xDSL

Ευχαριστήριο Σημείωμα

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθ. Παναγιώτη Κωττή για την ευκαιρία που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την διπλωματική μου εργασία υπό την επιβλεψή 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 θερμά την οικογένειά μου για την αμέριστη στήριξη όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Αντωνέλλα και το φιλικό μου περιβάλλον εντός και εκτός σχολής για όλες τις όμορφες στιγμές που περάσαμε κατά τα φοιτητικά μας χρόνια.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
Ευχαριστήριο σημείωμα.....	7
Συντμήσεις.....	12
Ευρετήριο Σχημάτων.....	15
Ευρετήριο Πινάκων.....	16
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ ΕΥΦΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟ</u>	18
1.1 Το Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	18
1.2 Προβλήματα σημερινού δικτύου.....	19
1.3 Το Ευφυές Δίκτυο.....	20
1.4 Σύστημα Ευφυούς Παρακολούθησης.....	21
1.5 Συστήματα Ευφυούς Μέτρησης.....	23
1.5.1 Χαρακτηριστικά, Απαιτήσεις και Λειτουργίες.....	23
1.5.2 Υπηρεσίες.....	27
1.5.3 Κατανεμημένη Διαχείριση Δεδομένων.....	30
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΥΦΥΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ</u>	33
2.1 Δομικά Στοιχεία Ευφυούς Μετρητικού Δικτύου.....	33
2.2 Ιεραρχική Αρχιτεκτονική.....	33
2.3 Δικτυακές Τοπολογίες.....	35
2.3.1 Τοπολογία Αστέρα.....	36
2.3.2 Τοπολογία Δένδρου.....	36
2.3.3 Mesh Τοπολογία.....	37
2.3.4 Τοπολογία Διαύλου.....	37

2.3.5	Τοπολογία Βρόχου.....	38
2.4	Κριτήρια Διαστασιολόγησης Συστημάτων Ευφυούς Μέτρησης.....	38
2.4.1	Ζητήματα Αρχιτεκτονικής του Δικτύου.....	38
2.4.2	Θέματα Υλοποίησης Υπηρεσιών Ευφυούς Μέτρησης.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....		42
3.1	Τεχνολογίες Επικοινωνιών.....	42
3.1.1	Narrow Band Power Line Communications (NB-PLC).....	42
3.1.2	Digital Subscriber Line(DSL).....	43
3.1.3	IEEE 802.15.3a - Ultra Wideband (UWB).....	44
3.1.4	IEEE 802.15.1 –Bluetooth.....	44
3.1.5	IEEE 802.15.4 -Zigbee SEP 2.0.....	45
3.1.6	IEEE 802.15.4 - IPv6 Low Power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN).....	46
3.1.7	IEEE 802.11.....	46
3.1.8	Δίκτυα Κινητών επικοινωνιών.....	47
3.2	Δίκτυο Πρόσβασης.....	49
3.2.1	Σχήματα Πολλαπλής Πρόσβασης.....	49
3.2.2	Τοπολογίες Δικτύου Πρόσβασης.....	51
3.2.3	Λειτουργίες Δικτύου Πρόσβασης.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΥΦΥΟΥΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....		55
4.1	Τεχνολογίες Επικοινωνιών.....	55
4.1.1	Τηλεπικοινωνίες Οπτικών Ινών.....	55
4.1.2	Μικροκυματικές Ζεύξεις.....	56
4.1.3	IEEE 802.16 (WiMax).....	56
4.1.4	Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών.....	57
4.1.5	Digital Subscriber Line(DSL).....	58

4.1.6	Ethernet.....	58
4.1.7	BroadBand Power Line Communication (BB-PLC).....	59
4.2	Αξιοποίηση Υπάρχουσας Τηλεπικοινωνιακής Υποδομής.....	59
4.2.1	Τηλεφωνικό Δίκτυο και Πρόσβαση στο Διαδίκτυο.....	62
4.2.2	Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών.....	63
4.2.3	Δίκτυο Διανομής ΗΕ.....	65
4.3	Πληθυσμιακά -Γεωγραφικά- Πολεοδομικά Κριτήρια Επιλογής.....	67
4.4	Διασύνδεση Δικτύου Πρόσβασης με Δίκτυο Μεταφοράς.....	69
4.5	Διαλειτουργικότητα.....	70
4.6	Επίπεδο Δικτύου στο Δίκτυο Ευφύων Μετρητών.....	71
4.7	Διαχείριση Κίνησης.....	73
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΥΦΥΟΥΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.....	74
5.1	Εισαγωγή.....	74
5.2	Προδιαγραφές Δικτύου Ευφύων Μετρητών.....	76
5.2.1	Αρχιτεκτονική Συστήματος Ευφύων Μετρητών.....	76
5.2.2	Διασπορά Ευφύων Μετρητών.....	76
5.2.3	Τεχνολογίες Πρόσβασης.....	77
5.2.4	Δίκτυο Μεταφοράς και Δίκτυο Κορμού Συστήματος Ευφυούς Μέτρησης...78	
5.2.5	Πρωτόκολλα Επικοινωνίας.....	79
5.2.6	Θεμελιώδεις λειτουργίες του Συστήματος Ευφύων Μετρητών.....	79
5.2.7	Χρήση Συστήματος Ευφυούς Μέτρησης για Εξυπηρέτηση Άλλων Συστημάτων.....	80
5.2.8	Επεκτασιμότητα.....	82
5.2.9	Συμφωνίες Επιπέδου Υπηρεσιών (Service Level Agreement-SLA).....	82
5.3	Αντιστοίχιση Συστήματος Ευφυούς Μέτρησης Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. με Διεθνή Προγράμματα.....	83

5.4	Κριτική των προδιαγραφών που θέτει ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. από τηλεπικοινωνιακή σκοπιά.....	88
5.4.1	Τεχνολογίες επικοινωνιών.....	88
5.4.2	Αρχιτεκτονική δικτύου ευφυών μετρητών.....	90
5.4.3	Υπηρεσίες.....	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΚΟΡΜΟΥ.....		94
6.1	Χαρακτηριστικά Εφαρμογών Ελληνικού Συστήματος Ευφυούς Μέτρησης.....	94
6.2	Προτεινόμενες Τηλεπικοινωνιακές Λύσεις Δικτύου Μεταφοράς και Κορμού.....	95
6.2.1	Δίκτυο Μεταφοράς σε αστικές περιοχές.....	97
6.2.2	Δίκτυο Μεταφοράς σε ημιαστικές περιοχές.....	100
6.2.3	Δίκτυο Μεταφοράς σε αγροτικές και αραιοκατοικημένες περιοχές.....	104
6.2.4	Καταναλωτές ΜΤ.....	106
6.2.5	Δίκτυο Κορμού ΣΕΜ.....	106
6.3	Εξυπηρέτηση Περιοδικών Υπηρεσιών.....	107
6.3.1	Προσδιορισμός Όγκου Δεδομένων Ευφυούς Μέτρησης.....	108
6.3.2	Μετάδοση Δεδομένων Τηλεμέτρησης από Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών.....	111
6.3.3	Μετάδοση Δεδομένων Τηλεμέτρησης σε Δίκτυα ΒΒ-PLC.....	115
6.3.4	Μετάδοση Δεδομένων Τηλεμέτρησης μέσω xDSL συνδέσεων.....	117
6.3.5	Επίπεδο Δικτύου και Λογικές Συνδέσεις.....	118
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....		119
6.1	Συμπεράσματα.....	119
6.2	Προτάσεις.....	120
Βιβλιογραφία.....		122

Συντμήσεις

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
BB-PLC	Broadband Powerline Communication
CDMA	Code Division Multiple Access
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
DER	Distributed Energy Resources
DES	Data Encryption Standard
DR	Demand Response
DSL	Digital Subscriber Loop
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EMS	Energy Management System
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
GTP	GPRS Tunneling Protocol

H2H	Human – to – Human
HAN	Home Area Network
HEMS	Home Energy Management System
HSPA	High Speed Packet Access
IAN	Industrial Area Network
IHD	In Home Display
IPv6	IP version 6
LAN	Local Area Network
LOS	Line of Sight
LTE	Long Term Evolution
M2M	Machine – to – Machine
MDMS	Meter Data Management System
MPLS	Multi Protocol Label Switching
NAN	Neighbour Area Network
NB-PLC	Narrow Band Powerline Communication
NIST	National Institute of Standards and Technology
NLOS	None Line of Sight
OMS	Outage Management System
OSI	Open System Interconnection
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoS	Quality of Service
PLC	Powerline Communication/Carrier
PMU	Phasor Measurement Unit
RFD	Reduced Function Device
ROLL	Routing over Low Power or Lossy Networks

SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SG	Smart Grid
SLA	Service Level Agreement
SM	Smart Meter
TDD	Time – Division Duplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WSN	Wireless Sensor Network
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΔΕΔΔΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΕΔ	Ευφυές Δίκτυο
ΕΜ	Ευφυής Μετρητής
ΗΕ	Ηλεκτρική Ενέργεια
ΗΔ	Ηλεκτρικό Δίκτυο
ΜΤ	Μέση Τάση
ΣΒ	Σταθμός Βάσης
ΣΕΜ	Σύστημα Ευφυούς Μέτρησης
ΣΗΕ	Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΥΣ ΜΤ/ΧΤ	Υποσταθμός Μέσης/Χαμηλής Τάσης
ΥΤ	Υψηλή Τάση
ΧΤ	Χαμηλή Τάση

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Η ιεραρχική δομή του δικτύου ΗΕ.....	19
Σχήμα 1.2: Η επικοινωνία των οντοτήτων του ΕΔ σύμφωνα με τον NIST.....	23
Σχήμα 1.3: Το εύρος της τηλεπικοινωνιακής υποδομής για την υλοποίηση του ΕΔ.....	25
Σχήμα 1.4: Ευφυής μέτρηση και παροχή υπηρεσιών διαχείρισης ενέργειας.....	31
Σχήμα 2.1: Ιεραρχική δομή AMI.....	35
Σχήμα 2.2: Τοπολογία i) δένδρου ii) κατανεμημένη iii) αστέρα iv) διαύλου v) βρόχου.....	39
Σχήμα 3.1: Πειραματική απεικόνιση ποσοστού δεδομένων uplink/downlink από smartphones, κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας.....	49
Σχήμα 3.2: Πειραματική απεικόνιση ποσοστού δεδομένων uplink/downlink ενός έξυπνου μετρητή, κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας.....	49
Σχήμα 3.3: Αλγόριθμος CSMA/CA.....	51
Σχήμα 3.4: Ενδεικτικές μορφές δικτύου πρόσβασης.....	52
Σχήμα 4.1: Υβριδικό δίκτυο με κατανεμημένο δίκτυο πρόσβασης με Wifi και Wimax δίκτυο μεταφοράς.....	57
Σχήμα 4.2: Απλοποιημένη μορφή δικτύου πρόσβασης και μεταφοράς στο Διαδίκτυο με αξιοποίηση τηλεφωνικού δικτύου.....	63
Σχήμα 4.3: Κυψελωτή δομή δικτύου πρόσβασης κινητών επικοινωνιών.....	64
Σχήμα 4.4: Τεχνολογίες επικοινωνιών στο δίκτυο πρόσβασης, μεταφοράς και κορμού δικτύων κινητών επικοινωνιών.....	65
Σχήμα 4.5: Ακτινική τοπολογία δικτύου MT.....	66
Σχήμα 4.6: Τοπολογία ανοιχτού βρόχου δικτύου MT.....	67
Σχήμα 4.7: Παράδειγμα γεφύρωσης δικτύου πρόσβασης PLC και δικτύου μεταφοράς GPRS..	70
Σχήμα 4.8: Κοινές λειτουργίες στο σύνολο των επιπέδων διαλειτουργικότητας.....	71
Σχήμα 5.1: Διαμορφωμένα ΣΕΜ στην ευρωπαϊκή επικράτεια.....	84
Σχήμα 5.2: Αρχιτεκτονική ιταλικού ΣΕΜ, με χρήση PLC τεχνολογίας στο δίκτυο πρόσβασης και δικτύων GPRS στο δίκτυο μεταφοράς.....	84

Σχήμα 5.3: Αρχιτεκτονική εξελιγμένου ΣΕΜ.....	86
Σχήμα 5.4: Κατηγοριοποίηση δικτύου NAN.....	86
Σχήμα 6.1: Ενδεικτικό δίκτυο ΧΤ σε ημιαστικές και αραιοκατοικημένες περιοχές.....	101
Σχήμα 6.2: Τοπολογία γραμμικής αλυσίδας.....	102
Σχήμα 6.3: Τοπολογία σχεδόν γραμμικής αλυσίδας.....	102
Σχήμα 6.4: Τοπικό BB-PLC δίκτυο LAN.....	103
Σχήμα 6.5: Σενάριο εξυπηρέτησης ΕΜ από γειτονικό συγκεντρωτή.....	110
Σχήμα 6.6: Μοντέλα απωλειών διάδοσης με κριτήριο την φασματική περιοχή και την πληθυσμιακή πυκνότητα.....	113
Σχήμα 6.7: Δομή πλαισίου MAC προτύπου IEEE 1901.....	116

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1.1: Απαιτήσεις Υπηρεσιών ΕΔ σε παραμέτρους QoS.....	32
Πίνακας 3.1: Συγκεντρωτικός πίνακας πρωτοκόλλων επικοινωνίας NB-PLC.....	43
Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά προτύπων δικτύων κινητών επικοινωνιών.....	48
Πίνακας 4.1: Συγκεντρωτικών πίνακας πρωτοκόλλων επικοινωνίας BB-PLC.....	60
Πίνακας 4.2: Συγκεντρωτικός πίνακας διαθέσιμων τεχνολογιών επικοινωνιών ΣΕΜ.....	61
Πίνακας 4.3: Χαρακτηρισμός περιοχής βάσει πυκνότητας ΕΜ.....	68
Πίνακας 5.1: Συνοπτική παρουσίαση των κατά περίπτωση οφελών του ΣΕΜ.....	75
Πίνακας 5.2: Γεωγραφική κατανομή έξυπνων μετρητών.....	78
Πίνακας 5.3: Συνοπτικός πίνακας Προτύπων PLC σε ευρωπαϊκά ΣΕΜ.....	88
Πίνακας 5.4: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τεχνολογιών GPRS και PLC.....	89
Πίνακας 6.1: Υπηρεσίες Ευφυούς Δικτύου Ελληνικού ΣΕΜ.....	96
Πίνακας 6.2: Πληθυσμιακή διαθεσιμότητα τεχνολογιών επικοινωνιών.....	97
Πίνακας 6.3: Προτάσεις υλοποίησης δικτύου μεταφοράς ΣΕΜ.....	106

Πίνακας 6.4: Εκτιμώμενος υπολογισμός ημερήσιου όγκου δεδομένων δικτύου πρόσβασης ΣΕΜ.....	111
Πίνακας 6.5: Προσδιορισμός πυκνότητας συγκεντρωτών ανά κυψέλη.....	113
Πίνακας 6.6: Πρότυπα ADSL και οι μέγιστοι ρυθμοί λήψης και μετάδοσης ενός συγκεντρωτή.	117

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΤΟ ΕΥΦΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟ

1.1 Το Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΗΕ) ακολουθεί ιεραρχική δομή ώστε να εξυπηρετεί αποτελεσματικά τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (ΗΕ). Τα επιμέρους συστήματα που αποτελούν το ηλεκτρικό δίκτυο (ΗΔ) είναι:

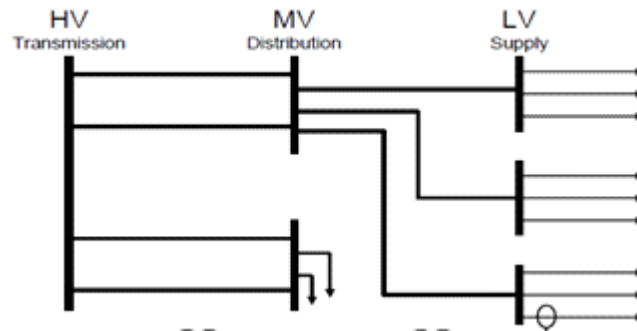
- *Το σύστημα παραγωγής*

Περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και τους μετασχηματιστές ανύψωσης της τάσης για τη μεταφορά του ρεύματος υπό υπέρ-υψηλή (ΥΥΤ) και υψηλή τάση (ΥΤ). Η σύγχρονη βιομηχανία ΗΕ έχει βασισθεί στη μετατροπή σε ΗΕ της θερμικής ενέργειας των ορυκτών καυσίμων και της μηχανικής ενέργειας των υδάτινων ροών και των υδατοπτώσεων, μέσω θερμικών και υδροηλεκτρικών σταθμών, αντίστοιχα.
- *Το σύστημα μεταφοράς*

Διασυνδέει όλους τους μεγάλους σταθμούς παραγωγής καθώς και διαφορετικά συστήματα μεταξύ τους και μεταφέρει μεγάλα μεγέθη ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις προς τα κέντρα κατανάλωσης. Αποτελεί τη σπονδυλική στήλη του συστήματος ΗΕ και λειτουργεί στα μέγιστα, κατά περίπτωση, δυνατά επίπεδα τάσης. Περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών ΥΥΤ και ΥΤ, τους υποσταθμούς ζεύξης των δικτύων αυτών και τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων επιπέδων τάσης που χρησιμοποιούνται.
- *Το σύστημα υπομεταφοράς*

Μεταφέρει ισχύ σε μικρότερα μεγέθη και αποστάσεις υπό χαμηλότερη τάση από υποσταθμούς μεταφοράς σε υποσταθμούς διανομής μικρότερων κέντρων κατανάλωσης. Σημειώνεται ότι οι μεγάλοι βιομηχανικοί καταναλωτές τροφοδοτούνται συνήθως απευθείας από το σύστημα υπομεταφοράς. Όσο το σύστημα ΗΕ επεκτείνεται και δημιουργείται αναγκαιότητα για μεταφορά υπό υψηλότερα επίπεδα τάσης, οι παλαιότερες γραμμές μεταφοράς μεταβαίνουν σε λειτουργία υπό χαμηλότερα επίπεδα τάσης, καθιστώντας σχετικά δύσκολη τη διάκριση μεταξύ δικτύων υπομεταφοράς και μεταφοράς.
- *Το σύστημα διανομής*

Περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής ΗΕ μέσης τάσης (ΜΤ) και χαμηλής τάσης (ΧΤ), στα οποία υπάγονται και οι υποσταθμοί (Υ/Σ) διανομής μέσω των οποίων η ΜΤ υποβιβάζεται σε ΧΤ. Μέσω των δικτύων διανομής η ΗΕ διανέμεται σε μικρότερες περιοχές στους καταναλωτές ΜΤ και ΧΤ.



Σχήμα 1.1: Η ιεραρχική δομή του δικτύου ΗΕ

1.2 Προβλήματα σημερινού δικτύου

Από τότε που δημιουργήθηκε, η υποδομή του ΗΔ έχει υποστεί ελάχιστες βελτιώσεις με αποτέλεσμα να θεωρείται πεπαλαιωμένο με αρκετές αδυναμίες. Για αυτό το λόγο είναι επιτακτική η ανάγκη για άμεσες βελτιώσεις, ώστε να εναρμονιστεί με τις ταχύτερες εξελίξεις της τεχνολογίας και των παροχών υπηρεσιών διαχείρισης ενέργειας. Μερικές αδυναμίες που εμφανίζονται στο ΗΔ είναι :

- Σε ένα δίκτυο ΗΕ συμβαίνουν συχνά διακοπές ρεύματος σε συγκεκριμένες περιοχές για μικρό ή μεγάλο χρονικό διάστημα. Το δίκτυο δεν διαθέτει μηχανισμούς άμεσης αποκατάστασης από ξαφνικές διακοπές. Επίσης, δεν υπάρχει η δυνατότητα άμεσου εντοπισμού ενδεχόμενων βλαβών. Το αποτέλεσμα είναι να χάνεται πολύτιμος χρόνος για την αποκατάσταση των βλαβών, που προκαλούν διακοπή ρεύματος, με συνέπεια να αυξάνονται οι ζημιές τόσο για τους καταναλωτές και τις επιχειρήσεις όσο και για τις εταιρίες ηλεκτρισμού. Σύμφωνα με έρευνες, σχετικά με το Σύστημα ΗΕ των Η.Π.Α., το κόστος που οφείλεται σε διακοπές ρεύματος εκτιμάται σε 80 δισεκατομμύρια ευρώ σε ετήσια βάση.
- Οι ανάγκες των καταναλωτών δεν είναι σταθερές χρονικά αλλά μεταβάλλονται δυναμικά τόσο σε ετήσια όσο και σε ημερήσια βάση. Έτσι, είναι αναγκαία η ρύθμιση της ποσότητας παραγόμενης ΗΕ με δυναμικό τρόπο, ώστε να αντιμετωπίζονται οι μεταβολές. Οι εταιρίες ηλεκτρισμού διαμορφώνουν την ποσότητα παραγόμενης ενέργειας με σκοπό να καλύψουν τη μέγιστη ζήτηση και να υπάρχει πλεόνασμα ασφαλείας. Όμως, η μέγιστη ζήτηση διαρκεί μικρό

- χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα να σπαταλούνται πόροι και επενδύσεις προς αύξηση της παραγόμενης ενέργειας. Στόχος των διαχειριστών του ΗΔ είναι η μείωση της συνολικής παραγόμενης ενέργειας με μεγαλύτερη χρονική διασπορά της ζήτησης.
- Ο προσανατολισμός της υποδομής του ΗΔ είναι η μεταφορά της παραγόμενης ΗΕ από ένα μικρό αριθμό παραγωγικών μονάδων προς τους καταναλωτές. Η εξέλιξη της τεχνολογίας υλικών και των ηλεκτρονικών ισχύος έχει καταστήσει δυνατή την παραγωγή ΗΕ από ανανεώσιμες πηγές, όπως ο ήλιος και ο αέρας. Παράλληλα, υπάρχει έντονη τάση απεξάρτησης από ρυπογόνες τεχνολογίες παραγωγής με στόχο τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό, η χρήση Α.Π.Ε. είναι ιδιαίτερα ανταγωνιστική λύση για το μέλλον και για την ικανοποίηση της ολοένα και αυξανόμενης ζήτησης. Η χρήση Α.Π.Ε. για παραγωγή ηλεκτρισμού συνεπάγεται την αύξηση του αριθμού παραγωγικών μονάδων ΗΕ και την αυξημένη γεωγραφική διασπορά των παραγωγικών μονάδων ΗΕ. Όμως, το σημερινό δίκτυο δεν έχει την ικανότητα ενσωμάτωσης μεγάλου αριθμού παραγωγικών μονάδων ΗΕ. Έτσι, είναι αναγκαία η ενσωμάτωση διασπαρμένων παραγωγικών μονάδων ΗΕ για την ικανοποίηση των αυξανόμενων αναγκών των καταναλωτών.
 - Η τιμή πώληση της KWh μεταβάλλεται σε ετήσια βάση ανάλογα με τη σχέση προσφοράς και ζήτησης. Στο σημερινό ΗΔ δεν είναι δυνατή η γνώση σε πραγματικό χρόνο της συνολικής ζήτησης ΗΕ. Η γνώση της ζήτησης και της προσφοράς ΗΕ σε πραγματικό χρόνο θα οδηγήσει στον καθορισμό της τιμής της KWh σε πραγματικό χρόνο. Έτσι, θα υπάρχει δημιουργία ανταγωνιστικού περιβάλλοντος και απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας με πολλαπλά οφέλη για τους καταναλωτές, όπως καλύτερες τιμές και περισσότερες υπηρεσίες.
 - Στο σημερινό ΗΔ υπάρχει αδυναμία έγκαιρης ενημέρωσης για ενδεχόμενα παράνομη κατανάλωσης ισχύος, κλοπής υλικού εξοπλισμού και εμφάνισης προβλημάτων στον εξοπλισμό λόγω της επίδρασης φυσικών φαινομένων. Άρα, είναι αναγκαία η αύξηση της δυνατότητας ελέγχου που πρέπει να παρέχεται στους διαχειριστές του δικτύου.

1.3 Το Ευφυές Δίκτυο

Το Ευφυές Δίκτυο (Smart Grid-SG-ΕΔ) αποτελεί την εξέλιξη του ΗΔ, καθώς υλικός εξοπλισμός και οντότητες, που συμμετέχουν στο ΔΗΕ, αποκτούν τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας, με σκοπό τη βελτίωση της αποδοτικότητας, της αξιοπιστίας, της ασφάλειας και της επεκτασιμότητας του ΗΔ.

Στο ΕΔ συμμετέχουν επτά οντότητες, που είναι οι πελάτες, η αγορά, οι πάροχοι υπηρεσιών, οι διαχειριστές, οι παραγωγοί ΗΕ, το δίκτυο μεταφοράς και διανομής ενέργειας.

Στο ΕΔ υπάρχει δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των εμπλεκόμενων οντοτήτων, για ζητήματα σχετικά με την κατάσταση του ΗΔ, την κατανάλωση ΗΕ, την παραγωγή ΗΕ, και την αγοραπωλησία ΗΔ. Για τον σκοπό αυτό, είναι αναγκαία η δημιουργία ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου που θα μπορεί να μεταδίδει πληροφορίες σε όλη την έκταση του δικτύου ΗΕ. Η πληροφορία που μεταδίδεται αφορά ένα μεγάλο αριθμό διαδικασιών και υπηρεσιών για την ικανοποίηση στόχων όπως:

- Βελτίωση ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος.
- Καλύτερη αξιοποίηση των υπάρχουσών εγκαταστάσεων του ΗΔ και αποφυγή κατασκευής σύγχρονων μονάδων παραγωγής για κάλυψη της αυξημένης ζήτησης κατά τις ώρες αιχμής.
- Η αύξηση της χωρητικότητας και η βελτίωση της αποτελεσματικότητας των υπάρχοντων ηλεκτρικών δικτύων.
- Βελτιωμένη αντιμετώπιση των διακοπών παροχής ισχύος (blackout-s).
- Δυνατότητα προληπτικής συντήρησης και αυτοεπούλωσης (self-healing) του ΗΔ μετά από διακοπές.
- Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) στο ΗΔ.
- Η αυτοματοποιημένη συντήρηση και λειτουργία του ΗΔ.
- Η αύξηση της ασφάλειας και η δυνατότητα επιτήρησης του ΗΔ.
- Η υποστήριξη της φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων και άλλων μεθόδων αποθήκευσης ΗΕ.
- Η αύξηση των διαθέσιμων επιλογών των καταναλωτών και της διαδραστικής συμμετοχής τους στην αγορά ΗΕ.

Για την εκπλήρωση των ανωτέρω στόχων έχει αρχίσει να αναπτύσσεται πιλοτική υποδομή αποτελούμενη από επιμέρους υποσυστήματα, έκαστο των οποίων είναι προσανατολισμένο στην υλοποίηση συγκεκριμένων λειτουργιών. Συγκεκριμένα έχουν υλοποιηθεί τηλεπικοινωνιακά συστήματα που υλοποιούν ή βελτιώνουν διάφορες λειτουργίες του ΕΔ όπως η παραγωγή ΗΕ από διάφορες πηγές, η αξιόπιστη μετάδοση της παραγωγής, η προστασία από διακοπές και σφάλματα, η φυσική επιτήρηση, η καταγραφή της ζήτησης σε πραγματικό χρόνο και η αυτόματη διόρθωση βλαβών. Δύο χαρακτηριστικά συστήματα είναι το σύστημα ευφυούς μέτρησης και το σύστημα ευφυούς παρακολούθησης.

1.4 Σύστημα ευφυούς παρακολούθησης

Η παρακολούθηση και η επιτήρηση του δικτύου αποσκοπεί στον άμεσο εντοπισμό προβλημάτων, ώστε να πραγματοποιείται η πρόληψη ή η άμεση

αποκατάστασή τους. Με την επιτήρηση του ΕΔ είναι εφικτός ο προσδιορισμός της θέσης των μηχανικών βλαβών. Έτσι, τα συστήματα παρακολούθησης συμβάλλουν στη βελτίωση της αξιοπιστίας του ΗΔ και της ποιότητας της ΗΕ. Η λειτουργία της ευφυούς παρακολούθησης επιτυγχάνεται με χρήση αισθητήρων που εγκαθίστανται σε διάφορα σημεία του ΗΔ. Οι αισθητήρες αυτοί συλλέγουν δεδομένα όπως εικόνες, βίντεο, μετρήσεις τάσης, ρεύματος και συντελεστή ισχύος. Το πλεονέκτημα της χρήσης αισθητήρων είναι το χαμηλό κόστος αγοράς και εγκατάστασης καθιστώντας τους μια οικονομική και αποτελεσματική λύση για την παρακολούθηση του εξοπλισμού του δικτύου ΗΕ.

Με την εγκατάσταση και την κατάλληλη δικτύωση ενός αριθμού αισθητήρων δημιουργείται ένα πολυπληθές δίκτυο αισθητήρων (Wireless Sensor Network-WSN) σε όλη την έκταση του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Σημειώνεται ότι, εκτός της συλλογής και της επεξεργασίας των δεδομένων, κάθε αισθητήρας είναι επιφορτισμένος και με τη μετάδοση των δικών του δεδομένων. Επίσης, είναι υπεύθυνος για τη λήψη και αναμετάδοση δεδομένων από άλλους αισθητήρες. Άρα το δίκτυο αισθητήρων λειτουργεί κατά καταναμημένο τρόπο και κάθε αισθητήρας δεν έχει απευθείας σύνδεση με το κέντρο ελέγχου.

Τα δεδομένα που μεταδίδονται μέσω του δικτύου αισθητήρων στο ΕΔ ποικίλλουν. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα δεδομένα μπορεί να αφορούν ανίχνευση σφαλμάτων στο ΗΔ ή παρακολούθηση της ποιότητας υπηρεσιών που παρέχει το ΕΔ. Σε άλλες περιπτώσεις, το δίκτυο αισθητήρων μπορεί να μεταφέρει δεδομένα καταγραφής εικόνας ή βίντεο σε περιπτώσεις κλοπής ρεύματος ισχύος ή υλικού εξοπλισμού, π.χ. χάλκινα καλώδια. Σημαντική είναι η μετάδοση μετρήσεων σχετικών με την κατάσταση των γραμμών μεταφοράς όπως η θερμοκρασία, η υγρασία ή η ποσότητα μεταφερόμενης ισχύος.

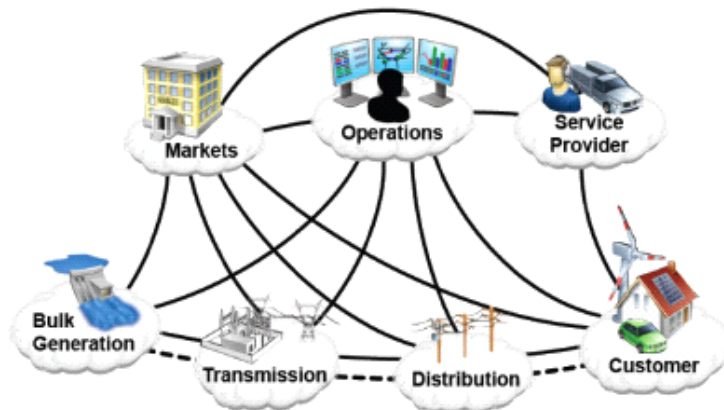
Ενδεικτική εφαρμογή συστήματος ευφυούς παρακολούθησης είναι η χρήση μονάδων μέτρησης φάσης (Phasor Measurement Unit-PMU). Οι συγκεκριμένες μονάδες είναι τοποθετημένες σε διάφορα σημεία του δικτύου μεταφοράς και διανομής. Οι PMU καταγράφουν ηλεκτρικά κύματα από το ΗΔ, δηλαδή την τάση, το ρεύμα και την αντίστοιχη διαφορά φάσης γωνίας και ρεύματος, προσδιορίζοντας την καλή κατάσταση του ΗΔ. Με την εγκατάσταση εξελιγμένης τηλεπικοινωνιακής υποδομής, π.χ. μισθωμένο δίκτυο οπτικών ινών, ο διαχειριστής του ΗΔ συγκεντρώνει σε πραγματικό χρόνο δεδομένα από μονάδες PMUs που είναι διασπαρμένες στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής. Έτσι, ο διαχειριστής του ΗΔ έχει συνεχή και ακριβή γνώση της κατάστασης του ΗΔ, διαθέτοντας δυνατότητες άμεσης παρέμβασης σε περίπτωση

προβλημάτων.

1.5 Συστήματα ευφυούς μέτρησης

1.5.1 Χαρακτηριστικά, απαιτήσεις και λειτουργίες

Η ευφυής μέτρηση (Smart Metering) θεωρείται ο σημαντικότερος μηχανισμός υλοποίησης του ΕΔ (Smart Grid) και αναφέρεται στη συλλογή μετρητικών δεδομένων από τα σημεία κατανάλωσης ΗΕ. Η υλοποίηση των συστημάτων ευφυούς μέτρησης γίνεται με την ανάπτυξη ενός εξελιγμένου μετρητικού δικτύου (Advanced Metering Infrastructure-AMI ή Σύστημα Ευφυούς Μέτρησης-ΣΕΜ-Smart metering System ή Δίκτυο Ευφών Μετρητών-ΔΕΜ) για την αποστολή δεδομένων κατανάλωσης ΗΕ από το σύνολο των οικιακών συσκευών μέτρησης (έξυπνοι μετρητές) προς διάφορες οντότητες του ΕΔ όπως διαχειριστές των ΗΔ, παρόχους υπηρεσιών και την αγορά ΗΕ.



Σχήμα 1.2: Η επικοινωνία των οντοτήτων του ΕΔ σύμφωνα με τον NIST

Όντας η θεμελιώδης λειτουργία του AMI, η ευφυής μέτρηση είναι η αυτόματη και ανά τακτά χρονικά διαστήματα συλλογή δεδομένων μέτρησης της κατανάλωσης ενέργειας για λογαριασμό των εμπλεκόμενων οντοτήτων του ΕΔ με πρωταρχικό σκοπό την τιμολόγηση των πελατών. Παράλληλα, η επεξεργασία των μετρητικών δεδομένων παρέχει τη δυνατότητα στις εμπλεκόμενες οντότητες του ΕΔ να γνωρίζουν τα επίπεδα κατανάλωσης και σε συνδυασμό με επιπλέον πληροφορίες, που προκύπτουν από εφαρμογές που υλοποιούνται από το ίδιο AMI, να προβαίνουν σε διαχειριστικές ενέργειες-εντολές, αυτόματες και μη, που εξυπηρετούν την κάθε οντότητα ξεχωριστά.

Σκοπός δημιουργίας του AMI είναι η βέλτιστη λειτουργία του ΗΔ, η μείωση του κόστους λειτουργίας του ΗΔ, η μείωση των βλαβών του εξοπλισμού και η μείωση της εξάρτησης από ρυπογόνες μορφές παραγωγής ενέργειας και η αύξηση της διείσδυσης των Α.Π.Ε.. Για παράδειγμα, με γνώση της συνολικής κατανάλωσης ΗΕ ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ο διαχειριστής προσαρμόζει τη συνολική παραγωγή ενέργειας στα επίπεδα της κατανάλωσης ώστε να μην υπάρχει σπατάλη ή έλλειψη ενέργειας.

Ένα ΣΕΜ αποτελείται από τρεις δομικές μονάδες (ή στοιχεία) ανταλλάσσουν δεδομένα ανά τακτά χρονικά διαστήματα (αμφίδρομη ροή πληροφορίας). Οι δομικές αυτές είναι :

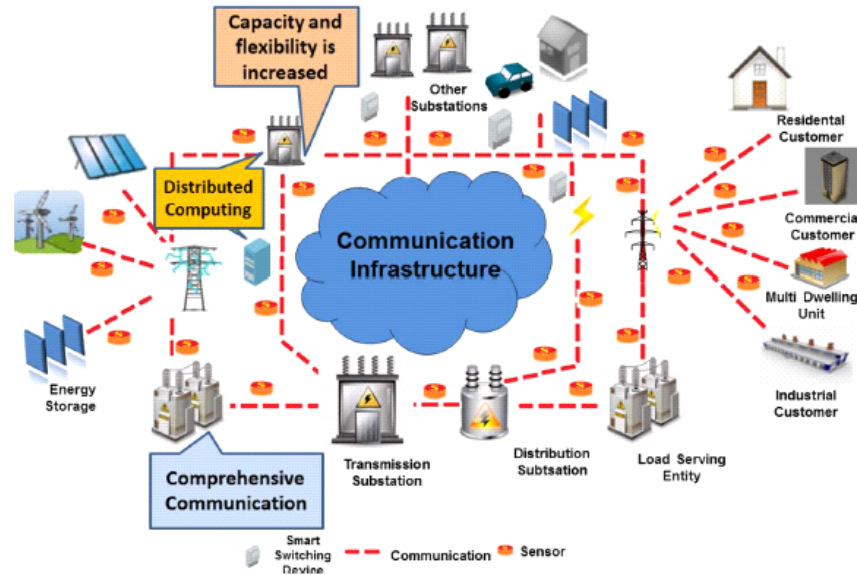
- Ο έξυπνος μετρητής (ή ευφυής μετρητής ή smart meter-SM) που έχει ως κύρια λειτουργία την καταγραφή της κατανάλωσης και την αποστολή της καταγραφής ανά τακτά χρονικά διαστήματα.
- Ο συγκεντρωτής (concentrator ή gateway) που έχει ως κύρια λειτουργία την συγκέντρωση μετρήσεων από ένα αριθμό μετρητών και την προώθηση των μετρήσεων προς τον MDMS.
- Το σύστημα διαχείρισης μετρητικών δεδομένων (Metering Data Management System-MDMS) δέχεται το σύνολο της καταγραφείσας πληροφορίας, επεξεργάζεται τα ληφθέντα δεδομένα και προωθεί τα αποτελέσματα σε άλλες οντότητες συνδεδεμένες με το ΕΔ. Παράλληλα, με βάση την επεξεργασία, στέλνει ανάλογες εντολές και πληροφορίες προς τους μετρητές και τους συλλέκτες.

Στη συνέχεια, θα αναλυθούν οι ανωτέρω λειτουργίες των δομικών μονάδων καθώς επίσης και συμπληρωματικές λειτουργίες που υλοποιούν. Το ΣΕΜ, λοιπόν, χαρακτηρίζεται από αυτοματισμό στις λειτουργίες, ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση, αμφίδρομη ροή πληροφορίας, μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση, μεγάλο πλήθος μετρητών και μικρό όγκο πληροφορίας ανά έξυπνο μετρητή.

Ταυτόχρονα, το ΣΕΜ πρέπει να ικανοποιεί ένα σύνολο απαιτήσεων, σημαντικών για την αποδοτική λειτουργία του. Οι πέντε θεμελιώδεις απαιτήσεις είναι:

- *Ποιότητα Υπηρεσιών-Quality of Service (QoS)*
Το AMI πρέπει να υποστηρίζει διαφορετική διαβάθμιση της ποιότητας υπηρεσιών. Παράμετροι ποιότητας υπηρεσιών είναι οι απαιτήσεις μιας εφαρμογής ως προς την καθυστέρηση μετάδοσης δεδομένων, το εύρος ζώνης, το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, τη διαθεσιμότητα του δικτύου και χαμηλό ποσοστό λανθασμένων δεδομένων. Ορισμένες υπηρεσίες, όπως η αυτόματη ανίχνευση και διόρθωση βλαβών στο ΗΔ, απαιτούν μικρή καθυστέρηση μετάδοσης. Υπάρχουν εφαρμογές, όπως η προστασία υποσταθμών του ΗΔ που χρειάζονται υψηλό εύρος ζώνης, λόγω της μετάδοσης video. Για το λόγο αυτό, οι υπηρεσίες έχουν κατηγοριοποιηθεί με βάση

κλάσεις (ή επίπεδα) υπηρεσιών, με κάθε κλάση να προσφέρει διαφορετικό επίπεδο QoS.



Σχήμα 1.3: Το εύρος της τηλεπικοινωνιακής υποδομής για την υλοποίηση του ΕΔ

- **Αξιοπιστία**
Το δίκτυο AMI πρέπει να προσφέρει αξιόπιστες υπηρεσίες και αδιάλειπτη λειτουργία, ακόμα και σε περιπτώσεις όπου κάποια δομική του μονάδα υποστεί βλάβη ή υπάρχει συμφόρηση δεδομένων. Για το λόγο αυτό, ο σχεδιασμός του συστήματος ευφών μετρητών, πρέπει να γίνεται με στόχο να μην υπάρχει απώλεια δεδομένων σε σενάρια βλάβης δομικών μονάδων. Παράλληλα, είναι αναγκαία η συνεχής διαθεσιμότητα ικανών τηλεπικοινωνιακών πόρων, ώστε αδιαλείπτως να ικανοποιούνται οι προδιαγραφές ποιότητας μιας εφαρμογής.
- **Επεκτασιμότητα**
Ένα δίκτυο AMI δημιουργείται με σκοπό να λειτουργεί σε ορίζοντα δεκαετίας. Επομένως, κατά την αρχική διαστασιολόγηση πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μελλοντική επέκταση του δικτύου. Δηλαδή να υπάρχει δυνατότητα εισαγωγής νέων δομικών μονάδων χωρίς το λειτουργικό κόστος να αυξάνεται ανάλογα και να επηρεάζεται η εύρυθμη λειτουργία του. Για παράδειγμα, σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, μελλοντική προσθήκη νέων έξυπνων μετρητών δεν πρέπει να συνεπάγεται προσθήκη νέων συγκεντρωτών ή αντικατάσταση της τεχνολογίας επικοινωνίας.

- *Προστασία και ακεραιότητα δεδομένων*
Σημαντικότερη απαίτηση είναι η ακεραιότητα κατά τη μετάδοση δεδομένων ανάμεσα στις δομικές μονάδες. Είναι αναγκαίο το υψηλό επίπεδο προστασίας από κακόβουλες δικτυακές επιθέσεις, αφού το δίκτυο AMI διαχειρίζεται ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα.
- *Διαχείριση Δικτύου*
Με σκοπό την υλοποίηση υπηρεσιών σχετικών με την ευφυή μέτρηση, η διαχείριση ενός δικτύου AMI πρέπει να διαθέτει δυνατότητες όπως: πρόβλεψη απαιτήσεων των υπηρεσιών σε εύρος ζώνης, λειτουργίες προστασίας δεδομένων, έλεγχο διατήρησης των παραμέτρων ποιότητας κάθε εφαρμογής, αναγνώριση και αντιμετώπιση σφαλμάτων στα δεδομένα μέτρησης, διαχείριση εγκατάσταση/απεγκατάσταση έξυπνων μετρητών, ταυτόχρονη διαχείριση υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις σε QoS.

Το ΣΕΜ εξυπηρετεί ένα σύνολο λειτουργιών για υλοποίηση ευφύων μετρήσεων και εξασφάλιση εύρυθμης λειτουργίας του ίδιου του δικτύου AMI. Χαρακτηριστικές λειτουργίες είναι:

- *Μέτρηση και Διατήρηση Ιστορικού μετρήσεων*
Η καταγραφή των μετρήσεων γίνεται αυτόματα και οι διαχειριστές του ΗΔ έχουν σε "σχεδόν πραγματικό χρόνο" γνώση για τη συνολική κατανάλωση, την κατανάλωση μιας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής και κάθε πελάτη ξεχωριστά. Παράλληλα οι δομικές μονάδες του AMI έχουν διαθέσιμη μνήμη για τη διατήρηση ιστορικού μετρήσεων.
- *Εποπτεία Υποσταθμών*
Με την εγκατάσταση των συγκεντρωτών σε υποσταθμούς του ΗΔ παρέχεται η δυνατότητα καταγραφής και αποστολής μετρήσεων κατάστασης των μετασχηματιστών του ΗΔ, π.χ. της τάσης, του ρεύματος, των αρμονικών ρευμάτων και του συντελεστή ισχύος και της θερμοκρασίας. Επιπλέον, υπάρχει δυνατότητα αποστολής δεδομένων που αφορούν ύπαρξη έκτακτων φυσικών φαινομένων, όπως κεραυνοπληξία και δεδομένων φυσικής προστασίας του εξοπλισμού.
- *Αυτόματη Διαχείριση Δικτύου*
Οι δομικές οντότητες πρέπει να ανταλλάσσουν αυτόματα δεδομένα διαχείρισης και αυτοοργάνωσης, να έχουν τη δυνατότητα αντιμετώπισης έκτακτων καταστάσεων και να εξυπηρετούνται οι ελάχιστες QoS των εφαρμογών. Για παράδειγμα, άμα υπάρχει βλάβη σε ένα συγκεντρωτή τότε οι μετρητές πρέπει

να μεταδίδουν δεδομένα σε γειτονικό συγκεντρωτή. Όμως, επιβάλλεται η ανταλλαγή πληροφοριών διαχείρισης και σε συνθήκες εύρυθμης λειτουργίας. Για παράδειγμα, οι MDMS και οι συγκεντρωτές πρέπει να γνωρίζουν την κατάσταση των μετρητών για λόγους ασφαλείας και προστασίας των δεδομένων.

- *Συνένωση Μετρητικών Δεδομένων στο συγκεντρωτή*
Μια σημαντική λειτουργία που λαμβάνει χώρα στον συγκεντρωτή είναι το "φιλτράρισμα" της πληροφορίας που λαμβάνεται από μία ομάδα μετρητών. Σε ένα ΣΕΜ, που αποτελείται από εκατομμύρια μετρητές, είναι ζωτικής σημασίας η συνένωση δεδομένων στον συγκεντρωτή. Έτσι στο MDMS δεν μεταδίδεται περιττός όγκος δεδομένων και εξοικονομούνται τηλεπικοινωνιακοί πόροι.
- *Αυτόματη Ανανέωση Λογισμικού*
Οι δομικές μονάδες και κυρίως ο συγκεντρωτής και ο μετρητής πρέπει αυτόματα να ελέγχουν και να κάνουν ανανεώσεις του λογισμικού τους.
- *Ασφάλεια Δεδομένων*
Όλες οι ανωτέρω λειτουργίες είναι σημαντικό να πραγματοποιούνται μέσα από μια ασφαλή διαδικασία, αφού τα δεδομένα του AMI είναι σημαντικά και δεν πρέπει να είναι εκτεθειμένα σε επιθέσεις του κυβερνοχώρου. Πρέπει ο μετρητής να πραγματοποιεί λειτουργίες κρυπτογράφησης των δεδομένων, πιστοποίησης αυθεντικότητας των οντοτήτων που επικοινωνεί. Παράλληλα, πρέπει να γίνεται έλεγχος της σωστής αποστολής δεδομένων καθώς και της μη παρεμβολής των μετρητικών δεδομένων με δεδομένα ελέγχου.

1.5.2 Υπηρεσίες

Σε αυτή την ενότητα, θα γίνει συνοπτική ανάλυση των υπηρεσιών που εξυπηρετούνται από ένα δίκτυο ευφυών μετρητών. Με την παροχή αυτών των υπηρεσιών υλοποιούνται θεμελιώδεις λειτουργίες του ΕΔ.

- *Τηλεμέτρηση και Τιμολόγηση (Remote Metering and Billing)*
Σε ένα συμβατικό ΗΔ, οι οικιακοί μετρητές έχουν μηχανικό μετρητή και η ανάγνωση τους γίνεται από ανθρώπους λίγες φορές ανά έτος. Η τιμολόγηση των πελατών γίνεται με βάση ειδικούς αλγορίθμους, που υπολογίζουν την ηλεκτρική ενέργεια που πρόκειται να καταναλωθεί από ένα πελάτη σε ένα μελλοντικό χρονικό διάστημα. Στο ΕΔ, οι ψηφιακοί μετρητές στέλνουν μετρήσεις, διαμέσου του AMI ανά τακτά χρονικά διαστήματα (από μια μέτρηση

ανά μήνα μέχρι μία μέτρηση ανά μισή ώρα), σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας αλλά και ποιότητα ηλεκτρικών μεγεθών όπως τάση, ρεύμα, συντελεστή ισχύος και αρμονικές συνιστώσες ρεύματος. Σε περίπτωση απώλειας της επικοινωνίας του μετρητή με το υπόλοιπο δίκτυο, τα μετρητικά δεδομένα θα διατηρούνται στη μνήμη και θα προωθούνται μετά την επανασύνδεση. Το MDMS λαμβάνει το σύνολο των δεδομένων και τα επεξεργάζεται για την τιμολόγηση των πελατών.

- *Απομακρυσμένος Έλεγχος (Remote Control)*
Μια άλλη υπηρεσία είναι η απομακρυσμένη διαχείριση του μετρητή. Πιο συγκεκριμένα, ένας εξουσιοδοτημένος πελάτης ή ο διαχειριστής ΗΕ μπορεί μέσω του AMI να ενημερώνεται για την κατάσταση του μετρητή, για τυχόν βλάβη ή παραβίαση του μετρητή, να δίνει εντολές, ενώ μπορεί να γίνει διακοπή της λειτουργίας ή επανεκκίνηση του μετρητή από τον διαχειριστή. Οι εντολές που λαμβάνει ο μετρητής προέρχονται από επεξεργασία των καταγραφικών δεδομένων του.
- *Καθορισμός Τιμής KWh σε πραγματικό χρόνο (Real Time Pricing)*
Με την προώθηση των δεδομένων κατανάλωσης από τον MDMS προς τις υπόλοιπες οντότητες, όπως σε αναλυτές της αγοράς, μπορεί να καθοριστεί και η τιμή της ΗΕ σαν τιμή παραγόμενης ενέργειας και σαν τιμή πώλησης στους καταναλωτές. Υπάρχει δυνατότητα επαναπροσδιορισμού της κिलοβαττόρας σε ωριαία βάση με τις τιμές αυτές να προωθούνται στις υπόλοιπες οντότητες του ΕΔ, δηλαδή και στους πελάτες. Οι τιμές λαμβάνονται από τους πελάτες είτε μέσω του δικτύου ευφυών μετρητών είτε μέσω διαδικτύου.
- *Εξισορρόπηση Φορτίου Καταναλωτή (Load Balancing)*
Με γνώση του ανανεωμένου κόστους ενέργειας ανά τακτά διαστήματα (real time pricing), οι καταναλωτές μπορούν να προσαρμόσουν την κατανάλωση ενέργειας σε πιο "οικονομικές" ώρες, ώστε να πετύχουν οικονομικό όφελος (load control). Παράλληλα, ένας συγκεντρωτής μπορεί να είναι εξοπλισμένος με επιπλέον λογισμικό, ώστε να προβαίνει σε διαδικασίες τιμολόγησης των μετρητών που έχει υπό την εποπτεία του, με βάση την κατανάλωση τους και το μεταβλητό κόστος της κिलοβαττόρας.
- *Απόκριση Ζήτησης (Demand Response-DR)*
Ένα σημαντικό φαινόμενο που παρατηρείται στο ΗΔ είναι η ανομοιομορφία στη συνολική ζήτηση ενέργειας κατά την διάρκεια μίας ημέρας. Το αποτέλεσμα είναι η σπατάλη πόρων αφού διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια δεν καταναλώνεται

κατά τις ώρες χαμηλού φορτίου ενώ κατά τις ώρες αιχμής το ΗΔ λειτουργεί στα όρια της ευστάθειας αυξάνοντας το λειτουργικό κόστος. Οι διαχειριστές του ΗΔ έχουν την δυνατότητα να στέλνουν εντολές/προτροπές στους πελάτες να εξισορροπήσουν την κατανάλωση ενέργειας ομοιόμορφα κατά την διάρκεια της ημέρας. Ταυτόχρονα σε συνεργασία με την αγορά, οι διαχειριστές του ΗΔ μπορούν να προσφέρουν φθηνότερη τιμή κόστους ΗΕ τις ώρες χαμηλού φορτίου. Εναλλακτικά οι διαχειριστές μπορούν να στείλουν εντολές περιορισμένης κατανάλωσης ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής. Με τις ανωτέρω στρατηγικές, η συνολική κατανάλωση ενέργειας ομαλοποιείται με πολλαπλό όφελος όχι μόνο για τους πελάτες, άλλα και για τους διαχειριστές, αφού οι δεύτεροι μειώνουν τη σπατάλη παραγόμενης ενέργειας και το κόστος συντήρησης του υλικού εξοπλισμού.

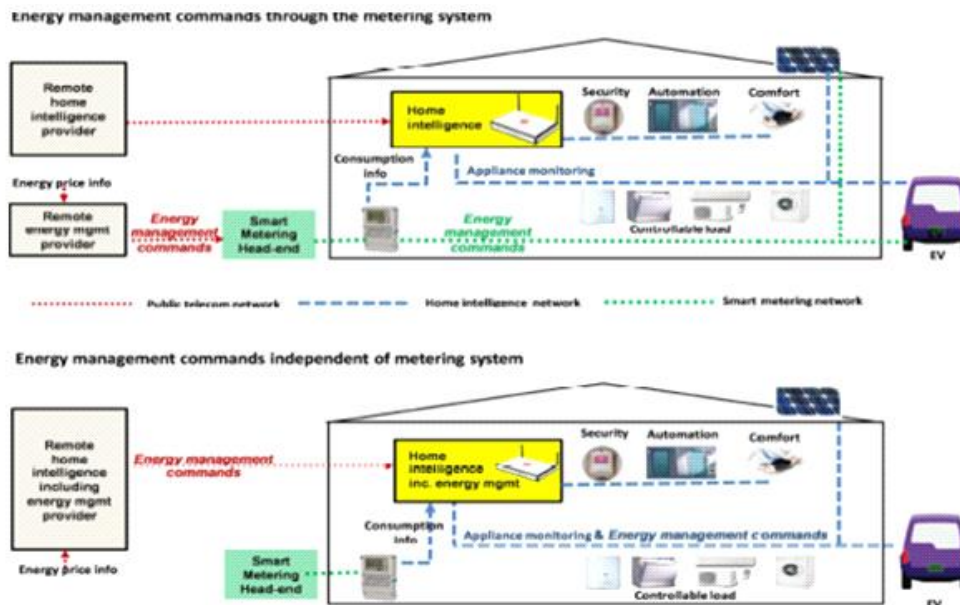
- *Διασπαρμένη Παραγωγή ΗΕ (Distributed Energy Resources-DER)*
Στην ιδιοκτησία ενός πελάτη δύναται να υπάρχουν διατάξεις παραγωγής ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά συστήματα, και συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, όπως μπαταρίες ενός ηλεκτρικού αυτοκίνητου. Συνεπώς, ένας ευφυής μετρητής έχει την δυνατότητα να καταγράφει, να αποθηκεύει και να στέλνει δεδομένα παραγόμενης ή αποθηκευμένης ΗΕ. Η συλλογή και η επεξεργασία των ανωτέρω δεδομένων από κεντρικούς υπολογιστές μέσω του AMI, δίνει τη δυνατότητα στους διαχειριστές του δικτύου να προβαίνουν σε διαχειριστικές εντολές. Μια από αυτές είναι η εντολή ζεύξης ή απόζευξης το οικιακών διατάξεων παραγωγής (φωτοβολταϊκά ή μπαταρίες), ώστε η συνολική παραγωγή ενέργειας να ακολουθεί την συνολική κατανάλωση και δεν υπάρχει έλλειψη ή περίσσεια ΗΕ. Μέσω ενός AMI στέλνονται στους μετρητές οι τιμές αγοράς ΗΕ. Επιπροσθέτως, οι κεντρικοί υπολογιστές (ενδεχομένως και οι συγκεντρωτές) είναι υπεύθυνοι για την τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας που εγχέεται στο ΔΗΕ από τους πελάτες.
- *Βοηθητική παρακολούθηση Εξοπλισμού (Auxiliary Smart Monitoring)*
Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, ένας συγκεντρωτής εκτός από μια ομάδα έξυπνων μετρητών ενδέχεται να έχει υπό την επίβλεψη του αισθητήρες και έξυπνους μετρητές, για τον έλεγχο της κατάστασης του υλικού εξοπλισμού του συστήματος ΗΕ. Αυτό δίνει την ευχέρεια στους διαχειριστές του δικτύου να λαμβάνουν σε πραγματικό χρόνο δεδομένα εποπτείας του δικτύου διανομής και μεταφοράς. Με την επεξεργασία υπάρχει η δυνατότητα έγκαιρης ενημέρωσης για πάσης φύσεως βλάβες, ατυχήματα, φυσικές καταστροφές, παραβίαση χώρου ενώ κάλλιστα μπορεί να σταλούν αυτόματες εντολές

τηλεχειρισμού με στόχο την πρόληψη τυχόν προβλημάτων, όπως σφάλματα στη μέση τάση. Άρα είναι δυνατή και η παροχή βοηθητικών υπηρεσιών έξυπνης παρακολούθησης.

- *Διαχείριση Ενέργειας (Home Energy Management System-HEMS)*
Μελλοντικά, στην ιδιοκτησία ενός πελάτη δύναται να δημιουργηθεί ένα τοπικό δίκτυο επικοινωνιών, στο οποίο θα είναι διασυνδεδεμένες όλες οι ηλεκτρικές συσκευές κατανάλωσης ενέργειας, διατάξεις παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, συστήματα αυτοματισμού και προστασίας. Το δίκτυο επικοινωνιών θα ελέγχεται από μία έξυπνη συσκευή (home intelligence), που είναι συνδεδεμένη μέσω διαδικτύου με παρόχους υπηρεσιών έξυπνης διαχείρισης της ενέργειας HEMS, τηλεχειρισμού συσκευών και υπηρεσίες ασφάλειας της ιδιοκτησίας. Ο έξυπνος μετρητής βρίσκεται σε λογική σύνδεση με την έξυπνη συσκευή και το οικιακό δίκτυο και υπάρχει η απευθείας μεταφορά δεδομένων της συνολικής κατανάλωσης/παραγωγής/αποθήκευσης ενέργειας. Στην πιο απλή περίπτωση το ευφυές μετρητικό δίκτυο είναι ανεξάρτητο του με το δίκτυο παροχής υπηρεσιών ενεργειακής διαχείρισης, αφού μετρητής και συσκευή επικοινωνούν με ξεχωριστούς κεντρικούς υπολογιστές μέσω διαφορετικών δικτυακών υποδομών. Υπάρχει, όμως, η εναλλακτική περίπτωση παροχής υπηρεσιών διαχείρισης ενέργειας με χρήση της υποδομής AMI. Και στις δύο περιπτώσεις, ο πάροχος υπηρεσιών έχει πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων ευφυούς μέτρησης (MDMS), που περιέχουν στοιχεία του πελάτη και τιμές κοστολόγησης παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας.

1.5.3 Κατανεμημένη Διαχείριση Δεδομένων

Η υλοποίηση έκαστης των ανωτέρω υπηρεσιών από ένα σύστημα ευφυών μετρητών συνεπάγεται αύξηση του όγκου δεδομένων που μεταδίδεται στο AMI και συσσωρεύεται στο MDMS. Η αποτελεσματική επικοινωνία ενός MDMS με εκατομμύρια έξυπνους μετρητές και συγκεντρωτές είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη. Για τους ανωτέρω λόγους, είναι σημαντικό ο φόρτος επεξεργασίας των δεδομένων να κατανέμεται και σε άλλες έξυπνες συσκευές και τοπικούς υπολογιστές (cloud computing). Κομβικής σημασίας είναι η χρήση συγκεντρωτών με αυξημένες υπολογιστικές ικανότητες επεξεργασίας, αποθήκευσης και μεταφοράς μεγάλου όγκου πληροφορίας. Έτσι, διευκολύνεται η αποκεντρωμένη διαχείριση δεδομένων των υπηρεσιών και δεν προκαλείται συμφόρηση στο MDMS. Για παράδειγμα, ένας συγκεντρωτής μπορεί να έχει δυνατότητες αυτόματης τιμολόγησης ενός πελάτη, να διατηρεί σχετικό αρχείο και να αποστέλλει στοιχεία του μόνο όταν ζητηθούν από το MDMS.



Σχήμα 1.4: Ευφυής μέτρηση και παροχή υπηρεσιών διαχείρισης ενέργειας i) ενοποιημένο δίκτυο, ii) ανεξάρτητα δίκτυα

Ενδεχομένως, ο συγκεντρωτής να έχει την ευφυΐα να στείλει αυτόματα εντολές απόζευξης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος όταν διαπιστωθεί ότι υπάρχει περίσσεια παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο διανομής ενός νησιού.

Εκτός από την αύξηση της υπολογιστικής δυνατότητας των συγκεντρωτών, υπάρχει και η λύση της επεξεργασίας σύννεφου (cloud computing). Πρόκειται για τεχνολογική προσέγγιση που επιτρέπει την εύκολη και δυναμική χρήση επιπλέον υπολογιστικών πόρων, όπως δίκτυα επικοινωνιών, βάσεις δεδομένων ή εξυπηρετητές. Οι απαιτούμενοι πόροι δεσμεύονται επί όσο χρόνο χρειάζεται και απελευθερώνονται μετά το πέρας των συγκεκριμένων εργασιών, ενώ απαιτείται ελάχιστη υπολογιστική προσπάθεια. Έτσι, το cloud computing προσφέρει χαμηλό λειτουργικό κόστος και υψηλή ευκινησία σε υπολογιστική ισχύ και τεχνολογία. Με την τεχνική cloud computing εξυπηρετείται το MDMS καθώς με δυναμική χρήση υπολογιστικών πόρων μπορεί να επεξεργαστεί τον όγκο δεδομένων που λαμβάνει από μεγάλο αριθμό έξυπνων μετρητών και συγκεντρωτών. Παράλληλα, οντότητες του ΕΔ μπορούν να έχουν πρόσβαση με δεδομένα του MDMS χωρίς να επηρεάζονται οι λειτουργίες του MDMS και η επικοινωνία με τις δομικές μονάδες του ΣΕΜ.

Συνοψίζοντας, σε ένα σύστημα έξυπνων μετρητών εξυπηρετείται ποικιλία εφαρμογών και υπηρεσιών, από απλές μετρητικές εφαρμογές με περιοδικότητα μετρήσεων ανά μήνα μέχρι εφαρμογές εποπτείας του δικτύου διανομής και τηλεχειρισμού της διασπαρμένης παραγωγής. Αυτό σημαίνει ότι στον αρχικό σχεδιασμό ενός AMI πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη μελλοντική επεκτασιμότητα σε επίπεδο υπηρεσιών (service scalability). Ταυτόχρονα, αυξάνονται και οι απαιτήσεις σε τηλεπικοινωνιακούς πόρους, ώστε να ικανοποιούνται οι αυξανόμενες απαιτήσεις σε παραμέτρους ποιότητας των υπηρεσιών. Επομένως, ένα AMI είναι ένα ετερογενές δίκτυο επί του οποίου συνυπάρχουν δίκτυα (AMI και smart monitoring) τα οποία μοιράζονται έξυπνες δομικές μονάδες αλλά και υλοποιούν υπηρεσίες με διαφορετικές απαιτήσεις σε πόρους και παραμέτρους ποιότητας.

CURRENT FUNCTIONAL REQUIREMENTS						
Application	Security	Bandwidth	Reliability	Coverage	Latency	Back-up Power
Advanced Metering Infrastructure	High	14-100 kbps per node	99.0-99.99%	20-100 %	2000 ms	0-4 hours
AMI Network Management	High	56-100 kbps	99.00%	20-100%	1000-2000 ms	0-4 hours
Automated Feeder Switching	High	9.6-56 kbps	99.0-99.99%	20-100%	300-2000 ms	8-24 hours
Capacitor Bank Control	Medium	9.6-100 kbps	96.0-99.00%	20-90%	500-2000 ms	0 hours
Charging Plug-In Electric Vehicles	Medium	9.6-56 kbps	99.0-99.90%	20-100%	2000 ms - 5 min.	0 hours
Demand Response	High	56 kbps	99.00%	100%	2000 ms	0 hours
Direct Load Control	High	14-100 kbps per node	99.0-99.99%	20-100 %	2000 ms	0-4 hours
Distributed Generation	High	9.6-56 kbps	99.0-99.99%	90-100%	300-2000 ms	0-1 hour
Distribution Asset Management	High	56 kbps	99.00%	100%	2000 ms	0 hours
Emergency Response	Medium	45-250 kbps	99.99%	95%	500 ms	72 hours
Fault Current Indicator	Medium	9.6 kbps	99.00-99.999%	20-90%	500-2000 ms	0 hours
In-home Displays	High	9.6-56 kbps	99.0-99.99%	20-100%	300 -2000 ms	0-1 hour
Meter Data Management	High	56 kbps	99.00%	100%	2000 ms	0 hours
Network Protection Monitoring	Medium - High	56-100 kbps	99.00-99.999%	100%	2000-5000 ms	0 hours
Outage Management	High	56 kbps	99.00%	100%	2000 ms	0 hours
Price Signaling	Medium	9.6-56 kbps	99.0-99.90%	20-100%	2000 ms - 5 min.	0 hours
Real-time Pricing	High	14-100 kbps per node	99.0-99.99%	20-100 %	2000 ms	0-4 hours
Remote Connect/Disconnect	High	56-100 kbps	99.00%	20-100 %	2000-5000 ms	0 hours
Routine Dispatch	Medium	9.6-64 kbps	99.99%	95%	500 ms	72 hours
Transformer Monitoring	Medium	56 kbps	99.00-99.999%	20-90%	500-2000 ms	0 hours
Voltage and Current Monitoring	Medium	56-100 kbps	99.00-99.999%	100%	2000-5000 ms	0 hours
Workforce Automation	Medium	256-300 kbps	99.90%	90%	500 ms	8 hours

Πίνακας 1.1: Απαιτήσεις σε παραμέτρους QoS, όπως σε ασφάλεια, εύρος ζώνης (σ.σ. node = Ευφυής Μετρητής), διαθεσιμότητα, κάλυψη, καθυστέρηση και χρονική διάρκεια εναλλακτικής τροφοδοσίας, εφαρμογών του ΕΔ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΥΦΥΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

2.1 Δομικά στοιχεία ευφυούς μετρητικού δικτύου

Μία εξελιγμένη μετρητική δικτυακή υποδομή (Advanced Metering Infrastructure-AMI) ακολουθεί το μοντέλο M2M επικοινωνιών. Υπό τον όρο machine to machine (M2M) επικοινωνίες εννοείται η τηλεπικοινωνιακή διασύνδεση έξυπνων συσκευών και ο απομακρυσμένος έλεγχος με φθηνές, κλιμακώσιμες και αξιόπιστες τεχνολογίες επικοινωνιών με σκοπό την αυτόματη ανταλλαγή δεδομένων. Σύμφωνα με διεθνείς οργανισμούς προτυποποίησης, ένα AMI αποτελείται από πέντε βασικά στοιχεία (επέκταση του ορισμού των δομικών μονάδων του Κεφ. 1):

- Ευφυείς μετρητές (EM), που αποστέλλουν μετρήσεις και δέχονται αιτήματα.
- Κεντρικό σύστημα διαχείρισης μετρητικών δεδομένων (MDMS), που λαμβάνει δεδομένα από ευφυείς μετρητές και στέλνει εντολές και δεδομένα προς αυτούς. Μετά από επεξεργασία των δεδομένων, προωθούνται πληροφορίες σε εμπλεκόμενες οντότητες του ΕΔ, όπως η αγορά, ο διαχειριστής του ΗΔ ή οι πάροχοι υπηρεσιών ΗΕ.
 - Συγκεντρωτές (ή συλλέκτες gateway), που μεσολαβούν κατά την αμφίδρομη επικοινωνία μετρητή και κεντρικού υπολογιστή. Συνήθως, για την επικοινωνία μετρητή – MDMS μεσολαβούν περισσότεροι από ένα συγκεντρωτές.
 - Το δίκτυο επικοινωνιών, για την επικοινωνία μετρητών και συγκεντρωτών (δίκτυο πρόσβασης).
 - Το δίκτυο επικοινωνιών για την σύνδεση συγκεντρωτών και MDMS (δίκτυο μεταφοράς και δίκτυο κορμού).

Επεκτείνοντας τον ορισμό με την παραδοχή ότι ένας μετρητής ενδεχομένως επικοινωνεί και με άλλες ευφυείς συσκευές εντός του χώρου εγκατάστασης των ευφύων μετρητών προστίθενται δύο επιπλέον στοιχεία:

- Οι έξυπνες οικιακές συσκευές, που είναι εγκατεστημένες στο χώρο εγκατάστασης των ευφύων μετρητών και υλοποιούν λειτουργίες καταγραφής (π.χ αισθητήρες) ή απεικόνισης ή εκτελεί υπηρεσίες ΕΔ.
 - Το δίκτυο επικοινωνιών, για την σύνδεση ευφύων μετρητών και ευφύων συσκευών.

2.2 Ιεραρχική αρχιτεκτονική

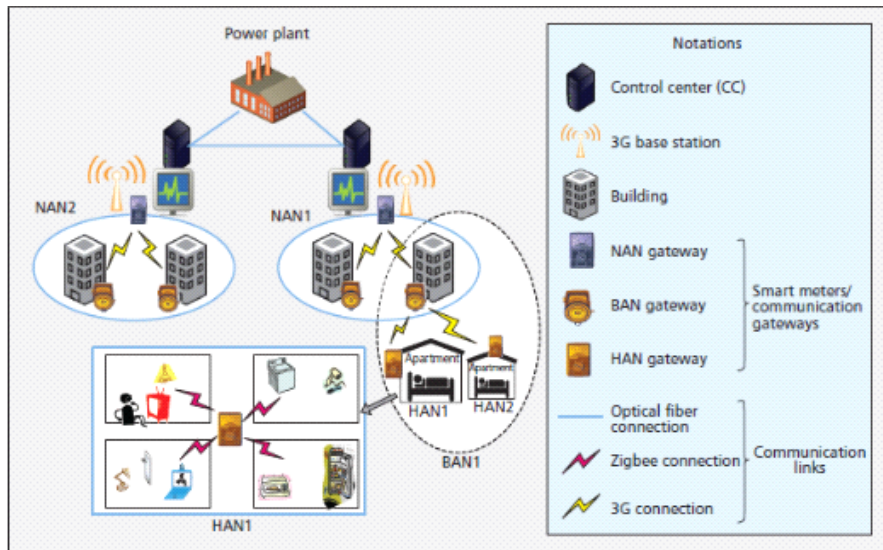
Έχει επικρατήσει η επιστημονική άποψη ότι το δίκτυο AMI πρέπει να έχει ιεραρχική δομή που παρακολουθεί την αρχιτεκτονική του δικτύου ΗΕ. Η συγκεκριμένη

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.

Ένα τοπικό κέντρο ελέγχου είναι εγκατεστημένο σε περιοχές μετασχηματιστών ΥΤ/ΜΤ ή σε ιδιόκτητο χώρο του παρόχου ΗΕ σε μια πόλη/χωριό/συνοικία. Οι συγκεντρωτές δεν είναι υποχρεωτικό να είναι εγκατεστημένοι σε χώρο πλησίον μετασχηματιστή ΜΣ ΜΤ/ΧΤ, αφού η θέση τους εξαρτάται από τη γεωγραφική περιοχή, το πλήθος των έξυπνων μετρητών, την πολεοδομική κατάσταση μιας περιοχής και τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία επικοινωνίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι υποχρεωτικό ένα ιεραρχικό δίκτυο (multi-tier) να διαθέτει όλα τα προαναφερθέντα υποδίκτυα. Κατά περίπτωση, προκύπτουν δομές τύπου HAN/NAN/WAN ή HAN/WAN ή IAN/WAN ή HAN/BAN/NAN/WAN. Τέλος, υπάρχει δυνατότητα χρήσης διαφορετικών τεχνολογιών επικοινωνίας σε κάθε στρώμα του ιεραρχικού δικτύου. Για το λόγο αυτό, το ιεραρχικό δίκτυο ονομάζεται και υβριδικό.

Με την αξιοποίηση σύγχρονων ενσύρματων και ασύρματων τεχνολογιών επικοινωνιών και ηλεκτρονικών διατάξεων τελευταίας τεχνολογίας, η υλοποίηση ενός δικτύου ικανοποιεί τις απαιτήσεις λειτουργίας του μετρητικού συστήματος και προσφέρει το σύνολο των υπηρεσιών ευφυούς μέτρησης, ικανοποιώντας τις προδιαγραφές σε QoS. Ένα ιεραρχικό υβριδικό δίκτυο AMI διαθέτει τα εξής πλεονεκτήματα:



Σχήμα 2.1: Ιεραρχική δομή AMI

- Προσφέρει εναλλακτικούς διαύλους μεταξύ έξυπνων μετρητών και MDMS, μέσω της χρήσης κλιμακωτών τεχνολογιών. Εφόσον το δίκτυο AMI έχει ιεραρχική δομή, δεν απαιτείται η απευθείας ζεύξη μεγάλου πλήθους μετρητών με το MDMS, γεγονός που θα δημιουργούσε προβλήματα συμφόρησης. Η ευρωστία σε διαύλους επικοινωνίας ενισχύει την αξιοπιστία του συστήματος. Η χρήση υβριδικού δικτύου έχει το πλεονέκτημα της καλύτερης διαχείρισης των τηλεπικοινωνιακών πόρων, όπως η αναχρησιμοποίηση του φάσματος.
- Προσφέρει μεγάλη γεωγραφική κάλυψη. Με το συνδυασμό τεχνολογιών επικοινωνίας μικρών και μεγάλων αποστάσεων είναι δυνατή η παροχή αξιόπιστων υπηρεσιών σε μεγάλη γεωγραφική έκταση και σε δυσμενή περιβάλλοντα διάδοσης σήματος.
- Μικρότερο κόστος υλοποίησης σε σχέση το κόστος υλοποίησης ενός δικτύου με απευθείας σύνδεση μετρητών και κεντρικών διαχειριστικών υπολογιστών.
- Η ιεραρχική οργάνωση προσφέρει τα πλεονεκτήματα της αποκεντρωμένης διαχείρισης του συνόλου των έξυπνων μετρητών. Εκτός των άλλων, η ομαδοποίηση των μετρητών σε υποδίκτυα προσφέρει καλύτερη συντήρηση και περισσότερη ασφάλεια. Σε διαφορετική περίπτωση, ένα MDMS έπρεπε να γνωρίζει την κατάσταση της σύνδεσης του συνόλου των έξυπνων μετρητών, δυνατότητα που απαιτεί μεγάλη πολυπλοκότητα και θέτει σε κίνδυνο την ασφάλεια και την ακεραιότητα των δεδομένων.

2.3 Δικτυακές Τοπολογίες

Η τοπολογία ενός ΣΕΜ εξαρτάται από τη χωρική κατανομή των κόμβων του

(έξυπνων μετρητών ή συγκεντρωτών) και από τον τρόπο που αυτοί επικοινωνούν μεταξύ τους και την υπολογιστική τους ικανότητα. Τα είδη των κόμβων είναι:

- Οι κόμβοι πλήρους λειτουργίας (Full Function Device -FFD) που μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως συντονιστές του δικτύου είτε ως απλοί ενδιάμεσοι κόμβοι. Εκτός από τη δυνατότητα καταγραφής δεδομένων από το εξωτερικό περιβάλλον, μπορούν να επικοινωνήσουν με άλλους κόμβους, μεταφέροντας μηνύματα διαχείρισης και ελέγχου.
- Οι κόμβοι περιορισμένης λειτουργίας (Reduced Function Device-RFD), δηλαδή κόμβοι που πραγματοποιούν λειτουργίες καταγραφής και επικοινωνίας με κόμβους FFD. Ως εκ τούτου, δεν μπορούν να λειτουργήσουν ως συντονιστές του δικτύου.

Σε ένα ασύρματο ΣΕΜ, τα τοπικά δίκτυα HAN/BAN/NAN/WAN διαμορφώνονται ακολουθώντας συγκεκριμένες δικτυακές τοπολογίες όπως:

- τοπολογία αστέρα (star)
- τοπολογία δένδρου (tree)
- τοπολογία καταναμημένου δικτύου (mesh network)
- τοπολογία διαύλου (bus)
- τοπολογία βρόχου (ring)

Κάθε είδος τοπολογίας χρειάζεται τουλάχιστον μια συσκευή πλήρους λειτουργίας (FFD), για να λειτουργήσει αποτελεσματικά.

2.3.1 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.

2.3.2 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.

2.3.3 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 αλγορίθμους και εξακολουθεί να έχει πολυβηματική (multi-hop) δρομολόγηση, ενώ τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα δεν διαφέρουν σημαντικά από εκείνα της τοπολογίας δέντρου. 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.

2.3.4 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. Στη περίπτωση όπου διακοπεί η σύνδεση το δίκτυο παύει να λειτουργεί, αφού δεν υπάρχει εναλλακτική διαδρομή.

2.3.5 Τοπολογία Βρόχου

Στη βροχοειδή τοπολογία, όλοι 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.

2.4 Κριτήρια διαστασιολόγησης συστημάτων ευφυούς μέτρησης

Με στόχο την υλοποίηση και την αξιόπιστη λειτουργία ενός δικτύου ευφύων μετρητών, πρέπει να δοθούν απαντήσεις σε μια σειρά από ζητήματα. Τα ζητήματα αφορούν τόσο την επιλογή του εξοπλισμού του δικτύου όσο και τις υπηρεσίες του ΕΔ. Η ανάλυση γίνεται ιδιαιτέρως πολύπλοκη όταν το σύστημα είναι ιεραρχικό, οπότε πρέπει να υπάρχει σωστή συνεργασία μεταξύ των υποδικτύων.

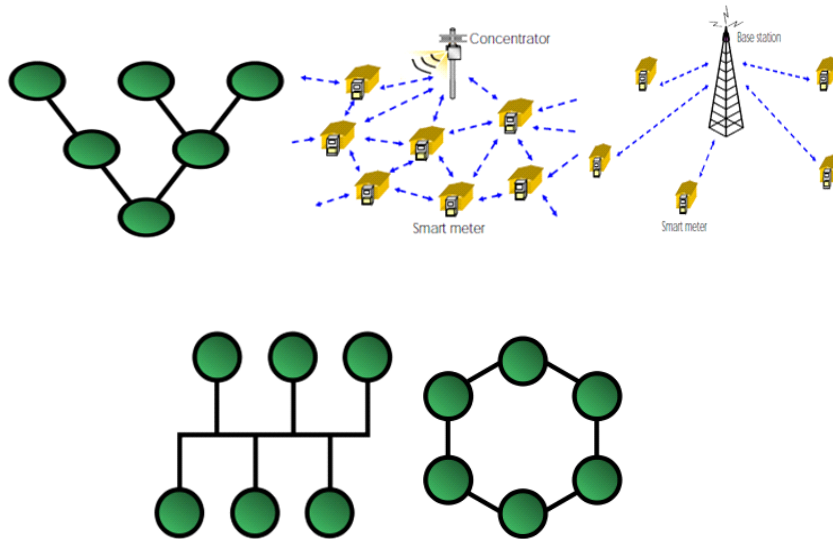
2.4.1 Ζητήματα αρχιτεκτονικής του δικτύου

Για την αποτελεσματική διασύνδεση των στοιχείων της υποδομής του AMI προκύπτουν ερωτήματα όπως:

- Τι είδους δικτυακή τοπολογία είναι κατάλληλη κατά περίπτωση;

Η επιλογή της δικτυακής τοπολογίας εξαρτάται από παράγοντες όπως η γεωγραφική περιοχή όπου εγκαθίσταται το δίκτυο, η πυκνότητα των έξυπνων μετρητών, τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά της περιοχής όπου θα εγκατασταθεί ένα δίκτυο επικοινωνιών και η συμβατότητα των έξυπνων συσκευών με διάφορες τεχνολογίες επικοινωνιών.

- Πόσα υποδίκτυα χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση μετρητή - MDMS ;



Σχήμα 2.2: (Από αριστερά προς δεξιά) Τοπολογία i) δένδρου ii) κατακεντρωμένη iii) αστέρα iv) διαύλου v) βρόχου

- Πώς θα μεταδίδονται τα δεδομένα από ένα στοιχείο ; Σημείο προς σημείο (P2P), ένας προς πολλούς (P2MP), από πολλούς προς πολλούς (MP2MP) ή ένας προς όλους (broadcast);
- Σε τι πολεοδομικό περιβάλλον θα αναπτυχθεί ένα δίκτυο NAN/WAN; Σε αστικό, ημιαστικό ή αγροτικό περιβάλλον;
Η γεωγραφική θέση μιας ομάδας έξυπνων μετρητών επηρεάζει τη διαμόρφωση, την αρχιτεκτονική της δικτυακής τοπολογίας και την επιλογή τεχνολογίας επικοινωνιών.
- Ποιές είναι οι χειρότερες συνθήκες μετάδοσης σήματος στη περιοχή ενός τοπικού δικτύου επικοινωνιών;
Πρέπει να διατυπωθούν προβλήματα παρεμβολών, εξασθένησης και παραμόρφωσης σήματος καθώς και τεχνικές αντιμετώπισης των ανωτέρω φαινομένων που επηρεάζουν το δίαυλο μετάδοσης.
- Πόσοι είναι οι κόμβοι και από ποιά χωρική διασπορά χαρακτηρίζονται;
- Ένα τοπικό δίκτυο επικοινωνιών μπορεί να δεχθεί καινούργιους κόμβους;
Η επεκτασιμότητα ενός δικτύου επικοινωνιών καθιστά το δίκτυο επικοινωνιών βιώσιμο. Για το λόγο αυτό η σχεδίαση του δικτύου πρέπει να λαμβάνει σοβαρά υπόψη την ανάγκη επεκτασιμότητας.
- Με ποιά κριτήριο γίνεται η επιλογή της θέσης εγκατάστασης των συγκεντρωτών;
Η θέση των συγκεντρωτών εξαρτάται από το πλήθος των έξυπνων μετρητών

που θα έχει υπό την εποπτεία του. Παράλληλα, η θέση των συγκεντρωτών εξαρτάται και από τις τηλεπικοινωνιακές δυνατότητές τους, δηλαδή την ακτίνα κάλυψης και το εύρος ζώνης που μπορούν να προσφέρουν.

- Υπάρχει διαθέσιμος δικτυακός εξοπλισμός; Υπάρχει δυνατότητα αξιοποίησης του;
Η αξιοποίηση υπάρχουσας δικτυακής υποδομής, όπως των δικτύων κινητών επικοινωνιών ή ακόμα και του δικτύου HE, μειώνει το κόστος υλοποίησης της υποδομής του AMI και προσφέρει άμεση και αποτελεσματική γεωγραφική και πληθυσμιακή κάλυψη.
- Ποιές υπολογιστικές δυνατότητες πρέπει να έχουν οι έξυπνοι μετρητές και οι συγκεντρωτές; Πόση χωρητικότητα μνήμης πρέπει να έχουν οι συγκεκριμένες συσκευές;
Για παράδειγμα, αν ένας συγκεντρωτής εκτός από δρομολόγηση δεδομένων από και προς το MDMS, αποθηκεύει και συμπιέζει δεδομένα, τότε η διαχείριση των δεδομένων του AMI βελτιώνεται.
- Πόσο εύρος ζώνης διαθέτει ένα δίκτυο επικοινωνιών; Πόσο υψηλές ταχύτητες μετάδοσης μπορεί να προσφέρει ; Πόση καθυστέρηση χαρακτηρίζει την αποστολή δεδομένων;
Η απάντηση στα ανωτέρω ερωτήματα καθορίζει και τις υπηρεσίες που μπορεί να εξυπηρετήσει ένα δίκτυο επικοινωνιών.
- Ποιά είναι η συμπεριφορά ενός δικτύου επικοινωνιών σε περίπτωση βλάβης ενός ή πολλών κόμβων ;
Κατά τη σχεδίαση του συστήματος ευφυούς μέτρησης πρέπει να ληφθεί υπόψη και η αποτελεσματική αντιμετώπιση ακραίων σεναρίων.
- Ποια πρωτόκολλα επικοινωνιών είναι κατάλληλα για τη διαχείριση των πόρων και των δεδομένων;
Η επιλογή κατάλληλων πρωτοκόλλων επικοινωνίας καθορίζει και την ασφαλή και αποτελεσματική μετάδοση δεδομένων με την βέλτιστη αξιοποίηση του φάσματος συχνοτήτων.
- Πως μπορούν να συνδεθούν τα επιμέρους υποδίκτυα ενός ιεραρχικού ΣΕΜ; Μεταξύ ποιών πρωτοκόλλων γίνεται αποδοτική διασύνδεση (protocol translation – cross layer design);
Η αποδοτική διασύνδεση των υποδικτύων προσφέρει διάφανη επικοινωνία μετρητών και MDMS και την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση μετάδοσης.
- Με ποιούς τρόπους προστατεύονται τα δεδομένα από δικτυακές επιθέσεις;

Τα δεδομένα που μεταδίδονται σε ένα AMI αφορούν είτε προσωπικά δεδομένα είτε κρίσιμα δεδομένα για τη λειτουργία του ΕΔ. Η χρησιμοποίηση τεχνικών ασφαλούς επικοινωνίας μεταξύ των δομικών μονάδων του AMI προσφέρει τα επιθυμητά επίπεδα προστασίας από κακόβουλες οντότητες.

2.4.2 Θέματα υλοποίησης υπηρεσιών ευφυούς μέτρησης

Τα δεδομένα, που μεταδίδονται σε ένα ΣΕΜ, αφορούν ένα σύνολο υπηρεσιών του ΕΔ. Κατά τη σχεδίαση του ΣΕΜ πρέπει να απαντηθούν ερωτήματα σχετικά με τα χαρακτηριστικά των δεδομένων.

- Ποιές απαιτήσεις σε QoS έχει η υπηρεσία;
Οι απαιτήσεις σε QoS καθορίζουν άμεσα την επιλογή των τεχνολογιών επικοινωνιών, καθώς και τον αριθμό έξυπνων συσκευών που εξυπηρετούνται από έναν συγκεντρωτή. Η επάρκεια σε τηλεπικοινωνιακούς πόρους είναι αναγκαία για την υλοποίηση των διάφορων επιπέδων QoS.
- Πόσο όγκο δεδομένων παράγει ένας κόμβος του AMI;
Η εκτίμηση του όγκου κίνησης ανά μετρητή συμβάλλει στον προσδιορισμό του όγκου δεδομένων. Η γνώση του όγκου δεδομένων είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό των απαιτήσεων σε τηλεπικοινωνιακούς πόρους.
- Μπορεί το δίκτυο να εξυπηρετήσει μελλοντική προσθήκη νέων υπηρεσιών;
Η σχεδίαση του AMI πρέπει να λαμβάνει υπόψη και την μελλοντική υλοποίηση νέων υπηρεσιών. Η επεκτασιμότητα σε επίπεδο υπηρεσιών σε βάθος χρόνου καθιστά το ΕΔ πλήρως λειτουργικό, ενώ αυξάνεται και το οικονομικό όφελος για τις οντότητες που εμπλέκονται στο ΕΔ.

Τέλος, τονίζεται ότι δεν υπάρχει απάντηση για κάθε θέμα και κάθε ζήτημα που παρουσιάσθηκε ανωτέρω. Το σύστημα έξυπνης μέτρησης έχει τεράστια χωρική εξάπλωση και αποτελείται από πολλά επιμέρους δίκτυα που είναι εγκατεστημένα σε περιοχές με διαφορετικά πολεοδομικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά, διαφορετικές διαθέσιμες τεχνολογίες και διαφορετικές απαιτήσεις σωστής λειτουργίας. Για παράδειγμα, σε αστικό περιβάλλον υπάρχει μεγάλη πυκνότητα μετρητών, μεγαλύτερος όγκος δεδομένων, προβλήματα παρεμβολών και εφαρμογή πολυεπίπεδου ιεραρχικού δικτύου. Αντιθέτως, σε αγροτικές περιοχές χρησιμοποιούνται τεχνολογίες επικοινωνίας μεγάλων αποστάσεων για εξυπηρέτηση μικρού αριθμού μετρητών διάσπαρτων σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1 Τεχνολογίες επικοινωνιών

Για την διασύνδεση των κόμβων του μετρητικού δικτύου απαιτείται χρήση σύγχρονων τεχνολογιών επικοινωνίας. Χρησιμοποιούνται ασύρματες και ενσύρματες επικοινωνίες η χρήση των οποίων εξαρτάται από παράγοντες, όπως το μέγεθος της περιοχής κάλυψης, το απαιτούμενο εύρος ζώνης, τη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, οι ενεργειακές απαιτήσεις κάθε κόμβου, το λειτουργικό κόστος και το κόστος εξοπλισμού. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ένα σύνολο τεχνολογιών επικοινωνίας που έχουν προταθεί για ένα ΣΕΜ και αφορούν τα 3 κατώτερα στρώματα του OSI, δηλαδή το φυσικό στρώμα, το στρώμα ζεύξης δεδομένων και στρώμα δικτύου.

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει παρουσίαση τεχνολογιών επικοινωνιών κατάλληλων τόσο για τη σύνδεση ευφυών μετρητών και συγκεντρωτή σε τοπικό δίκτυο πρόσβασης/συλλογής μετρητικών δεδομένων (NAN/LAN/BAN) όσο και για τη σύνδεση έξυπνων συσκευών σε οικιακό περιβάλλον (HAN).

3.1.1 *Narrow Band Power Line Communications (NB-PLC)*

Είναι η ενσύρματη τεχνολογία που χρησιμοποιεί τα καλώδια παροχής ηλεκτρικού ρεύματος για την έγχυση υψίσυχνου διαμορφωμένου σήματος. Το πρότυπο στενής ζώνης PLC χρησιμοποιεί τη φασματική ζώνη 1-500 KHz παρέχοντας ρυθμούς δεδομένων μέχρι 1 Mbps με μέγιστο μήκος μετάδοσης 1.5 km. Η τεχνολογία PLC είναι από τις επικρατέστερες για τη σύνδεση μετρητών και συγκεντρωτών στο δίκτυο ΧΤ, ενώ είναι δυνατή και η δικτύωση μεταξύ οικιακών ευφυών συσκευών.

Πλεονεκτήματα: Μεγάλο πλεονέκτημα είναι η ύπαρξη των καλωδίων ισχύος (φυσικό στρώμα), που εξοικονομούν για τις εταιρίες ηλεκτρισμού το κόστος εγκατάστασης τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Επίσης, παρέχεται μεγάλη γεωγραφική κάλυψη. Η διαμόρφωση ενός δικτύου PLC στο δίκτυο πρόσβασης απαλλάσσει τις εταιρίες ηλεκτρισμού από το κόστος ενοικίασης και χρήσης δικτυακού εξοπλισμού και της εξάρτησης από διαχειριστές δικτύων επικοινωνιών.

Μειονεκτήματα: Το καλώδιο ισχύος είναι έντονα θορυβώδες μέσο, που εισάγει μεγάλη εξασθένηση και παραμόρφωση. Παράλληλα, η παρεμβολή είναι ανάλογη του αριθμού

των μετρητών που είναι συνδεδεμένοι σε ένα τοπικό δίκτυο. Για τους ανωτέρω λόγους, είναι αναγκαία η χρήση επαναληπτών για την επικοινωνία σε αποστάσεις μεγαλύτερες του ενός χιλιομέτρου, γεγονός που αυξάνει το κόστος υλοποίησης του δικτύου πρόσβασης. Επιπλέον, λόγω της τοπολογίας διαύλου που χαρακτηρίζει το δίκτυο ΧΤ και του θορυβώδους καλωδίου ισχύος, η αποστολή δεδομένων είναι ευαίσθητη σε πτώση τάσης, δεν προσφέρεται εναλλακτική δρομολόγηση δεδομένων, ενώ με δυσκολία μπορούν να επιτευχθούν υψηλοί ρυθμοί δεδομένων.

Οι IEEE και ITU-T έχουν προτείνει μια σειρά από πρότυπα NB-PLC που καταγράφονται στον πίνακα 3.1.

	G3 -PLC	PRIME	ITU-T G.HNEM
Χρονολογία	2009	2010	2011
Ζώνη Συχνότητας	36-91 kHz CENELEC A, 150-487,5 kHz FCC 2, 10-487.5 kHz FCC	42-89 kHz	36-143.5 kHz CENELEC 150-487.5 kHz FCC 2 10-487.5 kHz FCC
Μέγιστος Ρυθμός Μετάδοσης	34.1 kbps	128.6 kbps	>1Mbps
OFDM	FFT – 36 φέροντα	FFT-96 φέροντα	Windowed – 128,256 φέροντα
FEC	RS,convolutional	Convolutional code	RS,convolutional code
MAC	IEEE 802.15.4	TDM CSMA/CA	CSMA/CA (4 επίπεδα προτεραιοτήτων)
Διαμόρφωση	DBPSK,DQPSKA	DBPSK,DQPS,D8PSK	QAM-2, QAM-4, QAM-16

Πίνακα 3.1 : Συγκεντρωτικός πίνακας πρωτοκόλλων επικοινωνίας NB-PLC

3.1.2 Digital Subscriber Line(DSL)

Είναι η ενσύρματη τεχνολογία, όπου το χάλκινο τηλεφωνικό καλώδιο

χρησιμοποιείται για ευρυζωνικές υπηρεσίες, με ρυθμό δεδομένων μέχρι 52 Mbps στο φυσικό στρώμα. Ο ρυθμός μετάδοσης μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση, που δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 3.5 km.

Πλεονεκτήματα: Όπως και με την PLC τεχνολογία, υπάρχει διαθέσιμη υποδομή, οπότε το κόστος εγκατάστασης ενός AMI δικτύου μειώνεται. Η DSL τεχνολογία, σε συνδυασμό με δίκτυα οπτικών ινών και Ethernet (που χρησιμοποιούνται στην υποδομή ενός δικτύου τηλεφωνίας/ευρυζωνικών υπηρεσιών), προσφέρεται για την απ' άκρο σε άκρο σύνδεση μετρητών και MDMS, αλλά και για τη σύνδεση του MDMS με μονάδες επεξεργασίας των υπόλοιπων οντοτήτων του ΕΔ.

Μειονεκτήματα: Η συγκεκριμένη τεχνολογία αδυνατεί να εξυπηρετήσει μετρητές και συγκεντρωτές που βρίσκονται σε αραιοκατοικημένες περιοχές. Μέσω του τηλεφωνικού καλωδίου μεταδίδονται κυρίως δεδομένα ευρυζωνικών διαδικτυακών υπηρεσιών, οπότε ελλοχεύει ο κίνδυνος συμφόρησης δεδομένων. Τέλος, οι εταιρίες ηλεκτρισμού θα πρέπει να καταβάλλουν κόστος ενοικίασης και χρήσης εξοπλισμού στις εταιρίες παροχής τηλεφωνικών και ευρυζωνικών υπηρεσιών.

3.1.3 IEEE 802.15.3a - Ultra Wideband (UWB)

Η τεχνολογία UWB λειτουργεί σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.15.3a και χρησιμοποιείται τόσο για εφαρμογές με υψηλές απαιτήσεις σε ρυθμό δεδομένων (υψηλότερο από 1Mbps), όσο και για εφαρμογές χαμηλότερων ρυθμών, όπως σε δίκτυα αισθητήρων (WSN). Αποτελεί τεχνολογία που χρησιμοποιείται κυρίως σε επικοινωνίες εσωτερικών χώρων, λόγω της μικρής εμβέλειας των τερματικών διατάξεων.

Πλεονεκτήματα: Η τεχνολογία UWB υποστηρίζει εφαρμογές με διάφορους ρυθμούς μετάδοσης και έτσι διευκολύνεται η συνδεσιμότητα συσκευών σε ένα Home Area Network (HAN).

Μειονέκτημα: Το κύριο μειονέκτημα είναι η υψηλή ενεργειακή κατανάλωση που απαιτείται από τους κόμβους του δικτύου. Ένα ακόμα σημαντικό μειονέκτημα σχετίζεται με το γεγονός ότι η Ομάδα Εργασίας του IEEE 802.15.3a διαλύθηκε το 2006, με αποτέλεσμα το UWB να μη γνωρίζει πλέον ανάπτυξη και βελτιστοποίηση.

3.1.4 IEEE 802.15.1 -Bluetooth

Πρόκειται για τεχνολογία ανταλλαγής δεδομένων σε μικρές αποστάσεις που

λειτουργεί στη ζώνη των 2.4 – 2.48 GHz. Όπως και στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις, οι κόμβοι σχηματίζουν PANs (Personal Area Networks).

Πλεονεκτήματα: Το Bluetooth έχει διάφορες εκδόσεις που υποστηρίζουν διάφορους ρυθμούς μετάδοσης, από 1Mbps έως 24Mbps, ενώ ο ρυθμός δεδομένων οποιασδήποτε εφαρμογής υπερβαίνει τα 80kbps. Υπάρχουν, επίσης, διαφορετικές κλάσεις κατανάλωσης ισχύος με κριτήριο την ακτίνα κάλυψης. Υπάρχουν τρεις τέτοιες κλάσεις με κατανάλωση ισχύος 20dBm, 4dBm και 0dBm με αντίστοιχες ακτίνες κάλυψης είναι 100m, 10m και 1m.

Μειονέκτημα: Η τεχνολογία αυτή είναι ακατάλληλη για εφαρμογές smart grid που απαιτούν μικρή καθυστέρηση. Επίσης, ένας Bluetooth Master Device περιορίζεται στην ταυτόχρονη εξυπηρέτηση μέχρι και οκτώ συσκευών, χαρακτηριστικό που περιορίζει πολύ την έκταση του δικτύου. Αν είναι επιθυμητή η αύξηση του πλήθους των υποστηριζόμενων συσκευών, πρέπει να δημιουργηθούν piconets (έκαστο των οποίων αποτελείται από 8 έξυπνες συσκευές), υπό την επίβλεψη ενός master smart device. Οι ανωτέρω λόγοι αυξάνουν σημαντικά την πολυπλοκότητα και την καθυστέρηση, ενώ προκαλούν και προβλήματα συγχρονισμού.

3.1.5 IEEE 802.15.4 -Zigbee SEP 2.0

Το Zigbee είναι πρωτόκολλο φυσικού στρώματος και στρώματος ζεύξης δεδομένων βασισμένο πρότυπο IEEE 802.15.4 για ασύρματες επικοινωνίες μικρών αποστάσεων 10-50m, με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων περί τα 250 kbps. Λειτουργεί στις φασματικές περιοχές 2.4 GHz και 868-915 MHz με μέγιστη ισχύ εκπομπής 1mW και χρησιμοποιεί διαμόρφωση OQPSK.

Πλεονεκτήματα: Το Zigbee χαρακτηρίζεται από χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, ικανότητα να βρίσκεται σε αδρανή κατάσταση (sleepy mode) για εξοικονόμηση ενέργειας, χαμηλό ρυθμό δεδομένων, μικρή πολυπλοκότητα και φθινό κόστος εγκατάστασης. Η επεκτασιμότητα του δικτύου επιτυγχάνεται μέσω πολυβηματικής επικοινωνίας και δρομολόγησης. Ο χρόνος απόκρισης από αδρανή κατάσταση είναι μόλις 15ms, ενώ απαιτούνται 30ms για πρόσβαση στο δίκτυο. Τέλος, χαρακτηρίζεται από δυνατότητα αυτοοργάνωσης μέσω πρωτοκόλλου δυναμικής δρομολόγησης, ενώ διαθέτει και υψηλό επίπεδο ασφάλειας. Τέλος, με τεχνολογία Zigbee μπορούν να σχηματιστούν δίκτυα επικοινωνιών που περιλαμβάνουν μέχρι και 65.000 κόμβους, δυνατότητα που μπορεί να συμβάλει στην κλιμακωσιμότητα ενός δικτύου επικοινωνιών.

Μειονεκτήματα: Το κύριο ελάττωμα της τεχνολογίας Zigbee είναι οι μικρές υπολογιστικές δυνατότητες των συσκευών που την χρησιμοποιούν. Αυτό οφείλεται στο μικρό μέγεθος πλαισίου που υποστηρίζει το Zigbee λόγω της απαίτησης για μικρή κατανάλωση ενέργειας από τους κόμβους. Επίσης, υπάρχει καθυστέρηση στην επεξεργασία και την αποστολή των δεδομένων λόγω του μικρού μήκους πακέτου ενώ, λόγω της μικρής ισχύος εκπομπής, εμφανίζονται προβλήματα παρεμβολής από άλλες τεχνολογίες, που εκπέμπουν στην ίδια φασματική ζώνη, όπως IEEE 802.11 και IEEE 802.15.1.

3.1.6 IEEE 802.15.4 - IPv6 Low Power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN)

Το πρωτόκολλο είναι βασισμένο στο IEEE 802.15.4 και χρησιμοποιείται σε εφαρμογές για επικοινωνία έξυπνων συσκευών, προκειμένου να σχηματιστεί ένα ανεξάρτητο κατανεμημένο δίκτυο. Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που σχετίζονται με αυτοματισμούς και παρακολούθηση οικιακών ή εργοστασιακών εγκαταστάσεων. Λειτουργεί στη ζώνη των 2.4GHz, οι ρυθμοί μετάδοσης φθάνουν τα 250kbps και η ακτίνα κάλυψης είναι 10m – 20m.

Πλεονεκτήματα: Απαιτεί χαμηλή κατανάλωση ισχύος και υποστηρίζει πρωτόκολλο IPv6, χαρακτηριστικό που το καθιστά άμεσα συμβατό με δίκτυα επικοινωνιών συμβατά με το πρωτόκολλο IP. Η διευθυνσιοδότηση των τερματικών συσκευών βάσει του IPv6 (48 bits) προσφέρει τη δυνατότητα υποστήριξης τεράστιου πλήθους συσκευών. Χρησιμοποιεί μεγαλύτερο πακέτο πληροφορίας σε σχέση με το IEEE 802.15.4 και διαθέτει υψηλό επίπεδο ασφαλείας.

Μειονεκτήματα: Βάσει των προδιαγραφών του IPv6, το μέγιστο μήκος πακέτου είναι 1280 Bytes, ενώ το MTU του IEEE 802.15.4 είναι μόλις 127 Bytes. Για το λόγο αυτό απαιτείται συμπίεση της επικεφαλίδας και κατακερματισμός των IPv6 datagrams που αποτελούν λειτουργίες του στρώματος προσαρμογής (adaptation layer) μεταξύ του 6LoWPAN και του IEEE 802.15.4. Επιπλέον, η χρήση μεγαλύτερου πακέτου αυξάνει την καθυστέρηση μετάδοσης.

3.1.7 IEEE 802.11

Το πρότυπο IEEE 802.11 προσδιορίζει την ασύρματη τεχνολογία επικοινωνίας γνωστή και ως wireless fidelity-WiFi, σε επίπεδο φυσικού στρώματος και στρώματος ζεύξης δεδομένων στις φασματικές περιοχές 2.4 και 5 GHz. Προσφέρει ρυθμούς

δεδομένων μέχρι και 150Mbps, ακτίνα κάλυψης περί τα 45m για εσωτερικούς χώρους και περί τα 100m για εξωτερικούς χώρους. Υποστηρίζει το πρωτόκολλο πρόσβασης στο δίκτυο επικοινωνίας CSMA/CA.

Πλεονεκτήματα: Το πρότυπο IEEE προσφέρει περίσσεια ρυθμών μετάδοσης που μπορούν να υποστηρίξουν την πλειοψηφία των απαιτούμενων επιπέδων QoS. Τα πρότυπα 802.11s 802.11p είναι κατάλληλα για εφαρμογές του ΕΔ και υποστηρίζουν δικτύωση τύπου πλέγματος (mesh) για την εξυπηρέτηση απομακρυσμένων έξυπνων μετρητών. Επιπλέον, λόγω της ασύρματης μετάδοσης δεν υπάρχουν σημαντικές καθυστερήσεις. Πλεονεκτεί σε θέματα μεγαλύτερης ακτίνας κάλυψης έναντι πρωτοκόλλων, όπως ZigBee και 6LoWPAN.

Μειονεκτήματα: Χαρακτηρίζεται από υψηλή κατανάλωση ισχύος και έντονες παρεμβολές από άλλες τεχνολογίες στην ίδια φασματική περιοχή. Επίσης, εμφανίζονται φαινόμενα σκίασης και πολυδιαδρομικής μετάδοσης μειώνουν την ποιότητα υπηρεσίας.

3.1.8 Δίκτυα Κινητών επικοινωνιών

Η αμφίδρομη ροή δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί μέσω των διαθέσιμων τεχνολογιών κινητών επικοινωνιών GSM, GPRS/EDGE, UMTS, LTE. Οι δύο πρώτες τεχνολογίες που αναφέρονται υποστηρίζουν μόνο μετάδοση δεδομένων, ενώ οι δύο τελευταίες είναι ευρυζωνικού χαρακτήρα και υποστηρίζουν υπηρεσίες πολυμέσων. Όλες οι ανωτέρω τεχνολογίες μπορούν να εξυπηρετήσουν ΣΕΜ στο αρχικό στάδιο, μόνο οι δύο τελευταίες είναι βέβαιο ότι μπορούν να υποστηρίξουν ενδεχόμενες μελλοντικές εφαρμογές με ανάγκη για μεγαλύτερο εύρος ζώνης.

Πλεονεκτήματα: Η αξιοποίηση της υπάρχουσας υποδομής των δικτύων κινητών επικοινωνιών είναι η επικρατέστερη επιλογή για την υλοποίηση του δικτύου ευφών μετρητών, εξοικονομώντας πρόσθετο κόστος για τη εγκατάσταση του τηλεπικοινωνιακού μέρους του AMI. Επίσης, τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών παρέχουν σχεδόν 100% πληθυσμιακή κάλυψη όντας σε θέση να εξυπηρετήσουν ακόμα και μετρητές εγκατεστημένους σε αραιοκατοικημένες περιοχές. Τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών έχουν την δυνατότητα να διαχειριστούν μεγάλο όγκο δεδομένων, όπως π.χ. καταγραφή της κατανάλωσης ΗΕ των πελατών με συχνότητα 15 λεπτών. Επιπλέον, επιβάλλεται η κλιμακωτή χρήση των προτύπων ανάλογα με τις απαιτήσεις ποιότητας. Τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα ασφάλειας δεδομένων υιοθετώντας διαδικασίες όπως η πιστοποίηση της αυθεντικότητας των

χρηστών, η χρήση κρυπτογραφίας και αποστολή πακέτων σηματοδοσίας.

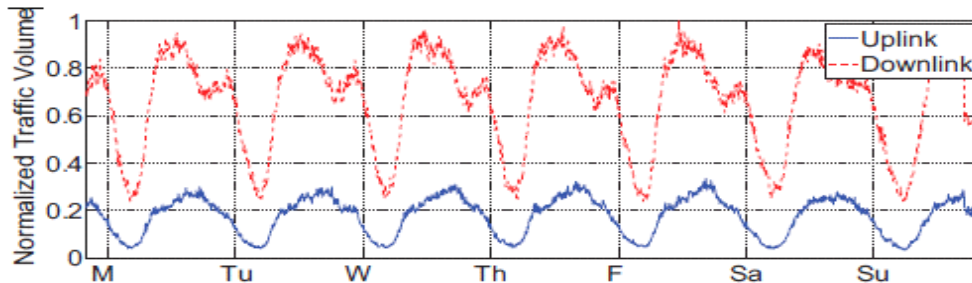
Πρότυπο	Φάσμα (MHz)	Ρυθμός Δεδομένων	Ακτίνα Κάλυψης (Km)
GSM	900-1800	>9.6 Kbps	<35
GPRS	900-1800	<171 Kbps	1 - 10
UMTS	1920-1980	384Kbps-2 Mbps	1 - 10
HSDPA/HSUPA	1920-1980, 2110-2170	<28 Mbps (downlink) <11 Mbps (uplink)	2 - 3
LTE	2110-2170, 800,1800,2600	>100 Mbps (downlink) >50 Mbps (uplink)	2 - 3

Πίνακας 3.2:Χαρακτηριστικά προτύπων δικτύων κινητών επικοινωνιών

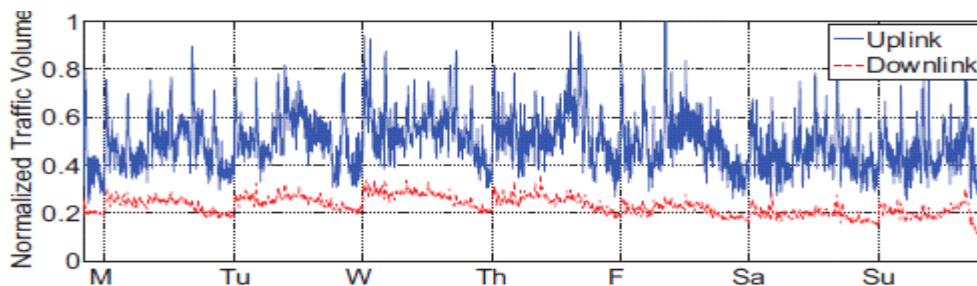
Μειονεκτήματα: Οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας ενδέχεται να θέσουν υψηλό κόστος μίσθωσης των δικτύων τους, ενδεχόμενο που μπορεί να επηρεάσει την μελλοντική ανάπτυξη των συστημάτων AMI. Η μετάδοση πληροφορίας κρίσιμων εφαρμογών μπορεί να απορριφθεί σε ώρες αιχμής των δικτύων κινητών επικοινωνιών, δεδομένου ότι τα δίκτυα χρησιμοποιούνται ήδη από πελάτες των εταιρειών κινητής τηλεφωνίας. Άρα οι σχεδιαστές του AMI πρέπει να λαμβάνουν υπόψη ότι κατά τις ώρες αιχμών κίνησης αυξάνεται η πιθανότητα απόρριψης κάποιας αίτησης πρόσβασης στο δίαυλο (Grade of Service-GoS).

Σοβαρό ζήτημα αποτελεί η συμφόρηση των δικτύων κινητών επικοινωνιών αφού για πρόσβαση στα διαθέσιμα κανάλια επικοινωνιών ανταγωνίζονται εκατομμύρια έξυπνοι μετρητές και διατάξεις, χιλιάδες συγκεντρωτές, εκατομμύρια έξυπνα τηλέφωνα, ταμπλέτες και Η/Υ. Η μεγαλύτερη πρόκληση είναι η διαχείριση συσκευών που έχουν διαφορετικό προσανατολισμό. Οι μεν ευφυείς συσκευές προσανατολίζονται για τις μετρητικές εφαρμογές, και κατ' επέκταση για την αυτόματη λειτουργία του ΗΔ, τα δε έξυπνα τηλέφωνα προσανατολίζονται για ανθρώπινη επικοινωνία. Αυτό επιβάλλει διαφορετικό χαρακτηρισμό της τηλεπικοινωνιακής κίνησης που παράγουν αφενός οι έξυπνες διατάξεις και αφετέρου οι συσκευές που

χρησιμοποιεί ο άνθρωπος. Για παράδειγμα, σε δίκτυο AMI υπάρχει μεγάλος όγκος δεδομένων στη ζεύξη uplink, ενώ ο όγκος δεδομένων για ανθρώπινη επικοινωνία συγκεντρώνεται κυρίως στην ζεύξη downlink. Άρα, είναι αναγκαίος ο θεωρητικός χαρακτηρισμός της κίνησης δεδομένων για υπηρεσίες ευφυούς μέτρησης, ώστε να εξειδικευθούν και οι κατάλληλοι αλγόριθμοι κατανομής πόρων, για την αποτελεσματική και αρμονική διαχείριση όλων των συσκευών που έχουν πρόσβαση στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών.



Σχήμα 3.1: Πειραματική απεικόνιση ποσοστού δεδομένων uplink/downlink από smartphones, κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας



Σχήμα 3.2: Πειραματική απεικόνιση ποσοστού δεδομένων uplink/downlink ενός έξυπνου μετρητή, κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας

3.2 Δίκτυο πρόσβασης

3.2.1 Σχήματα πολλαπλής πρόσβασης

Ένα δίκτυο πρόσβασης περιλαμβάνει πλήθος έξυπνων μετρητών που έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις σε τηλεπικοινωνιακούς πόρους. Οι διαθέσιμοι τηλεπικοινωνιακοί πόροι πρέπει να μοιράζονται αποδοτικά μεταξύ των έξυπνων μετρητών. Ως πολλαπλή πρόσβαση ορίζεται η ταυτόχρονη πρόσβαση στους ίδιους πόρους από πολλούς έξυπνους μετρητές. Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο πρόσβασης του ΕΔ είναι :

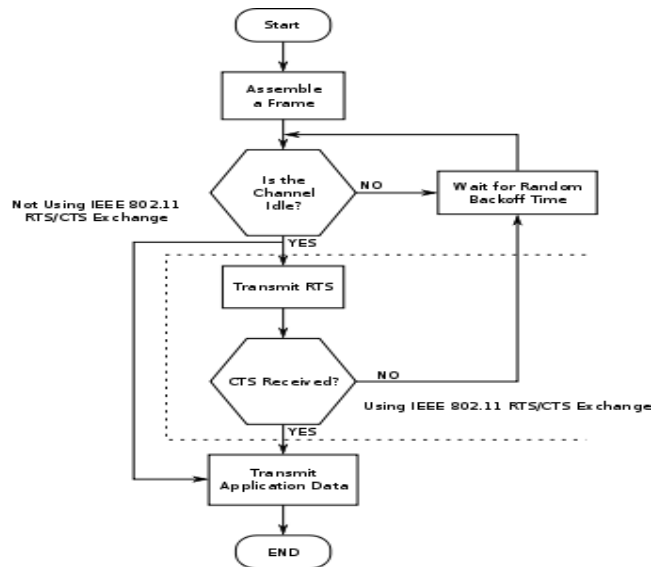
- Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiple Access- TDMA).

- Σχήματα τυχαίας πολλαπλής πρόσβασης (Carrier Sense Multiple Access-CSMA)

Κατά την πολλαπλή πρόσβαση TDMA, οι έξυπνοι μετρητές οργανώνονται στο πεδίο του χρόνου και σε έκαστο εξ αυτών εκχωρούνται κατά κυκλικό τρόπο χρονισχισμές (timeslots). Κατά τη διάρκεια μιας χρονοσχισμής ένας έξυπνος μετρητής έχει πρόσβαση στον κοινό δίαυλο επικοινωνίας χρησιμοποιώντας ολοκληρωτικά το διαθέσιμο εύρος ζώνης ενώ ταυτόχρονα όλοι οι άλλοι κόμβοι δεν μεταδίδουν. Οι χρονοσχισμές εκχωρούνται από το συγκεντρωτή κατά κυκλικό τρόπο. Έτσι, οι μετρητές δεν μεταδίδουν συνεχώς και με δική τους βούληση, για το λόγο αυτό πρέπει να διαθέτουν τη δυνατότητα προσωρινής αποθήκευσης των δεδομένων τους. Επίσης, το TDMA διαθέτει το πλεονέκτημα της εύκολης απόδοσης διαφορετικών επιπέδων QoS ρυθμίζοντας αντίστοιχα το πλήθος των χρονοσχισμών που εκχωρούνται σε κάθε έξυπνο μετρητή. Η σειρά και η διάρκεια μετάδοσης κάθε μετρητή κάθε χρήστη καθορίζεται από το χρονοδιάγραμμα μετάδοσης των έξυπνων μετρητών (χρονοπρογραμματισμός) που διαμορφώνεται από το συγκεντρωτή. Ένα δίκτυο πρόσβασης που χρησιμοποιεί αλγόριθμους πρόσβασης που βασίζονται στο TDMA ονομάζεται δομημένο. Σε ένα δομημένο δίκτυο πρόσβασης, οι έξυπνοι μετρητές εκπέμπουν και λαμβάνουν σε καθορισμένες χρονικές. Έτσι, γίνεται καλύτερη διαχείριση των πόρων, αφού σε ένα δίκτυο πρόσβασης μεταδίδεται μικρός όγκος δεδομένων από μεγάλο αριθμό μετρητών.

Σύμφωνα με την τεχνική CSMA, κάθε έξυπνος μετρητής παρακολουθεί το δίαυλο επικοινωνίας και δεν επιχειρεί να μεταδώσει μέχρι να απελευθερωθεί ο δίαυλος. Ο βασικός περιορισμός της συγκεκριμένης εμφανίζεται όταν δύο ή περισσότεροι μετρητές επιχειρούν να μεταδώσουν ταυτόχρονα πριν η ανίχνευση άλλης μετάδοσης στον κοινό δίαυλο καταστεί δυνατή.

Για τη λύση του προβλήματος της ταυτόχρονης μετάδοσης στο δίαυλο επικοινωνίας, σε τεχνολογίες επικοινωνιών όπως IEEE 802.15.4, IEEE 802.11 και G3-PLC χρησιμοποιείται η τεχνική αποφυγής σύγκρουσης (collision avoidance -CSMA/CA). Οι συγκρούσεις αποφεύγονται καθώς ένα μετρητής /συγκεντρωτής ερωτά ένα συγκεντρωτή/μετρητή μέσω μηνύματος RTS (request to send) αν είναι ελεύθερος ο δίαυλος. Ο δέκτης αποστέλλει ένα μήνυμα θετικής απόκρισης CTS (clear to send) στον αποστολέα ενώ, ταυτόχρονα, όλα οι άλλοι κόμβοι του δικτύου λαμβάνουν μηνύματα ότι ο δίαυλος είναι κατειλημμένος.



Σχήμα 3.3: Αλγόριθμος CSMA/CA

3.2.2 Τοπολογίες Δικτύου πρόσβασης

Για τη δικτύωση ενός συνόλου μετρητών και την αμφίδρομη επικοινωνία με το συγκεντρωτή σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή προτείνονται τρεις τοπολογίες δικτύου πρόσβασης, η τοπολογία διαύλου, η τοπολογία αστέρα και η κατακεντρωμένη τοπολογία.

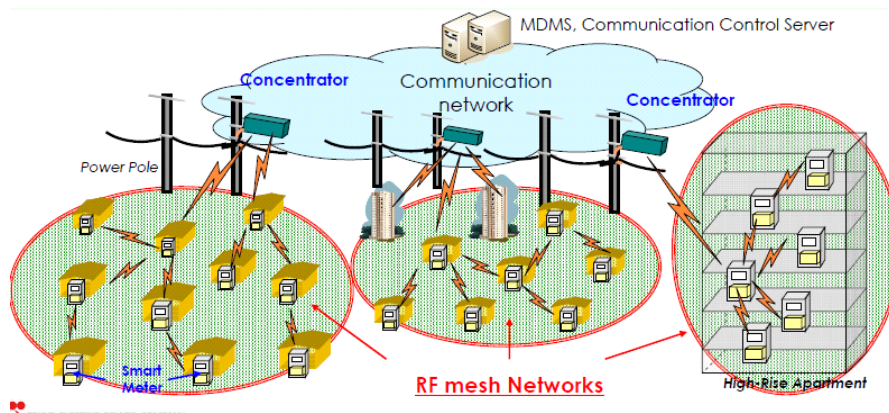
Η τοπολογία αστέρα θεωρείται κατάλληλη για σχηματισμό δικτύου πρόσβασης σε αγροτικές περιοχές, αφού η απόσταση μετρητή- συγκεντρωτή είναι μεγάλη και η πυκνότητα μετρητών μικρή. Στην περίπτωση αυτή, υπάρχει ανάγκη για επικοινωνίες με μεγάλη εμβέλεια που απαιτούν από τους κόμβους υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Έτσι, θεωρείται κατάλληλη η χρήση δικτύων κινητών επικοινωνιών, αφού συνδυάζουν μεγάλη εμβέλεια και μεγάλη γεωγραφική κάλυψη.

Η τοπολογία διαύλου απαντάται και κατά τη χρήση των καλωδίων ισχύος και απαντάται κατά τη χρήση της PLC τεχνολογίας επικοινωνιών στο δίκτυο πρόσβασης. Η ανάπτυξη της τοπολογίας διαύλου είναι εφικτή σε δίκτυα NAN/BAN/LAN και εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των τηλεπικοινωνιακών πόρων που μπορεί να προσφέρει ένα πρωτόκολλο PLC.

Κατ' επέκταση της τοπολογίας διαύλου, ένα δίκτυο PLC στη MT ή τη ΧΤ μπορεί να έχει τοπολογία δένδρου. Για παράδειγμα, η ηλεκτρική διασύνδεση μιας πολυκατοικίας στο δίκτυο ΧΤ συνεπάγεται το σχηματισμό ενός δενδρικού δικτύου PLC.

Έτσι, επιτυγχάνεται η κλιμακωσιμότητα του δικτύου πρόσβασης, με ταυτόχρονο διαμοιρασμό των διαθέσιμων τηλεπικοινωνιακών πόρων στον αυξημένο αριθμό έξυπνων μετρητών.

Εκτός των άλλων, η τοπολογία πλέγματος στο δίκτυο πρόσβασης θεωρείται ιδανική για τη χρήση ασύρματων τεχνολογιών επικοινωνίας μικρής εμβέλειας και μικρής κατανάλωσης ενέργειας. Επίσης, είναι κατάλληλη και για την αντιμετώπιση δυσμενούς μέσου διάδοσης (σκέδαση ή διαλείψεις) και την αντιμετώπιση βλαβών, λόγω της multi-hop δικτύωσης και της διαθεσιμότητας εναλλακτικών διαδρομών. Ένα mesh δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθούν πρότυπα όπως IEEE 802.15.4, IEEE 802.11 ή 6LoWPAN προσφέρεται για δικτύωση σε HAN/BAN/IAN/NAN δίκτυα.



Σχήμα 3.4: Ενδεικτικές μορφές δικτύου πρόσβασης.

Από αριστερά προς δεξιά: α) τοπολογία δένδρου β) τοπολογία πλέγματος γ) τοπολογία αστέρα

3.2.3 Λειτουργίες δικτύου πρόσβασης

Κατά τη σχεδίαση του αυτόματου δικτύου συλλογής μετρητικών δεδομένων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι παράγοντες που επηρεάζουν την ορθή λειτουργία του. Για παράδειγμα, το δίκτυο πρόσβασης πρέπει να αντιμετωπίζει αποτελεσματικά βλάβες που συμβαίνουν σε μετρητές ή συγκεντρωτές. Επίσης, σημαντική είναι η διαθεσιμότητα πόρων και εναλλακτικών διαδρομών, όταν το περιβάλλον διάδοσης είναι δυσμενές ή υπάρχει συμφόρηση στο συγκεντρωτή. Επομένως, το δίκτυο πρόσβασης πρέπει να εφαρμόζει διαδικασίες που καθιστούν αδιάλειπτη την αξιόπιστη παροχή υπηρεσιών.

Έλεγχος δρομολόγησης

Σε ένα δομημένο δίκτυο, η διαδρομή επικοινωνίας (path) μετρητή συγκεντρωτή για την περιοδική συλλογή μετρήσεων στη μόνιμη κατάσταση είναι σταθερή. Σε περίπτωση βλάβης κάποιου μετρητή ή συγκεντρωτή σε περίπτωση δυσμενών συνθηκών διάδοσης, πρέπει να διατίθενται εναλλακτικές διαδρομές δρομολόγησης της κίνησης. Αυτή τη δυνατότητα την προσφέρουν τα multi-hop δίκτυα επικοινωνιών. Η διαδικασία ελέγχου της δρομολόγησης γίνεται με σήματα σηματοδότησης χρονικά διαστήματα όπου οι μετρητές δεν μεταδίδουν μετρήσεις.

Εξισορρόπηση κίνησης

Το πλήθος των μετρητών που επικοινωνεί με συγκεκριμένο συγκεντρωτή πρέπει να προσδιοριστεί κατά τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η ικανοποίηση των επιπέδων QoS και να ελαχιστοποιείται το κόστος εγκατάστασης. Οι δύο αυτοί στόχοι είναι αντικρουόμενοι. Μειώνοντας το πλήθος των συγκεντρωτών μειώνεται το κόστος εγκατάστασης, αυξάνοντας όμως, ταυτόχρονα το πλήθος των έξυπνων μετρητών που πρέπει κάθε συγκεντρωτής να εξυπηρετήσει. Αυτό μπορεί να προκαλέσει φαινόμενα συμφόρησης ή απώλειας πακέτων υποβαθμίζοντας την ποιότητα υπηρεσίας του δικτύου. Από την άλλη πλευρά, αυξημένο πλήθος συγκεντρωτών διασφαλίζει υψηλή QoS αλλά αυξάνει το κόστος εγκατάστασης του δικτύου. Απαιτείται λοιπόν προσεκτικός προσδιορισμός του πλήθους έξυπνων μετρητών ανά συγκεντρωτή.

Περιορισμός φορτίου

Ένας συγκεντρωτής πρέπει να διαθέτει ένα ποσοστό της συνολικής χωρητικότητάς του, ώστε να είναι σε θέση να εξυπηρετήσει πρόσθετους μετρητές όταν ένας γειτονικός συγκεντρωτής έχει τεθεί εκτός λειτουργίας. Έτσι το δίκτυο πρόσβασης προσφέρει περιορισμένους πόρους για την εξυπηρέτηση του μεγάλου πλήθους μετρητών.

Διασπορά χρόνων μετάδοσης

Η συλλογή μετρητικών δεδομένων γίνεται περιοδικά, βάσει της συχνότητας λήψης μετρήσεων που έχει τεθεί από τις προδιαγραφές. Μέσα στη συχνότητα λήψης μετρήσεων πρέπει να κατανεμηθεί η αποστολή δεδομένων όλων των έξυπνων μετρητών, ώστε να μην προκαλούνται φαινόμενα συμφόρησης στο συγκεντρωτή ή απώλεια δεδομένων σε ενδιάμεσους κόμβους. Δηλαδή, πρέπει να διαμορφωθεί κατάλληλο σχήμα TDMA μεταξύ των έξυπνων μετρητών που θα βοηθήσει στη βέλτιστη αξιοποίηση των δικτυακών πόρων, ώστε, πρώτον, ο δίαυλος επικοινωνίας μετρητή-συγκεντρωτή να είναι συνεχώς απασχολημένος και, δεύτερον, να ελαχιστοποιείται το

απαιτούμενο μέγεθος ενταμιευτών τόσο στους ενδιάμεσους κόμβους όσο και στο συγκεντρωτή.

Προτεραιότητα δεδομένων

Τα δεδομένα που ανταλλάσσονται αφορούν υπηρεσίες που έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε Qos. Επομένως, το σύνολο των δεδομένων πρέπει να διαχωρίζεται σε ομάδες προτεραιότητας. Η μετάδοση δεδομένων στο δίκτυο πρόσβασης πρέπει να γίνεται με βάση αυτόν το διαχωρισμό. Για παράδειγμα, τα μετρητικά δεδομένα έχουν μέγιστη καθυστέρηση μετάδοσης 5min, ενώ η υπηρεσία διασπαρμένης παραγωγής 1min.

Δημιουργία κυψελών

Υπάρχει δυνατότητα χρήσης διαφορετικών καναλιών (συχνοτήτων) επικοινωνίας σε γειτονικά τοπικά δίκτυα. Έτσι μειώνονται οι παρεμβολές μεταξύ γειτονικών μετρητών και γίνεται αποδοτικότερη η χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης.

Αναβάθμιση λογισμικού

Πρέπει να γίνεται ασφαλής, αξιόπιστη και αποτελεσματική ροή δεδομένων αναβάθμισης λογισμικού σε μια ομάδα μετρητών. Το λογισμικό αφορά τη συμπεριφορά των ευφυών μετρητών σε συνθήκες αποστολής και λήψης δεδομένων αλλά και τη συμπεριφορά του σε κατάσταση αδράνειας.

Διαχείριση δικτύου

Σε ένα δίκτυο πρόσβασης πρέπει να γίνεται αυτόματος και αποτελεσματικός έλεγχος εύρυθμης λειτουργίας. Πρέπει να γίνεται τακτικός έλεγχος της ποιότητας της επικοινωνίας και διακρίβωση της κατάστασης του διαύλου επικοινωνίας, ώστε η δικτύωση των έξυπνων συσκευών να μην παρουσιάζει προβλήματα. Σε περίπτωση βλάβης κάποιου μετρητή, πρέπει αυτόματα να γίνεται εντοπισμός του προβλήματος, απομόνωσή του και κατά την επαναλειτουργία του μετρητή, ανάλυση των δεδομένων, που είναι αποθηκευμένα στο μετρητή, που προκάλεσαν τη βλάβη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΥΦΥΟΥΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Στο κεφάλαιο 4 θα γίνει ανάλυση της μεταφοράς δεδομένων ευφυούς μέτρησης. Θα παρουσιαστεί μια σειρά τεχνολογιών που αποσκοπούν στην αποδοτική επικοινωνία του συνόλου των συγκεντρωτών (WAN) με το κεντρικό σύστημα διαχείρισης μετρητικών δεδομένων MDMS. Θα γίνει συνοπτική παρουσίαση συγκεκριμένων τεχνολογιών επικοινωνιών, θα διατυπωθούν κριτήρια αξιολόγησης για την καταλληλότητα χρήσης μιας τεχνολογίας και θα συζητηθούν ζητήματα αποδοτικής διασύνδεσης με το δίκτυο πρόσβασης, διαχείρισης της κίνησης των μετρητικών δεδομένων καθώς και θέματα ασφάλειας και αξιοπιστίας του δικτύου μεταφοράς.

4.1 Τεχνολογίες επικοινωνιών

Στην ενότητα αυτή, θα παρουσιαστεί μια σειρά από τεχνολογίες επικοινωνιών που θεωρούνται κατάλληλες για την υλοποίηση του δικτύου μεταφοράς. Εκτός από την παρουσίαση των χαρακτηριστικών, θα διερευνηθεί η καταλληλότητα τους με κριτήρια πληθυσμιακά, πολεοδομικά και γεωγραφικά. Τέλος, θα γίνει σχολιασμός ήδη υπαρχουσών δικτυακών υποδομών χρήσιμων για την υλοποίηση του δικτύου.

4.1.1 Τηλεπικοινωνίες οπτικών ινών

Είναι τεχνολογία που ως μέσο μετάδοσης χρησιμοποιεί οπτικές ίνες, μεταδίδοντας διαμορφωμένο οπτικό σήμα πληροφορίας. Επιλέγεται για σύνδεση τοπικών υπολογιστών με το MDMS και για τη σύνδεση MDMS με συστήματα διαχείρισης δεδομένων που εξυπηρετούν τις εμπλεκόμενες οντότητες του ΕΔ.

Πλεονεκτήματα: Οι τεχνολογίες οπτικών ινών προσφέρουν μεγάλο εύρος ζώνης, της τάξης των THz, και πολύ υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, της τάξης των εκατοντάδων Gbps. Η οπτική ίνα είναι ένα μέσο με μικρή εξασθένηση, χαρακτηριστικό που την καθιστά κατάλληλη για μετάδοση σημάτων σε αποστάσεις μεγαλύτερες των πενήντα χιλιομέτρων, χωρίς χρήση επαναληπτών.

Μειονεκτήματα: Κύριο μειονέκτημα της τεχνολογίας οπτικών ινών είναι το μεγάλο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Το κόστος αυτό σε συνδυασμό με το μικρό όγκο

δεδομένων που παράγουν οι έξυπνοι μετρητές συγκριτικά με τις δυνατότητες της συγκεκριμένης τεχνολογίας, περιορίζει τη χρήση οπτικών ινών μόνο στο δίκτυο κορμού.

4.1.2 Μικροκυματικές ζεύξεις

Πρόκειται για ασύρματη τεχνολογία επικοινωνίας σημείου προς σημείο (point-to-point). Λειτουργεί σε φασματικές περιοχές 5,8,6,11,18,23,60GHz με εμβέλεια μετάδοσης που φθάνει τα 100 km και ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που υπερβαίνει τα 300Mbps. Είναι κατάλληλη για τη σύνδεση MDMS με κέντρα ελέγχου που είναι εγκατεστημένα σε απομακρυσμένους δήμους, ή νησιά.

Πλεονεκτήματα: Θεωρείται ώριμη τεχνολογία που προσφέρει περίσσεια τηλεπικοινωνιακών πόρων, είναι αρκετά ασφαλής με φθηνότερο κόστος εγκατάστασης σε σχέση με την τεχνολογία οπτικών ινών. Λόγω της χρήσης κεραιών με υψηλή κατευθυντικότητα, η ηλεκτρομαγνητική ισχύς είναι συγκεντρωμένη σε μικρού εύρους δέσμες, με αποτέλεσμα μειωμένες παρεμβολές από άλλες τεχνολογίες.

Μειονεκτήματα: Το μικροκυματικό κανάλι επηρεάζεται έντονα από καιρικά φαινόμενα, καθώς σε συχνότητες μεγαλύτερες των 10GHz, έντονη βροχόπτωση μπορεί να θέσει μια ασύρματη ζεύξη εκτός λειτουργίας για μεγάλο χρονικό διάστημα.

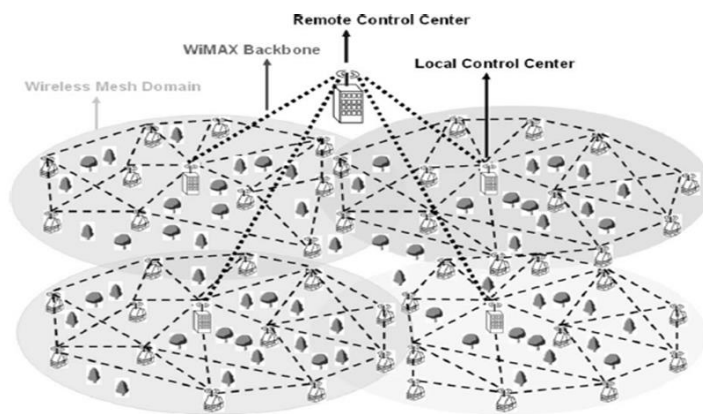
4.1.3 IEEE 802.16 (WiMax)

Είναι ασύρματη τεχνολογία επικοινωνιών μεγάλων αποστάσεων στις φασματικές περιοχές 2.5GHz, 3.5GHz και 5.8GHz και 400MHz, 700MHz σε μη αδειοδοτημένη ζώνη. Προσφέρει ταχύτητες κοντά στα 75 Mbps, με μέγιστη ακτίνα κάλυψης τα 50 km για LOS επικοινωνία σημείου προς σημείο (Point to Point) και 5km για μη οπτική επαφή πομπού και δέκτη (Non Line Of Sight- NLOS). Είναι κατάλληλη τεχνολογία επικοινωνιών για δημιουργία κυψελωτών (cellular - star) ή δικτύων επικοινωνιών τοπολογίας (mesh), ενώ υποστηρίζει χρήση έξυπνων κεραιών (smart antennas) και κεραιών πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εξόδων (MIMO antennas).

Πλεονεκτήματα : Από τα ανωτέρω συμπεραίνεται ότι η τεχνολογία Wimax προσφέρει περίσσεια τηλεπικοινωνιακών πόρων σε μεγάλες αποστάσεις για την ταυτόχρονη εξυπηρέτηση ποικιλίας υπηρεσιών. Προτείνεται για σύνδεση τοπικού υπολογιστή-συγκεντρωτή και σε συνδυασμό με τη χρήση της τεχνολογίας 802.11 για τη σύνδεση μετρητών-συγκεντρωτή δημιουργούν ένα υβριδικό καταναμημένο δίκτυο με

δυνατότητες εξυπηρέτησης υπηρεσιών απαιτητικών σε QoS.

Μειονεκτήματα: Η λειτουργία της τεχνολογίας WiMAX στην ίδια περιοχή συχνοτήτων με την τεχνολογία WiFi συνεπάγεται υψηλό επίπεδο παρεμβολών, γεγονός που απαιτεί την προσεκτική σχεδίαση του δικτύου μεταφοράς ΣΕΜ. 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 δικτύου, καθώς επίσης και την παρεμβολή από άλλες κυψέλες που λειτουργούν στις ίδιες συχνότητες λειτουργίας. Τέλος, δεν αποτελεί αρκετά διαδεδομένη επιλογή, τόσο λόγω του μεγάλου κόστους υλοποίησης και διαχείρισης ενός Wimax δικτύου όσο και λόγω της ύπαρξης των LTE/4G δικτύων που έχουν παρεμφερείς δυνατότητες και μικρότερο κόστος διαμόρφωσης.



Σχήμα 4.1: Υβριδικό δίκτυο με κατακεντρωμένο δίκτυο πρόσβασης με WiFi και Wimax δίκτυο μεταφοράς

4.1.4 Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών

Με αναφορά και στην αντίστοιχη παράγραφο του Κεφ.3, η χρήση των δικτύων κινητών επικοινωνιών είναι κατάλληλη και για το δίκτυο μεταφοράς δεδομένων του ΕΔ για τη σύνδεση συγκεντρωτή-MDMS ή τοπικού υπολογιστή-MDMS. Η διαφορά είναι ότι οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και ταχύτητα μετάδοσης είναι αυξημένες, αφού ένας συγκεντρωτής χρησιμοποιεί το δίαυλο για να αποστέλλει/λαμβάνει δεδομένα για το σύνολο των μετρητών που έχει υπό την εποπτεία του. Για το λόγο αυτό και με γνώμονα τις απαιτήσεις QoS των υπηρεσιών του ΣΕΜ, είναι σημαντική η χρήση νεότερων προτύπων όπως 3G (UMTS), HSPA, LTE και LTE advanced, που παρέχουν υπηρεσίες ευρυζωνικού χαρακτήρα. Η χρήση των τεχνολογιών EDGE και GPRS μπορεί να

αξιοποιηθεί για την εξυπηρέτηση μικρού όγκου δεδομένων, π.χ. για υπηρεσίες τηλεμέτρησης σε αραιοκατοικημένες περιοχές, λόγω του πλεονεκτήματος της μεγάλης ακτίνας κάλυψης.

4.1.5 Digital Subscriber Line(DSL)

Με αναφορά και στην αντίστοιχη παράγραφο του Κεφ.3, η χρήση DSL γραμμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διασύνδεση του συγκεντρωτή είτε με τοπικό κέντρο ελέγχου (Remote control centre) είτε με το MDMS. Η τεχνολογία διαθέτει τις δυνατότητες να ικανοποιήσει τον αυξημένο όγκο δεδομένων στη ζεύξη uplink του συγκεντρωτή. Όμως, το υψηλό ποσοστό διακοπής ζεύξης και το ενδεχόμενο της μειωμένης ταχύτητας μετάδοσης αυξάνει την καθυστέρηση μετάδοσης δεδομένων και επηρεάζει αρνητικά στην αξιοπιστία των δεδομένων και των υπηρεσιών.

4.1.6 Ethernet

Η τεχνολογία Ethernet ή IEEE 802.3 έχει καθιερωθεί ως η ενσύρματη τεχνολογία επικοινωνιών για τη δικτύωση Η/Υ και έξυπνων συσκευών. Με βάση το IEEE 802.3 έχουν προτυποποιηθεί τεχνολογίες επικοινωνιών που υποστηρίζουν ποικιλία ρυθμών μετάδοσης σε διάφορες αποστάσεις. Οι ρυθμοί δεδομένων ξεκινούν από τα 10Mbps και φθάνουν μέχρι τα 10Gbps. Η απόσταση σύνδεσης ξεκινά από 100m, χρησιμοποιώντας χάλκινο καλώδιο, και φθάνει μέχρι 80km με χρήση οπτικών ινών. Προτείνεται για τη σύνδεση τοπικών υπολογιστών με το MDMS στο δίκτυο κορμού, αλλά και, κατά περίπτωση, για τη σύνδεση συγκεντρωτών με MDMS.

Πλεονεκτήματα: Οι διάφορες εκδόσεις τεχνολογιών IEEE 802.3 χαρακτηρίζονται από ωριμότητα καθώς χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο σε τοπικά δίκτυα WLANs όσο και σε δίκτυα ευρείας γεωγραφικής κάλυψης WANs. Επομένως, το κόστος εγκατάστασης δεν είναι υψηλό ενώ η εγκατάσταση του εξοπλισμού είναι εύκολη.

Μειονεκτήματα: Λόγω της φύσης του ΣΕΜ, που αποτελείται από εκατομμύρια έξυπνους μετρητές και χιλιάδες συγκεντρωτές, η εξ ολοκλήρου εφαρμογή της ενσύρματης τεχνολογίας IEEE 802.3 είναι ανέφικτη. Για το λόγο αυτό η χρήση περιορίζεται σε δικτύωση MDMS με τοπικά κέντρα ελέγχου ή με μικρό ποσοστό συγκεντρωτών και με υπολογιστές άλλων συστημάτων (π.χ SCADA-EMS), εξυπηρετώντας συγκεντρωμένους μεγάλους όγκους δεδομένων.

4.1.7 BroadBand Power Line Communication (BB-PLC)

Είναι η ενσύρματη τεχνολογία που χρησιμοποιεί τα καλώδια μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικού ρεύματος. Το πρότυπο ευρείας ζώνης PLC χρησιμοποιεί τη φασματική ζώνη 2-100MHz παρέχοντας, θεωρητικά, ρυθμούς δεδομένων μέχρι 1Gbps σε απόσταση μέχρι 1.5km. Σε πιλοτικά τηλεπικοινωνιακά συστήματα ο ρυθμός μετάδοσης κυμαίνεται από 7-40Mbps. Η τεχνολογία BB-PLC επί της MT προτείνεται για την επικοινωνιακή διασύνδεση συγκεντρωτών με τοπικούς υπολογιστές που είναι εγκατεστημένοι σε υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ.

Πλεονεκτήματα: Μεγάλο πλεονέκτημα είναι η ύπαρξη των καλωδίων ισχύος, που εξοικονομούν για τις εταιρίες ηλεκτρισμού το κόστος εγκατάστασης τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Επίσης, παρέχεται μεγάλη γεωγραφική κάλυψη. Η εγκατάσταση ενός δικτύου PLC στο δίκτυο πρόσβασης απαλλάσσει τις εταιρίες ηλεκτρισμού από το κόστος ενοικίασης και χρήσης δικτυακού εξοπλισμού και της αποκλειστικής εξάρτησης από διαχειριστές άλλων δικτύων επικοινωνιών.

Μειονεκτήματα: Όπως αναφέρθηκε και στην αντίστοιχη παράγραφο του κεφ.3, το καλώδιο ισχύος χαρακτηρίζεται από έντονο θόρυβο και προκαλεί παραμόρφωση και εξασθένηση. Επιπλέον, η τοπολογία του ενεργειακού δικτύου είναι σύνθετη, καθώς εμφανίζει δακτυλίους, ανοικτοκυκλώματα και διακλαδώσεις. Η ύπαρξη διακλαδώσεων προκαλεί το φαινόμενο της πολυδιαδρομικής διάδοσης. Παράλληλα, η ύπαρξη διακοπών και μετασχηματιστών αυξάνει περαιτέρω τις ανακλάσεις. Κατά συνέπεια, το περιβάλλον διάδοσης PLC σήματος είναι ιδιαίτερα επιβαρυνμένο προκαλώντας αυξημένη πιθανότητα λανθασμένης μετάδοσης πακέτων. Για τους ανωτέρω λόγους, κατά τη λειτουργία ενός PLC δικτύου και σε περίπτωση μη διαθεσιμότητας, οι συγκεντρωτές πρέπει να διαθέτουν εναλλακτική τεχνολογία επικοινωνίας, ενδεχομένως αξιοποιώντας δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Τέλος, σε περιπτώσεις όπου η τοπολογία του δικτύου MT επιτρέπει εναλλακτικές διαδρομές για την επικοινωνία μεταξύ δύο κόμβων, έχουν διατυπωθεί πρωτόκολλα που προωθούν δεδομένα ανάλογα με την κατάσταση του διαύλου επικοινωνίας. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται στοιχεία λειτουργίας των δύο προτύπων BB-PLC.

4.2 Αξιοποίηση υπάρχουσας τηλεπικοινωνιακής υποδομής

Η ύπαρξη εγκατεστημένων τηλεπικοινωνιακών υποδομών είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα για την ανάπτυξη ΣΕΜ. Εκτός από τη μείωση του κόστους εγκατάστασης, αυξάνεται η γεωγραφική κάλυψη του ΣΕΜ ενώ μειώνεται και ο χρόνος υλοποίησης του

	ITU-T G.hn	IEEE 1901 FFT-PHY	IEEE 1901 Wavelet-PHY
Ζώνη Συχνοτήτων	2-25 MHz, 2-50 MHz, 2-100 MHz	2-30 MHz, 2-48 MHz, 2-60 MHz	2-28 MHz, 2-60 MHz
Μέγιστος Ρυθμός Μετάδοσης	1 Gbps	545 Mbps	544 Mbps
OFDM	Windowed 20148,4096 φέροντα	FFT 3072, 6144 φέροντα	Wavelet 512, 1024 φέροντα
FEC	QC-LDPC	Turbo convolutional code	RS,RS-CC,LDPC
Διαμόρφωση	BPSK, QPSK, 8/16/64/256/1024/4096 QAM	BPSK, QPSK, 8/16/64/256/1024/4096 QAM	BPSK, 4/8/16/32 -PAM
Contention-based MAC scheme	CSMA/CA (4 επίπεδα προτεραιοτήτων)	CSMA/CA (4 επίπεδα προτεραιοτήτων)	CSMA/CA (8 επίπεδα προτεραιοτήτων)
Contention-free MAC scheme	TDMA	TDMA	TDMA

Πίνακας 4.1: Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών των πρωτοκόλλων επικοινωνίας BB-PLC

έργου, αφού δεν είναι αναγκαίο να εγκατασταθεί νέος εξοπλισμός στο δίκτυο μεταφοράς και κορμού. Σε κάθε περίπτωση, είναι διαθέσιμα τρία δίκτυα:

- Το τηλεφωνικό δίκτυο
- Το δίκτυο κινητών επικοινωνιών
- Το δίκτυο διανομής ΗΕ

Τεχνολογία Επικοινωνιών	Ρυθμοί Μετάδοσης (βέλτιστες τιμές)	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών (GPRS/3G/4G)	GPRS:56-170 Kbps 3G:2 Mbps 4G : 50 -100 Mbps	Κύρια τεχνολογία για εφαρμογές SG, υψηλά επίπεδα ασφαλείας	Υψηλή καθυστέρηση μετάδοσης. Μεσολάβηση τρίτων παρόχων
IEEE 802.11 (WiFi)	100 Mbps	Εύκολη εγκατάσταση, μειωμένο κόστος.	Μειωμένη επεκτασιμότητα και αξιοπιστία
IEEE 802.3(Ethernet)	100 Mbps- 1 Gbps	Εύκολη εγκατάσταση, μειωμένο κόστος	Μειωμένη επεκτασιμότητα
IEEE 802.16 (WiMAX)	300 Mbps	Ευρεία κάλυψη, επεκτασιμότητα, Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης	Χρήση μη αδειοδοτημένων φασματικών ζωνών
Fiber Optic	40- 1600 Gbps	Χωρητικότητα, αξιοπιστία, ασφάλεια	Κόστος, μειωμένη διείσδυση σε αγροτικές περιοχές
xDSL	52 Mbps	Εύκολη εγκατάσταση, ευρυζωνικότητα	Δίκτυο δημόσιας πρόσβασης, μειωμένος ρυθμός δεδομένων όσο αυξάνεται η απόσταση συσκευής-DSLAM, εξάρτηση από τρίτους παρόχους, προβλήματα συμφόρησης
PLC(NB/BB-PLC)	NB-PLC: 1 Mbps BB-PLC: 1Gbps	Εγκατεστημένη υποδομή, ανεξαρτησία από τρίτους παρόχους	Κακό φυσικό περιβάλλον μετάδοσης σημάτων
IEEE 802.15.4 (ZigBee/ 6LoWPAN)	250 Kbps	Υψηλή αξιοπιστία, υποστήριξη πολλών κόμβων, μεγάλο χρονικό διάστημα αυτονομίας	Πολύ μικρή εμβέλεια, μειωμένη υπολογιστική ικανότητα

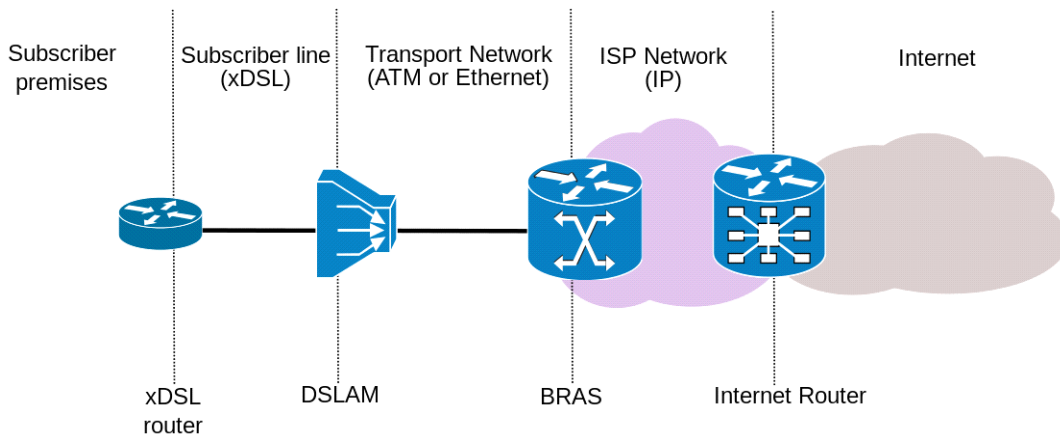
Πίνακας 4.2: Συγκεντρωτικός πίνακας διαθέσιμων τεχνολογιών επικοινωνιών ενός ΣΕΜ

4.2.1 Τηλεφωνικό δίκτυο και πρόσβαση στο Διαδίκτυο

Η χρήση του τηλεφωνικού δικτύου αποτελεί δυνητική επιλογή για τη δικτύωση των δομικών στοιχείων του ΣΕΜ. Το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο προσφέρει εξαιρετικά υψηλή πληθυσμιακή κάλυψη. Το δίκτυο πρόσβασης του τηλεφωνικού δικτύου αποτελεί τον κύριο τρόπο πρόσβασης στο Διαδίκτυο. Το δίκτυο πρόσβασης αποτελείται στο μεγαλύτερο ποσοστό του από χάλκινα καλώδια, για την εξυπηρέτηση τηλεφωνικών υπηρεσιών (PSTN) και υπηρεσιών Διαδικτύου. Η χρήση της τεχνολογίας xDSL στο δίκτυο πρόσβασης σε συνδυασμό με τη χρήση των τεχνολογιών οπτικών ινών, IEEE 802.3 και ATM στο δίκτυο μεταφοράς και κορμού προσφέρουν άμεση πρόσβαση στο Διαδίκτυο με περίσσεια τηλεπικοινωνιακών πόρων.

Μέσω του διαδικτύου προσφέρεται η δυνατότητα σύνδεσης μετρητών-συγκεντρωτών (xDSL), μετρητή-MDMS, συγκεντρωτή-MDMS (xDSL ή fiber optic τεχνολογία πρόσβασης) ή τοπικών κέντρων ελέγχου με MDMS (fiber optic ή Ethernet τεχνολογία πρόσβασης). Το τηλεφωνικό δίκτυο, και κατ' επέκταση το Διαδίκτυο προσφέρουν, υψηλή χωρητικότητα και υψηλές ταχύτητες μετάδοσης, ικανές να ικανοποιήσουν τον όγκο δεδομένων για το σύνολο των υπηρεσιών του ΕΔ. Ο ασφαλής τρόπος διασύνδεσης των δομικών στοιχείων γίνεται με διάφορες μεθόδους όπως ο σχηματισμός Εικονικών Ιδιωτικών Δικτύων (VPN) ή η μέθοδος ετικέτας πολλαπλών πρωτοκόλλων (MPLS). Οι μέθοδοι αυτές θα παρουσιαστούν στην παράγραφο 4.6.

Επιπλέον, έχει προταθεί η μίσθωση ενός ποσοστού του εξοπλισμού και των συνδέσεων των παρόχων υπηρεσιών Διαδικτύου, ώστε να δημιουργηθεί ένα ιδιωτικό δίκτυο πρόσβασης και μεταφοράς στο Διαδίκτυο. Συγκεκριμένα, οι πάροχοι υπηρεσιών μπορούν να μισθώσουν στις εταιρίες ηλεκτρισμού αποκλειστικές συνδέσεις για μετρητές και συγκεντρωτές στο δίκτυο πρόσβασης και μεταφοράς, καθώς και αποκλειστικούς δρομολογητές για τη διαχείριση της κίνησης δεδομένων του ΣΕΜ. Η μίσθωση συνδέσεων και εξοπλισμού συνδυάζεται και με μεθόδους δημιουργίας ιδιωτικών δικτύων στο δημόσιο Διαδίκτυο (βλέπε ενότητα 4.6), με στόχο την αποκλειστική σύνδεση με το MDMS. Έτσι, προσφέρεται περισσότερη ασφάλεια, απομόνωση των δεδομένων από άλλες διαδικτυακές υπηρεσίες, καθώς και εγγυημένος ρυθμός μετάδοσης και εγγυημένη QoS. Όμως, μια τέτοια επιλογή θα έχει αντίκτυπο στο κόστος ανάπτυξης ενός AMI.



Σχήμα 4.2: Απλοποιημένη μορφή δικτύου πρόσβασης και μεταφοράς στο Διαδίκτυο με αξιοποίηση τηλεφωνικού δικτύου

Subscriber Premises: Χώρος Συγκεντρωτή

Subscriber Lines: Γραμμές πελατών

Transport network: ATM Δίκτυο Μεταφοράς

Internet Service Provider (ISP) Network: Δίκτυο Πάροχου Υπηρεσιών

xDSL router: Οικιακός δρομολογητής DSL

Digital Subscriber Line Access Multiplexer (DSLAM): Πολυπλέκτης συνδέσεων xDSL

Broadband Remote Access Server (BRAS): Ευρυζωνικός Εξυπηρετητής Απομακρυσμένης Πρόσβασης

Internet Router: Δρομολογητής Διαδικτύου

4.2.2 Δίκτυα κινητών επικοινωνιών

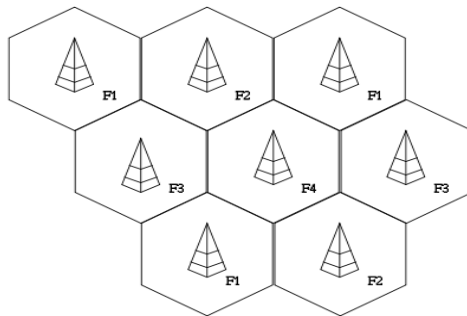
Η υποδομή των δικτύων κινητών επικοινωνιών αποτελεί την επικρατέστερη επιλογή για τη διαμόρφωση ενός μεγάλου ποσοστού της εξελεγμένης μετρητικής υποδομής. Όπως τονίστηκε και σε προηγούμενες ενότητες, τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών προσφέρουν μεγάλη γεωγραφική κάλυψη, κλιμακωτούς ρυθμούς μετάδοσης, ενώ απαλλάσσουν τις εταιρίες ηλεκτρισμού από ένα ποσοστό του κόστους εγκατάστασης δικτυακού εξοπλισμού.

Η χρήση των δικτύων κινητών επικοινωνιών μπορεί να διασυνδέσει αποτελεσματικά:

- Μία ομάδα έξυπνων μετρητών με τον αντίστοιχο συγκεντρωτή αξιοποιώντας το δίκτυο πρόσβασης των δικτύων κινητών επικοινωνιών.

- Τη σύνδεση συγκεντρωτών με το MDMS ή τα αντίστοιχα τοπικά κέντρα, αξιοποιώντας το δίκτυο πρόσβασης, το δίκτυο μεταφοράς και το δίκτυο κορμού των δικτύων κινητών επικοινωνιών.
- Τη σύνδεση έξυπνων μετρητών με το MDMS ή τους τοπικούς υπολογιστές.

Το δίκτυο πρόσβασης των δικτύων κινητών επικοινωνιών αποτελείται από ένα σύνολο κυψελών, δηλαδή περιοχών που εξυπηρετούνται από κοινό σταθμό βάσης. Γειτονικοί σταθμοί βάσης χρησιμοποιούν διαφορετικές ζώνες του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων, μετά από συγκεκριμένες αποστάσεις το διαθέσιμο φάσμα αναχρησιμοποιείται από άλλες ομάδες σταθμών βάσης. Με το σχηματισμό κυψελωτών δικτύων πρόσβασης, επιτυγχάνεται βέλτιστη αξιοποίηση του φάσματος συχνοτήτων αφού οι δίαυλοι επικοινωνίας αναχρησιμοποιούνται. Επίσης, η ισχύς εκπομπής των κεραιών των σταθμών βάσης και των κινητών συσκευών είναι μειωμένη.

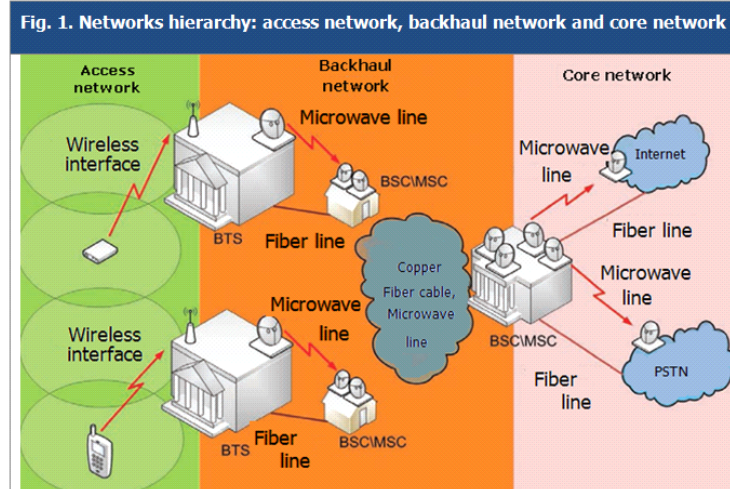


Σχήμα 4.3: Κυψελωτή δομή δικτύου πρόσβασης κινητών επικοινωνιών

Η ακτίνα κάλυψης ενός σταθμού βάσης εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιεί. Για παράδειγμα, στην τεχνολογία GSM υποστηρίζεται ακτίνα κάλυψης μέχρι 35km. Οι νεότερες τεχνολογίες κινητών επικοινωνιών χρησιμοποιούν μικροκυματικές φάσματικές περιοχές (GHz), γεγονός που μειώνει τις διαστάσεις των κυψελών.

Στο δίκτυο μεταφοράς και κορμού των κυψελωτών δικτύων κινητών επικοινωνιών χρησιμοποιούνται τεχνολογίες επικοινωνιών με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, όπως δίκτυα οπτικών ινών και μικροκυματικές ζεύξεις.

Μία σημαντική δυνατότητα που χαρακτηρίζει τα δίκτυα GPRS/EDGE, UMTS, HSPA, LTE είναι η διασύνδεση τους με το Διαδίκτυο. Τα υψηλά επίπεδα ασφαλείας στο δίκτυο πρόσβασης των κυψελωτών δικτύων και οι τεχνικές ασφαλούς διαδικτυακής επικοινωνίας (βλ. παράγραφο 4.7) προσφέρουν πολύ αξιόπιστη διασύνδεση των δομικών στοιχείων του AMI.



Source: Communications and Networks, Telecom

Σχήμα 4.4: Τεχνολογίες επικοινωνιών στο δίκτυο πρόσβασης, μεταφοράς και κορμού δικτύων κινητών επικοινωνιών

Από τα προηγούμενα γίνεται κατανοητό ότι, η αξιοποίηση των δικτύων κινητών επικοινωνιών προσφέρει ένα σημαντικό υπόβαθρο για την άμεση εξάπλωση του συστήματος έξυπνης μέτρησης, καθώς προσφέρεται αξιοπιστία, ασφάλεια, επεκτασιμότητα και κλιμακωτά επίπεδα QoS.

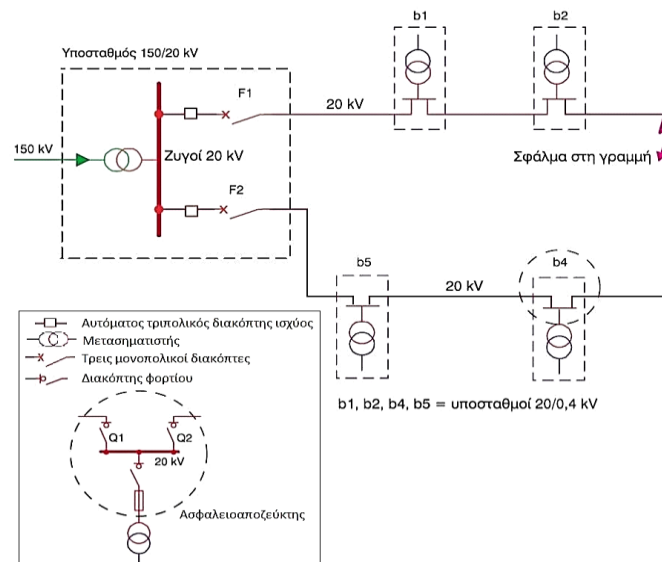
4.2.3 Δίκτυο διανομής ΗΕ

Η τεχνολογία PLC που επιτυγχάνει την αξιοποίηση των καλωδίων ισχύος για τη μετάδοση δεδομένων, προσφέρεται για υλοποίηση της τηλεπικοινωνιακής υποδομής στο δίκτυο MT του ΗΔ. Με την αξιοποίηση του δικτύου διανομής ΧΤ και ΜΤ για την μετάδοση υψίσυχνου διαμορφωμένου σήματος, οι εταιρίες ηλεκτρισμού εξοικονομούν ένα μέρος του κόστους εγκατάστασης του AMI, ενώ δεν είναι πλήρως εξαρτημένες από εταιρίες κινητής τηλεφωνίας και εταιρίες παροχών υπηρεσιών Διαδικτύου. Σε προηγούμενες παραγράφους έχουν παρουσιαστεί συνοπτικά οι τεχνολογίες NB-PLC και BB-PLC και τα χαρακτηριστικά που τις διέπουν. Με τη χρήση των συγκεκριμένων τεχνολογιών είναι εφικτή:

- Η σύνδεση μιας ομάδας έξυπνων μετρητών με τον αντίστοιχο συγκεντρωτή που είναι εγκατεστημένος στο Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ.
- Η σύνδεση μιας ομάδας συγκεντρωτών με ένα τοπικό κέντρο ελέγχου που είναι εγκατεστημένο στον υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ.

Το δίκτυο διανομής αποτελείται από το δίκτυο ΜΤ και ΧΤ για τη διανομή ΗΕ από τους υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ στους τελικούς καταναλωτές. Επίσης, στο δίκτυο διανομής είναι εγκατεστημένοι και Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ 40kV/0.4kV. Τα καλώδια ηλεκτρικής ισχύος είναι είτε εναέρια είτε υπόγεια. Οι καταναλωτές συνδέονται είτε στο δίκτυο ΜΤ με τάση 20 kV είτε στο δίκτυο ΧΤ με πολική τάση 380V.

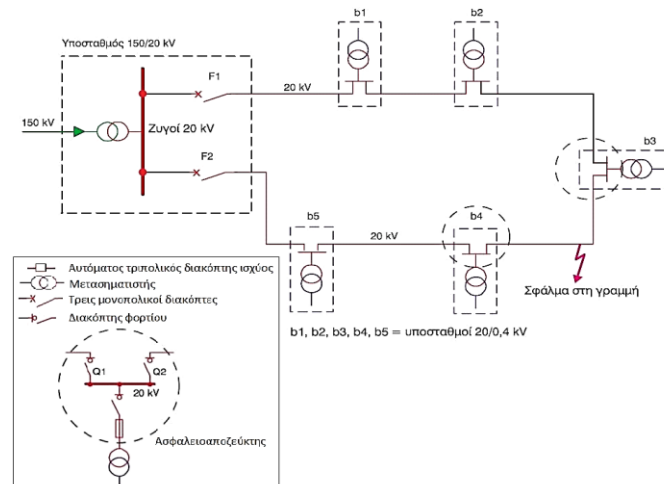
Η τοπολογία των δικτύων διανομής ΜΤ και ΧΤ είναι είτε ακτινική (τοπολογία αστέρα) είτε βροχοειδής (ανοιχτός βρόχος). Κατά την ακτινική τοπολογία, οι γραμμές ΜΤ αναχωρούν από τον υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ χωρίς να συνδέονται μεταξύ τους. Κατά μήκος κάθε γραμμής ΜΤ είναι εγκατεστημένοι είτε Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ για τη διασύνδεση με το δίκτυο ΧΤ είτε καταναλωτές μέσης τάσης (π.χ βιοτεχνίες). Σε περίπτωση σφάλματος κατά μήκος μίας γραμμής ΜΤ, ο διακόπτης ισχύος της γραμμής ανοίγει με αποτέλεσμα να διακόπτεται η παροχή ισχύος σε όλη την γραμμή. Το ανωτέρω φαινόμενο αποτελεί το βασικό μειονέκτημα της ακτινικής τοπολογίας.



Σχήμα 4.5: Ακτινική τοπολογία δικτύου ΜΤ. Κατά μήκος κάθε γραμμής συνδέονται Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ ή καταναλωτές ΜΤ. Στην αναχώρηση κάθε γραμμής ΜΤ υπάρχει αυτόματος διακόπτης ισχύος για την απομόνωση της γραμμής σε περίπτωση σφάλματος

Όταν το δίκτυο διανομής είναι βροχοειδές, οι γραμμές των 20kV που αναχωρούν από κάποιο υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ σχηματίζουν κλειστό βρόχο που καταλήγει ξανά σε Μ/Σ των 20kV/0.4kV. Σε αυτή την περίπτωση, κάθε γραμμή (αναχώρηση) ΜΤ τερματίζει στον ίδιο ή σε άλλο Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ. Κάθε βρόχος προστατεύεται από δύο διακόπτες ισχύος, ενώ κατά μήκος της γραμμής ΜΤ υπάρχουν και επιπλέον διακόπτες ισχύος οι οποίοι είναι ανοιχτοί σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας. Δηλαδή, σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας ο βρόχος είναι ανοιχτός και αποτελείται από δύο

αναχωρήσεις ΜΤ και κάθε Μ/Σ ΜΤ τροφοδοτείται από μία αναχώρηση ΜΤ. Σε περιπτώσεις σφάλματος, οι ανοιχτοί διακόπτες κλείνουν ώστε οι Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ να τροφοδοτούνται από εναλλακτική αναχώρηση ΜΤ.



Σχήμα 4.6: Τοπολογία ανοιχτού βρόχου δικτύου ΜΤ, όπου οι Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ τροφοδοτούνται από δύο Υποσταθμούς. Στην αναχώρηση κάθε γραμμής ΜΤ υπάρχει αυτόματος διακόπτης ΜΤ για την απομόνωση της γραμμής ΜΤ σε περίπτωση σφάλματος

Τα ποσοτικά μεγέθη του ελληνικού ΔΔ στο τέλος του 2011 είναι τα εξής :

- 107.500 χλμ. Δίκτυο ΜΤ (ΜΤ).
 - 121.400 χλμ. Δίκτυο ΧΤ (ΧΤ).
- Συνολικά 228.900 χλμ. Δικτύου.
- 160.000 Υποσταθμοί ΜΤ προς ΧΤ (Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ).
 - 7.503.265 Πελάτες (10.147 ΜΤ & 7.493.118 ΧΤ).

4.3 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 και ο

χαρακτηρισμός της γίνεται με βάση την πυκνότητα των ευφυών μετρητών, κατ' αναλογία της πυκνότητας των κατοίκων. Στον Πίνακα 4.3 εμφανίζεται ο χαρακτηρισμός κάθε περιοχής ανάλογα με την πυκνότητα ευφυών μετρητών.

Περιοχή	Ενδεικτική Πυκνότητα Ευφυών Μετρητών (EM)
Αστική	>2000 EM/km ²
Ημιαστική	800 EM/km ²
Αγροτική	10 EM/km ²

Πίνακας 4.3: Χαρακτηρισμός περιοχής βάσει πυκνότητας EM

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 πολυόροφα 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 προκαλέσει 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 προκαλέσει 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 πολυόροφα κτίρια στο κέντρο της πόλης και μονοκατοικίες στην περιφέρεια. Η πληθυσμιακή πυκνότητα ανέρχεται σε μερικές εκατοντάδες κατοίκους ανά km². 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 km². Η οικοδομική δραστηριότητα είναι περιορισμένη διατηρώντας αμετάβλητα τα πολεοδομικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά.

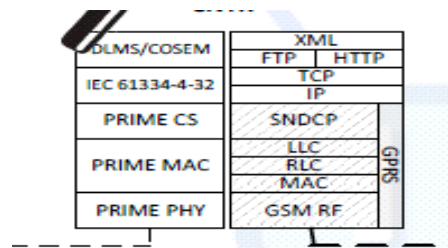
4.4 Διασύνδεση δικτύου πρόσβασης με δίκτυο μεταφοράς

Το δίκτυο ευφύων μετρητών είναι ένα ιεραρχικό δίκτυο επικοινωνιών με χρήση διαφορετικών τεχνολογιών επικοινωνιών σε κάθε υποδίκτυο. Η αρχιτεκτονική αυτή προσφέρει περίσσεια διαύλων επικοινωνίας για το μεγάλο αριθμό των έξυπνων μετρητών, διαθέσιμο εύρος ζώνης και ρυθμούς δεδομένων, ευελιξία και επεκτασιμότητα κατά την αποστολή με χρήση πολλών εναλλακτικών διαδρομών μετάδοσης. Η χρήση ώριμων τεχνολογιών επικοινωνίας προσφέρει μεγαλύτερη αξιοπιστία και ασφάλεια.

Το σημείο κλειδί για την ορθή λειτουργία του ιεραρχικού δικτύου είναι ο συγκεντρωτής. Ο συγκεντρωτής αποτελεί τόσο στοιχείο του δικτύου πρόσβασης (NAN) όσο και του δικτύου μεταφοράς (WAN). Για το λόγο αυτό, στο συγκεντρωτή πρέπει να αναπτύσσονται λειτουργίες για τη βέλτιστη διασύνδεση των δύο δικτύων με την ορθή μετάφραση πρωτοκόλλων (protocol translation).

Η γεφύρωση των πρωτοκόλλων (cross layer) ασχολείται με λειτουργίες όπως η

προσαρμογή της κίνησης των δεδομένων από το δίκτυο πρόσβασης στο δίκτυο μεταφοράς (και αντίστροφα) και η παράλληλη ικανοποίηση των παραμέτρων ποιότητας που ορίζει κάθε υπηρεσία. Σε περίπτωση όπου ο συγκεντρωτής αναπτύσσει επικοινωνία σε όλα τα επίπεδα του OSI (layer 1-7), υλοποιείται και η διασύνδεση της επικοινωνίας μετρητών-MDMS σε επίπεδο εφαρμογών. Σκοπός της σωστής γεφύρωσης πρωτοκόλλων είναι η διαφανής (seamless communication) επικοινωνία μεταξύ των δομικών στοιχείων του υβριδικού/ιεραρχικού δικτύου ευφών μετρητών.



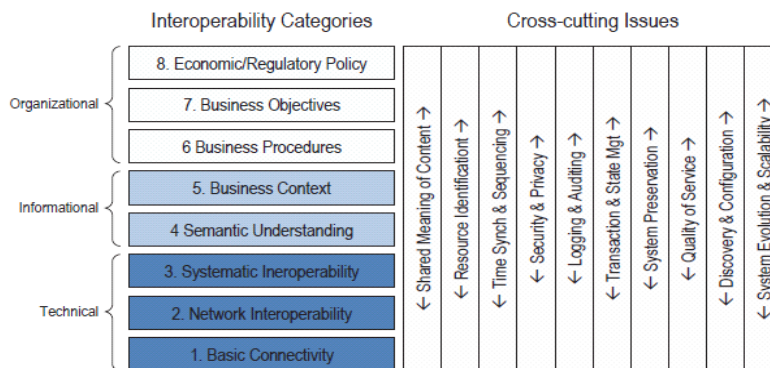
Σχήμα 4.7: Παράδειγμα γεφύρωσης δικτύου πρόσβασης PLC και δικτύου μεταφοράς GPRS

4.5 Διαλειτουργικότητα

Η υλοποίηση του ΣΕΜ εμφανίζει μια σειρά από προκλήσεις, μια από αυτές είναι η διαλειτουργικότητα (interoperability) των επιμέρους δικτύων που αποτελούν τμήματα του ιεραρχικού και υβριδικού συστήματος ευφών μετρητών. Σύμφωνα με τον NIST, ο όρος διαλειτουργικότητα προσδιορίζεται ως "η ικανότητα δύο ή περισσότερων δικτύων, συστημάτων, συσκευών, εφαρμογών να ανταλλάσσουν και να χρησιμοποιούν άμεσα δεδομένα με ασφάλεια, αποτελεσματικότητα, με μικρή ή καθόλου ενόχληση στους χρήστες." Η διαλειτουργικότητα επιτρέπει σε διαφορετικές οντότητες να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να λαμβάνουν προκαθορισμένες αποφάσεις ανάλογα με τις πληροφορίες. Για να υπάρχει διαλειτουργικότητα πρέπει οι έξυπνες συσκευές να ικανοποιούν μια σειρά από επίσημους όρους και πρότυπα. Υπάρχουν τρία σύνολα επιπέδων διαλειτουργικότητας, το τεχνικό, το πληροφοριακό και το οργανωτικό.

Για κάθε επίπεδο διαλειτουργικότητας προσδιορίζεται ένα σύνολο κανόνων λειτουργίας. Στα επόμενα, θα παρουσιαστούν ενδεικτικοί κανόνες λειτουργιών σε όλα τα επίπεδα διαλειτουργικότητας. Για παράδειγμα, χαρακτηριστικοί κανόνες λειτουργιών είναι η κατανομή πόρων και ο καθορισμός της απ' άκρο σ' άκρο δικτυακής διαδρομής των δεδομένων κάθε συσκευής, η ικανότητα διατήρησης ιστορικού για τον

έλεγχο και την πρόσβαση στο δίκτυο κάθε συσκευής και η ικανότητα διαχείρισης των συσκευών. Επίσης, προσδιορίζεται ο προκαθορισμός των απαιτήσεων σε τηλεπικοινωνιακούς πόρους για την εκπλήρωση πολλών επιπέδων QoS. Επιπλέον, προσδιορίζεται ο τρόπος ανίχνευσης μιας υπηρεσίας και πώς τα στοιχεία του ιεραρχικού δικτύου θα διαμορφώσουν την λειτουργία τους για να τη ικανοποιήσουν, ενώ προσδιορίζονται λειτουργίες για την εξέλιξη του συστήματος και την επεκτασιμότητα σε επίπεδο υπηρεσιών. Οι ανωτέρω λειτουργίες πρέπει να πραγματοποιούνται από το σύνολο των έξυπνων συσκευών που χρησιμοποιούνται στο AMI, ανεξαρτήτως αν προέρχονται από διαφορετικό κατασκευαστή. Επίσης, οι τεχνικές λειτουργίες πρέπει να υλοποιούνται ανεξαρτήτως των τεχνολογιών επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στα υποδίκτυα του AMI.



Σχήμα 4.8: Κοινές λειτουργίες στο σύνολο των επιπέδων διαλειτουργικότητας

Σε ένα δίκτυο AMI, στόχος είναι οι έξυπνες συσκευές να έχουν πάντα διαθέσιμη πρόσβαση, τα υποδίκτυα να συνεργάζονται βέλτιστα για την αμφίδρομη ροή πληροφορίας και να υπάρχει αρμονική συνύπαρξη υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις σε QoS.

Συμπερασματικά, η διαλειτουργικότητα αναφέρεται στην αρμονική συνεργασία και διασύνδεση διαφορετικών συστημάτων και συσκευών κατά την αμφίδρομη ανταλλαγή δεδομένων προς εξυπηρέτηση των υπηρεσιών του ΕΔ.

4.6 Επίπεδο Δικτύου στο Δίκτυο Ευφύων Μετρητών

Στο παρόν και στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τεχνολογίες

επικοινωνιών που αναφέρονται στο φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (layer 1-2) του μοντέλου OSI. Όντας συμβατό με το σύνολο των τεχνολογιών επικοινωνιών, το πρωτόκολλο διαδικτύου (Internet Protocol-IP) αναπτύσσεται στο επίπεδο δικτύου (layer 3). Με τις εκδόσεις του IP (Ipn4 και Ipn6) εξασφαλίζεται επικοινωνία σε λογικό επίπεδο μεταξύ έξυπνων μετρητών, συγκεντρωτών, τοπικών κέντρων ελέγχου και MDMS. Εκτός από πρόσβαση στο Διαδίκτυο, με το IP μπορεί να υλοποιηθεί ένα ιδιωτικό δίκτυο για αποκλειστική διασύνδεση των στοιχείων του AMI, παρέχοντας ακεραιότητα δεδομένων και προστασία από κακόβουλες επιθέσεις.

Λόγω του υψηλού κόστους δημιουργίας ενός ευρύτερου αμιγώς ιδιωτικού δικτύου (Private-WAN) υπάρχουν δύο μέθοδοι υλοποίησης ιδιωτικού δικτύου με χρήση εξοπλισμού του Διαδικτύου. Είναι η μέθοδος ετικέτας πολλαπλών πρωτοκόλλων (MPLS) και δημιουργία εικονικών ιδιωτικών δικτύων (VPN).

Με τη μέθοδος MPLS (layer 2 & 3) προσαρτώνται ετικέτες σε πακέτα διαφόρων πρωτοκόλλων επιπέδου δικτύου (π.χ. IP) και γίνεται μεταγωγή (όχι δρομολόγηση) με βάση την ετικέτα και όχι τη διεύθυνση δικτύου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, δημιουργούνται εικονικές ζεύξεις μεταξύ δύο κόμβων ανεξάρτητες των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται στο στρώμα δικτύου και δημιουργείται ένα εικονικό δίκτυο επικοινωνιών. Παρέχεται αξιοπιστία και σταθερή QoS ανά σύνδεση, αφού αναπτύσσονται ικανοποιητικές μέθοδοι ανίχνευσης και διαχείρισης λαθών. Τα επίπεδα ασφάλειας είναι υψηλά αφού λόγω της ετικέτας διαχωρίζεται η κίνηση δεδομένων AMI.

Ένα VPN είναι η ασφαλής μέθοδος δικτύωσης απομακρυσμένων συσκευών, κατά τρόπο ώστε να εμφανίζονται ως ένα τοπικό δίκτυο (LAN). Η δημιουργία ενός VPN γίνεται με τη βοήθεια διαμεσολαβητών. Ένας υπολογιστής-διαμεσολαβητής βρίσκεται κάπου στο δημόσιο Διαδίκτυο και επικοινωνεί με όλα τα μέλη του VPN. Κάθε συσκευή επικοινωνεί αποκλειστικά με το διαμεσολαβητή και μέσω αυτού ανταλλάσσει IP-διευθύνσεις όλα τα μέλη του VPN. Έτσι, δημιουργούνται συνδέσεις (tunnels) μεταξύ των μελών μέσω του Διαδικτύου. Το τείχος προστασίας κάθε συσκευής, που υλοποιείται μέσω του πίνακα μετάφρασης διευθύνσεων (Network Address Translation -NAT), επιτρέπει μόνο την διακίνηση δεδομένων από και προς τα μέλη του VPN και τους διαμεσολαβητή.

Η δυνατότητα υλοποίησής του από μηδενική βάση προσφέρει δυναμική διαμόρφωση ενός VPN στις περιπτώσεις όπου μεταβάλλεται η κατάσταση των συνδέσεων του διαδικτύου. Ένα VPN δίκτυο προσφέρει ασφάλεια των δεδομένων μέσω κρυπτογράφησης και αξιοπιστία μέσω σταθερών διαδρομών μετάδοσης

(tunneling). Όμως, λόγω της χρήσης του κοινού Διαδικτύου, δεν προσφέρεται εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών.

4.7 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 και μελλοντικών εφαρμογών, όπως άμεση παρακολούθηση του χώρου 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 ΗΕ αποτελεί μια υπηρεσία με ελαστικές απαιτήσεις ως προς καθυστέρηση μετάδοσης. Πακέτα που ενδέχεται να χαθούν λόγω σφάλματος, αδυναμίας επικοινωνίας του μετρητή, ή υπερφόρτωσης του δικτύου, μπορούν να ανακτηθούν από τα MDMS με απευθείας κλήση του κόμβου που παρουσίασε αστοχία.

Η δεύτερη κατηγορία ιεράρχησης της πληροφορίας σχετίζεται με δεδομένα για υπηρεσίες διαχείρισης του ΗΔ. Αυτά μπορεί να εμπεριέχουν εντολές εισόδου–εξόδου δευτερευουσών μονάδων παραγωγής ΗΕ ή DER, απομακρυσμένη διαχείριση συσκευών για εξισορρόπηση φορτίου, κτλ. Επίσης, στην κατηγορία αυτή εντάσσονται και πακέτα με πληροφορία σφαλμάτων, αστοχιών, υπερφόρτωσης και γενικότερα προβλήματα του δικτύου. Τα δεδομένα των υπηρεσιών διαχείρισης συμβάλλουν στην άμεση εποπτεία της λειτουργίας του ΗΔ και στη διατήρηση υψηλού QoS για τους καταναλωτές. Αποτελούν, συνεπώς, υπηρεσίες πραγματικού χρόνου και πρέπει να αντιμετωπίζονται από το δίκτυο επικοινωνιών με τον αντίστοιχο τρόπο. Τα δεδομένα των υπηρεσιών διαχείρισης είναι ευαίσθητα τόσο στην καθυστέρηση όσο και στην αξιοπιστία, ώστε να εξασφαλίζεται το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Οι υπηρεσίες διαχείρισης του ΕΔ απαιτούν ταχεία και αξιόπιστη μεταφορά και επεξεργασία της πληροφορίας από τους ενδιάμεσους κόμβους, ταχείες διαδικασίες στο κέντρο διαχείρισης και άμεση ανατροφοδότηση της πληροφορίας ελέγχου στο ΗΔ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΥΦΥΟΥΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.

5.1 Εισαγωγή

Στόχος των ευφύων μετρητών είναι να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την ενεργειακή κατανάλωση των εκάστοτε καταναλωτών. Οι έξυπνοι μετρητές θα αλλάξουν τις ενεργειακές συνήθειες των καταναλωτών και θα αποτελέσουν ένα αναπόσπαστο τμήμα του ευφυούς δικτύου. Το σύστημα ευφύων μετρητών θα βοηθήσει τους καταναλωτές να εξοικονομούν χρήματα και να συνεισφέρουν στη μείωση των εκπομπών ρυπογόνων προϊόντων του θερμοκηπίου. Επίσης, για τους καταναλωτές δεν θα υπάρχουν πλέον κατ' εκτίμηση λογαριασμοί. Έτσι, οι ίδιοι οι καταναλωτές θα διαχειρίζονται την κατανάλωσή τους και, κατ' επέκταση, το ενεργειακό κόστος. Παράλληλα, θα είναι ευκολότερη η διαδικασία επιλογής παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας, συμβάλλοντας στην απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας. Επιπλέον, οι πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερο εύρος οικονομικών πακέτων-προσφορών, όπως πώληση φθηνότερης ηλεκτρικής ισχύος τις ώρες μειωμένης ζήτησης. Τέλος, ένα σύστημα ευφύων μετρητών θα συνεισφέρει στη βελτίωση της ποιότητας, της ακρίβειας και του εύρους των υπηρεσιών που προσφέρει ένας πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας.

Η υλοποίηση του ΣΕΜ του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. θα ωφελήσει σημαντικά τους πελάτες και τους παρόχους/προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και τον ίδιο το Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. ως διαχειριστή του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται συνοπτικά τα οφέλη για κάθε εμπλεκόμενη οντότητα του στο ΣΕΜ.

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει συνοπτική τεχνική περιγραφή του έργου του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. με τίτλο "Πιλοτικό πρόγραμμα Τηλεμέτρησης και Διαχείρισης της Ζήτησης Παρόχων Ηλεκτρικής Ενέργειας Οικιακών και Μικρών Εμπορικών Καταναλωτών και Εφαρμογής Έξυπνων Δικτύων". Συγκριμένα, θα γίνει η περιγραφή των προδιαγραφών για την ανάπτυξη μιας πιλοτικής AMI για την υλοποίηση της ευφυούς μέτρησης. Στη συνέχεια, θα γίνει παρουσίαση παρόμοιων συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί από ευρωπαϊκές εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας. Στο τρίτο μέρος, θα γίνει αξιολόγηση των προδιαγραφών που θέτει ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. από τηλεπικοινωνιακή σκοπιά. Λεπτομέρειες σχετικά με τη λειτουργία της υποδομής AMI, των βασικών στοιχείων και των σχετικών αρχιτεκτονικών έχουν δοθεί σε σχετικά εδάφια των Κεφ. 1-4.

Εμπλεκόμενη Οντότητα	Οφέλη
Πελάτης	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ενημέρωση πελατών και εξοικονόμηση ενέργειας 2. Ακριβείς μετρήσεις και τιμολογήσεις 3. Καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών 4. Ποικιλία τιμολογίων 5. Έξυπνα σπίτια με διασύνδεση άλλων έξυπνων συσκευών με τον έξυπνο μετρητή 6. Αποφυγή επιτόπιων μετρήσεων
Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Βελτίωση ελέγχου και εποπτείας του ΗΔ 2. Μείωση κόστους λόγω αυτοματοποίησης των εργασιών 3. Ευκολότερος εντοπισμός σφαλμάτων και ρευματοκλοπών 4. Καλύτερος έλεγχος ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος 5. Ενσωμάτωση διασπαρμένης παραγωγής
Πάροχος ΗΕ	<ol style="list-style-type: none"> 1. Βελτιστοποίηση κόστους με μετατόπιση αιχμών ζήτησης ΗΕ 2. Μείωση ισοζυγίου παραγωγής/κατανάλωσης ΗΕ λόγω καλύτερων προβλέψεων 3. Νέες υπηρεσίες, όπως προπληρωμή κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος 4. Πρόσβαση σε μετρητικά δεδομένα για εξειδικευμένους χρήστες

Πίνακας 5.1: Συνοπτική παρουσίαση των κατά περίπτωση οφελών του ελληνικού ΣΕΜ

5.2 Προδιαγραφές δικτύου ευφυών μετρητών

Τα στοιχεία που απαρτίζουν το σύστημα είναι ο έξυπνος ή ευφυής μετρητής (smart meter), το σύστημα διαχείρισης μετρητικών δεδομένων (Metering Data Management System–MDMS), ο συγκεντρωτής (concentrator ή gateway) και ο τοπικός υπολογιστής ή τοπικό MDMS. Κάθε έξυπνος μετρητής θα τοποθετηθεί στην θέση του συμβατικού μετρητή ΗΕ και η θέση του συγκεντρωτή είναι σε υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ. Σημαντικά στοιχεία είναι και οι τεχνολογίες επικοινωνιών στο δίκτυο πρόσβασης, στο δίκτυο μεταφοράς και το δίκτυο κορμού της εξελιγμένης μετρητικής υποδομής.

Η βασική υπηρεσία που υλοποιεί ένα σύστημα ευφυών μετρητών είναι η έγκυρη συλλογή μετρητικών δεδομένων κατανάλωσης των πελατών, η αποθήκευση τους και η επεξεργασία τους για την μηνιαία τιμολόγηση των πελατών. Τα μετρητικά δεδομένα καταγράφονται και αποστέλλονται από τους έξυπνους μετρητές μέσω του AMI στο MDMS. Παράλληλα, υλοποιείται μια σειρά από επιπλέον υπηρεσίες, όπως για παράδειγμα υπηρεσία πολλαπλών τιμολογίων χρονοχρέωσης της ηλεκτρικής ισχύος, ρύθμιση ισχύος, αποστολή μετρητικών δεδομένων από μετασχηματιστές του δικτύου διανομής και από τουλάχιστον 20 σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

5.2.1 Αρχιτεκτονική του συστήματος έξυπνων μετρητών

Η αρχιτεκτονική ενός αυτόματου συστήματος ευφυών μετρητών αφορά την τοπολογία του δικτύου, τους τρόπους διασύνδεσης των μετρητών και της μετάδοσης μετρητικών δεδομένων και άλλων εντολών από και προς τους μετρητές. Η αρχιτεκτονική του συστήματος θα διαμορφωθεί έτσι ώστε να εφαρμοστούν σύγχρονες τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες για τηλεμέτρηση (remote metering), δεδομένων των πλεονεκτημάτων και των αδυναμιών ως προς την πυκνότητα των μετρητών σε αστικές, ημιαστικές και αγροτικές περιοχές. Δηλαδή, κύριος σκοπός της εγκατάστασης του πιλοτικού προγράμματος είναι η τεκμηρίωση της καταλληλότερης επιλογής τεχνολογίας επικοινωνιών και αρχιτεκτονικής του δικτύου AMI με βάση πληθυσμιακά και πολεοδομικά κριτήρια, τα τοπικά χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού δικτύου και την υπάρχουσα τηλεπικοινωνιακή υποδομή.

5.2.2 Διασπορά έξυπνων μετρητών

Για την υλοποίηση του δικτύου ευφυών μετρητών, ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. έχει επιβάλει ένα σύνολο από προδιαγραφές και απαιτήσεις. Το πιλοτικό δίκτυο μετρητών αφορά την άμεση εγκατάσταση, δοκιμή και λειτουργία 170.000 έξυπνων μετρητών, από τους οποίους 140.000 μετρητές είναι μονοφασικοί και 30.000 τριφασικοί. Όμως η διαμόρφωση του ΣΕΜ πρέπει να γίνει για 300.000 έξυπνους μετρητές. Η εγκατάσταση

των έξυπνων μετρητών θα γίνει σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές της Ελλάδος. Επιπλέον, η επιλογή των τεχνολογιών επικοινωνιών θα καθορίζεται σύμφωνα με τα πληθυσμιακά και τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Οι γεωγραφικές περιοχές της χώρα, όπου θα εγκατασταθεί το πιλοτικό σύστημα έξυπνων μετρητών είναι :

- Νομός Ξάνθης
- Νήσος Λέσβος
- Νήσος Λήμνος
- Νήσος Άγιος Ευστράτιος
- Νήσος Λευκάδα

Στις ανωτέρω περιοχές θα γίνει αντικατάσταση όλων των υφιστάμενων συμβατικών μετρητών κατανάλωσης από έξυπνους μετρητές.

- Αθήνα
- Θεσσαλονίκη

Στις ανωτέρω περιοχές θα πραγματοποιηθεί επιλεκτική αντικατάσταση υφιστάμενων μετρητών κατανάλωσης με έξυπνους μετρητές.

Προαιρετικά, στις κατωτέρω Νήσους ενδέχεται να αντικατασταθούν όλοι οι υφιστάμενοι συμβατικοί μετρητές (~30.000 έξυπνοι μετρητές):

- Νήσος Θήρα
- Νήσος Κύθνος
- Νήσος Μήλος

5.2.3 Τεχνολογίες πρόσβασης

Για το δίκτυο πρόσβασης του ΣΕΜ, ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. απαιτεί τη χρήση τεχνολογίας PLC ή τη χρήση των υφιστάμενων δικτύων κινητών επικοινωνιών (GPRS, UMTS, HSPA). Ανά γεωγραφική περιοχή, έκαστη των ανωτέρω τεχνολογιών εφαρμόζεται σε ελάχιστο ποσοστό 20% επί του συνόλου των έξυπνων μετρητών. Στο υπόλοιπο 60% των έξυπνων

μετρητών εφαρμόζεται ελεύθερα η κατά περίπτωση καταλληλότερη από τις ανωτέρω δύο τεχνολογίες επικοινωνιών.

Γεωγραφική Περιοχή	Περιφέρεια ή Νομός / ΟΤΑ	Πλήθος Μετρητών ΧΤ
Ανατολική Μακεδονία - Θράκη	Νομός Ξάνθης	~60,000
Βορείου Αιγαίου	Νομός Λέσβου (Νήσος Λέσβος, νήσος Λήμνος, νήσος Άγιος Ευστράτιος)	~80,000
Νησιά Ιονίου	Νομός Λευκάδας	~20,000
Αθήνα	Αττική	~7,000
Θεσσαλονίκη	Κεντρική Μακεδονία	~3,000
	Σύνολο	~170,000
<i>Προαίρεση</i>		
Κυκλάδες	Νήσος Θήρα	~17,000
	Νήσος Κύθνος	~3,000
	Νήσος Μήλος	~10,000
	Σύνολο	~30,000

Πίνακας 5.2: Γεωγραφική κατανομή έξυπνων μετρητών

5.2.4 Δίκτυο Μεταφοράς και Δίκτυο Κορμού συστήματος έξυπνης μέτρησης

Για την επικοινωνία των συγκεντρωτών με το MDMS στο δίκτυο μεταφοράς μετρητικών δεδομένων, ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. αποδέχεται τις ακόλουθες τεχνολογίες επικοινωνιών :

- Δημόσιο/Ημι-Δημόσιο/Ιδιωτικό Τηλεφωνικό δίκτυο με χρήση PSTN ή DSL ως τεχνολογίες πρόσβασης.
- Δίκτυα κινητών επικοινωνιών, συμπεριλαμβανομένων και των δικτύων LTE και LTE advanced.
- Ημι-δημόσιο/Ιδιωτικό δίκτυο με χρήση τεχνολογιών IEEE 802.11 και IEEE 802.16.
- Μίσθωση δικτύου Ethernet ή οπτικών ινών.
- Δορυφορικές επικοινωνίες.
- Μικροκυματικές ζεύξεις.

5.2.5 Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

Το ΣΕΜ πρέπει να είναι συμβατό με τα αναδυόμενα πρότυπα CENELEC/TC13. Σε επίπεδο δικτύου και μεταφοράς είναι αποδεκτή η στοίβα πρωτοκόλλων επικοινωνίας TCP-UDP/IP. Σε επίπεδο συνόδου, παρουσίασης και εφαρμογής απαιτείται συμβατότητα με το πρότυπο DLMS/COSEM-OBIS. Πιο συγκεκριμένα, το πρωτόκολλο CX1 έχει γίνει αποδεκτό από την CENELEC, διότι εξασφαλίζει διαλειτουργικότητα σε συμμόρφωση σύμφωνα με το πρότυπο EU M/441 για την χρήση του δικτύου ΧΤ ως μέσο επικοινωνίας έξυπνων μετρητών.

Στην περίπτωση χρήσης δικτύων κινητών επικοινωνιών, ο έξυπνος μετρητής επιλέγει την τεχνολογία με τον υψηλότερο διαθέσιμο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Επίσης, ο έξυπνος μετρητής πρέπει να διαθέτει τόσο βαθμίδα PLC όσο και βαθμίδα για δίκτυα κινητών επικοινωνιών, ώστε να υπάρχει δυνατότητα αλλαγής της τεχνολογίας επικοινωνιών (π.χ. από PLC σε 3G) και, επομένως, συνδεσιμότητα σε ενδεχόμενη βλάβη μίας από τις δύο βαθμίδες ή σε ενδεχόμενη απώλεια σύνδεσης λόγω σφάλματος στο δίκτυο ΧΤ.

5.2.6 Θεμελιώδεις λειτουργίες του συστήματος ευφυών μετρητών

Η εγκατάσταση και η ορθή λειτουργία ενός συστήματος AMI αποσκοπεί στην υλοποίηση μιας σειράς λειτουργιών για την εκπλήρωση των υπηρεσιών που απαιτεί ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. Οι σημαντικότερες από τις λειτουργίες αυτές είναι :

- Τηλεμέτρηση ανά τακτά χρονικά διαστήματα (καμπύλη ημερήσιου φορτίου 15 λεπτών). Κάθε έξυπνος μετρητής καταγράφει μετρητικά δεδομένα με συχνότητα 15 λεπτών. Η λήψη μετρητικών δεδομένων από το MDMS γίνεται με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι η μετάδοση του συνόλου των 15λεπτων καταγραφών από τους έξυπνους μετρητές προς το MDMS μια φορά την ημέρα, κατά το χρονικό διάστημα 00.01-08.00, με χρήση του δικτύου κινητών επικοινωνιών. Ο δεύτερος τρόπος είναι η άμεση μετάδοση κάθε 15λεπτης καταγραφής των έξυπνων μετρητών προς το συγκεντρωτή, με χρήση PLC τεχνολογίας. Ο συγκεντρωτής μεταδίδει το σύνολο των 15λεπτων καταγραφών προς το MDMS μια φορά την ημέρα, κατά το χρονικό διάστημα 00.01-08.00.
- Ειδικές τηλεμετρήσεις (Remote special reads).
- Από απόσταση αποσύνδεση και επανασύνδεση (Remote disconnect and reconnect).

- Ενημέρωση των καταναλωτών από οικιακές οθόνες (in-home displays-IEDs).
- Ένταξη τιμολογίων χρονοχρέωσης ή κρίσιμων αιχμών (Time-of-use or critical peak pricing).
- Ρύθμιση ισχύος (capacity regulation).
- Ειδοποίηση απώλειας παροχής (Loss of supply notification).
- Ειδοποίηση παραβιάσεων και σχετικών περιστατικών που μπορούν να διαφοροποιήσουν την κλοπή δεδομένων από μια βλάβη του μετρητή ή πρόβλημα επικοινωνίας.
- Διαχείριση μετρητικών δεδομένων (Meter Data management).
- Γνωστοποίηση των δεδομένων της κατανάλωσης για ένα ή και όλους τους πελάτες.
- Από απόσταση ρύθμιση των μετρητών (Remote configuration of meters).
- Από απόσταση ενημέρωση της περιόδου χρέωσης (Remote update of bill period).
- Χρονικός συγχρονισμός (Time synchronization).
- Από απόσταση ενημέρωση του μετρητικού λογισμικού (Remote update).
- Λειτουργία και διαχείριση δικτύου για συνήθεις δραστηριότητες και συντήρηση.
- Δραστηριότητες επικοινωνίας, λειτουργίας και αναφορών από συγκεκριμένες ομάδες μετρητών.

Η επιλογή των λειτουργιών είναι κρίσιμης σημασίας για τη βέλτιστη λειτουργία του δικτύου ευφυών μετρητών. Για παράδειγμα, λειτουργίες όπως η από απόσταση αποσύνδεση/επανάσυνδεση, οι ειδοποιήσεις για παραβιάσεις και ο έλεγχος ποιότητας είναι κρίσιμες για την αποδοτική λειτουργία του συστήματος ευφυών μετρητών.

5.2.7 Χρήση συστήματος ευφυούς μέτρησης για εξυπηρέτηση άλλων συστημάτων

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφ.1, το σύστημα ευφυούς μέτρησης πρέπει να είναι σχεδιασμένο ώστε να εξυπηρετήσει μελλοντικά και άλλα συστήματα και υπηρεσίες, εκτός της συλλογής δεδομένων κατανάλωσης για τιμολόγηση. Τα δεδομένα,

που μεταδίδονται για τις πρόσθετες υπηρεσίες έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε τηλεπικοινωνιακούς πόρους. Επίσης, η διασύνδεση των συστημάτων γίνεται στο MDMS και δεν υπάρχει απευθείας σύνδεση μετρητών και συγκεντρωτών με άλλες βάσεις δεδομένων. Το σύστημα είναι πιθανό να είναι διασυνδεδεμένο με τα εξής συστήματα :

- Συστήματα Επίβλεψης Ελέγχου και Ανάκτησης Δεδομένων/Διαχείριση Διανομής (Supervisory Control and Data Acquisition/Distribution Management System-SCADA/DMS): Το σύστημα SCADA/DMS λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο και θα επικοινωνεί περιοδικά με επιλεγμένους έξυπνους μετρητές ή συγκεντρωτές που βρίσκονται σε υποσταθμούς του ηλεκτρικού δικτύου. Η υπηρεσία απαιτεί την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση μετάδοσης και μεταφοράς.
- Διαχείριση Διακοπών (Outage Management System-OMS): Το σύστημα MDMS πρέπει να υποστηρίζει ερωτήσεις/αποκρίσεις σε πραγματικό χρόνο από επιλεγμένους έξυπνους μετρητές που θα χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των θέσεων που εμφανίζουν βλάβες. Η υπηρεσία άμεσου εντοπισμού βλαβών απαιτεί την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση μετάδοσης.
- Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα (Geographical Information System -GIS): Το GIS θα αλληλεπιδρά με το MDMS για να παρέχει πληροφορίες διαχείρισης στοιχείων καθώς και λειτουργικές πληροφορίες σχετικά με τις σχέσεις των διαφόρων συστημάτων. Η εξαγωγή δεδομένων θα εκτελείται τουλάχιστον ανά 24 ώρες.
- Σύστημα Τιμολόγησης : Το MDMS θα παρέχει δεδομένα στις εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας ή άλλα συστήματα τιμολόγησης ώστε τα στοιχεία τιμολόγησης να μπορούν να παρουσιαστούν στους καταναλωτές. Η μεγαλύτερη επιτρεπτή συχνότητα συλλογής δεδομένων θα είναι ανά 24 ώρες.
- Πληροφοριακό Σύστημα Πελατών (Customer Information System-CIS): Το CIS θα διασυνδεθεί με το MDMS καθώς και με συστήματα τιμολόγησης για να παρέχει στους καταναλωτές επικαιροποιημένα στοιχεία σχετικά με την ενεργειακή χρήση και πληροφορίες για το λογαριασμό τους. Τα στοιχεία θα λαμβάνονται όποτε απαιτείται.
- Διαχείριση Ροής Εργασίας (Work Flow Management -WFM): Το σύστημα θα έχει πρόσβαση στα δεδομένα του MDMS και θα δέχεται αιτήματα από το MDMS τουλάχιστον μια φορά ανά 24 ώρες.
- Διαχείρισης της Ζήτησης (Demand Response): Το DR θα έχει πρόσβαση στο

MDMS για την αποστολή μηνυμάτων και ενδεχομένως την ειδοποίηση των συγκεντρωτών και των έξυπνων μετρητών για ενδεχόμενη αλλαγή στην κατανάλωση ΗΕ ορισμένων καταναλωτών.

Με βάση τον ανωτέρω κατάλογο, καθορίζεται ο όγκος δεδομένων που θα ανταλλάσσεται, αμφίδρομα και αυτόματα, ανάμεσα στα στοιχεία και στα συστήματα. Επίσης, καθορίζεται και η υπολογιστική ικανότητα των στοιχείων για την αρμονική συνύπαρξη υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Οι δύο ανωτέρω λόγοι επηρεάζουν την επιλογή της τεχνολογίας επικοινωνιών και της αρχιτεκτονικής της AMI.

5.2.8 Επεκτασιμότητα

Κατά τη διαστασιολόγηση ενός ΣΕΜ, πρέπει να ληφθεί υπόψη η μελλοντική επέκταση του AMI τόσο ως προς την εισαγωγή επιπλέον στοιχείων (έξυπνοι μετρητές και συγκεντρωτές) όσο και ως προς την εισαγωγή νέων υπηρεσιών. Το AMI πρέπει να έχει την δυνατότητα να εξυπηρετήσει επιπλέον έξυπνους μετρητές, συγκεντρωτές και τοπικούς υπολογιστές. Επίσης, το AMI πρέπει να μπορεί να αλληλεπιδρά με νέα συστήματα για την εξυπηρέτηση νέων υπηρεσιών. Η δισδιάστατη επεκτασιμότητα μεταφράζεται σε επιπλέον όγκο δεδομένων και πιθανή εισαγωγή υψηλών απαιτήσεων σε QoS, που δεν πρέπει να αγνοηθεί (περιθώριο επεκτασιμότητας). Επί του πρακτέου, στόχος του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. είναι με την εξέλιξη του πιλοτικού συστήματος ευφυών μετρητών να διαμορφωθεί ένα πλήρως λειτουργικό ΣΕΜ, αποτελούμενο από περίπου 7.000.000 έξυπνους μετρητές που θα προσφέρει το σύνολο των υπηρεσιών του ευφυούς δικτύου.

5.2.9 Συμφωνίες Επιπέδου Υπηρεσιών (Service Level Agreement-SLA)

Ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε έχει θέσει μια σειρά από επιθυμητές απαιτήσεις σωστής λειτουργίας του AMI.

- Διατηρήσιμος ρυθμός επιτυχημένης ανάγνωσης έξυπνων μετρητών σε επίπεδο συστήματος άνω του 99%.
- Διατηρήσιμος ρυθμός επιτυχημένης ανάγνωσης διαστημάτων σε επίπεδο συστήματος άνω του 98.6%.

- Εκτέλεση από απόσταση εντολών σύνδεσης /αποσύνδεσης εντός 3 λεπτών.
- Μέγιστη καθυστέρηση (latency) ενός λεπτού για την από απόσταση λήψη δεδομένων από έξυπνους μετρητές (on demand read).
- Ελάχιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στα 4.8 kbps.

5.3 Αντιστοίχιση συστήματος ευφυούς μέτρησης Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. με διεθνή προγράμματα

Στο παρόν εδάφιο θα παρουσιαστεί μια σειρά από ευφυή συστήματα μέτρησης που εμφανίζουν ομοιότητα με το σύστημα ευφυούς μέτρησης που έχει προδιαγράψει ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.

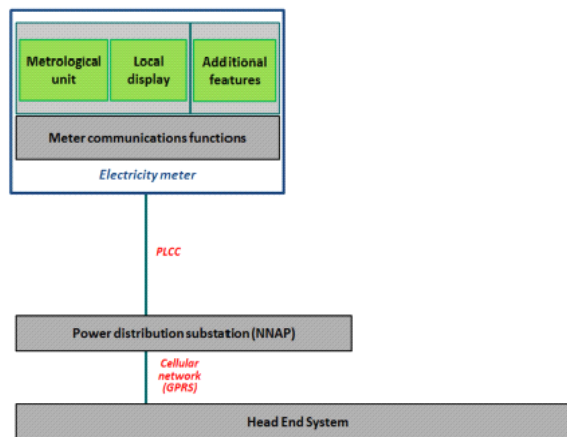
Την τελευταία δεκαετία στην Ευρώπη, υπάρχει έντονη κινητικότητα στην σχεδίαση και ανάπτυξη του ευφυούς δικτύου και στην εγκατάσταση συστημάτων ευφυούς μέτρησης. Έχουν διαμορφωθεί πιλοτικά ΣΕΜ σε χώρες όπως η Ισπανία, η Ιταλία, η Γαλλία, οι Κάτω Χώρες, η Γερμανία και τα σκανδιναβικά κράτη. Στο άμεσο μέλλον, από την τεχνογνωσία που θα υπάρξει από πιλοτικά ΣΕΜ, τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα υλοποιήσουν καθολικά και σε πλήρη λειτουργία ΣΕΜ για την εξέλιξη του ΗΔ σε ΕΔ.

Το μεγαλύτερης έκτασης σύστημα έξυπνης μέτρησης αναπτύχθηκε από την ιταλική εταιρία παροχής ηλεκτρισμού ENEL. Την περίοδο 2000 με 2005 αναπτύχθηκαν περισσότεροι από 36 εκατομμύρια έξυπνοι μετρητές στο σύνολο των καταναλωτών. Η γαλλική εταιρία ηλεκτρισμού ERDF σχεδιάζει παρόμοια ανάπτυξη 35 εκατομμυρίων μετρητών για την περίοδο 2013 με 2018. Η σουηδική εταιρία Vatenfall έχει αναπτύξει 600.000 αυτόματους μετρητές που χρησιμοποιούν την τεχνολογία PLC.

Η αρχιτεκτονική των προαναφερθέντων συστημάτων έξυπνης μέτρησης βασίζεται στη χρήση PLC για το δίκτυο πρόσβασης των έξυπνων μετρητών. Τα μετρητικά δεδομένα συγκεντρώνονται σε συγκεντρωτές που είναι εγκατεστημένοι στους μετασχηματιστές ΜΤ/ΧΤ. Τα συγκεντρωμένα δεδομένα μεταφέρονται από τους συγκεντρωτές στο MDMS με χρήση των δικτύων κινητών επικοινωνιών. Επισημαίνεται ότι η επικοινωνία μεταξύ έξυπνων μετρητών, συγκεντρωτών και MDMS είναι αμφίδρομη. Στο δίκτυο πρόσβασης του ιταλικού ΣΕΜ χρησιμοποιείται κυρίως NB-PLC τεχνολογία με χρήση του πρωτοκόλλου Meters and More με μέσο ρυθμό μετάδοσης τα 9.6 kbps. Οι συγκεντρωτές χρησιμοποιούν το δίκτυο κινητών επικοινωνιών GPRS για την επικοινωνία με το MDMS.



Σχήμα 5.1: Διαμορφωμένα ΣΕΜ στην ευρωπαϊκή επικράτεια



Σχήμα 5.2: Αρχιτεκτονική ιταλικού ΣΕΜ, με χρήση PLC τεχνολογίας στο δίκτυο πρόσβασης και δικτύων GPRS στο δίκτυο μεταφοράς

Το σύστημα υποστηρίζει λειτουργίες όπως η μηνιαία καταγραφή κατανάλωσης από τους μετρητές, η ανίχνευση παραβίασης του έξυπνου μετρητή και η ανίχνευση βλαβών. Επίσης, προσφέρεται η δυνατότητα απομακρυσμένου τηλεχειρισμού του έξυπνου μετρητή, καθώς και η απομακρυσμένη ρύθμιση μέγιστης κατανάλωσης

ενέργειας. Τέλος, μέσω του μετρητή, κάθε πελάτης έχει πρόσβαση στη βάση δεδομένων για να ενημερώνεται για την κατανάλωση ενέργειας μέχρι την τελευταία μέτρηση καθώς και για το ιστορικό κατανάλωσης του.

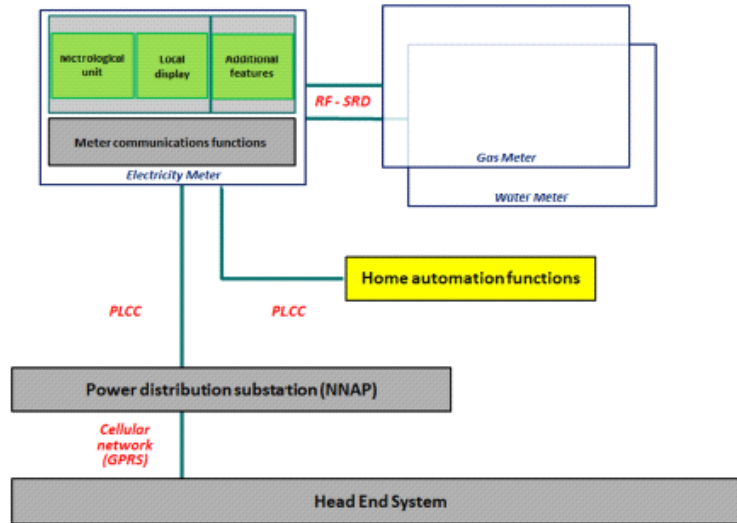
Συνοπτικά, το ιταλικό μετρητικό σύστημα που είναι ήδη σε χρήση είναι ικανό να συλλέγει, με μικρή συχνότητα, δεδομένα κατανάλωσης για τιμολόγηση των πελατών και να παρέχει απομακρυσμένο έλεγχο των μετρητών. Αντίθετα, δεν προσφέρεται η αποστολή της τρέχουσας τιμής της KWh και της τρέχουσας κατανάλωσης ενός πελάτη. Επίσης, δεν υποστηρίζεται η προπληρωμή για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και ο απομακρυσμένος έλεγχος της κατανάλωσης των πελατών. Έτσι, το ιταλικό AMI έχει περιορισμένο εύρος υπηρεσιών.

Για το λόγο αυτό, η ιταλική εταιρία εξελίσσει το δίκτυο με την επικοινωνία του έξυπνου μετρητή με έξυπνες οικιακές συσκευές, που προσφέρουν υπηρεσίες οικιακής διαχείρισης ενέργειας (HEMS). Οι έξυπνες οικιακές συσκευές είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο και επικοινωνούν με εταιρίες διαχείρισης ενέργειας. Ο έξυπνος μετρητής αποστέλλει, με μεγάλη συχνότητα, μετρητικά δεδομένα στην έξυπνη οικιακή συσκευή. Τα μετρητικά δεδομένα γνωστοποιούνται στον καταναλωτή μέσα από την έξυπνη συσκευή. Η διασύνδεση μετρητή και συσκευής γίνεται με χρήση τεχνολογίας PLC σε επίπεδο οικιακού δικτύου (HAN).

Τέλος, έχει προταθεί από ολλανδική και νορβηγική εταιρία η χρήση του συστήματος ευφυούς μέτρησης και για τη μεταφορά δεδομένων που αφορούν την κατανάλωση φυσικού αερίου και νερού. Τα δεδομένα θα συλλέγονται από το MDMS και θα προωθούνται στις αντίστοιχες εταιρίες παροχής φυσικού αερίου και ύδρευσης.

Η εφαρμογή ΣΕΜ υλοποιείται και στην Ισπανία. Στόχος του ισπανικού ΣΕΜ είναι η εγκατάσταση ευφύων μετρητών σε όλους τους καταναλωτές έως το 2018. Έχουν ήδη εγκατασταθεί 4 εκατομμύρια ΕΜ τις εταιρίες Endesa, Iberdrola, Gas Natural Fenosa, Hidrocarbónico και EON. Επιγραμματικά:

- Endesa: Έως το Σεπτέμβριο του 2013 εγκαταστάθηκαν 3.9 εκατομμύρια ευφύων μετρητών και προβλέπεται εγκατάσταση 13 εκατομμυρίων ΕΜ έως το 2015. Η ανάπτυξη του ΣΕΜ γίνεται βάσει του συστήματος της ιταλικής Enel και περιλαμβάνει το πρωτόκολλο επικοινωνίας Meters and More.
- Iberdrola: Το πλήρες προς υλοποίηση έργο περιλαμβάνει την εγκατάσταση 11 εκατομμυρίων ΕΜ με χρήση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας PRIME.



Σχήμα 5.3: Αρχιτεκτονική εξελιγμένου ΣΕΜ, με χρήση PLC τεχνολογίας για την επικοινωνία του ΕΜ με μετρητές νερού και φυσικού αερίου

Στην ισπανική επαρχία Καστεγιόν (Castellon), έχει γίνει η πιλοτική εγκατάσταση περισσότερων από 100.000 έξυπνων μετρητών για την υλοποίηση ενός πιλοτικού ΣΕΜ από την ιδιωτική εταιρία ηλεκτρισμού IBERDROLA. Στο δίκτυο πρόσβασης χρησιμοποιείται PLC τεχνολογία. Χρησιμοποιείται πρωτόκολλο PRIME με μέγιστο ρυθμό δεδομένων 128 kbps. Οι διαχειριστές του πιλοτικού ΣΕΜ έχουν δημιουργήσει έξι κατηγορίες δικτύου πρόσβασης (Σχήμα 5.4), ανάλογα με την πυκνότητα και το πλήθος των έξυπνων μετρητών που βρίσκονται σε ένα NAN. Ο συγκεντρωτής είναι εγκατεστημένος στο μετασχηματιστή ΜΤ/ΧΤ.

		Density of Points of Supply (DPoS)		
		$0 < DPoS \leq 6$	$6 < DPoS \leq 12$	$12 < DPoS$
Points of Supply (PoS)	$0 < PoS \leq 100$	Category G 151 SS's 5,380 PoS's	Category A 26 SS's 1,562 PoS's	Category B 21 SS's 1,247 PoS's
	$100 < PoS \leq 300$	Category H 76 SS's 13,752 PoS's	Category C 61 SS's 11,596 PoS's	Category D 74 SS's 13,990 PoS's
	$300 < PoS$	Category I 51 SS's 22,615 PoS's	Category E 36 SS's 15,441 PoS's	Category F 35 SS's 15,096 PoS's

Σχήμα 5.4: Κατηγοριοποίηση δικτύου NAN με βάση το πλήθος και την πυκνότητα των έξυπνων μετρητών

Στο δίκτυο μεταφοράς, υπάρχει μια ομάδα διαθέσιμων τεχνολογιών επικοινωνιών που χρησιμοποιούν είτε δημόσιες είτε ιδιωτικές τηλεπικοινωνιακές υποδομές. Η επιλογή της τεχνολογίας επικοινωνιών εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση κάθε συγκεντρωτή, το πλήθος των ΕΜ που εξυπηρετεί κάθε συγκεντρωτής και

τη διαθεσιμότητα των τεχνολογιών επικοινωνιών. Στο συγκεκριμένο πιλοτικό ΣΕΜ, κατά περίπτωση χρησιμοποιούνται BB-PLC επί της MT, δίκτυα κινητών επικοινωνιών GPRS και 3G, γραμμές xDSL, ραδιοζεύξεις σημείου προς πολλά σημεία (point-to-multipoint), τηλεπικοινωνίες οπτικών ινών και Ethernet.

Από το 2012, η ολλανδική εταιρία διαχείρισης ΗΔ Enexis έχει ξεκινήσει τη σταδιακή εγκατάσταση έξυπνων μετρητών στην ολλανδική επικράτεια. Το συγκεκριμένο ΣΕΜ θα αποτελείται από 2.7 εκατομμύρια έξυπνους μετρητές. Στο δίκτυο πρόσβασης χρησιμοποιείται PLC τεχνολογία με αξιοποίηση του πρωτοκόλλου G3. Το πρωτόκολλο G3 παρέχει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης στα 33.4 kbps, ενώ στο στρώμα ζεύξης δεδομένων υιοθετεί τα πρότυπα IEEE 802.15.4 και IETF 6LoWPAN. Κάθε συγκεντρωτής εξυπηρετεί κατά μέσο όρο 80 έξυπνους μετρητές, χωρίς να είναι υποχρεωτικό να είναι εγκατεστημένος στον μετασχηματιστή MT/XT. Στο δίκτυο μεταφοράς, θα χρησιμοποιηθούν τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών GPRS, 3G και LTE καθώς και η ενσύρματη τεχνολογία Ethernet. Ένα ιδιαίτερο στοιχείο που χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο ΣΕΜ είναι ότι η συνδυαστική χρήση G3 και 3G/LTE θα προσφέρει την από άκρο σε άκρο δικτύωση με πρωτόκολλα IPv6 (επίπεδο δικτύου) και UDP (επίπεδο μεταφοράς).

Η γαλλική εταιρία ηλεκτρισμού ERDF έχει ξεκινήσει μαζική εγκατάσταση έξυπνων μετρητών στη γαλλική επικράτεια, με το πλήθος των έξυπνων μετρητών να φθάνει τα 35 εκατομμύρια μέχρι το 2018. Την περίοδο 2007-2011, διαμορφώθηκε το πιλοτικό ΣΕΜ linky 300 000 έξυπνων μετρητών και 5 000 συγκεντρωτών. Στο δίκτυο πρόσβασης χρησιμοποιήθηκε PLC τεχνολογία με πρωτόκολλο G3. Στο δίκτυο μεταφοράς χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά GPRS τεχνολογία. Το χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου ΣΕΜ είναι ότι οι έξυπνοι μετρητές και οι συγκεντρωτές έχουν προδιαγραφές διαλειτουργικότητας, δηλαδή τα δομικά στοιχεία του ΣΕΜ πρέπει να επικοινωνούν αποτελεσματικά, ανεξαρτήτως κατασκευαστή, τεχνολογίας επικοινωνιών ή μέσου μετάδοσης.

Η Γερμανία έχει υλοποιήσει μικρά πιλοτικά έργα εγκατάστασης μερικών χιλιάδων μετρητών, ενώ η RWE έχει ξεκινήσει την εγκατάσταση 100.000 ΕΜ. Η Βρετανία έχει προγραμματίσει τη μαζική αντικατάσταση των συμβατικών μετρητών με ΕΜ από το 2015 έως το 2020 και περιλαμβάνει 53 εκατομμύρια μετρητές σε μικρές επιχειρήσεις και κατοικίες. Εταιρίες διανομής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν εγκαταστήσει 95 000 ΕΜ στην Αυστρία και αναμένεται η εγκατάσταση επιπλέον 370 000 SM μέχρι το 2015. Όμως, εκκρεμεί η νομοθεσία για την εγκατάσταση ΕΜ στη χώρα.

Πρότυπο PLC τεχνολογίας	Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης	Διαμόρφωση	Φορείς Χρησιμοποίησης
PLC G3	33,4 kbps	OFDM	ERDF
PRIME	128 kbps	OFDM	IBERDOLA
METERS & MORE	9.6 kbps	BPSK	ENEL
PLC OSGP	5 kbps	BPSK	ESNA-ECHELON

Πίνακας 5.3: Συνοπτικός πίνακας Προτύπων PLC που έχουν χρησιμοποιηθεί σε ευρωπαϊκά ΣΕΜ

5.4 Κριτική των προδιαγραφών που θέτει ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. από τηλεπικοινωνιακή σκοπιά

Στην ενότητα αυτή, θα καταγραφεί μια σειρά από απόψεις σχετικές με την τεχνική περιγραφή του πιλοτικού συστήματος ευφυούς μέτρησης του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. Η κριτική της τεχνικής περιγραφής του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε γίνεται από τηλεπικοινωνιακή σκοπιά και αφορά τις τεχνολογίες επικοινωνιών, την αρχιτεκτονική του συστήματος ευφύων μετρητών και τις υπηρεσίες του ευφυούς δικτύου.

5.4.1 Τεχνολογίες επικοινωνιών

Όσο αφορά τις τεχνολογίες επικοινωνιών, ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. επιβάλλει τη χρήση μόνο PLC και δικτύων κινητών επικοινωνιών στο δίκτυο πρόσβασης (NAN). Οι δύο ανωτέρω τεχνολογίες έχουν το πλεονέκτημα της υπάρχουσας υποδομής και του φθηνού κόστους εγκατάστασης. Όμως, η χρήση PLC ή των δικτύων κινητών επικοινωνιών δεν αποτελεί πάντα την ιδανική λύση για τη διαμόρφωση του δικτύου πρόσβασης. Για παράδειγμα, σε αστικό περιβάλλον με πυκνή δόμηση, υπάρχουν οι εναλλακτικές τεχνολογίες Zigbee ή 802.11 σε κατανεμημένα δίκτυα πρόσβασης. Αντίθετα, η ελευθερία χρήσης και άλλων τεχνολογιών επικοινωνιών στο δίκτυο μεταφοράς και στο δίκτυο κορμού κρίνεται θετική καθώς υπάρχουν ώριμες τεχνολογίες, που διαθέτουν έτοιμες λύσεις σε θέματα ασφαλείας και ασφάλειας. Σε όλες τις τεχνολογίες επικοινωνιών, εφαρμόζονται πρωτόκολλα που εγγυώνται αξιοπιστία, ευρωστία τηλεπικοινωνιακών πόρων, ασφάλεια και επεκτασιμότητα.

Επιπλέον, το ιταλικό δίκτυο ευφύων μετρητών έχει διαμορφωθεί με χρήση PLC και δικτύων κινητών επικοινωνιών. Δηλαδή υπάρχει η τεχνογνωσία για την ορθή

εγκατάσταση ενός ΣΕΜ προς εξυπηρέτηση των βασικών υπηρεσιών του ευφυούς δικτύου.

Ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. προδιαγράφει ελάχιστο ποσοστό χρήσης 20% για την τεχνολογία PLC και ποσοστό χρήσης 20% για τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Καίτοι, τα συγκεκριμένα ελάχιστα ποσοστά προσφέρουν ευελιξία κατά τη σχεδίαση των τοπικών δικτύων πρόσβασης, θέτουν περιορισμούς και ενδεχομένως να απέχουν από τη βέλτιστη λύση, κατά τη διαστασιολόγηση δικτύου πρόσβασης μιας περιοχής. Συγκεκριμένα, η πληθυσμιακή και πολεοδομική πυκνότητα και τα χαρακτηριστικά του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου επηρεάζουν την επιλογή τεχνολογίας επικοινωνιών. Σημαντικός παράγοντας είναι και η διαθεσιμότητα των τεχνολογιών ανά γεωγραφική περιοχή. Συμπερασματικά, η επιβολή ενός ποσοστού χρησιμοποίησης μιας τεχνολογίας πρέπει να προκύπτει από μελέτη και όχι να τίθεται ως υποχρεωτικό μέτρο, διότι υπάρχει κίνδυνος η διαστασιολόγηση του ΣΕΜ να μην είναι η βέλτιστη.

Επικρατούσα τεχνολογία δικτύου πρόσβασης	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
GPRS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Χαμηλό κόστος υλοποίησης 2. Υψηλές ταχύτητες μετάδοσης 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Υψηλό κόστος επικοινωνίας 2. Κατά τόπους προβληματική διαθεσιμότητα 3. Εξάρτηση από τηλεπικοινωνιακό πάροχο
PLC	<ol style="list-style-type: none"> 1. Χρήση υπάρχουσας υποδομής 2. Χαμηλό κόστος 3. Συμφέρουσα λύση για περιοχές υψηλής πυκνότητας 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ευαίσθητο σε διαταραχές 2. Χαμηλή ταχύτητα μετάδοσης 3. Έλλειψη κοινού standard

Πίνακας 5.4: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τεχνολογιών GPRS και PLC

Επιπλέον ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. θέτει ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης στα 4.8 kbps κατά τη μετάδοση με PLC τεχνολογία πρόσβασης. Όπως και με την επιβολή ελάχιστου ποσοστού χρήσης τεχνολογίας επικοινωνιών, η τιμή του ρυθμού μετάδοσης

υπαγορεύεται κατά αυθαίρετο τρόπο. Ο ρυθμός μετάδοσης κάθε μετρητή συναρτάται με το πλήθος πακέτων που παράγονται κατά τη μέτρηση. Το μέγεθος των πακέτων εξαρτάται με τη σειρά του από την ακρίβεια των μετρήσεων, το πλήθος των μετρούμενων μεγεθών και το πρότυπο που χρησιμοποιείται για την PLC μετάδοση. Άρα, ο ρυθμός μετάδοσης είναι μέγεθος που προκύπτει μετά από ορθό τηλεπικοινωνιακό σχεδιασμό και επιλογή PLC τεχνολογιών και δεν πρέπει να καθορίζεται εξαρχής.

Όταν οι έξυπνοι μετρητές ή οι συγκεντρωτές χρησιμοποιούν δίκτυα κινητών επικοινωνιών, ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. απαιτεί να χρησιμοποιείται η διαθέσιμη τεχνολογία με τον υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σπατάλη τηλεπικοινωνιακών πόρων. Για παράδειγμα, ένας έξυπνος μετρητής αρκείται στη χρήση τεχνολογίας EDGE για την υπηρεσία της Τηλεμέτρησης. Για το λόγο αυτό, πρέπει να γίνεται επιλεκτική χρήση των τεχνολογιών κινητής τηλεφωνίας αντίστοιχα με την υπηρεσία του ευφυούς δικτύου.

Η θεμελιώδης λειτουργία του συστήματος ευφών μετρητών είναι η συλλογή των ευαίσθητων δεδομένων κατανάλωσης πελατών για τιμολόγηση. Ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. απαιτεί η μετάδοση των μετρητικών δεδομένων από τους έξυπνους μετρητές στο MDMS, να γίνεται κατά το χρονικό διάστημα 00.01 -08.00. Η επιλογή κρίνεται ορθή, αφού το κατά συγκεκριμένο χρονικό διάστημα η χρήση των δικτύων κινητών επικοινωνιών και του διαδικτύου είναι μειωμένη, αποτρέποντας φαινόμενα όπως η συμφόρηση έξυπνων μετρητών και κινητών τηλεφώνων (ή tablets ή Η/Υ) που εξυπηρετούνται από τον ίδιο σταθμό βάσης. Εντούτοις, η κίνηση δεδομένων δεν περιορίζεται μόνο σε εκείνο το χρονικό διάστημα. Κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, επιτελούνται λειτουργίες που αφορούν άλλες υπηρεσίες του ευφυούς δικτύου με περισσότερο απαιτητικά επίπεδα QoS.

5.4.2 Αρχιτεκτονική δικτύου ευφών μετρητών

Ως επί το πλείστον, το πιλοτικό ΣΕΜ θα υλοποιηθεί σε νησιωτικές περιοχές και το νομό Ξάνθης. Το ποσοστό μετρητών που θα εγκατασταθούν στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη είναι πολύ μικρό. Θα ήταν επιθυμητό να εγκατασταθούν περισσότεροι έξυπνοι μετρητές στα μεγάλα αστικά κέντρα, αφού το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού κατοικεί σε αυτά. Σε μεγάλα αστικά κέντρα υπάρχουν όλες οι διαθέσιμες τεχνολογίες επικοινωνιών και θα μπορούν εφαρμοστούν όλες οι σύγχρονες μέθοδοι κατανομής τηλεπικοινωνιακών πόρων. Η λειτουργία μεγαλύτερου ποσοστού έξυπνων μετρητών σε αστικό περιβάλλον θα διευκόλυνε τις εμπλεκόμενες οντότητες (Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε., εταιρίες κινητής τηλεφωνίας, πάροχοι υπηρεσιών διαδικτύου κτλ) στην

εξέλιξη του AMI για την τελική διαμόρφωση του δικτύου των 8.000.000 έξυπνων μετρητών. Επίσης, αντί για εγκατάσταση μετρητών στη Λευκάδα θα μπορούσαν να εγκατασταθούν μετρητές σε μια ορεινή γεωγραφική περιοχή.

Ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. προδιαγράφει την εγκατάσταση των νέων μετρητών στα σημεία όπου 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 έξυπνων μετρητών στα σημεία των παραδοσιακών μετρητών εισάγει την ανάγκη για εγκατάσταση IHDs, αυξάνοντας το κόστος υλοποίησης του ΣΕΜ. Λύση στα ανωτέρω προβλήματα αποτελεί η δυνατότητα εγκατάστασης EM 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 EM-MDMS μέσω GPRS/3G. Επίσης, η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ EM-MDMS μπορεί να γίνεται μέσω του οικιακού δικτύου WiFi/DSL, χρησιμοποιώντας το υπάρχον τηλεφωνικό δίκτυο.

Η Διακήρυξη του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. προδιαγράφει τους πλησιέστερους υποσταθμούς MT/XT ως υποχρεωτικά σημεία εγκατάστασης των συγκεντρωτών. Η επιλογή αυτή είναι ορθή αφού οι μετασχηματιστές MT/XT αποτελούν τα σημεία 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 κρινόταν απαραίτητο μετά από μελέτη του δικτύου πρόσβασης.

Ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. τονίζει ότι υπάρχει πλήρης ελευθερία στην επιλογή της αρχιτεκτονικής του δικτύου και των δικτυακών τοπολογιών που θα αναπτυχθούν. Έτσι, υπάρχει ευελιξία στη διαμόρφωση διαφορετικών αρχιτεκτονικών σε αστικές, ημιαστικές και αραιοκατοικημένες περιοχές, με κριτήριο τις διαθέσιμες τεχνολογίες επικοινωνιών, την πολεοδομική και μορφολογική κατάσταση της περιοχής.

Σύμφωνα με το Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε., ένας έξυπνος μετρητής πρέπει να διαθέτει προσβασιμότητα τόσο σε δίκτυο πρόσβασης ΣΕΜ με PLC όσο και σε δίκτυο πρόσβασης κινητών επικοινωνιών. Κατ' αυτόν τον τρόπο, βελτιώνεται η αξιοπιστία, αφού σε περίπτωση βλάβης υπάρχει εναλλακτική διαθέσιμη τεχνολογία πρόσβασης.

Ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. απαιτεί την υλοποίηση ενός κεντρικού MDMS καθώς και ενός εφεδρικού συστήματος. Έτσι, η κίνηση δεδομένων συσσωρεύεται κατά περίπτωση σε ένα σύστημα. Θα μπορούσε να υιοθετηθεί και η ιδέα της κατανεμημένης συλλογής, αποθήκευσης και επεξεργασίας των δεδομένων. Η επιλογή κατανεμημένης διαχείρισης των δεδομένων μειώνει τον όγκο κίνησης στο δίκτυο κορμού και συμβάλλει στην επεκτασιμότητα του AMI. Ασφαλώς, η ιδέα της κατανεμημένης επεξεργασίας και αποθήκευσης θα μπορούσε να εφαρμοστεί και σε πιλοτικό επίπεδο, εφόσον, το πιλοτικό AMI εγκατασταθεί σε νησιωτικές περιοχές. Σε μια νησιωτική περιοχή, έξυπνοι μετρητές, συγκεντρωτές και ένας τοπικός υπολογιστής μπορούν να αποτελέσουν ένα ανεξάρτητο τοπικό δίκτυο επικοινωνιών, του οποίου η επικοινωνία με το κεντρικό MDMS θα γίνεται σε περιορισμένο βαθμό, με αποτέλεσμα να μειώνεται το φορτίο επεξεργασίας και ο όγκος δεδομένων του κεντρικού MDMS.

5.4.3 Υπηρεσίες

Σε επίπεδο υπηρεσιών, ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. έχει προδιαγράψει μια σειρά από συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών, οι οποίες θεωρούνται εφικτές μετά από ορθή σχεδίαση του συστήματος ευφύων μετρητών.

Σε γενικές γραμμές, ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. προδιαγράφει τη μελλοντική διασύνδεση του πιλοτικού συστήματος AMI με άλλα συστήματα που ήδη υπάρχουν ή πρόκειται να υλοποιηθούν μελλοντικά. Με την υλοποίηση διασυνδεδεμένων συστημάτων επικοινωνιών στο ελληνικό ηλεκτρικό δίκτυο, θα διαμορφωθεί μια πλήρης σουίτα υπηρεσιών ευφυούς δικτύου, που προτείνεται και στη διεθνή βιβλιογραφία. Είναι θετικό το γεγονός ότι ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. δεν θέτει περιορισμούς στο επίπεδο υπηρεσιών και έχει ως στόχο τη βαθμιαία υλοποίηση ενός πλήρως λειτουργικού ευφυούς δικτύου (service scalability).

Παράλληλα, στα νησιά του Βορείου Αιγαίου και σε νησιά των Κυκλάδων υλοποιούνται αυτόνομα πιλοτικά ενεργειακά συστήματα με δυναμική χρήση Α.Π.Ε. και διατάξεων αποθήκευσης ΗΕ. Η παράλληλη διαμόρφωση ΣΕΜ κρίνεται ως θετική, αφού μπορούν να διαμορφωθούν τοπικά ευφυή δίκτυα. Έτσι, θα προκύψει στην Ελλάδα απόκτηση τεχνογνωσίας σε θέματα του ευφυούς δικτύου.

Στην τεχνική περιγραφή του πιλοτικού ΣΕΜ του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε., δεν υπάρχει σαφής αναφορά σε υπηρεσίες, όπως η διασπαρμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και σε υπηρεσίες που σχετίζονται με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Πάντως, ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.

θέτει έμμεσα τις βάσεις για μελλοντική υλοποίηση των ανωτέρω υπηρεσιών. Δηλαδή, απαιτείται εγκατάσταση μετρητικού εξοπλισμού για περισσότερες από 20 θέσεις φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Επίσης, οι έξυπνοι μετρητές καλούνται να καταγράφουν και την εξερχόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Συμπερασματικά, γνωρίζοντας τις πρόσθετες υπηρεσίες και τους μελλοντικούς στόχους που έχει προδιαγράψει ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε., καθορίζονται οι παράμετροι διαστασιολόγησης και η μελλοντική εξέλιξη του πιλοτικού σύστημα ευφυών μετρητών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΚΟΡΜΟΥ

Στο Κεφ.6, θα παρουσιαστεί μια σειρά από τηλεπικοινωνιακές λύσεις, κατάλληλες για τη διαμόρφωση των δικτύων μεταφοράς και κορμού του ΣΕΜ. Οι λύσεις που θα παρουσιαστούν αξιοποιούν διαθέσιμες υποδομές αποσκοπώντας να υποστηρίξουν τα δίκτυα πρόσβασης ΣΕΜ. Οδηγός για τη διαμόρφωση του ΣΕΜ είναι η εξυπηρέτηση του όγκου δεδομένων υπηρεσιών ΕΔ και των απαιτήσεων σε QoS κάθε υπηρεσίας. Επίσης, η επιλογή μιας τεχνολογίας επικοινωνιών εξαρτάται από πληθυσμιακά και πολεοδομικά κριτήρια. Παράλληλα, θα δοθεί έμφαση στην υλοποίηση της μετάδοσης προγραμματισμένων δεδομένων τηλεμέτρησης, αφού αυτή αποτελεί τη θεμελιώδη υπηρεσία του ΕΔ και αποτελεί υπηρεσία που μπορεί να προγραμματιστεί.

6.1 Χαρακτηριστικά Εφαρμογών Ελληνικού Συστήματος Ευφυούς Μέτρησης

Με την κατασκευή του ελληνικού ΣΕΜ, ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε στοχεύει στην εφαρμογή ενός συνόλου υπηρεσιών ευφυούς δικτύου για τη βέλτιστη λειτουργία του ελληνικού Ηλεκτρικού Δικτύου. Όπως καταγράφηκε στο Κεφ.5, στο ελληνικό ΣΕΜ θα υλοποιούνται υπηρεσίες όπως η τηλεμέτρηση, η διάθεση πολλαπλών τιμολογίων και η ρύθμιση ισχύος. Παράλληλα, λόγω της διασύνδεσης του ΣΕΜ με συστήματα όπως το SCADA/EMS και OMS, το ΣΕΜ καλείται να υποστηρίξει και πρόσθετες υπηρεσίες όπως η ζεύξη/απόζευξη οικιακών Α.Π.Ε., έλεγχος και τηλεμέτρηση υποσταθμών και διακοπών διανομής.

Στο παρόν εδάφιο, θα παρουσιαστούν οι απαιτήσεις σε τηλεπικοινωνιακούς πόρους που χρειάζεται κάθε υπηρεσία του ΕΔ. Ο καθορισμός των συγκεκριμένων απαιτήσεων επιτρέπει τον προσδιορισμό του όγκου των δεδομένων που μεταδίδονται στο ελληνικό ΣΕΜ και τις απαιτήσεις σε QoS που απαιτεί κάθε υπηρεσία.

Στον πίνακα 6.1 παρουσιάζονται οι υπηρεσίες που θα εξυπηρετεί το ελληνικό ΣΕΜ, τα χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις κάθε υπηρεσίας ξεχωριστά. Προκύπτει ότι οι εφαρμογές παρουσιάζουν διαφορετικά προφίλ κίνησης δεδομένων, γεγονός που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη διαστασιολόγηση του ΣΕΜ. Συγκεκριμένα, οι υπηρεσίες διαχωρίζονται σε:

- *Προγραμματισμένες υπηρεσίες:* Είναι οι υπηρεσίες όπου υπάρχει προγραμματισμένη μετάδοση δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα.
- *Έκτακτες υπηρεσίες:* Είναι οι υπηρεσίες όπου υπάρχει έκτακτη αποστολή δεδομένων.

Η αξιοπιστία του ΣΕΜ επιτυγχάνεται μέσω της διαθεσιμότητας τηλεπικοινωνιακών πόρων για όλες τις υπηρεσίες. Εκτός από την προγραμματισμένη κατανομή πόρων για την ικανοποίηση των QoS των προγραμματισμένων υπηρεσιών, πρέπει να είναι διαθέσιμο και πλεόνασμα τηλεπικοινωνιακών πόρων ώστε να εξυπηρετούνται και υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης.

Για τον προσδιορισμό του συνολικού όγκου της κίνησης που μεταδίδεται σε ένα ΣΕΜ μπορεί να ακολουθηθεί η ακόλουθη διαδικασία.

1. Εκτίμηση του πλήθους των μετρητών, συγκεντρωτών και MDMS που μεταδίδουν δεδομένα καθώς και αποτύπωση της γεωγραφικής θέσης εγκατάστασής τους.

2. Χρήση των προφίλ κίνησης κάθε υπηρεσίας με χρήση του Πιν.6.1. Επικουρικά, είναι σημαντική η αξιοποίηση στατιστικών στοιχείων ώστε να εκτιμηθεί η συχνότητα εμφάνισης έκτακτων φαινομένων.

6.2 Προτεινόμενες Τηλεπικοινωνιακές Λύσεις Δικτύου Μεταφοράς και Κορμού

Στην ενότητα αυτή, θα γίνει παρουσίαση των, κατά περίπτωση, καταλληλότερων τηλεπικοινωνιακών λύσεων για το δίκτυο μεταφοράς και κορμού του ΣΕΜ του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.. Στη διεθνή βιβλιογραφία έχει επικρατήσει η άποψη ότι η αρχιτεκτονική του συστήματος ευφυών μετρητών είναι ιεραρχική και υβριδική. Σε ένα ιεραρχικό δίκτυο δεν υπάρχει αναγκαστικά απευθείας σύνδεση έξυπνων μετρητών με το MDMS, αλλά τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω υποδικτύων που ακολουθούν χωρικά κλιμακούμενη αρχιτεκτονική (π.χ. BAN/NAN/WAN). Σε κάθε υποδίκτυο χρησιμοποιούνται διαφορετικές τεχνολογίες επικοινωνιών και ενδεχομένως ακολουθούνται διαφορετικές τοπολογίες. Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκαν τεχνολογίες επικοινωνιών και δικτυακές τοπολογίες που είναι κατάλληλες για τη διαμόρφωση δικτύων πρόσβασης, μεταφοράς και κορμού. Επίσης, έχει τονιστεί ότι δεν υπάρχει μοναδική αρχιτεκτονική που ικανοποιεί τις απαιτήσεις σε τηλεπικοινωνιακούς πόρους των υπηρεσιών του ΕΔ, αλλά η κατά περίπτωση

επιλεγόμενη αρχιτεκτονική εξαρτάται από μια σειρά από παράγοντες.

Υπηρεσία	Ροή δεδομένων	Τυπικό Μέγεθος Δεδομένων (bytes)	Συχνότητα αποστολής δεδομένων	Καθυστέρηση αποστολής	Αξιοπιστία
Μεμονωμένη τηλεμέτρηση EM (on demand)	EM->MDMS	100	Τυχαία	<15 sec	>99%
Προγραμματισμένη τηλεμέτρηση ημερήσιας καμπύλης φορτίου	EM->MDMS	4000-7000	96 μετρήσεις/24 h	<2 h	>99%
Πολυζωνική τιμολόγηση	MDMS->EM	100	4-6 τιμολόγια /ημέρα	<60 sec	>98%
Προπληρωμή	EM->MDMS	50-150	1 μέτρηση/ημέρα	<5 min	>99%
Ρύθμιση Ισχύος	MDMS->EM	100	Τυχαία	<1 min	>99.5%
Σύνδεση/ Αποσύνδεση EM	MDMS->EM	25	Τυχαία	<1 min	>98%
Εποπτεία δικτύου διανομής HE (ΥΣ/ διακόπτες MT)	MDMS-> Συγκεντρωτής	100-1000	1 μήνυμα/h	<5 sec	>99.5%
Τηλεχειρισμός δικτύου διανομής HE (ΥΣ/ διακόπτες MT)	Συγκεντρωτής ->MDMS	100-250	1 μήνυμα / τηλεχειρισμό	<5 sec	>99.5%
Αναφορά διακοπής ισχύος (OMS)	EM->MDMS	25	1 μήνυμα/σφάλμα	<5 sec	>99.5%
Έλεγχος διεσπαρμένης παραγωγής και αποθήκευσης HE	MDMS->EM	25	2-6 μηνύματα/ ζεύξη- απόζευξη	<5 sec	>99.5%
Ανανέωση λογισμικού	MDMS->EM	400K-2M	Τυχαία	<7 d	>98%

Πίνακας 6.1: Υπηρεσίες Ευφυούς Δικτύου Ελληνικού ΣΕΜ

Συνοπτικά, κατά τη σχεδίαση του ΣΕΜ κατά περιοχή πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής κριτήρια:

- Η χωρική πυκνότητα και κατανομή των ΕΜ (Πιν.4.3).
- Ο πληθυσμιακός χαρακτηρισμός και τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά της περιοχής (αστική/ημιαστική/αγροτική).
- Η διαθεσιμότητα τηλεπικοινωνιακών υποδομών στην υπόψη γεωγραφική περιοχή (Πιν.6.2).
- Οι υπηρεσίες που θα υλοποιηθούν από το ΣΕΜ και κατ' επέκταση ο όγκος δεδομένων που θα μεταδίδεται στο ΣΕΜ (Εδάφ. 6.1).

Τεχνολογία	Περιοχές Διαθεσιμότητας της τεχνολογίας
EDGE/GPRS	Αστική, Ημιαστική, Αγροτική
UMTS	Αστική, Ημιαστική, Αγροτική
HSDPA/HSUPA`	Αστική, Ημιαστική
LTE/LTE Advanced	Αστική (υπό ανάπτυξη)
WiMAX	Αστική (σε πειραματικό επίπεδο)
xDSL	Αστική, Ημιαστική
PLC	Αστική, Ημιαστική, Αγροτική
Δίκτυο Οπτικών Ίνών	Αστική, Ημιαστική (περιορισμένη διαθεσιμότητα)
Μικροκυματικές Ζεύξεις	Αστική, Ημιαστική, Αγροτική (περιορισμένη διαθεσιμότητα)

Πίνακας 6.2: Διαθεσιμότητα τεχνολογιών επικοινωνιών κατά πληθυσμιακή κατηγορία

6.2.1 Δίκτυο Μεταφοράς σε αστικές περιοχές

Οι αστικές περιοχές χαρακτηρίζονται από υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα και κατ' επέκταση μεγάλη πυκνότητα ΕΜ (>2500 κάτοικοι/Km²) λόγω της ύπαρξης μεγάλου αριθμού πολυκατοικιών. Επίσης, λόγω της διαθεσιμότητας όλων των τεχνολογιών επικοινωνιών, υπάρχει επάρκεια τηλεπικοινωνιακών πόρων για τη μετάδοση δεδομένων και την ικανοποίηση των QoS κάθε υπηρεσίας που εξυπηρετείται μέσω του ΣΕΜ. Συνοπτικά, για τη διαμόρφωση του δικτύου πρόσβασης του ΣΕΜ έχουν γίνει οι εξής προτάσεις:

1. Αποκλειστική χρήση δικτύων κινητών επικοινωνιών. Κάθε έξυπνος μετρητής στέλνει δεδομένα απευθείας στο MDMS χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τα δίκτυα πρόσβασης (τοπολογία αστέρα) και κορμού των δικτύων κινητών

επικοινωνιών. Στην περίπτωση, αυτή δεν χρησιμοποιούνται συγκεντρωτές.

2. Χρήση τεχνολογίας NB-PLC στο δίκτυο ΧΤ. Οι συγκεντρωτές είναι τοποθετημένοι στους Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ. Κάθε έξυπνος μετρητής επικοινωνεί ανεξάρτητα με το συγκεντρωτή, λειτουργώντας ως RFD κόμβος. Κάθε Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ εξυπηρετεί 150-350 ΕΜ. Η τοπολογία του δικτύου ΧΤ σε πυκνοκατοικημένες περιοχές θεωρείται ανοικτού βρόχου. Από κάθε Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ αναχωρούν κατά μέσο όρο 7 γραμμές ΧΤ, με σύνθητες μήκος που κυμαίνεται περί τα 500m. Η γενική δικτυακή τοπολογία είναι αστέρα ενώ οι ΕΜ έχουν κοινή πρόσβαση σε κάθε γραμμή ΧΤ σχηματίζοντας υποδίκτυο τοπολογίας διαύλου.
3. Χρήση τεχνολογίας NB-PLC στο δίκτυο ΧΤ. Οι συγκεντρωτές είναι τοποθετημένοι σε μεγάλα κτίρια (πολυκατοικίες ή γραφειακά συγκροτήματα) εξυπηρετώντας αποκλειστικά τους οικείους ΕΜ. Οι ΕΜ είναι ανεξάρτητοι RFD κόμβοι ή ομαδοποιούνται (π.χ ανά όροφο), όπου ένας κόμβος ανά ομάδα είναι FFD. Επομένως, η τοπολογία του δικτύου πρόσβασης είναι είτε αστέρα είτε δένδρου.
4. Χρήση τεχνολογίας 802.11 και 802.15.4. Ο συγκεντρωτής εξυπηρετεί ένα υψηλό κτίριο, μια μικρή ομάδα μονοκατοικιών ή και αποκλειστικά έναν καταναλωτή. Η δικτυακή τοπολογία είναι πολυβηματική (mesh) ή ακτινωτή.

Χρήση Δικτύων Κινητών Επικοινωνιών στο Δίκτυο Μεταφοράς ΣΕΜ

Η χρήση των δικτύων κινητών επικοινωνιών αποτελεί αξιόπιστη λύση για το δίκτυο μεταφοράς του ΣΕΜ. Βασικό πλεονέκτημα είναι η 100% διαθεσιμότητα σε αστικές περιοχές και οι ικανοποιητικοί ρυθμοί μετάδοσης. Στην περίπτωση αυτή, το δίκτυο μεταφοράς του ΣΕΜ είναι τοπολογίας αστέρα καθώς κάθε υποσταθμός διανομής επικοινωνεί απευθείας με το σταθμό βάσης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Αξιοποιώντας τα διαθέσιμα δίκτυα GPRS/EDGE/UMTS/HSDPA-HSUPA οι ρυθμοί μετάδοσης φθάνουν έως 14.4 Mbps στην κάτω ζεύξη (downlink) και έως 5.7 Mbps στην άνω ζεύξη (uplink). Εκτός από το πλεονέκτημα της υπάρχουσας υποδομής, η επιλογή των συγκεκριμένων δικτύων προσφέρει υψηλά επίπεδα ασφάλειας της πληροφορίας, μέσω διαρκούς σηματοδότησης, κρυπτογραφίας και πιστοποίησης της αυθεντικότητας του ΕΜ.

Σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης PLC τεχνολογίας στο δίκτυο πρόσβασης και δικτύων κινητών επικοινωνιών στο δίκτυο μεταφοράς του ΣΕΜ, είναι το μικρό πλήθος συνδέσεων του σταθμού βάσης (ΣΒ) των δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών, αφού κάθε

ΣΒ διατηρεί επικοινωνία με τους λίγους συγκεντρωτές που βρίσκονται σε μία κυψέλη και δεν διατηρεί απευθείας επικοινωνία με χιλιάδες ΕΜ (περίπτωση 1). Κατά τη σχεδίαση του ΣΕΜ, σε αστικό περιβάλλον, δεν πρέπει να αγνοηθεί ότι τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών εξυπηρετούν χιλιάδες χρήστες έξυπνων τηλεφώνων. Με την συγκεκριμένη προσαρμογή ελαχιστοποιείται η πιθανότητα συμφόρησης της τηλεπικοινωνιακής κίνησης εντός μιας κυψέλης, αφού ο ΣΒ, εκτός από κινητές υπηρεσίες, διαχειρίζεται μερικούς μόνο συγκεντρωτές και όχι τους πολύ περισσότερους ΕΜ.

Εκτός από την απόσταση μεταξύ συγκεντρωτή-MDMS, σημαντικός παράγοντας που μπορεί να υποβαθμίσει την ποιότητα υπηρεσιών που προσφέρει ένα δίκτυο κινητών επικοινωνιών στο ΣΕΜ είναι η θέση του συγκεντρωτή. Λόγω του μεγάλου πλήθους υψηλών κτιρίων και της έντονης κυκλοφοριακής κίνησης, το περιβάλλον διάδοσης είναι ιδιαίτερα δυσμενές και η εξασθένηση του σήματος υψηλή. Όταν ο συγκεντρωτής εγκαθίσταται στον Υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ ή σε συγκεκριμένο σημείο ενός πολυόροφου κτιρίου (π.χ. ταράτσα), πρέπει να διασφαλίζεται η ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος που λαμβάνει ο συγκεντρωτής από τον ΣΒ.

Τέλος, καίτοι μειώνεται το κόστος εγκατάστασης του ΣΕΜ λόγω της υποδομής που ήδη διαθέτουν τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών, η χρήση δικτύων κινητών επικοινωνιών σημαίνει εξάρτηση από τρίτα μέρη, δηλαδή τους παρόχους κινητών υπηρεσιών.

Χρήση xDSL στο Δίκτυο Μεταφοράς ΣΕΜ

Η χρήση της τεχνολογίας xDSL για την επικοινωνία των συγκεντρωτών με τα MDMS θεωρείται αξιόπιστη εναλλακτική λύση. Τη διαθέσιμη ενσύρματη τηλεφωνική υποδομή μπορεί να αξιοποιήσουν συγκεντρωτές που είναι εγκατεστημένοι σε θέσεις όπου δεν υπάρχει αξιόπιστη κάλυψη από τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Το πρότυπο ADSL2 (ασυμμετρία ρυθμού μετάδοσης downlink και uplink) προσφέρει ταχύτητες έως 24 Mbps στην κάτω ζεύξη και έως 3.5 Mbps στην άνω ζεύξη. Επιπλέον, σε αστικές περιοχές, η διαθεσιμότητα της τεχνολογίας xDSL είναι 100%.

Εκτός από το πλεονέκτημα της αξιοποίησης της υπάρχουσας τηλεφωνικής υποδομής, η χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας πλεονεκτεί διότι μπορεί να προσφέρει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης, ειδικότερα στην άνω ζεύξη, σε σχέση με τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Τα επίπεδα ασφαλείας είναι υψηλά καθώς σε επίπεδο δικτύου δημιουργούνται VPN συνδέσεις συγκεντρωτών-MDMS που προσφέρουν

ασφαλή επικοινωνία.

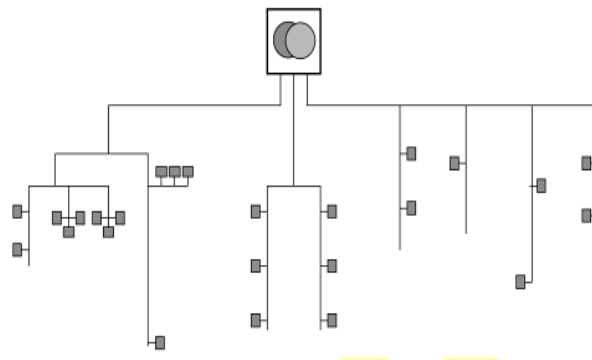
Τροχοπέδη στην επιλογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι η πιθανή δυσκολία κατασκευής νέου τηλεφωνικού βρόχου για τη σύνδεση κάποιων συγκεντρωτών με το τοπικό DSLAM, καθώς, τότε, απαιτούνται χρωματουργικές εργασίες που αυξάνουν το κόστος εγκατάστασης του ΣΕΜ. Σημαντικό παράγοντα υποβάθμισης των υπηρεσιών αποτελεί η απόσταση ενός συγκεντρωτή από το τοπικό DSLAM. Παράλληλα, οι προσφερόμενοι ρυθμοί μετάδοσης στην κάτω ζεύξη παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας, λόγω της αυξημένης κίνησης που προκαλείται από τη χρήση του DSL δικτύου προς εξυπηρέτηση υπηρεσιών φωνής και Διαδικτύου. Για το λόγο αυτό, ο διαχειριστής του ΗΔ πρέπει να έλθει σε συμφωνία με τους παρόχους ευρυζωνικών υπηρεσιών για την παροχή εγγυημένων QoS.

6.2.2 Δίκτυο Μεταφοράς σε ημιαστικές περιοχές

Οι ημιαστικές περιοχές και τα περίχωρα αστικών κέντρων είναι γεωγραφικές περιοχές που χαρακτηρίζονται από μέτρια πληθυσμιακή πυκνότητα (<2500 κατοίκους/Km²). Το πολεοδομικό τους προφίλ χαρακτηρίζεται κυρίως από την ύπαρξη κατοικιών με χαμηλό ύψος από μικρό ποσοστό πολυκατοικιών. Παράλληλα, στις περιοχές αυτές υπάρχει κατασκευαστική δραστηριότητα που επιφέρει την επέκτασή τους και πληθυσμιακή αύξηση. Στις συγκεκριμένες περιοχές υπάρχει διαθεσιμότητα της πλειοψηφίας των τεχνολογιών επικοινωνιών. Όμως, οι διαθέσιμοι τηλεπικοινωνιακοί πόροι είναι περιορισμένοι σε σχέση με τις αστικές περιοχές, χαρακτηριστικό που μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα για την εξυπηρέτηση απαιτητικών σε QoS υπηρεσιών του ΕΔ. Εντούτοις, οι πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών εξελίσσουν συνεχώς τις υποδομές τους, ώστε να αυξηθούν και οι διαθέσιμοι τηλεπικοινωνιακοί πόροι. Συνοπτικά, για τη διαμόρφωση του δικτύου πρόσβασης του ΣΕΜ σε ημιαστικές περιοχές έχουν γίνει οι εξής προτάσεις:

1. Αποκλειστική χρήση δικτύων κινητών επικοινωνιών. Κάθε έξυπνος μετρητής αποστέλλει δεδομένα απευθείας στο MDMS χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τα δίκτυα πρόσβασης (τοπολογία αστέρα) και κορμού των δικτύων κινητών επικοινωνιών. Στην περίπτωση αυτή, δεν χρησιμοποιούνται συγκεντρωτές.
2. Χρήση τηλεφωνικών δικτύων για πρόσβαση στο διαδίκτυο. Κάθε έξυπνος μετρητής αποστέλλει δεδομένα χρησιμοποιώντας το οικιακό WiFi και την τεχνολογία ADSL για τη διαδικτυακή επικοινωνία με το MDMS.

3. Χρήση τεχνολογίας IEEE 802.11. Σε επιλεγμένα σημεία μιας περιοχής τοποθετούνται σταθμοί βάσης/συγκεντρωτές που χρησιμοποιούν τεχνολογία WiFi και εξυπηρετούν έξυπνους μετρητές που βρίσκονται εντός της εμβέλειας τους.
4. Χρήση PLC τεχνολογίας στο δίκτυο διανομής ΧΤ ΗΕ. Οι συγκεντρωτές είναι εγκατεστημένοι σε Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ και εξυπηρετούν 80-150 ΕΜ. Κάθε έξυπνος μετρητής επικοινωνεί ανεξάρτητα με τον οικείο συγκεντρωτή, λειτουργώντας ως RFD κόμβος. Η τοπολογία του δικτύου ΧΤ σε περιοχές μεσαίας πυκνότητας είναι τοπολογία αστέρα ή ανοικτού βρόχου. Συγκεκριμένα, από τον Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ αναχωρούν από 1 έως 12 γραμμές ΧΤ. Η γενική δικτυακή τοπολογία είναι αστέρα ενώ οι ΕΜ έχουν κοινή πρόσβαση σε κάθε γραμμή ΧΤ σχηματίζοντας υποδίκτυο τοπολογίας διαύλου.



Σχήμα 6.1: Ενδεικτικό δίκτυο ΧΤ σε ημιαστικές και αραιοκατοικημένες περιοχές

Χρήση Δικτύων Κινητών Επικοινωνιών στο Δίκτυο Μεταφοράς ΣΕΜ

Η χρησιμοποίηση των δικτύων κινητών επικοινωνιών θεωρείται η επικρατέστερη για την επικοινωνία συγκεντρωτών-MDMS. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης επιλογής παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 6.2.1. Όμως, λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών των αστικών και των ημιαστικών περιοχών είναι σημαντικό να επισημανθούν τα εξής:

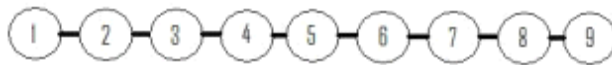
- Η ακτίνα κάλυψης κάθε κυψέλης είναι μεγαλύτερη οπότε, αυξάνεται η απόσταση ΣΒ-συγκεντρωτών. Λόγω της αύξησης της απόσβεσης, ο διαθέσιμος ρυθμός μετάδοσης στην κάτω και τη άνω ζεύξη μειώνεται σε σχέση με τους

διαθέσιμους ρυθμούς μετάδοσης σε αστικές περιοχές (384 kbps-2 Mbps).

- Λόγω του χαμηλού ύψους των κατοικιών, το περιβάλλον επικοινωνίας των συγκεντρωτών με τους ΣΒ γίνεται ευνοϊκότερο σε σχέση με το αντίστοιχο περιβάλλον διάδοσης σε αστικές περιοχές, βελτιώνοντας την ποιότητα του σήματος στους πομποδέκτες των συγκεντρωτών και αυξάνοντας την αξιοπιστία της επικοινωνίας των συγκεντρωτών με τους ΣΒ.
- Αξιοποιώντας τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών στο δίκτυο μεταφοράς του ΣΕΜ και διαμορφώνοντας ένα ιεραρχικό ΣΕΜ, καθίσταται ευκολότερη η επεκτασιμότητα του ΣΕΜ σε περιοχές που παρουσιάζουν οικοδομική δραστηριότητα.

Χρήση Τεχνολογία BB-PLC στο Δίκτυο Μέσης Τάσης στο Δίκτυο Μεταφοράς ΣΕΜ

Αξιοποιώντας την τεχνολογία BB-PLC στο δίκτυο ΜΤ καθίσταται εφικτή η επικοινωνιακή διασύνδεση συγκεντρωτών με τοπικούς υπολογιστές που είναι εγκατεστημένοι σε υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ. Συγκεκριμένα, με την εγκατάσταση συγκεντρωτών στους Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ μιας γραμμής (αναχώρηση) διαμορφώνεται ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο τοπολογίας αλυσίδας, όπου οι συγκεντρωτές είναι συνδεδεμένοι σε σειρά (γραμμική αλυσίδα- Σχ. 6.2). Η πλειοψηφία των αναχωρήσεων ΜΤ παρουσιάζουν μικρές διακλαδώσεις γεγονός που μετατρέπει την τοπολογία σε σχεδόν γραμμική αλυσίδα (Σχ. 6.3). Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις γραμμές ΜΤ που αναχωρούν από ένα Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ, η τελική τοπολογία θεωρείται δένδρου. Σε πειραματικά δίκτυα με BB-PLC, η ταχύτητα μετάδοσης ανάμεσα σε δύο Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ κυμαίνεται από 5 Mbps έως 60 Mbps.

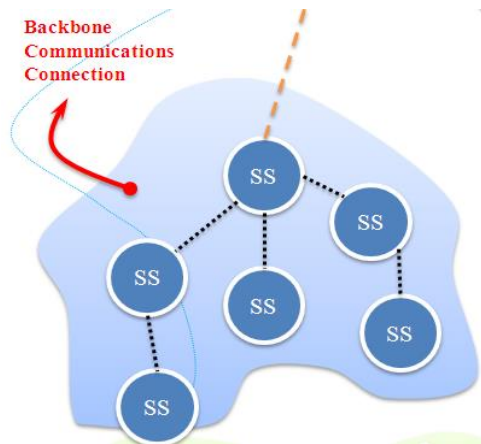


Σχήμα 6.2: Τοπολογία γραμμικής αλυσίδας



Σχήμα 6.3: Τοπολογία σχεδόν γραμμικής αλυσίδας

Εναλλακτικά, λόγω της μικρής εμπειρίας που υπάρχει σε BB-PLC δίκτυα και για ευκολότερη διαχείριση των συγκεντρωτών μπορεί να γίνει δικτύωση τμημάτων μιας γραμμής MT με BB-PLC τεχνολογία που περιλαμβάνει μία ομάδα από συγκεντρωτές. Ένας από τους συγκεντρωτές λειτουργεί ως διαχειριστής του δικτύου και διασυνδέει σε δεύτερο βαθμό τους υπόλοιπους συγκεντρωτές με το MDMS μέσω του δικτύου κορμού. Έτσι, σχηματίζονται δίκτυα LAN που προσφέρουν καλύτερη διαχείριση και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.



Σχήμα 6.4: Τοπικό BB-PLC δίκτυο LAN

Μπλε διακεκομμένες γραμμές: Ζεύξεις BB-PLC στη MT

Κίτρινη διακεκομμένη γραμμή: Ζεύξη επικοινωνίας διαχειριστή συγκεντρωτή με MDMS

Secondary Substation-SS: Υ/Σ MT/ΧΤ

Όπως έχει αναφερθεί και στο εδάφιο 4.1.7, τα καλώδια MT εμφανίζουν υψηλά επίπεδα θορύβου, έντονη παραμόρφωση και εξασθένηση. Για το λόγο αυτό, η απόσταση δύο συγκεντρωτών δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 500m. Σε περίπτωση όπου η απόσταση δύο συγκεντρωτών είναι μεγαλύτερη, επιβάλλεται η τοποθέτηση τουλάχιστον ενός επαναλήπτη ανάμεσα στους συγκεντρωτές, για την αναγέννηση και αναμετάδοση του σήματος. Όταν ο PLC δίαυλος μετάδοσης είναι ιδιαίτερα δυσμενής και ο ρυθμός μετάδοσης προκύπτει χαμηλός, για την επικοινωνία σημείου προς σημείο μεταξύ των συγκεντρωτών (ή των επαναληπτών) προτείνεται η ενεργοποίηση εναλλακτικής διεπαφής WiFi.

Βασικό κίνητρο αξιοποίησης του δικτύου διανομής HE στην υλοποίηση του ΣΕΜ

είναι η ανεξαρτησία του διαχειριστή του ΗΔ από παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, αφού αξιοποιείται αποκλειστικά το δίκτυο διανομής ΜΤ. Επίσης, οι διαθέσιμοι ρυθμοί μετάδοσης είναι υψηλότεροι από αυτούς που προσφέρονται στο δίκτυο πρόσβασης των δικτύων κινητών επικοινωνιών.

Η δημιουργία ενός ευρυζωνικού τηλεπικοινωνιακού δικτύου στο δίκτυο ΜΤ συμβάλλει στην επεκτασιμότητα των υπηρεσιών του ΕΔ. Εκτός από δεδομένα ευφυούς μέτρησης, στο ΣΕΜ θα μεταδίδονται και δεδομένα που βελτιώνουν την εποπτεία και τη διαχείριση του δικτύου διανομής ΗΕ. Έξυπνες συσκευές που είναι τοποθετημένες σε στοιχεία του δικτύου διανομής, όπως μετασχηματιστές και διακόπτες ισχύος, μπορούν να επικοινωνούν αμφίδρομα μέσω του ΣΕΜ με άλλα συστήματα (SCADA-EMS). Έτσι, το ΣΕΜ μπορεί να συμβάλει επικουρικά στην ευφυή διαχείριση του δικτύου διανομής.

Χρήση xDSL στο Δίκτυο Μεταφοράς ΣΕΜ

Η χρήση της τεχνολογίας ADSL για την επικοινωνία με των συγκεντρωτών με το MDMS είναι αξιόπιστη λύση διότι προσφέρει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης σε σχέση με τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Παράλληλα, το δίκτυο πρόσβασης xDSL και το δίκτυο μεταφοράς των ευρυζωνικών δικτύων είναι ωριμότερα και αποτελούν περισσότερο αξιόπιστο συνδυασμό από ένα BB-PLC δίκτυο για την υλοποίηση του δικτύου μεταφοράς του ΣΕΜ.

6.2.3 Δίκτυο Μεταφοράς σε αγροτικές και αραιοκατοικημένες περιοχές

Οι αγροτικές και αραιοκατοικημένες περιοχές χαρακτηρίζονται από μεικτό γεωγραφικό ανάγλυφο καθώς περιλαμβάνουν τόσο πεδιάδες όσο και ορεινές περιοχές. Η πληθυσμιακή πυκνότητα ανέρχεται σε μερικές δεκάδες κατοίκους ανά km². Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από τη διασπαρμένη ύπαρξη κατοικιών, αγροτικών/γεωργικών εγκαταστάσεων. Η διαθέσιμη τηλεπικοινωνιακή υποδομή είναι περιορισμένη καθώς είναι διαθέσιμα μόνο ασύρματα δίκτυα GPRS/EDGE και κατά τόπους 3G, ενώ η διαθεσιμότητα τηλεφωνικής υποδομής για πρόσβαση στο διαδίκτυο μέσω xDSL τεχνολογίας είναι περιορισμένη.

Συνοπτικά, για τη διαμόρφωση του δικτύου πρόσβασης του ΣΕΜ έχουν γίνει οι εξής προτάσεις:

1. Χρήση δικτύων κινητών επικοινωνιών GSM, GPRS, 3G για την απευθείας

επικοινωνία EM με MDMS.

2. Χρήση PLC τεχνολογίας αξιοποιώντας το δίκτυο διανομής ΧΤ. Οι συγκεντρωτές είναι εγκατεστημένοι σε Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ. Κάθε συγκεντρωτής εξυπηρετεί λιγότερους από 80 EM και ενώ, κατά περίπτωση το δίκτυο ΧΤ είναι μεγαλύτερης έκτασης (μέγιστο μήκος γραμμών ΧΤ τα 1200m) με περισσότερες διακλαδώσεις, ώστε να εξυπηρετεί διασπαρμένους καταναλωτές.

Χρήση δικτύων κινητών επικοινωνιών στο Δίκτυο Μεταφοράς ΣΕΜ

Η χρήση δικτύων κινητών επικοινωνιών GSM, GPRS είναι η πλέον ενδεδειγμένη για τη διαμόρφωση του δικτύου μεταφοράς του ΣΕΜ, όταν στο δίκτυο πρόσβασης χρησιμοποιείται PLC τεχνολογία. Οι ταχύτητες μετάδοσης φθάνουν τα 171 kbps. Εφόσον διατίθεται συνδεσιμότητα 3G, οι ταχύτητες μπορεί να φθάσουν τα 2 Mbps στην κάτω ζεύξη και τα 384 kbps στην άνω ζεύξη.

Καίτοι οι διαθέσιμοι τηλεπικοινωνιακοί πόροι είναι περιορισμένοι, η χρήση των δικτύων κινητών επικοινωνιών δικτύων προσφέρει αξιοπιστία, ενώ το κόστος μίσθωσης τους είναι περιορισμένο αφού η πυκνότητα EM και συγκεντρωτών είναι χαμηλή.

Χρήση Τεχνολογίας BB-PLC επί του Δικτύου Μέσης Τάσης για Δίκτυο Μεταφοράς ΣΕΜ

Η διαμόρφωση ενός δικτύου μεταφοράς του ΣΕΜ αξιοποιώντας το δίκτυο διανομής ΜΤ αποτελεί λύση που μπορεί να εφαρμοσθεί σε περιπτώσεις όπως:

1. Αδυναμία σύνδεσης ενός συγκεντρωτή με τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Στην περίπτωση αυτή, ο συγκεντρωτής επικοινωνεί, με BB-PLC, με γειτονικούς συγκεντρωτές (περίπτωση LAN δικτύωσης) που έχουν καλύτερη σύνδεση με τα συγκεκριμένα δίκτυα.
2. Συνύπαρξη ευφυούς μέτρησης με άλλες εφαρμογές ΕΔ. Για παράδειγμα, σε αυτόνομα ενεργειακά συστήματα ελληνικών νησιών θα εγκατασταθούν τηλεπικοινωνιακά συστήματα που θα εξυπηρετούν εφαρμογές ΕΔ, όπως η δυναμική εκμετάλλευση των Α.Π.Ε.. Τα συγκεκριμένα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, αξιοποιώντας το δίκτυο ΜΤ, θα μπορούν να εξυπηρετήσουν και συγκεντρωτές για τη μετάδοση δεδομένων ευφυούς μέτρησης.

6.2.4 Καταναλωτές ΜΤ

Οι καταναλωτές που είναι συνδεδεμένοι απευθείας στη ΜΤ, όπως βιομηχανίες, βιοτεχνίες, νοσοκομεία, αθλητικά κέντρα και εμπορικά κέντρα, μπορούν να χρησιμοποιούν μισθωμένες xDSL ή οπτικές ίνες για την άμεση επικοινωνία με το διαχειριστή του ΗΔ μέσω του Διαδικτύου. Στις εγκαταστάσεις των καταναλωτών ΜΤ υπάρχουν διασπαρμένοι ΕΜ, που επικοινωνούν με συγκεντρωτές χρησιμοποιώντας ασύρματες ή ενσύρματες τεχνολογίες μέσης εμβέλειας. Στους συγκεκριμένους χώρους, υπάρχει διαθέσιμη δικτυακή υποδομή για την πρόσβαση στο Διαδίκτυο, με συνέπεια να μειώνεται το κόστος εγκατάστασης του ΣΕΜ. Η χρήση των πλέον εύρωστων τεχνολογιών επικοινωνιών για την επίτευξη της ελάχιστης δυνατής καθυστέρησης στη μετάδοση δεδομένων είναι σημαντική για το διαχειριστή του ΗΔ, καθώς στους καταναλωτές ΜΤ προσφέρονται πολυάριθμες υπηρεσίες ΕΔ, όπως ρύθμιση ισχύος, έλεγχος ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος, υπηρεσίες πολλαπλών τιμολογίων και υπηρεσίες διαχείρισης ενέργειας.

Χαρακτηρισμός Περιοχής	Προτεινόμενες Τεχνολογίες	Θέση Συγκεντρωτή
Αστική- Υψηλή Πυκνότητα ΕΜ	1. EDGE/UMTS/HSDPA-HSUPA (τοπολογία αστέρα) 2. xDSL (τοπολογία αστέρα)	1. Υποσταθμός ΜΤ/ΧΤ 2. Οροφές Πολυόροφων κατοικιών
Ημιαστική- Μέτρια Πυκνότητα ΕΜ	1. EDGE/UMTS/HSDPA-HSUPA (τοπολογία αστέρα) 2. BB-PLC στο δίκτυο ΜΤ (τοπολογία αλυσίδας) 3. xDSL (τοπολογία αστέρα)	1. Υποσταθμός ΜΤ/ΧΤ
Αγροτική- Χαμηλή Πυκνότητα ΕΜ	1. GSM/EDGE/UMTS (τοπολογία αστέρα) 2. BB-PLC στο δίκτυο ΜΤ (τοπολογία αλυσίδας)	1. Υποσταθμός ΜΤ/ΧΤ
Καταναλωτές ΜΤ	1. xDSL 2. Οπτικές ίνες	1. Στην εγκατάσταση των καταναλωτών ΜΤ

Πίνακας 6.3: Προτάσεις υλοποίησης δικτύου μεταφοράς ΣΕΜ

6.2.5 Δίκτυο κορμού ΣΕΜ

Το δίκτυο κορμού ΣΕΜ είναι αναγκαίο όταν στο δίκτυο μεταφοράς ΣΕΜ χρησιμοποιείται PLC τεχνολογία. Τα δεδομένα του ΕΔ που μεταδίδουν οι συγκεντρωτές συλλέγονται είτε από τοπικά κέντρα ελέγχου εγκατεστημένα στους Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ, είτε από

συγκεντρωτές-διαχειριστές σε περίπτωση που το δίκτυο είναι BB-PLC LAN.

Κύρια λειτουργία ενός τοπικού κέντρου ελέγχου ή ενός συγκεντρωτή-διαχειριστή είναι η άμεση προώθηση των δεδομένων για την επικοινωνιακή διασύνδεση συγκεντρωτών με MDMS. Επίσης, ένα τοπικό κέντρο ελέγχου μπορεί να προωθεί δεδομένα σε οντότητες που δεν έχουν άμεση σχέση με το ΣΕΜ, όπως σε ομάδες συντήρησης και διαχείρισης εκτάκτων αναγκών. Παράλληλα, ένα τοπικό κέντρο ελέγχου μπορεί να αποθηκεύει και να επεξεργάζεται δεδομένα συμβάλλοντας στην αποκεντρωμένη διαχείριση δεδομένων.

Η επικοινωνία του MDMS με τα τοπικά κέντρα ελέγχου μπορεί να γίνει είτε με χρήση ιδιωτικών δικτύων που εκμεταλλεύεται ο διαχειριστής του ΗΔ, είτε με αξιοποίηση διαθέσιμων τηλεπικοινωνιακών υποδομών. Οι προτεινόμενες τηλεπικοινωνιακές λύσεις είναι:

1. Χρήση δικτύου οπτικών ινών για την επικοινωνία με το MDMS μέσω του Διαδικτύου ή ιδιωτικού δικτύου. Αξιοποιώντας δίκτυα οπτικών ινών με πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, τα δεδομένα μεταδίδονται με την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση μετάδοσης, αντισταθμίζοντας την καθυστέρηση που προκαλείται από τα δίκτυα πρόσβασης και μεταφοράς.
2. Χρήση δικτύου μικροκυματικών ζεύξεων για τη σύνδεση τοπικών κέντρων ελέγχου που δεν έχουν άμεση πρόσβαση σε υποδομές ευρείας ζώνης. Η συγκεκριμένη λύση βρίσκει εφαρμογή σε νησιωτικές, ορεινές και πολύ αραιοκατοικημένες περιοχές όπου δεν υπάρχει διαθέσιμη ενσύρματη τηλεπικοινωνιακή υποδομή.
3. Χρήση xDSL συνδέσεων για την επικοινωνία του MDMS με συγκεντρωτές-διαχειριστές τοπικών δικτύων BB-PLC. Η συγκεκριμένη λύση για τη μετάδοση δεδομένων από μικρότερο αριθμό συγκεντρωτών είναι αρκετά φθηνότερη σε σχέση με τη χρήση οπτικών ινών.

6.3 Εξυπηρέτηση Προγραμματισμένων Υπηρεσιών

Στις προηγούμενες ενότητες του Κεφ.6 παρουσιάστηκαν μια σειρά από προγραμματισμένες και έκτακτες υπηρεσίες ΕΔ, καθώς και υποψήφιες αντίστοιχες τηλεπικοινωνιακές λύσεις για το δίκτυο μεταφοράς και κορμού του ελληνικού ΣΕΜ. Κύριος στόχος της ενότητας αυτής είναι να παρουσιαστεί ο τρόπος με τον οποίο το

δίκτυο μεταφοράς του ΣΕΜ θα εξυπηρετήσει τον ημερήσιο όγκο προγραμματισμένων δεδομένων ευφυούς μέτρησης. Ο τρόπος που εξυπηρετούνται τα δεδομένα που προέρχονται από τις προγραμματισμένες ημερήσιες ευφυείς μετρήσεις θα αποτελέσει οδηγό και για την εξυπηρέτηση δεδομένων από άλλες προγραμματισμένες υπηρεσίες ΕΔ. Τέλος, προσδιορίζοντας το συνολικό όγκο που προκύπτει από προγραμματισμένες υπηρεσίες, οι σχεδιαστές του ΣΕΜ θα μπορούν να εκτιμήσουν τη διαθεσιμότητα του ΣΕΜ για έκτακτες υπηρεσίες ΕΔ.

6.3.1 Προσδιορισμός Όγκου Δεδομένων Ευφυούς Μέτρησης

Το πρώτο στάδιο για τον υπολογισμό του παραγόμενου όγκου δεδομένων είναι ο προσδιορισμός του όγκου δεδομένων που δημιουργεί ένας ΕΜ κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ο όγκος της παραγόμενης κίνησης από κάθε ΕΜ 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. Στόχος είναι η καταγραφή της ημερήσιας καμπύλης φορτίου με συχνότητα 15 λεπτών. Τα ελάχιστα δυνατά ηλεκτρικά μεγέθη που μπορούν να καταγραφούν είναι:

- Εισερχόμενη ενεργός ισχύς
- Εξερχόμενη ενεργός ισχύς
- Εισερχόμενη άεργος ισχύς
- Εξερχόμενη άεργος ισχύς
- Τάση
- Ένταση Ρεύματος
- Αποκλίσεις μεταξύ φάσεων (3 μεγέθη)
- Ώρα καταγραφής

Σύμφωνα με τον ανωτέρω κατάλογο το ελάχιστο πλήθος ηλεκτρικών μεγεθών είναι 10. Εφόσον για την περιγραφή κάθε μεγέθους απαιτούνται 4 bytes, ένας συγκεντρωτής δέχεται ανά 15 λεπτά από κάθε ΕΜ δεδομένα τηλεμέτρησης όγκου

$$4*10= 40 \text{ bytes} \quad (1)$$

Κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου ένας EM αποστέλλει περιοδικά, ανά 15 λεπτά, 96 μηνύματα προς τον οικείο συγκεντρωτή. Επομένως, κάθε EM αποστέλλει συνολικά μετρητικά δεδομένα όγκου

$$40 \cdot 96 = 3840 \text{ bytes} \quad (2)$$

Για την ασφαλή μεταφορά των μετρητικών δεδομένων ενός EM από το συγκεντρωτή προς το MDMS είναι αναγκαίο να προστεθούν τα πλεονάζοντα bytes:

- Λόγω εφαρμογής πρωτοκόλλου συνεδρίας DLMS/COSEM προστίθενται 14 bytes.
- Για επικεφαλίδες TCP/IP προστίθενται 50 bytes.
- Για την προστασία των δεδομένων μέσω DES/AES κρυπτογράφησης προστίθενται 22 bytes.
- Επίσης, προστίθενται 500 bytes (ενδεικτικός αριθμός) που μεταδίδονται κατά τη διάρκεια μιας TCP συνεδρίας.

Άρα ο συνολικός όγκος δεδομένων P για κάθε EM που μεταδίδουν οι συγκεντρωτές, είτε μέσω δικτύων κινητών επικοινωνιών είτε με BB-PLC τεχνολογία επί της MT είτε μέσω xDSL σύνδεσης, είναι

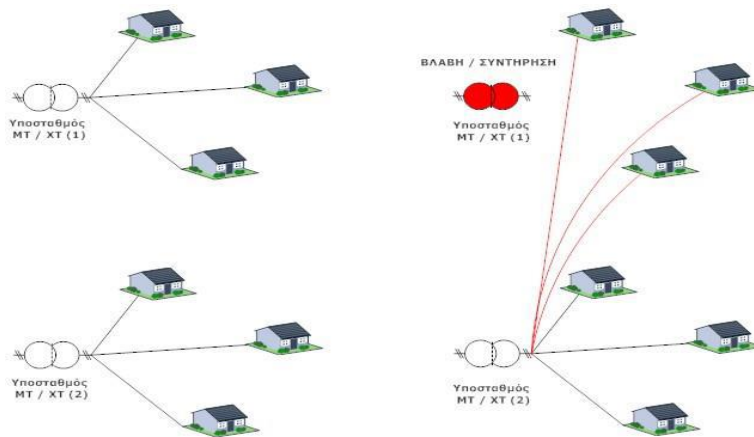
$$P = 3840 + 14 + 50 + 22 + 500$$

$$P = 4426 \text{ bytes} \quad (3)$$

Το ανωτέρω ενδεικτικό αποτέλεσμα αποτελεί την πλέον απαιτητική σε όγκο δεδομένων περίπτωση ανταλλαγής πληροφορίας. Στην πράξη, ο όγκος δεδομένων είναι μικρότερος καθώς οι EM και οι συγκεντρωτές έχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων και συμπίεσης της προκύπτουσας αρχικής πληροφορίας, δεν μεταδίδονται πάντα όλα τα καταγεγραμμένα ηλεκτρικά μεγέθη μεταξύ EM και MDMS και μπορεί κατά τη διάρκεια μιας TCP συνεδρίας να μεταδίδονται δεδομένα περισσότερων του ενός EM.

Σύμφωνα με τη διακήρυξη του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. στο πιλοτικό δίκτυο πρόσβασης ΣΕΜ θα αξιοποιηθούν είτε τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών είτε δίκτυα PLC στο δίκτυο διανομής ΧΤ. Δηλαδή, συγκεντρωτές τοποθετημένοι αυστηρά στους Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ υπάρχουν μόνον εφόσον το δίκτυο πρόσβασης είναι PLC. Για τον προσδιορισμό του συνολικού όγκου δεδομένων που συγκεντρώνονται σε ένα συγκεντρωτή πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής:

- Σε υψηλής πληθυσμιακής πυκνότητας περιοχές, ένας συγκεντρωτής εξυπηρετεί 150-350 ΕΜ, σε μεσαίας πληθυσμιακής πυκνότητας περιοχές εξυπηρετεί 80-150 ΕΜ και σε αραιοκατοικημένες περιοχές εξυπηρετεί λιγότερους από 80 ΕΜ.
- Από κυκλωματική σκοπιά, ως επί το πλείστον, τα δίκτυα ΧΤ έχουν δομή ανοικτού βρόχου. Δηλαδή κάθε γραμμή ΧΤ εκκινεί από ένα (κύριο) Μ/Σ τερματίζει σε ένα γειτονικό Μ/Σ και μέσω ενός διακόπτη, που είναι ανοικτός υπό κανονικές συνθήκες και κλειστός σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης του κύριου Μ/Σ. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι σε περιπτώσεις βλαβών ή συντήρησης, ένας συγκεντρωτής ενδέχεται να κληθεί να εξυπηρετήσει και γειτονικούς ΕΜ, γεγονός που μπορεί μέχρι και να διπλασιάσει τον αριθμό των ΕΜ που εξυπηρετεί ο συγκεντρωτής.



Σχήμα 6.5: Σενάριο εξυπηρέτησης ΕΜ από γειτονικό συγκεντρωτή

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, εντός 24 ωρών, ένας συγκεντρωτής συγκεντρώνει δεδομένα συνολικού όγκου, που κατά περίπτωση ταξινομούνται στον Πιν.6.4 με βάση τη σχέση

$$P_{\text{ολ}} = (\text{εκτιμώμενος αριθμός ΕΜ}) * P \quad (4)$$

Χαρακτηρισμός Περιοχής	Εκτιμώμενος Αριθμός ΕΜ	Εκτιμώμενος Ημερήσιος Όγκος Δεδομένων Τηλεμέτρησης ανά Συγκεντρωτή
Αστική- Υψηλή Πυκνότητα ΕΜ	150-350 ΕΜ	648.34 kB-1.48 MB
Ημιαστική- Μέτρια Πυκνότητα ΕΜ	80-150 ΕΜ	345.78 kB-648.34 kB
Αγροτική- Χαμηλή Πυκνότητα ΕΜ	<80 ΕΜ	<345.78 kB

Πινάκας 6.4: Εκτιμώμενος ημερήσιος όγκος δεδομένων δικτύου πρόσβασης ΣΕΜ

6.3.2 Μετάδοση Δεδομένων τηλεμέτρησης από Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών

Τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών GPRS, UMTS και HSPA (εξέλιξη του UMTS) προβλέπεται να αξιοποιηθούν στο μεγαλύτερο ποσοστό του δικτύου μεταφοράς ΣΕΜ. Η χρήση των δικτύων κινητών επικοινωνιών από τους συγκεντρωτές για την επικοινωνία τους με το MDMS είναι συνεχής. Κάθε 24 ώρες, κατά το διάστημα 00.00-08.00 οι συγκεντρωτές καλούνται να μεταδώσουν προς το MDMS τα συγκεντρωμένα δεδομένα τηλεμέτρησης. Κατά το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα το φορτίο τηλεπικοινωνιακής κίνησης για εξυπηρέτηση εφαρμογών κινητής τηλεφωνίας είναι χαμηλό. Επομένως, προσφέρεται η δυνατότητα καλύτερης εξυπηρέτησης της αποστολής δεδομένων τηλεμέτρησης, αφού, τότε, η διαθεσιμότητα των δικτύων κινητών επικοινωνιών είναι πολύ υψηλότερη και οι διαθέσιμοι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων υψηλότεροι.

Η GPRS τεχνολογία χαρακτηρίζεται από μεγάλο ποσοστό κάλυψης. Κάθε κανάλι εύρους ζώνης 200kHz χωρίζεται σε 8 χρονοσχισμές προκειμένου να εξυπηρετηθούν έως 8 χρήστες ανά κανάλι μέσω TDMA. Ο συνήθης ρυθμός μετάδοσης κάθε χρονοσχισμής είναι 21.525kbps με μέγιστη τιμή 59.2 kbps (EDGE), με δυνατότητα χρησιμοποίησης περισσότερων της μίας χρονοσχισμών. Άρα, ο μέγιστος θεωρητικός ρυθμός μετάδοσης είναι ίσος με 172.2kbps (384 kbps σε EDGE δίκτυο) εφόσον χρησιμοποιούνται και οι 8 διαθέσιμες χρονοσχισμές. Η συνολική χωρητικότητα ενός δικτύου μεταφοράς ΣΕΜ εξαρτάται από το πλήθος των χρονοσχισμών που θα δεσμευτούν αποκλειστικά για αποστολή δεδομένων μέσω GPRS.

Τα δίκτυα τρίτης γενιάς χαρακτηρίζονται από μικρότερες περιοχές κάλυψης, προσφέροντας, όμως, υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Οι ρυθμοί μετάδοσης στα δίκτυα 3G κυμαίνονται από 384kbps μέχρι 2Mbps, ενώ υπάρχει ασυμμετρία ρυθμού μετάδοσης ανάμεσα στις ζεύξεις uplink και downlink. Στα εξελιγμένα δίκτυα 3G, όπως τα δίκτυα HSPA, οι διαθέσιμοι ρυθμοί μετάδοσης αυξάνονται με ενδεικτικές τιμές τα

14.4 Mbps στην κάτω ζεύξη και 5.7 Mbps στην άνω ζεύξη. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μοιράζεται δυναμικά στα τερματικά ανάλογα με τις ανάγκες τους. Για την πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης χρησιμοποιείται τεχνική WCDMA. Κάθε τερματική συσκευή διαθέτει τη δική του ψηφιακή ταυτότητα προς κωδικοποίηση της πληροφορίας του για πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης. Το πλήθος των ταυτοχρόνως υποστηριζόμενων τερματικών διατάξεων εξαρτάται από το πλήθος των διαφορετικών δυαδικών ταυτοτήτων. Όμως, η ταυτόχρονη υποστήριξη μεγάλου πλήθους τερματικών διατάξεων επιφέρει μείωση του ρυθμού μετάδοσης. Στις σχέσεις 4 και 5 παρουσιάζονται ο αριθμός των ταυτοχρόνως υποστηριζόμενων τερματικών και ο προσφερόμενος ανά τερματικό ρυθμός μετάδοσης άνω ζεύξης

$$N_{users}=256/2^n, 0 \leq n \leq 6 \quad (5)$$

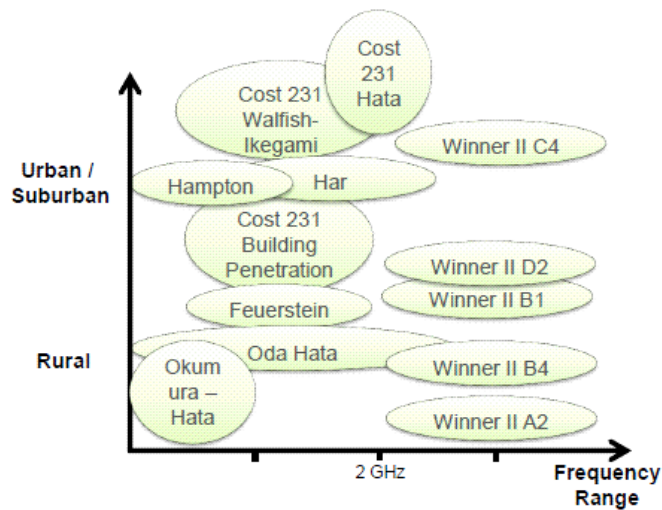
$$1)R_{u,3G}=15 \cdot 2^n, 0 \leq n \leq 6 \quad (6)$$

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.

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 4.2.2, το δίκτυο πρόσβασης των δικτύων κινητών επικοινωνιών χωρίζεται σε κυψέλες, για την καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος 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 διαφόρων τύπων παρεμβολές και το λειτουργικό 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. Ένας απλός τρόπος εκτίμησης της πυκνότητας των συγκεντρωτών ανά κυψέλη, που παρουσιάζεται στο Πιν.6.6, μπορεί να γίνει με τη βοήθεια στοιχείων ομοίων με αυτά των Πιν.4.3 και 6.4 καθώς και στοιχείων κάλυψης των δικτύων κινητών επικοινωνιών. 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. Εξάλλου, σκοπός του Κεφ.6 δεν είναι η παρουσίαση ακριβών αποτελεσμάτων, αλλά η παρουσίαση μιας πρώτης προσέγγισης για τη θεωρητική διαστασιολόγηση του δικτύου μεταφοράς ΣΕΜ. Για περισσότερη ακρίβεια, πρέπει να υπάρξει πρόσβαση σε

επικαιροποιημένους χάρτες ραδιοκάλυψης των δικτύων κινητών επικοινωνιών και απεικόνιση γραμμών MT.



Σχήμα 6.6: Μοντέλα απωλειών διάδοσης με κριτήριο τη φασματική περιοχή και την πληθυσμιακή πυκνότητα

Περιοχή	Εκτιμώμενος Αριθμός EM ανά Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ	Πυκνότητα EM/km ²	Ακτίνα κυψέλης	Εμβαδόν κύκλου κυψέλης	Εκτιμώμενος Αριθμός Συγκεντρωτών ανά κυψέλη
Αστική- Υψηλή Πυκνότητα EM	150-350 EM	>2000	500m	0.7854 km ²	>11
Ημιαστική- Μέτρια Πυκνότητα EM	80-150 EM	800	1.5 km	7.06 km ²	40-60
Αγροτική- Χαμηλή Πυκνότητα EM	<80 EM	10	10km	314.16 km ²	40

Πίνακας 6.5: Προσδιορισμός πυκνότητας συγκεντρωτών ανά κυψέλη

Σε περιοχές υψηλής και μέτριας πυκνότητας EM, για την απομάστευση των μετρητικών δεδομένων από τους συγκεντρωτές επιλέγονται τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών 3ης γενιάς. Από τις σχέσεις 4 και 5, επιλέγοντας τιμή n=4, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων uplink για κάθε συγκεντρωτή είναι 240 Kbps το κανάλι μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονα 16 τερματικά. Με βάση και τα στοιχεία από τον Πιν.6.4 προκύπτει ότι:

- Σε αστικές περιοχές, η διάρκεια της απομάστευσης του ημερήσιου όγκου δεδομένων από ένα συγκεντρωτή κυμαίνεται από

$$T=648.34 \text{ kBytes} / 240 \text{ kbps}= 21.6 \text{ sec} \quad (7)$$

μέχρι

$$T=1.48 \text{ MBytes} / 240 \text{ kbps}= 50.4 \text{ sec} \quad (8)$$

- Σε Ημιαστικές περιοχές, η διάρκεια της απομάστευσης του ημερήσιου όγκου δεδομένων από ένα συγκεντρωτή κυμαίνεται από

$$T=345.78 \text{ kBytes} / 240 \text{ kbps}= 11.5 \text{ sec} \quad (9)$$

μέχρι

$$T=648.34 \text{ kBytes} / 240 \text{ kbps}= 21.6 \text{ sec}$$

Στις δύο ανωτέρω περιπτώσεις πρέπει να προστεθούν 13-25 sec για τις διαδικασίες έναρξης και τερματισμού της συνεδρίας 3G.

Σε αραιοκατοικημένες περιοχές, οι συγκεντρωτές επικοινωνούν με σταθμούς βάσης δικτύων GPRS/EDGE. Ένας ενδεικτικός ρυθμός μετάδοσης είναι 60 kbps (δίκτυο EDGE), οπότε η ενδεικτική διάρκεια της απομάστευσης του ημερήσιου όγκου δεδομένων από ένα συγκεντρωτή είναι

$$T=345.78 \text{ kBytes} / 60 \text{ kbps}=34.5 \text{ sec} \quad (10)$$

Στην ανωτέρω διάρκεια προστίθενται 25-50 δευτερόλεπτα για διαδικασίες έναρξης και τερματισμού της GPRS συνεδρίας.

Τέλος, πρέπει να επισημανθεί ότι σε ένα διάστημα απομάστευσης T μπορούν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα περισσότεροι από ένας συγκεντρωτές. Η ταυτόχρονη εξυπηρέτηση συγκεντρωτών εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα του δικτύου και από τις συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών μεταξύ διαχειριστή του ΗΔ και παρόχου δικτύου κινητών επικοινωνιών. Για παράδειγμα, αν ο πάροχος δικτύου GPRS διαθέτει αποκλειστικά ένα κανάλι ανά κυψέλη για το δίκτυο ΣΕΜ, μπορούν να εξυπηρετούνται ταυτόχρονα 3 συγκεντρωτές, διότι χρησιμοποιούνται 2 χρονοσχισμές ανά συγκεντρωτή και μία τουλάχιστον χρονοσχισμή για σηματοδότηση. Στα δίκτυα 3G, η ταυτόχρονη εξυπηρέτηση συγκεντρωτών εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα κωδικών για WCDMA πρόσβαση στο ραδιοδίαυλο.

6.3.3 Μετάδοση Δεδομένων Τηλεμέτρησης σε Δίκτυα BB-PLC επί της MT

Ως εναλλακτική επιλογή για το δίκτυο μεταφοράς ΣΕΜ έχει προταθεί η τεχνολογία BB-PLC επί του δικτύου διανομής MT, με ολόκληρη ή τμηματική εκμετάλλευση γραμμών MT. Η συγκεκριμένη επιλογή έχει το πλεονέκτημα του υψηλότερου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. Όμως, η διαμόρφωση των συγκεκριμένων δικτύων βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο, γεγονός που έχει αντίκτυπο στην αξιοπιστία. Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν μερικά χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων δικτύων που επηρεάζουν την εξυπηρέτηση των δεδομένων τηλεμέτρησης.

Τα διαθέσιμα στοιχεία για το ελληνικό δίκτυο διανομής MT είναι τα εξής:

- 160.000 Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ.
- 195 Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ.
- 4 - 25 γραμμές ΜΤ ανά Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ, πλήθος που εξαρτάται από την πληθυσμιακή πυκνότητα.
- Το μήκος των γραμμών αναχώρησης ΜΤ κυμαίνεται από 3 km έως 10 km σε αστικές περιοχές και από 5 km έως 35 km σε μη αστικές περιοχές.

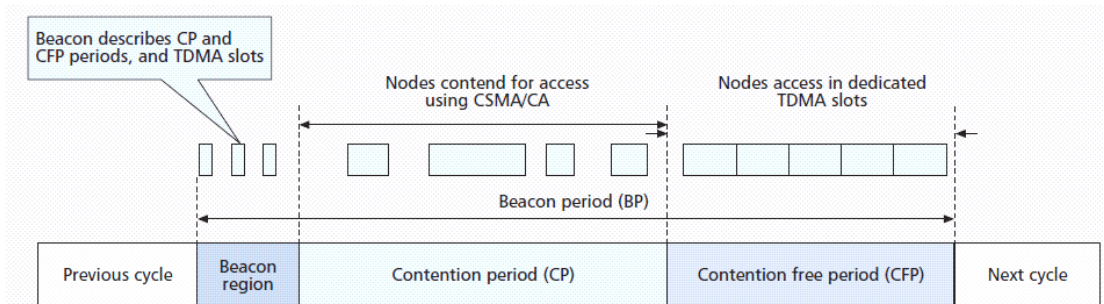
Το προτεινόμενο BB-PLC δίκτυο είναι δομημένο δίκτυο, όπου κάθε συγκεντρωτής μεταδίδει δεδομένα σε συγκεκριμένο τοπικό κέντρο ελέγχου στον Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ ή σε συγκεντρωτή-διαχειριστή στην περίπτωση όπου το BB-PLC δίκτυο είναι LAN. Σε περίπτωση αδυναμίας επικοινωνίας λόγω φυσικού προβλήματος στο δίκτυο ΜΤ, τα δεδομένα δρομολογούνται είτε σε εναλλακτικό κέντρο ελέγχου (τοπολογία ανοικτού βρόχου δικτύου ΜΤ) είτε ενεργοποιείται εναλλακτική ασύρματη επαφή για επικοινωνία με το MDMS (ακτινική τοπολογία δικτύου ΜΤ).

Η δικτυακή τοπολογία των BB-PLC δικτύων θεωρείται σχεδόν γραμμική αλυσίδα. Στα συγκεκριμένα δίκτυα έχει επικρατήσει η ιδέα ενός κυψελωτού συστήματος, όπου το διαθέσιμο φάσμα (2-60 MHz) χωρίζεται σε κανάλια και οι συγκεντρωτές ομαδοποιούνται σε κυψέλες. Η κυψελωτή δομή προσφέρει καλύτερη αξιοποίηση του φάσματος και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Επίσης, περιορίζει τις παρεμβολές και τα προβλήματα που προκαλούνται από την ανομοιογενή συμπεριφορά των ηλεκτρικών καλωδίων στα υψίσυχνα σήματα. Σε μια κυψέλη BB-PLC μπορεί να γίνει κατηγοριοποίηση των συγκεντρωτών ανάλογα με τις λειτουργίες που πρέπει να πραγματοποιούν ως μέλη ενός δικτύου. Ένας συγκεντρωτής-μέλος μιας κυψέλης

μπορεί να είναι:

- Ο διαχειριστής της κυψέλης. Είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση και την κατανομή των πόρων, ανάλογα με τις απαιτήσεις σε QoS που έχει κάθε συγκεντρωτής.
- Επαναλήπτης διαίρεσης χρόνου. Λαμβάνει δεδομένα από γειτονικούς συγκεντρωτές και τα προωθεί σε επόμενες χρονοσχισμές στον επιθυμητό προορισμό.
- Επαναλήπτης διαίρεσης συχνότητας. Εγκαθίσταται στα όρια των κυψελών και κατά τη λήψη ή μετάδοση δεδομένων αλλάζει το κανάλι εκπομπής.

Τα πρωτόκολλα OPERA, IEEE 1901 και ITU-T G.hn έχουν προτυποποιηθεί στο φυσικό στρώμα και το επίπεδο ζεύξης δεδομένων. Τα πρωτόκολλα αυτά εφαρμόζουν υβριδική TDMA και CSMA/CA πολιτική πρόσβασης στο δίαυλο σε υπερπλαίσια (beacon frames) διάρκειας πολλαπλάσιας της περιόδου της ηλεκτρικής ισχύος. Επειδή προς εξασφάλιση εγγυημένης ποιότητας υπηρεσιών τα δεδομένα του ΕΔ πρέπει να μεταδίδονται με ντετερμινιστικό τρόπο, είναι καταλληλότερη η χρήση TDMA κατά την διάρκεια απομάστευσης των δεδομένων τηλεμέτρησης. Ο διαχειριστής του δικτύου είναι υπεύθυνος για την κατανομή των χρονοσχισμών στους υπόλοιπους συγκεντρωτές της κυψέλης, προσδιορίζοντας σε ποιες χρονοσχισμές θα επικοινωνεί ένας συγκεντρωτής.



Σχήμα 6.7: Δομή πλαισίου MAC προτύπου IEEE 1901

Σημαντική παράμετρος για την εξυπηρέτηση του όγκου δεδομένων τηλεμέτρησης είναι το πλήθος των συγκεντρωτών ανά κυψέλη. Σε μια κυψέλη TDMA, όσο αυξάνεται το πλήθος των συγκεντρωτών τόσο μειώνεται η χρονική διάρκεια των χρονοσχισμών ανά πλαίσιο MAC, δηλαδή μειώνεται και ο διαθέσιμος ρυθμός μετάδοσης για κάθε συγκεντρωτή. Επίσης, εξίσου σημαντική παράμετρος είναι και το πλήθος των συγκεντρωτών που απαρτίζουν το πολυβηματικό δίκτυο BB-PLC δίκτυο

τοπολογίας αλυσίδας. Όσο περισσότεροι συγκεντρωτές συμμετέχουν τόσο επιβραδύνεται η διαδικασία απομάστευσης των δεδομένων, αφού τα δεδομένα μεταδίδονται πολλαπλές φορές μέχρι να φθάσουν στο τοπικό κέντρο ελέγχου. Καίτοι στη συγκεκριμένη ενότητα αποδίδεται έμφαση σε δεδομένα με ανοχή στην καθυστέρηση, ένα BB-PLC δίκτυο διαχειρίζεται και δεδομένα που πρέπει να αποσταλούν με την ελάχιστη καθυστέρηση. Λόγω της πολυπλοκότητας που παρουσιάζουν τα συγκεκριμένα δίκτυα, είναι ανάγκη να εφαρμόζονται ειδικοί αλγόριθμοι κατανομής τηλεπικοινωνιακών πόρων, όπως αλγόριθμοι χρονοπρογραμματισμού.

Σε πιλοτικά BB-PLC συστήματα, ο ρυθμός μετάδοσης σε ένα BB-PLC κανάλι κυμαίνεται από 5 έως 100 Mbps, με την πλειοψηφία των τιμών να κυμαίνεται από 20 έως 40 Mbps.

6.3.4 Μετάδοση Δεδομένων Τηλεμέτρησης μέσω xDSL συνδέσεων

Η επικοινωνία μεταξύ συγκεντρωτών με το MDMS μέσω του Διαδικτύου με χρήση xDSL τεχνολογίας προτείνεται για δίκτυα μεταφοράς και κορμού ΣΕΜ σε αστικές και ημιαστικές περιοχές. Η συγκεκριμένη υποδομή χαρακτηρίζεται από χαμηλό κόστος εγκατάστασης και από υψηλή πληθυσμιακή κάλυψη. Όμως, ο διαθέσιμος ρυθμός μετάδοσης, ιδιαίτερα στη ζεύξη downlink των συγκεντρωτών, εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις. Στον Πιν.6.7, παρουσιάζονται οι θεωρητικοί μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης χαρακτηριστικών προτύπων xDSL.

Πρότυπο xDSL	Μέγιστος Ρυθμός Downlink	Μέγιστος Ρυθμός Uplink
ADSL2+	24 Mbps	1 Mbps
ADSL2+ (έκδοση M)	24 Mbps	3.5 Mbps
VDSL	55 Mbps	3 Mbps

Πίνακας 6.6: Πρότυπα ADSL και οι μέγιστοι ρυθμοί λήψης και μετάδοσης ενός συγκεντρωτή

Με βάση και τα στοιχεία από τους Πιν.6.4 και 6.7 προκύπτει ότι:

- Σε αστικές περιοχές, η διάρκεια της απομάστευσης του ημερήσιου όγκου δεδομένων ενός συγκεντρωτή κυμαίνεται από

$$T=648.34 \text{ kBytes} / 1024 \text{ kbps} = 5.1 \text{ sec} \quad (11)$$

έως

$$T=1.48 \text{ MBytes} / 1024 \text{ kbps} = 11.8 \text{ sec} \quad (12)$$

- Σε Ημιαστικές περιοχές, η διάρκεια της απομάστευσης του ημερήσιου όγκου δεδομένων ενός συγκεντρωτή κυμαίνεται από

$$T=345.78 \text{ kBytes} / 1024 \text{ kbps} = 2.7 \text{ sec} \quad (13)$$

έως

$$T=648.34 \text{ kBytes} / 240 \text{ kbps} = 5.1 \text{ sec}$$

6.3.5 Επίπεδο Δικτύου και Λογικές Συνδέσεις

Όταν το δίκτυο ΣΕΜ δεν χρησιμοποιεί αποκλειστικά ιδιωτικές δικτυακές υποδομές, η ασφάλεια των δεδομένων από κακόβουλες οντότητες και η εγγυημένη παροχή QoS για την υλοποίηση των υπηρεσιών ενός ΣΕΜ είναι πρωταρχικής σημασίας. Στην ενότητα 4.7, παρουσιάστηκαν δύο τεχνικές ασφαλούς δικτύωσης, η μέθοδος ετικέτας πολλαπλών πρωτοκόλλων (MPLS) και η μέθοδος δημιουργίας εικονικών ιδιωτικών δικτύων (VPN). Χρησιμοποιώντας τις συγκεκριμένες μεθόδους τα δομικά στοιχεία του ΣΕΜ ανταλλάσσουν δεδομένα με ασφάλεια μέσω του Διαδικτύου. Η πλειοψηφία των προτεινόμενων τηλεπικοινωνιακών λύσεων επικοινωνιών υποστηρίζουν VPN μέθοδο. Ενδεχόμενη αδυναμία εφαρμογής της μεθόδου VPN στα GPRS έχει εξαλείψει το πρωτόκολλο GPRS tunneling (GTP), το οποίο "γεφυρώνει" τα δίκτυα GPRS με IP δίκτυα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1 Συμπέρασμα

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η θεωρητική 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.
- Τις πιθανές υπηρεσίες του ΕΔ που εξυπηρετεί ένα ΣΕΜ.
- Την τεχνογνωσία από ευρωπαϊκά ΣΕΜ.
- Το προφίλ της τηλεπικοινωνιακής κίνησης που παράγουν οι υπηρεσίες του ΕΔ και ειδικότερα ο ημερήσιος όγκος δεδομένων και οι απαιτήσεις σε QoS.
- Τις προδιαγραφές και τους περιορισμούς που θέτει ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.
- Τη δομή του ΗΔ.
- Την αλληλεπίδραση με άλλους παρόχους.
- Τα γεωγραφικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά.

Σημαντικό πόρισμα για τα δίκτυα μεταφοράς και κορμού ΣΕΜ είναι η διαμόρφωσή τους πάνω σε υπάρχουσες υποδομές και το Διαδίκτυο. Δηλαδή το βασικό τμήμα του ΣΕΜ δεν κτίζεται από μηδενική βάση, γεγονός που περιορίζει το κόστος εγκατάστασης του ΣΕΜ. Η επιλογή της καταλληλότερης, κατά περίπτωση, τηλεπικοινωνιακής λύσης για το δίκτυο μεταφοράς ΣΕΜ εξαρτάται από τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά, το γεωγραφικό ανάγλυφο, τις διαθέσιμες τεχνολογίες επικοινωνιών και τον εκτιμώμενο ημερήσιο όγκο δεδομένων. Επίσης, γίνεται κατανοητό ότι ένα πλήρως αναπτυγμένο ΣΕΜ αποτελείται από μεγάλο αριθμό ευφών συσκευών (της τάξης των εκατομμυρίων), όπου κάθε έξυπνη συσκευή μεταδίδει μικρό όγκο

δεδομένων, και εξυπηρετεί υπηρεσίες του ΕΔ με διαφορετικές απαιτήσεις σε QoS.

7.2 Προτάσεις

Στο εδάφιο αυτό θα παρουσιαστούν προτάσεις για τη συνέχεια της μελέτης διαστασιολόγησης ενός ΣΕΜ.

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.

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 ευφύων 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).

Τέλος, σε επίπεδο υπηρεσιών, δεν πρέπει να αγνοηθεί το γεγονός ότι το πιλοτικό ΣΕΜ του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. θα διαμορφωθεί πιλοτικά στη Θήρα, τη Λέσβο, τη Λήμνο, τον Άγιο Ευστράτιο, την Κύθνο και τη Μήλο. Στα αυτόνομα ενεργειακά συστήματα των συγκεκριμένων νησιών έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται υποδομές ΕΔ (microgrids), υποδομές για ηλεκτρικά αυτοκίνητα και υποδομές έξυπνης χρήσης των δημοσίων λαμπτήρων (smart lighting) στα πλαίσια του πιλοτικού προγράμματος "ΕΛΕΝΑ". Μελλοντικά, πρέπει να γίνει προσπάθεια ενοποίησης των επιμέρους τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, όπως ΣΕΜ, Συστήματα Διαχείρισης Ενεργειακού Δικτύου και συστημάτων smart lighting σε μία κοινή τηλεπικοινωνιακή υποδομή.

Βιβλιογραφία

1. Fang, Satyajayant Misra, Guoliang Xue, Dejun Yang: Smart Grid – The New and Improved Power Grid, A Survey
2. G. Cervigni και P. Larouche: Regulating Smart Metering in Europe: Technological, Economic and Legal Challenges, CERRE
3. Z. M. Fadlullah, M. M. Fouda, N. Kato, A. Takeuchi, N. Iwasaki και Y. Nozaki: Toward Intelligent Machine-to-Machine Communications in Smart Grid
4. Dusit Niyato, Lu Xiao, and Ping Wang: Machine-to-Machine Communications for Home Energy Management System in Smart Grid
5. Rahul Amin, Jim Martin and Xuehai Zhou: Smart Grid Communication using next Generation Heterogeneous Wireless Networks
6. V. C. Güngör, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergüt, C. Buccella, C. Cecati και G. P. Hancke: Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards
7. F. L. V.C. Gungor: A survey on communication networks for electric system automation, Elsevier
8. SmartC2Net: Smart Control of Energy Distribution Grids over Heterogeneous Communication Networks
9. Comparison of PLC G3 and PRIME, Martin Hoch, Institute for Information Transmission, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Germany
10. Communications and Networking for Smart Grid Systems. Dusit Niyato, Rose Qingyang Hu, Ekram Hossain, Yi Qian
11. M2M communications architecture for large-scale AMI deployments, G. López, Dr.J. I. Moreno
12. Basic Specification for Smart Meter Communications, The Tokyo Electric Power Company.
13. Communication Diversity Architecture for Smart Meter Networks. Rob Kopmeiners
14. The Enhancement of Communication Technologies and Networks for Smart Grid Applications. Saida Elyengui, Riadh Bouhouchi, Tahar Ezzedine
15. A First Look at Cellular Machine-to-Machine Traffic –Large Scale Measurement and Characterization. M. Zubair Shafiq, Lusheng Ji, Alex X. Liu, Jeffrey Pang, Jia Wang
16. Telecommunications for Smart Grid: Backhaul solutions for the Distribution Network, David M. Laverty, D. John Morrow, Robert Best and Peter A. Crossley
17. ΔΕΔΔΗΕ, Κ. Ανδρεάδης: Ευφυή Συστήματα Μέτρησης και Διαχείρισης Ηλεκτρικής Ενέργειας
18. ΔΕΔΔΗΕ, ΕΡΓΟ: Πιλοτικό Σύστημα Τηλεμέτρησης και Διαχείρισης της Ζήτησης Παροχών Ηλεκτρικής Ενέργειας Οικιακών και Μικρών Εμπορικών Καταναλωτών και Εφαρμογής Έξυπνων Δικτύων
19. ΔΕΔΔΗΕ: Πιλοτικό Σύστημα Τηλεμέτρησης: Τεχνική Περιγραφή του Έργου (Κείμενο προς Διαβούλευση)
20. "The Smart Grids Project in Five Aegean Sea Islands under the ELENA Programme", Σταύρος Παπαθανασίου, διαφάνειες
21. Enexis: G3-PLC at Enexis: Description of G3-PLC technology and pilot results at Enexis
22. E. C. Limited: High-level Smart Meter Data Traffic Analysis
23. M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn και S. Rahman: Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN, Elsevier
24. Wenpeng Luan, Duncan Sharp and Sol Lancashire: Smart Grid Communication Network Capacity. Planning for Power Utilities

25. 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
26. E. S. Kapareliotis, K.E. Drakakis, H. K. Dimitriades, C. Capsalis: Throughput Analysis on BPL Networks
27. P. Cottis και P. Arapoglou, Wireless Communications
28. A. Canatas, F. Constantinou και G. Pantos, Mobile Communication Systems
29. M. Theologou, Mobile and Personal Communication Networks
30. Διπλωματική Εργασία Γιαννακόπουλου Αθανάσιου: Δίκτυα Πρόσβασης Συστημάτων Ευφυούς Μέτρησης
31. Agrawal, Optical Fiber Communication Systems
32. Q. Zhang, L. Cheng και R. Boutaba: Cloud computing: state-of-the-art and research challenges
33. Q. Zhang, Y. Sun και Z. Cui: Application and Analysis of ZigBee Technology for Smart Grid
34. J.-S. Lee, Y. Su και C.-C. Shen: A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee and Wi-Fi
35. 6LoWPAN: <http://en.wikipedia.org/wiki/6LoWPAN>, Wikipedia
36. Bluetooth: <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>, Wikipedia
37. LTE Networks: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_LTE_networks, Wikipedia
38. WiMAX: <http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>, Wikipedia
39. IEEE 802.15.4., Wikipedia
40. Wi-Fi: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>, Wikipedia