



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Έξυπνα Συστήματα Εποπτείας και Ανάλυσης Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ Π. ΠΑΖΙΩΝΗ

Επιβλέπων: ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Δ. ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Έξυπνα Συστήματα Εποπτείας και Ανάλυσης Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αικατερίνη Π. Παζιώνη

Επιβλέπων: ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Δ. ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 24^η Φεβρουαρίου 2025

.....
Αθανάσιος Παναγόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Ματσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Φικιάρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025

Παζιώνη Αικατερίνη

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Ηλεκτρονικών Υπολογιστών ΕΜΠ

Copyright © Παζιώνη Αικατερίνη, 2025

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

Η αυξανόμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, σε συνδυασμό με την ανάγκη για βιώσιμη ανάπτυξη και την αποδοτική διαχείριση των ενεργειακών πόρων, έχει οδηγήσει στην ανάγκη για προηγμένες τεχνολογίες μέτρησης και εποπτείας. Σε αυτό το πλαίσιο, τα συστήματα έξυπνης μέτρησης (smart metering systems) αναδεικνύονται ως κεντρικός άξονας για την επίτευξη των στόχων αυτών. Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση και μελέτη των συστημάτων έξυπνης μέτρησης, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα θεμάτων που σχετίζονται με τη λειτουργία, την τεχνολογία και την εφαρμογή τους. Στο πρώτο κεφάλαιο εξετάζονται οι τύποι μετρήσεων και οι βασικοί δείκτες απόδοσης (KPIs) που σχετίζονται με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι συσκευές smart metering systems, οι τεχνικές τους προδιαγραφές και οι διαφορετικοί τύποι που υπάρχουν, ανάλογα με τις ανάγκες των καταναλωτών. Το τρίτο κεφάλαιο ασχολείται με τις τεχνολογίες δικτυακής σύνδεσης των συσκευών smart metering με τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, όπως το NB-IoT και το LTE-M. Στο τέταρτο κεφάλαιο εξετάζεται η διαδικασία συλλογής, επεξεργασίας και παρουσίασης των μετρήσεων σε έναν κεντρικό server. Το πέμπτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στις απαιτήσεις και τις ανάγκες του Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Ενέργειας όσον αφορά τις μετρήσεις και τη διαχείριση των δεδομένων του ηλεκτρικού δικτύου. Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια μελέτη για την εφαρμογή συστημάτων smart metering σε έναν οικισμό. Με την περάτωση της εργασίας αυτής, επιδιώκεται η παροχή μιας ολοκληρωμένης εικόνας για τα συστήματα smart metering, αναδεικνύοντας τα πλεονεκτήματα και τις προκλήσεις που συνοδεύουν την εφαρμογή τους στην ενεργειακή βιομηχανία.

Abstract

The increasing consumption of electricity, combined with the need for sustainable development and efficient management of energy resources, has led to the need for advanced measurement and monitoring technologies. In this context, smart metering systems emerge as a central axis for achieving these goals. This diploma thesis focuses on the analysis and study of smart metering systems, covering a wide range of issues related to their operation, technology and application. In the first chapter, the types of measurements and performance indicators (KPIs) related to electricity consumption are examined. In the second chapter, smart metering systems are presented, their technical specifications and the different types that exist, depending on the needs of consumers. The third chapter deals with the technologies for connecting smart metering devices to mobile networks, such as NB-IoT and LTE-M. In the fourth chapter, the process of collecting, processing and presenting measurements on a central server is examined. The fifth chapter focuses on the requirements and needs of HEDNO regarding metering and management of electricity grid data. In the sixth chapter, a study on the implementation of smart metering systems in a settlement is presented. Upon completion of this work, the aim is to provide a comprehensive picture of smart metering systems, highlighting the advantages and challenges that accompany their application in the energy industry.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή ΕΜΠ κ. Αθανάσιο Παναγόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια και τις υποδείξεις του στην εργασία μου.

Με σεβασμό και εκτίμηση

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: KPIs που αφορούν καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας και τύποι καταναλωτών	19
1.1 Εισαγωγή	19
1.2 Κατηγορίες και Μεγέθη Μετρήσεων	20
1.2.1 Τάση (Voltage)	20
1.2.2 Ένταση (Current)	21
1.2.3 Ισχύς (Power)	22
1.2.4 Συχνότητα (Frequency)	22
1.2.5 Αρμονικές (Harmonics)	24
1.2.6 Συντελεστής Ισχύος (Cosφ)	25
1.2.7 Άεργος Ισχύς (Reactive Power)	25
1.3 Κατηγοριοποίηση Ανά Καταναλωτή	26
1.3.1 Καταναλωτές Χαμηλής Τάσης	26
1.3.2 Καταναλωτές Μέσης Τάσης	26
1.4 Τύποι Βιομηχανικών Καταναλωτών	27
1.5 Στατιστικές Κατανομές για Κατανόηση Ζήτησης Ενέργειας (Ανά Ωρα της Ημέρας/Ημερομηνία)	27
1.6 Άλλοι Δείκτες Απόδοσης	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Smart Metering Systems- Συσκευές και Λογισμικά	31
2.1 Τύποι Έξυπνων Μετρητών	31
2.2 Χαρακτηριστικά των Έξυπνων Μετρητών	33
2.3 Τεχνικές Προδιαγραφές και Δυνατότητες των Έξυπνων Μετρητών	34
2.4 Οικιακοί Έξυπνοι Μετρητές	35
2.5 Βιομηχανικοί Έξυπνοι Μετρητές	39
2.6 Πλεονεκτήματα των Έξυπνων Μετρητών	41
2.7 Λογισμικά- Software έξυπνων μετρητών	41
2.7.1 AMM System	42
2.7.2. Gridstream® Connect (Landis+Gyr)	44
2.7.3. Terranova Smart Network (TSN)	44
2.8 Δυνατότητες των Λογισμικών Έξυπνων Μετρητών	45
2.9 Πλεονεκτήματα των Λογισμικών Έξυπνων Μετρητών	46
2.10 Modem Module	46
2.10.1 E35C communication module	47
2.10.2 Λειτουργίες και Δυνατότητες του E35C	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Τεχνολογίες Σύνδεσης έξυπνου μετρητή	49
3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά τεχνολογιών στο δίκτυο πρόσβασης	50
3.1.1 ZigBee	50
3.1.2 6LoWPAN	51
3.1.3 Bluetooth	51
3.1.4 WiFi	52
3.1.5 Ultra – Wideband (UWB)	53

3.1.6 Powerline Communications (PLC)	54
3.1.7 Digital Subscriber Loop (DSL)	54
3.2 Κυψελωτά δίκτυα κινητών επικοινωνιών (cellular networks)	55
3.3 LTE-M	55
3.4 NB-IoT	57
3.4.1 Τεχνικές Προδιαγραφές NB-IoT	61
3.4.2 Εφαρμογές NB-IoT	62
3.4.3 Πλεονεκτήματα NB-IoT	63
3.5 Συγκριση LTE-M εναντι NB-IoT	63
3.6 Μετάδοση δεδομένων στο δίκτυο κορμού	65
3.7 Τεχνικά χαρακτηριστικά τεχνολογιών στο δίκτυο κορμού	66
3.7.1 Μικροκυματικές ζεύξεις	66
3.7.2 WiMAX	67
3.7.3 Επικοινωνίες οπτικών ινών (fiber – optic)	68
3.7.4 Κυψελωτά δίκτυα κινητών επικοινωνιών (cellular networks)	68
3.7.5 DSL και PLC	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Συλλογή, Επεξεργασία, Παρουσίαση Μετρήσεων σε Κεντρικό Server	70
4.1 AMI	70
4.1.1 Ιεραρχική αρχιτεκτονική AMI	71
4.2 Δικτυακές Τοπολογίες	73
4.3 Αρχιτεκτονική έξυπνης μέτρησης	74
4.4 Head-end system	74
4.5 MDMS	75
4.6 Ο ρόλος των MDMS	76
4.7 Αποθήκευση Μετρήσεων	77
4.8 Διαδικασία ETL στην αποθήκη δεδομένων	79
4.9 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ETL	80
4.10 Αρχιτεκτονική αποθήκης δεδομένων (datawarehouse)	82
4.11 Χρήση συστήματος ευφυούς μέτρησης για εξυπηρέτηση άλλων συστημάτων	83
4.12 Data Analytics και Εξαγωγή Στατιστικών	85
4.13 Οφέλη από την ακριβή πρόβλεψη ζήτησης	86
4.14 Οφέλη από την ανάλυση των προτύπων κατανάλωσης ενέργειας	86
4.15 Παρουσίαση KPIs σε Dashboards	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Μετρήσεις για τον Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Ενέργειας	89
5.1 Προδιαγραφές δικτύου ευφών μετρητών	89
5.2 Αρχιτεκτονική του συστήματος έξυπνων μετρητών	89
5.3 Τεχνολογίες πρόσβασης	90
5.4 Δίκτυο Μεταφοράς και Δίκτυο Κορμού συστήματος έξυπνης μέτρησης	90
5.5 Πρωτόκολλα Επικοινωνίας	90
5.6 Θεμελιώδεις λειτουργίες του συστήματος ευφών μετρητών	91
5.7 Επεκτασιμότητα	92
5.8 Συμφωνίες Επιπέδου Υπηρεσιών (Service Level Agreement-SLA) του Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Ενέργειας	93
5.9 Τεχνολογίες επικοινωνιών του Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Ενέργειας	93

5.10 Αρχιτεκτονική δικτύου ευφυών μετρητών του Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Ενέργειας.....	95
5.11 Υπηρεσίες του Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Ενέργειας.....	96
5.12 Προσδιορισμός Όγκου Δεδομένων Ευφυούς Μέτρησης.....	97
5.13 Εφαρμογές και Διεθνής Πρακτική.....	99
5.14 Εφαρμογές στην Ευρώπη	100
5.14.1 PLC Projects: Ιταλία, Γαλλία, Νορβηγία, Σουηδία και Ολλανδία.....	100
5.14.2 Ασύρματα συστήματα μέτρησης αερίου: Γαλλία και Ιταλία.....	102
5.14.3 Βρετανία και Γερμανία -Home Area Network	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Μελέτη για Εφαρμογή Residential Smart Metering Systems σε Οικισμό	106
6.1 Ανάλυση βάσει της γεωγραφικής πυκνότητας των ευφυών μετρητών.....	106
6.1.1 Αστικές περιοχές.....	106
6.1.2 Ημιαστικές περιοχές	107
6.1.3 Αγροτικές περιοχές	107
6.2 Τηλεπικοινωνιακές λύσεις βάσει πληθυσμιακών χαρακτηριστικών	107
6.2.1 Περιοχές υψηλής πυκνότητας δόμησης.....	108
6.2.2 Χρήση PLC τεχνολογίας.....	108
6.2.3 Χρήση ZigBee ή 6LoWPAN	111
6.2.4 Χρήση DSL ή WiFi.....	111
6.3 Περιοχές μέτριας πυκνότητας δόμησης.....	112
6.3.1 Ασύρματη μετάδοση πληροφορίας.....	112
6.3.2 Ενσύρματη μετάδοση πληροφορίας	113
6.4 Περιοχές μικρής πυκνότητας δόμησης	113
6.5 Διαστασιολόγηση	114
6.5.1 Σημεία εγκατάστασης μετρητών και συγκεντρωτών.....	115
6.5.2 Προσδιορισμός του όγκου διακινούμενης πληροφορίας	115
6.5.3 Χρόνοι μεταδοσης πληροφορίας	117
6.5.3.1 Πρόσβαση στο κοινό μέσο μετάδοσης μέσω TDMA	119
6.5.3.2 Πρόσβαση στο κοινό μέσο μετάδοσης μέσω CSMA/CD.....	120
6.5.4 Δίκτυα ΣΜ πρόσβασης ενσύρματης τεχνολογίας	122
6.5.5 Δίκτυα ΣΕΜ πρόσβασης ασύρματης τεχνολογίας	123
6.6 Διαστασιολόγηση ασύρματης τεχνολογίας.....	125
6.6.1 Προσδιορισμός ζητούμενης χωρητικότητας για επικοινωνία μέσω GPRS	125
6.6.2 Αποστολή δεδομένων μέσω GPRS	126
6.7 Αποστολή δεδομένων μέσω LTE-M/NB-IOT.....	127
6.8 Σχεδίαση ραδιοσυχνοτήτων (radio design) του NB-IoT	128
6.9 Αποστολή δεδομένων από τους συγκεντρωτές στο MDMS	134
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συμπέρασμα	135
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	137

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 2.2: Οικιακός έξυπνος μετρητής Gyr E450	37
Σχήμα 2.3: Βιομηχανικός έξυπνος μετρητής Gyr E570	39
Σχήμα 2.4: Βιομηχανικός Έξυπνος Μετρητής GyrE850.....	40
Σχήμα 2.5: λογισμικό AMM (Advanced Metering Management)	42
Σχήμα 3.1: Δομή M2M δικτύου επικοινωνιών	49
Σχήμα 3.2: Επίπεδο παρεμβολών σε ασύρματα δίκτυα.....	53
Σχήμα 3.3: Επίπεδα ισχύος εκπομπής - λήψης για διάφορα πρωτόκολλα	53
Σχήμα 3.4: Δίκτυο συσκευών (Internet of Things (IoT)).....	58
Σχήμα 3.5: Αυτόνομη λειτουργία: χρησιμοποιεί ζώνες συχνότητας GSM.....	59
Σχήμα 3.6: Λειτουργία ζώνης προστασίας: χρησιμοποιεί τα αχρησιμοποίητα μπλοκ πόρων εντός της ζώνης προστασίας	59
Σχήμα 3.7: Λειτουργία εντός ζώνης: χρησιμοποιεί μπλοκ πόρων σε έναν φορέα LTE.....	60
Σχήμα 3.8 : Αρχιτεκτονική δικτύου NB-IoT (Finnegan and Brown, 2018)	60
Σχήμα 3.9: Συγκριση LTE-M εναντι NB-IoT.....	64
Σχήμα 3.10: Υποδομή συστήματος SM	66
Σχήμα 4.1: Ιεραρχική δομή AMI.....	72
Σχήμα 4.1. αρχιτεκτονική έξυπνης μέτρησης	74
Σχήμα 4.2. Διαδικασία ETL.....	80
Σχήμα 4.3. Το μπλοκ διάγραμμα της διοίκησης της διαδικασίας ETL.....	80
Σχήμα 4.4. Προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω.....	82
Σχήμα 4.5. Προσέγγιση από πάνω προς τα πάνω	83
Σχήμα 4.6: Dashboard Smart meters μέτρηση	87
Σχήμα 5.1: Σενάριο εξυπηρέτησης EM από γειτονικό συγκεντρωτή	99
Σχήμα 5.2: Αρχιτεκτονική συστήματος με PLC	101
Σχήμα 5.3: Νορβηγικό πρότυπο αρχιτεκτονικής συστήματος με PLC	101
Σχήμα 5.4: Αρχιτεκτονική ασύρματης τεχνολογίας	103
Σχήμα 5.5 : Αρχιτεκτονική με χρήση gateway.....	103
Σχήμα 6.1: Επικοινωνία SM – συγκεντρωτή με TDMA τοπολογίας διαύλου	109
Σχήμα 6.2: Επικοινωνία SM – συγκεντρωτή με TDMA τοπολογίας δένδρου	110
Σχήμα 6.3: Επικοινωνία συγκεντρωτή – γειτονικού SM	110
Σχήμα 6.4: Επικοινωνία SM – συγκεντρωτή με ZigBee	111
Σχήμα 6.5: παράδειγμα σχεδιασμού ενός υπο πλαισίου NB-IoT	131
Σχήμα 6.6: Επίπεδα ενίσχυσης κάλυψης	132
Σχήμα 6.7: NB-IoT: EDT.....	132
Σχήμα 6.8: NB-IoT. Μηχανισμοί Μετάδοσης Δεδομένων.....	133

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 5.1: Σύγκριση τεχνολογιών δικτύου πρόσβασης.....	93
Πίνακας 5.2: Εφαρμογές ευφυών συστημάτων μέτρησης	105
Πίνακας 6.1: Χαρακτηρισμός περιοχής βάσει πυκνότητας μετρητών.....	106
Πίνακας 6.2: Αντιστοιχία τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών με περιοχές ανάπτυξης SM συστημάτων.....	108
Πίνακας 6.3: Κατάλληλες τεχνολογίες πρόσβασης για το δίκτυο SM κατά κατηγορία πυκνότητας δόμησης.....	114
Πίνακας 6.4: Bytes ανά ηλεκτρικό μέγεθος	116
Πίνακας 6.5: PLC τεχνολογίες	117
Πίνακας 6.6: Αντιστοιχία συμβόλων και τηλεπικοινωνιακών μεγεθών	118
Πίνακας 6.7: Ενεργειακές παροχές XT ανά υποσταθμό MT/XT συναρτήσει της πολεοδομικής πυκνότητας	123
Πίνακας 6.8: σύγκριση τεχνολογιών και MCL	128
Πίνακας 6.9: Τα βασικά κανάλια και σήματα ενός δικτύου NB-IoT	130

Συντομογραφίες

<i>3GPP</i>	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
<i>6LoWPAN</i>	<i>IPv6 Over Low Power Wireless Personal Area Networks</i>
<i>AGC</i>	<i>Automatic Generation Control</i>
<i>AMI</i>	<i>Advanced Metering Infrastructure</i>
<i>AMM</i>	<i>Advanced Metering Management</i>
<i>AVR</i>	<i>Automatic Voltage Regulators</i>
<i>BB-PLC</i>	<i>Broadband Power Line Communication</i>
<i>BS</i>	<i>Base Station</i>
<i>BTU</i>	<i>British Thermal Units</i>
<i>CSMA/CD</i>	<i>Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection</i>
<i>CT/VT</i>	<i>Current transform/voltage transform</i>
<i>DLMS</i>	<i>Device Language Message Specification</i>
<i>DR</i>	<i>Demand Response</i>
<i>DSL</i>	<i>Digital subscriber loop</i>
<i>eDRX</i>	<i>extended Discontinuous Reception</i>
<i>EMS</i>	<i>Energy Management Systems</i>
<i>ESS</i>	<i>Energy Storage Systems</i>
<i>ETL</i>	<i>Extract-transform-load</i>
<i>FFD</i>	<i>Frequency – Division Duplexing</i>
<i>GDPR</i>	<i>General Data Protection Regulation</i>
<i>GPRS</i>	<i>General Packet Radio Service</i>
<i>GSM</i>	<i>Global System Mobile</i>
<i>HAN</i>	<i>Home Area Network</i>
<i>HAN</i>	<i>Home Area Network</i>
<i>HSPA</i>	<i>High Speed Packet Access</i>
<i>IDIS</i>	<i>Integrated Disbursement and Information System</i>
<i>IHD</i>	<i>In Home Display</i>
<i>IoT</i>	<i>Internet Of Things</i>
<i>KPI</i>	<i>Key Performance Indicators</i>
<i>LAN</i>	<i>Local Area Network</i>
<i>LOS</i>	<i>Line of Sight</i>
<i>LPWAN</i>	<i>Low-power wide-area network</i>
<i>LTE</i>	<i>Long Term Evolution</i>
<i>LTE-M</i>	<i>Long Term Evolution for Machines</i>

<i>M2M</i>	<i>machine to machine</i>
<i>MCL</i>	<i>Maximum Coupling Loss</i>
<i>MDC</i>	<i>Meter Data Collection</i>
<i>MDMS</i>	<i>Meter Data Management System</i>
<i>MDMS</i>	<i>Meter Data Management System</i>
<i>MIS</i>	<i>Management information system</i>
<i>MTU</i>	<i>Maximum transmission unit</i>
<i>NB-IOT</i>	<i>Narrow Band-Internet Of Things</i>
<i>NLOS</i>	<i>None Line of Sight</i>
<i>OCDMA</i>	<i>Optical Code Division Multiple Access</i>
<i>OFDMA</i>	<i>Orthogonal frequency-division multiple access</i>
<i>PANs</i>	<i>Personal Area Networks</i>
<i>PLC</i>	<i>Power Line Communication</i>
<i>PSM</i>	<i>Power Saving Mode</i>
<i>PSTN</i>	<i>Public Switched Telephone Network</i>
<i>QoS</i>	<i>Quality of Service</i>
<i>QPSK</i>	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
<i>RF</i>	<i>Radio Frequency</i>
<i>RFD</i>	<i>Reduced function device</i>
<i>SCS</i>	<i>Supply Control Switch</i>
<i>SM</i>	<i>Smart Meter</i>
<i>TAMM</i>	<i>Terranova Advanced Metering Management</i>
<i>TCO</i>	<i>Total Cost of Ownership</i>
<i>TDMA</i>	<i>Time Division Multiple Access</i>
<i>THD</i>	<i>Total harmonic distortion</i>
<i>TSN</i>	<i>Terranova Smart Network</i>
<i>UMTS</i>	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
<i>UWB</i>	<i>Ultra wideband</i>
<i>WSN</i>	<i>Wireless Sensor Network</i>
<i>ΔΕΔΔΗΕ</i>	<i>Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας</i>
<i>HE</i>	<i>Ηλεκτρική ενέργεια</i>
<i>ΜΣ</i>	<i>Μετασχηματιστής</i>
<i>NAN</i>	<i>Neighbour Area Network</i>
<i>ΣΕΜ</i>	<i>Συστήματα ευφυούς μέτρησης</i>
<i>ΥΤ/ΜΤ</i>	<i>Υψηλή τάση/Μέση τάση</i>
<i>ΧΤ</i>	<i>Χαμηλή τάση</i>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΚΡΙΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέτρηση και η παρακολούθηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν θεμελιώδεις διαδικασίες για την κατανόηση της ενεργειακής χρήσης και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τους παρόχους. Στο πλαίσιο αυτό, διάφορα μεγέθη μετρήσεων χρησιμοποιούνται για την καταγραφή και την ανάλυση των ενεργειακών δεδομένων. Τα κυριότερα από αυτά τα μεγέθη είναι η τάση, η ένταση, η ισχύς, η συχνότητα, οι αρμονικές, ο συντελεστής ισχύος ($\cos\phi$) και η άεργος ισχύς. Τα KPIs (Key Performance Indicators) είναι βασικοί δείκτες απόδοσης που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας και της επιτυχίας ενός οργανισμού ή ενός συστήματος στην επίτευξη των βασικών του στόχων. Στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας και ιδιαίτερα στα συστήματα έξυπνης μέτρησης (smart metering systems), τα KPIs παίζουν κρίσιμο ρόλο στην ανάλυση και βελτιστοποίηση της απόδοσης [1]. Η ανάλυση των KPIs είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση και τη βελτιστοποίηση των ενεργειακών συστημάτων. Μέσω των συστημάτων έξυπνης μέτρησης, οι καταναλωτές και οι πάροχοι ενέργειας μπορούν να [2]:

- ✚ Παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο την κατανάλωση και την απόδοση.
- ✚ Βελτιστοποιούν την απόδοση μέσω της προσαρμογής των λειτουργιών βάσει των δεδομένων.
- ✚ Εντοπίζουν προβλήματα όπως υπερφορτώσεις ή ανωμαλίες στην ποιότητα της ισχύος.
- ✚ Μειώνουν τα κόστη μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας και της μείωσης των απωλειών.
- ✚ Ενισχύουν την αξιοπιστία του δικτύου και των συστημάτων διανομής ενέργειας.

Τα KPIs παρέχουν τα εργαλεία για την κατανόηση της ενεργειακής κατανάλωσης και απόδοσης, βοηθώντας έτσι στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και στη βελτίωση της συνολικής διαχείρισης της ενέργειας.

1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

1.2.1 ΤΑΣΗ (VOLTAGE)

Η τάση είναι απαραίτητη για τη μεταφορά ενέργειας από τα δίκτυα παραγωγής στους τελικούς καταναλωτές. Η σταθερότητα και η ποιότητα της τάσης επηρεάζουν άμεσα την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία των ηλεκτρικών συσκευών και συστημάτων. Οι αλλαγές στην τάση μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα, όπως υπερτάσεις (overvoltages), που μπορούν να προκαλέσουν ζημιές σε ευαίσθητες ηλεκτρικές συσκευές, μειώνοντας τη διάρκεια ζωής τους και αυξάνοντας τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Οι υποτάσεις (undervoltages) μπορούν να προκαλέσουν ανεπαρκή λειτουργία των συσκευών, μειώνοντας την απόδοσή τους και αυξάνοντας τον κίνδυνο βλάβης. Οι διακοπές και οι βυθίσεις τάσης (voltage sags and interruptions) μπορούν να διαταράξουν τη λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων, προκαλώντας απώλειες δεδομένων και διακοπή της παραγωγικής διαδικασίας. Η τάση σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες, όπως τα φορτία, όπου οι μεταβολές στα ηλεκτρικά φορτία μπορούν να προκαλέσουν διακυμάνσεις στην τάση. Για παράδειγμα, η ενεργοποίηση μεγάλων ηλεκτρικών μηχανημάτων μπορεί να οδηγήσει σε πτώση τάσης. Το μήκος των γραμμών μεταφοράς παίζει επίσης σημαντικό ρόλο, καθώς μεγαλύτερες αποστάσεις μεταφοράς ενέργειας μπορούν να προκαλέσουν απώλειες τάσης λόγω της αντίστασης των γραμμών μεταφοράς. Παράγοντες περιβάλλοντος, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και άλλες κλιματολογικές συνθήκες, μπορούν να επηρεάσουν τη σταθερότητα της τάσης. Η διατήρηση της σταθερότητας της τάσης είναι κρίσιμη για την αποδοτική λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι και τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και τη σταθεροποίηση της τάσης, όπως οι αυτόματοι ρυθμιστές τάσης (Automatic Voltage Regulators - AVR), οι οποίοι ρυθμίζουν αυτόματα την τάση ώστε να παραμένει εντός προκαθορισμένων ορίων. Τα συστήματα αντιστάθμισης άεργου ισχύος (Reactive Power Compensation Systems) χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση του συντελεστή ισχύος κοντά στη μονάδα, μειώνοντας τις απώλειες τάσης. Τα διακοπτικά συστήματα και οι διακόπτες (Switchgear and Circuit Breakers) επιτρέπουν την απομόνωση τμημάτων του δικτύου σε περίπτωση βλάβης, διατηρώντας τη σταθερότητα της

τάσης στο υπόλοιπο δίκτυο. Οι κανονισμοί και τα πρότυπα που αφορούν την τάση διαφέρουν από χώρα σε χώρα, αλλά γενικά περιλαμβάνουν προκαθορισμένα όρια για τις διακυμάνσεις της τάσης. Οι κανονισμοί αυτοί είναι απαραίτητοι για να διασφαλιστεί η συμβατότητα των συσκευών και η ασφάλεια των καταναλωτών. Στην Ευρώπη, για παράδειγμα, η τάση του ηλεκτρικού δικτύου για οικιακή χρήση είναι τυπικά 230V με ανοχή $\pm 10\%$.

1.2.2 ΈΝΤΑΣΗ (CURRENT)

Η μέτρηση της έντασης είναι σημαντική για την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας και τον εντοπισμό υπερφόρτωσης ή διαρροών στο δίκτυο. Η ένταση αποτελεί βασικό μέγεθος στη διαχείριση και τη λειτουργία των ηλεκτρικών δικτύων, καθώς επηρεάζει την απόδοση των συσκευών και την ασφάλεια του δικτύου. Η παρακολούθηση της έντασης σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει τον άμεσο εντοπισμό ανωμαλιών στη λειτουργία του δικτύου. Για παράδειγμα, η υπερφόρτωση (overload) συμβαίνει όταν η ένταση υπερβαίνει τα ασφαλή όρια λειτουργίας, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση των αγωγών και ενδεχομένως να οδηγήσει σε βλάβες ή πυρκαγιά. Αντίστοιχα, οι διαρροές ρεύματος (leakages) μπορεί να υποδεικνύουν προβλήματα μόνωσης ή άλλες βλάβες στο δίκτυο (όπως φθαρμένοι αγωγοί, κατεστραμμένες συνδέσεις ή υγρασία σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις), που χρειάζονται άμεση αντιμετώπιση για να αποτραπούν σοβαρότερες επιπτώσεις. Η μέτρηση της έντασης είναι επίσης ζωτικής σημασίας για την ενεργειακή διαχείριση και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των συστημάτων. Σε βιομηχανικές εφαρμογές, η ακριβής παρακολούθηση της έντασης βοηθά στη διασφάλιση της αποδοτικής λειτουργίας των μηχανημάτων και στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Οι οικιακοί καταναλωτές μπορούν να χρησιμοποιούν τις πληροφορίες αυτές για να προσαρμόζουν τη χρήση τους, μειώνοντας τα κόστη και βελτιώνοντας την ενεργειακή αποδοτικότητα. Επιπλέον, η παρακολούθηση της έντασης μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται στους καταναλωτές. Η σταθερότητα της έντασης είναι κρίσιμη για την αποφυγή βλαβών στις ηλεκτρικές συσκευές και την εξασφάλιση της αξιόπιστης λειτουργίας των ηλεκτρικών συστημάτων. Μέσω των συστημάτων έξυπνης μέτρησης, οι πάροχοι ενέργειας μπορούν να διαχειρίζονται καλύτερα την κατανομή του φορτίου και να προλαμβάνουν προβλήματα που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την απόδοση του δικτύου [3].

1.2.3 ΙΣΧΥΣ (POWER)

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι ισχύος που μετρώνται: η ενεργός ισχύς (active power), που αντιπροσωπεύει την πραγματική κατανάλωση ενέργειας, και η άεργος ισχύς (reactive power), που αφορά την ενέργεια που αποθηκεύεται προσωρινά στα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία των συστημάτων. Η ενεργός ισχύς είναι η ποσότητα της ενέργειας που καταναλώνεται και μετατρέπεται σε χρήσιμο έργο. Αυτή η ισχύς είναι υπεύθυνη για την εκτέλεση των λειτουργιών των ηλεκτρικών συσκευών, όπως η φωτισμός, η θέρμανση και η λειτουργία των μηχανημάτων. Η μέτρηση της ενεργού ισχύος είναι κρίσιμη για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και για τον υπολογισμό του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από τους χρήστες. Αντίθετα, η άεργος ισχύς αναφέρεται σε εκείνες τις δυνάμεις που δεν χρησιμοποιούνται αλλά αποθηκεύεται προσωρινά τόσο στο ηλεκτρικό όσο και στο μαγνητικό πεδίο του συστήματος. Αυτή η ισχύς είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της τάσης και της σταθερότητας του συστήματος, αλλά δεν εξυπηρετεί καμία άμεση λειτουργία των φορτίων. Η υψηλή άεργος ισχύς μπορεί να προκαλέσει υψηλές απώλειες δικτύου και κακή απόδοση του συστήματος, καθώς η ενέργεια δεν χρησιμοποιείται άμεσα σε αυτήν την κατάσταση. Η αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στην παρακολούθηση και τον έλεγχο της ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι ηλεκτρικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, στην περίπτωση της Ελλάδας ο ΔΕΔΔΗΕ, βελτιστοποιούν την εξισορρόπηση φορτίου και εγγυώνται τη σταθερότητα του δικτύου μέσω της ανάλυσης στατιστικών στοιχείων ισχύος. Από την άλλη πλευρά, οι τελικοί χρήστες μπορούν να εφαρμόσουν αυτές τις πληροφορίες ώστε να ελαχιστοποιήσουν την κατανάλωσή τους με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση κόστους, βελτιώνοντας έτσι την ενεργειακή απόδοση. Επίσης, η διαχείριση ισχύος περιλαμβάνει την εφαρμογή συσκευών αντιστάθμισης άεργου ισχύος, όπως πυκνωτές και αντισταθμιστές που συμβάλλουν στη βελτίωση του συντελεστή ισχύος καθώς και στη μείωση των απωλειών ενέργειας στο δίκτυο και βοηθούν στη διατήρηση σταθερής τάσης και στη διατήρηση της αξιοπιστίας οποιουδήποτε ηλεκτρικού συστήματος διασφαλίζοντας ότι οι πελάτες λαμβάνουν πάντα ρεύμα [4].

1.2.4 ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (FREQUENCY)

Η σταθερότητα της συχνότητας είναι απαραίτητη για την ασφαλή λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και των συνδεδεμένων συσκευών. Στα περισσότερα ηλεκτρικά δίκτυα, η συχνότητα είναι 50 ή 60 Hz. Η συχνότητα αποτελεί βασικό παράγοντα στην απόδοση και την αξιοπιστία των ηλεκτρικών δικτύων. Η διακύμανση της συχνότητας μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα της παρεχόμενης

ενέργειας και να προκαλέσει προβλήματα στη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών. Οι μεταβολές στη συχνότητα μπορεί να προκληθούν από ανισορροπίες μεταξύ της παραγωγής και της ζήτησης ενέργειας. Για παράδειγμα, αν η παραγωγή ενέργειας είναι υψηλότερη από τη ζήτηση, η συχνότητα μπορεί να αυξηθεί, ενώ αν η ζήτηση υπερβαίνει την παραγωγή, η συχνότητα μπορεί να μειωθεί[5]. Η σταθερότητα της συχνότητας είναι κρίσιμη για την προστασία των ηλεκτρικών συσκευών και τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας των συστημάτων. Μια μικρή απόκλιση από την κανονική συχνότητα μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα λειτουργίας και φθορά των συσκευών. Για παράδειγμα, σε ένα δίκτυο 50 Hz, η συχνότητα πρέπει να παραμένει κοντά σε αυτό το επίπεδο για να διασφαλιστεί η καλή λειτουργία των συσκευών. Μεγάλες αποκλίσεις μπορεί να προκαλέσουν από δυσλειτουργίες έως και σοβαρές βλάβες στις ηλεκτρικές συσκευές και τα μηχανήματα. Ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας χρησιμοποιεί διάφορες μεθόδους και τεχνολογίες για τη διατήρηση της σταθερότητας της συχνότητας. Η αυτόματη ρύθμιση της συχνότητας επιτυγχάνεται μέσω των συστημάτων ελέγχου του δικτύου που ρυθμίζουν την παραγωγή ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν:

- ✚ **Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας (Energy Management Systems - EMS).** Χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της παραγωγής και της ζήτησης ενέργειας στο δίκτυο, εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη ισορροπία μεταξύ των δύο.
- ✚ **Αυτόματη Ρύθμιση Παραγωγής (Automatic Generation Control - AGC).** Ελέγχει την ισχύ που παράγουν οι γεννήτριες σε πραγματικό χρόνο, προσαρμόζοντας την παραγωγή τους ώστε να διατηρείται η συχνότητα εντός των επιθυμητών ορίων.
- ✚ **Αποθηκευτικά Συστήματα Ενέργειας (Energy Storage Systems - ESS)** Συμπεριλαμβάνουν μπαταρίες και άλλες μορφές αποθήκευσης που μπορούν να προσθέσουν ή να αφαιρέσουν ενέργεια από το δίκτυο γρήγορα, βοηθώντας στη σταθεροποίηση της συχνότητας.
- ✚ **Διαχείριση Ζήτησης (Demand Response - DR)** Περιλαμβάνει προγράμματα που επιτρέπουν την προσωρινή μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από τους καταναλωτές σε περιόδους υψηλής ζήτησης, συμβάλλοντας έτσι στη διατήρηση της συχνότητας.

Αυτά τα συστήματα συνεργάζονται για να εξασφαλίσουν τη σταθερότητα της συχνότητας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, προσαρμόζοντας την παραγωγή και τη ζήτηση ανάλογα με τις τρέχουσες ανάγκες. Επιπλέον, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξισορρόπηση της συχνότητας, αποθηκεύοντας ενέργεια όταν η παραγωγή είναι υψηλή και απελευθερώνοντάς την όταν η ζήτηση αυξάνεται [5]. Η σταθερότητα της συχνότητας εξαρτάται επίσης από τη συνεργασία και το συντονισμό μεταξύ των διαφόρων παραγωγών ενέργειας και των διαχειριστών δικτύων. Η καλή επικοινωνία και ο συντονισμός επιτρέπουν την άμεση αντίδραση στις αλλαγές της ζήτησης και την αποφυγή μεγάλων αποκλίσεων στη συχνότητα. Η εισαγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, προσθέτει νέες προκλήσεις στη διατήρηση της σταθερότητας της συχνότητας, λόγω της μεταβλητής φύσης τους.

1.2.5 ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ (HARMONICS)

Οι αρμονικές είναι πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας και προκαλούνται από μη γραμμικά φορτία στο δίκτυο. Αυτά τα μη γραμμικά φορτία, όπως οι τροφοδοτικές διατάξεις με μετατροπείς ισχύος, οι ηλεκτρονικές συσκευές και οι λαμπτήρες φθορισμού, μπορούν να δημιουργήσουν αρμονικές συχνότητες που προστίθενται στην κύρια συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος. Η παρουσία αρμονικών μπορεί να οδηγήσει σε παραμορφώσεις της τάσης και της έντασης, προκαλώντας προβλήματα στις ηλεκτρικές συσκευές και μειώνοντας την απόδοση του συστήματος [6]. Οι αρμονικές μπορούν να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας και στη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών. Μια από τις κύριες συνέπειες της παρουσίας αρμονικών είναι η υπερθέρμανση των αγωγών και των μετασχηματιστών, λόγω της αυξημένης αντίστασης που παρουσιάζουν στις υψηλότερες συχνότητες. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη φθορά των συσκευών και σε αυξημένες απώλειες ενέργειας. Επιπλέον, οι αρμονικές μπορούν να προκαλέσουν παραμορφώσεις στην τάση, που μπορούν να επηρεάσουν την ομαλή λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών. Για παράδειγμα, οι παραμορφώσεις της τάσης μπορούν να προκαλέσουν διακοπές ή ακανόνιστη λειτουργία στους κινητήρες, τις γεννήτριες και άλλες συσκευές που βασίζονται στην καθαρή ημιτονοειδή τάση για την ομαλή λειτουργία τους.

Οι παραμορφώσεις της έντασης μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε ακανόνιστη λειτουργία των συσκευών, προκαλώντας κραδασμούς και θόρυβο[6]. Η μέτρηση και ο έλεγχος των αρμονικών είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας και την αποφυγή προβλημάτων στο δίκτυο και στις συσκευές. Οι πάροχοι ενέργειας και οι διαχειριστές των δικτύων χρησιμοποιούν

ειδικές συσκευές για την ανίχνευση και την ανάλυση των αρμονικών, προκειμένου να εντοπίσουν τα μη γραμμικά φορτία που προκαλούν τα προβλήματα και να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα για τη μείωσή τους [7]. Οι διαχειριστές δικτύων είναι αυτοί που κυρίως ασχολούνται με τη μέτρηση και τον έλεγχο των αρμονικών, καθώς είναι υπεύθυνοι για τη διαχείριση και τη συντήρηση του ηλεκτρικού δικτύου. Οι πάροχοι ενέργειας μπορεί επίσης να συμμετέχουν, ιδίως όταν εμπλέκονται σε θέματα ποιότητας ενέργειας.

1.2.6 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ($\cos\phi$)

Ο λόγος της ενεργού ισχύος προς τη φαινομενική ισχύ, γνωστός ως $\cos\phi$ (συντελεστής ισχύος), μπορεί να χρησιμεύσει ως εκδήλωση της αποτελεσματικότητας της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενεργός ισχύς καταναλώνεται και γίνεται χρήσιμο έργο, ενώ η φαινομενική ισχύς περιλαμβάνει τη συνολική ενεργό ισχύ και την άεργο ισχύ, η οποία ορίζει την ενέργεια που αποθηκεύεται και αποστέλλεται πίσω στο σύστημα χωρίς κατανάλωση. Ένας υψηλός συντελεστής ισχύος υποδηλώνει αποδοτική χρήση της ενέργειας, καθώς η ενεργός ισχύς είναι σχεδόν ίση με τη φαινόμενη ισχύ, και άρα η παρουσία άεργης ισχύος είναι ελάχιστη. Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια που παρέχεται από το δίκτυο χρησιμοποιείται σχεδόν πλήρως για την εκτέλεση ωφέλιμου έργου, χωρίς σημαντικές απώλειες. Αντίθετα, ένας χαμηλός συντελεστής ισχύος υποδηλώνει την παρουσία άεργης ισχύος, η οποία δεν συμβάλλει στην πραγματική κατανάλωση ενέργειας αλλά αυξάνει το φορτίο στο δίκτυο.

1.2.7 ΑΕΡΓΟΣ ΙΣΧΥΣ (REACTIVE POWER)

Η άεργος ισχύς αναφέρεται στην ισχύ που δεν καταναλώνεται πραγματικά αλλά αποθηκεύεται στα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία των συστημάτων. Παρά το γεγονός ότι η άεργος ισχύς δεν παράγει ωφέλιμο έργο, είναι σημαντική για τη λειτουργία του δικτύου, καθώς συμβάλλει στη διατήρηση της τάσης και της σταθερότητας του συστήματος. Η άεργος ισχύς μπορεί να δημιουργήσει πολλά προβλήματα στο σύστημα, όπως η πρόκληση υπερθέρμανσης στις γραμμές τροφοδοσίας, περισσότερες απώλειες ισχύος και μείωση της συνολικής απόδοσης. Για παράδειγμα, εάν ο συντελεστής ισχύος είναι ίσος με 0,8, τότε αυτό σημαίνει ότι μόνο το 80% της φαινομενικής ισχύος μετατρέπεται σε ενεργό ισχύ ενώ το υπόλοιπο 20% παραμένει ως άεργος ισχύς. Αυτό σημαίνει ότι το δίκτυο θα χρειαστεί να φιλοξενήσει περισσότερη φαινομενική ισχύ απ' ότι ενέργεια, με αποτέλεσμα επιπλέον κόστος για αυτόν που το χρησιμοποιεί. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι και εξοπλισμός που χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος και

συνεπώς τη μείωση της κατανάλωσης άεργου ισχύος[8]. Μεταξύ αυτών είναι η χρήση πυκνωτών που χρησιμοποιούνται ευρέως για την προσθήκη χωρητικότητας σε ένα σύστημα καθώς και για την αντιστάθμιση της επαγωγικής αντιδραστικής ενέργειας. Ένας άλλος τρόπος μείωσης της άεργου ισχύος είναι οι σύγχρονοι κινητήρες υψηλής απόδοσης και τα αρμονικά φίλτρα που επηρεάζουν θετικά τον συντελεστή ισχύος. Ένας χαμηλός συντελεστής ισχύος μπορεί να επιφέρει κάποιο πρόσθετο κόστος ή κυρώσεις με βάση τις επιπτώσεις άεργου ισχύος στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλές περιπτώσεις. Ως εκ τούτου, η διατήρηση υψηλού συντελεστή ισχύος θα μπορούσε να συνεπάγεται σημαντική εξοικονόμηση πόρων για τους καταναλωτές [8].

1.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ

Οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τις ανάγκες και τα χαρακτηριστικά τους. Αυτή η κατηγοριοποίηση βοηθά στην προσαρμογή των μετρήσεων και των παρεχόμενων υπηρεσιών στις ιδιαίτερες απαιτήσεις κάθε κατηγορίας. Οι βασικές κατηγορίες είναι οι καταναλωτές χαμηλής και μέσης τάσης, καθώς και οι διαφορετικοί τύποι βιομηχανικών καταναλωτών.

1.3.1 ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

Οι καταναλωτές χαμηλής τάσης περιλαμβάνουν οικιακούς χρήστες και μικρές επιχειρήσεις. Οι απαιτήσεις τους σε ενέργεια είναι σχετικά μικρές και οι μετρήσεις επικεντρώνονται κυρίως στην κατανάλωση ενέργειας (kWh), την τάση και την ένταση. Οι οικιακοί καταναλωτές μπορούν να επωφεληθούν από συστήματα έξυπνης μέτρησης που παρέχουν πληροφορίες για την κατανάλωση σε πραγματικό χρόνο, βοηθώντας τους να διαχειριστούν καλύτερα τη χρήση ενέργειας και να μειώσουν το κόστος [9].

1.3.2 ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

Οι καταναλωτές μέσης τάσης περιλαμβάνουν μεγαλύτερες επιχειρήσεις και βιομηχανικές μονάδες. Οι απαιτήσεις τους σε ενέργεια είναι μεγαλύτερες και οι μετρήσεις περιλαμβάνουν εκτός από την κατανάλωση ενέργειας, και παραμέτρους όπως η άεργος ισχύς, οι αρμονικές και ο συντελεστής ισχύος. Αυτές οι πληροφορίες είναι κρίσιμες για τη διαχείριση της ενεργειακής απόδοσης και τη μείωση του λειτουργικού κόστους.

1.4 ΤΥΠΟΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ

Οι βιομηχανικοί καταναλωτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω ανάλογα με τον τύπο της βιομηχανίας τους, όπως η μεταποιητική βιομηχανία και τα κέντρα δεδομένων (IT-data centers).

- ✚ **Μεταποιητική Βιομηχανία:** Οι ανάγκες για ισχύ και ενέργεια είναι μεγάλες, και οι μετρήσεις επικεντρώνονται στη σταθερότητα της τάσης, την ανάλυση της ισχύος και την παρακολούθηση των αρμονικών. Η εξοικονόμηση ενέργειας και η βελτίωση της απόδοσης είναι βασικοί στόχοι για αυτές τις επιχειρήσεις.
- ✚ **IT-Data Centers:** Οι απαιτήσεις για συνεχή και αξιόπιστη παροχή ενέργειας είναι εξαιρετικά υψηλές. Οι μετρήσεις επικεντρώνονται στην παρακολούθηση της ποιότητας της τάσης, της σταθερότητας της συχνότητας και της αποδοτικότητας της χρήσης της ενέργειας. Η διασφάλιση της συνεχούς λειτουργίας των κέντρων δεδομένων χωρίς διακοπές είναι κρίσιμη για την αποφυγή απωλειών δεδομένων και την εξασφάλιση της αξιοπιστίας των υπηρεσιών.

Με την κατηγοριοποίηση των καταναλωτών και την ανάλυση των διαφόρων μεγεθών μετρήσεων, γίνεται σαφές ότι οι ανάγκες για μέτρηση και παρακολούθηση διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με το προφίλ του καταναλωτή. Η προσαρμογή των συστημάτων έξυπνης μέτρησης στις ιδιαίτερες απαιτήσεις κάθε κατηγορίας μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη βελτιστοποίηση της διαχείρισης της ενέργειας και στην αύξηση της αποδοτικότητας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας [9].

1.5 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΖΗΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΝΑ ΏΡΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ/ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ)

Η ανάλυση των μετρήσεων κατανάλωσης ενέργειας ανά ώρα της ημέρας και ανά ημερομηνία επιτρέπει την εξαγωγή στατιστικών κατανομών που βοηθούν στην κατανόηση των μοτίβων ζήτησης. Αυτή η πληροφορία είναι κρίσιμη για τους παρόχους ενέργειας, καθώς τους επιτρέπει να προσαρμόζουν την παραγωγή και τη διανομή της ενέργειας με βάση τις ανάγκες των καταναλωτών. Οι στατιστικές κατανομές μπορούν να αποκαλύψουν αιχμές ζήτησης (peak demand) και περιόδους χαμηλής κατανάλωσης, βοηθώντας στην αποφυγή υπερφορτώσεων και στη βελτιστοποίηση της χρήσης των ενεργειακών πόρων. Για παράδειγμα, οι αιχμές ζήτησης μπορεί να εμφανίζονται τις βραδινές ώρες όταν οι καταναλωτές χρησιμοποιούν περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές. Αντίστοιχα, οι περίοδοι χαμηλής κατανάλωσης μπορεί να παρατηρούνται τις πρώτες πρωινές ώρες. Η κατανόηση αυτών των μοτίβων επιτρέπει στους παρόχους να εφαρμόζουν στρατηγικές

διαχείρισης της ζήτησης, όπως η προώθηση της κατανάλωσης σε περιόδους χαμηλής ζήτησης μέσω διαφοροποιημένων τιμολογίων. Επίσης, βοηθά στην καλύτερη προετοιμασία και συντήρηση του δικτύου, αποφεύγοντας διακοπές και βελτιώνοντας την αξιοπιστία της παροχής.

1.6 ΆΛΛΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Πέρα από τις στατιστικές κατανομές της ζήτησης, υπάρχουν και άλλοι δείκτες απόδοσης που προκύπτουν από την επεξεργασία των μετρήσεων και είναι σημαντικοί για την αξιολόγηση της ποιότητας και της αξιοπιστίας του ηλεκτρικού δικτύου. Αυτοί οι δείκτες περιλαμβάνουν:

- ✚ **Αξιοπιστία Παροχής (Reliability of Supply):** Αναφέρεται στην ικανότητα του δικτύου να παρέχει συνεχή και αδιάλειπτη ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές. Η αξιοπιστία της παροχής μπορεί να μετρηθεί μέσω δεικτών όπως η συχνότητα και η διάρκεια των διακοπών ρεύματος. Χαμηλή συχνότητα και μικρή διάρκεια διακοπών υποδηλώνουν υψηλή αξιοπιστία της παροχής.
- ✚ **Διακοπές Ρεύματος (Power Interruptions):** Οι διακοπές ρεύματος αποτελούν σημαντικό δείκτη απόδοσης του δικτύου. Οι μετρήσεις των διακοπών περιλαμβάνουν την καταγραφή της διάρκειας και της συχνότητάς τους, βοηθώντας στην ανάλυση των αιτιών και στη λήψη μέτρων για την αποφυγή τους. Οι διακοπές μπορούν να προκληθούν από διάφορους παράγοντες, όπως βλάβες στον εξοπλισμό, καιρικές συνθήκες ή υπερφόρτωση του δικτύου.
- ✚ **Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Ρεύματος (Power Quality):** Η ποιότητα του ρεύματος είναι κρίσιμη για την ομαλή λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών και περιλαμβάνει παραμέτρους όπως η σταθερότητα της τάσης, η συχνότητα και η παρουσία αρμονικών. Η παρακολούθηση και ο έλεγχος των ποιοτικών χαρακτηριστικών του ρεύματος βοηθούν στην αποφυγή βλαβών στις συσκευές και στη βελτίωση της αποδοτικότητας του συστήματος.

Η επεξεργασία των μετρήσεων και η εξαγωγή KPIs είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι πληροφορίες που παρέχουν αυτοί οι δείκτες επιτρέπουν στο διαχειριστή του δικτύου να λαμβάνει τεκμηριωμένες αποφάσεις που βελτιώνουν την απόδοση του δικτύου και εξασφαλίζουν την παροχή υψηλής ποιότητας και αξιόπιστης ενέργειας στους καταναλωτές. Οι έξυπνοι μετρητές χρησιμοποιούνται ευρέως στο σύστημα παροχής

ηλεκτρικής ενέργειας και η λειτουργική τους αξιοπιστία συνδέεται στενά με την αξιοπιστία της παροχής ενέργειας στους χρήστες. Είναι δύσκολο για τα έξυπνα συστήματα μέτρησης ενέργειας να προβλέψουν με ακρίβεια την αξιοπιστία και τη διάρκεια ζωής τους βάσει των υφιστάμενων τεχνικών προδιαγραφών. Για να βελτιωθεί η ακρίβεια στην πρόβλεψη της αξιοπιστίας και του κύκλου συντήρησης των έξυπνων μετρητών, οι Chen et al. [10] προτείνουν μια μέθοδο πρόβλεψης της αξιοπιστίας των έξυπνων μετρητών βασισμένη στη μέθοδο Monte Carlo και στο δέντρο βλαβών. Αρχικά, ο χρόνος εμφάνισης του κατώτατου γεγονότος δειγματοληψίας προσομοιώνεται με τη μέθοδο Monte Carlo, βασισμένη στα στατιστικά δεδομένα του ετήσιου ποσοστού αποτυχίας κάθε μονάδας του έξυπνου μετρητή. Στη συνέχεια, η ανάλυση του δέντρου βλαβών μετατρέπει την εμφάνιση αυτών των γεγονότων στον χρόνο βλάβης ολόκληρου του μετρητή. Οι στατιστικές διαστήματος χρησιμοποιούνται για να ληφθεί η τιμή αξιοπιστίας του έξυπνου μετρητή, προσφέροντας έτσι μια ακριβέστερη πρόβλεψη της αξιοπιστίας και των κύκλων συντήρησης. Τέλος, η καμπύλη της συνάρτησης αξιοπιστίας λαμβάνεται μετά την εφαρμογή της τιμής αξιοπιστίας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η αξιοπιστία του έξυπνου μετρητή ακολουθεί την εκθετική κατανομή κατά τη διάρκεια λειτουργίας 100 ετών. Όταν φτάνει στο δέκατο έτος, η αξιοπιστία είναι 0.9519.

Αυτός ο αλγόριθμος παρέχει καθοδήγηση για την ακριβή πρόβλεψη της αξιοπιστίας και των κύκλων συντήρησης, αναλύοντας τις βλάβες των έξυπνων μετρητών σε επίπεδο μονάδας. Η έρευνα αυτή αναδεικνύει τη σημασία της ακριβούς πρόβλεψης της αξιοπιστίας των έξυπνων μετρητών για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της διάρκειας ζωής τους. Η μέθοδος που προτείνεται βασίζεται στη συνδυαστική χρήση της μεθόδου Monte Carlo και της ανάλυσης δέντρου βλαβών, δύο ισχυρών εργαλείων που επιτρέπουν μια πιο λεπτομερή και ακριβή αξιολόγηση της λειτουργικής αξιοπιστίας των έξυπνων μετρητών. Η χρήση της μεθόδου Monte Carlo επιτρέπει την προσομοίωση διαφόρων σεναρίων βλάβης με βάση τα ιστορικά δεδομένα αποτυχίας, παρέχοντας έτσι μια πιο ρεαλιστική εικόνα των πιθανών προβλημάτων που μπορεί να αντιμετωπίσει ένας έξυπνος μετρητής κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Η ανάλυση του δέντρου βλαβών, από την άλλη πλευρά, προσφέρει μια συστηματική προσέγγιση για την κατανόηση της σχέσης μεταξύ των διαφόρων μονάδων του μετρητή και του συνολικού συστήματος. Αυτή η συνδυαστική προσέγγιση επιτρέπει την ακριβή πρόβλεψη των χρονικών σημείων όπου οι βλάβες μπορεί να εμφανιστούν και βοηθά στον καθορισμό των βέλτιστων χρόνων για τη συντήρηση και την αντικατάσταση εξαρτημάτων.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ότι η αξιοπιστία των έξυπνων μετρητών ακολουθεί μια εκθετική κατανομή, γεγονός που υποδηλώνει ότι η πιθανότητα βλάβης μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, αλλά δεν εξαφανίζεται εντελώς. Η γνώση αυτή είναι κρίσιμη για τους διαχειριστές των δικτύων ενέργειας, καθώς τους επιτρέπει να προγραμματίζουν καλύτερα τις εργασίες συντήρησης και να εξασφαλίζουν την αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές [10].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: SMART METERING SYSTEMS- ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ

Οι έξυπνοι μετρητές (Smart Meters) αντιπροσωπεύουν την πλέον σύγχρονη τεχνολογία στη μέτρηση και παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας, παρέχοντας σημαντικά πλεονεκτήματα τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τους παρόχους ενέργειας. Αποτελούν τον βασικό πυλώνα των έξυπνων δικτύων (smart grids), ενσωματώνοντας εξελιγμένες τεχνολογίες που επιτρέπουν την αυτοματοποίηση, τη βελτιστοποίηση και την εξοικονόμηση ενέργειας.

2.1 ΤΥΠΟΙ ΞΕΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

Οι τύποι των έξυπνων μετρητών (smart meters) μπορούν να ταξινομηθούν με βάση διάφορα κριτήρια, όπως ο τύπος της μετρούμενης ενέργειας, η τεχνολογία επικοινωνίας, η εφαρμογή τους στο δίκτυο και η ενεργειακή πηγή. Αναλυτικά, οι βασικοί τύποι έξυπνων μετρητών περιλαμβάνουν:

Με Βάση τον Τύπο της Μετρούμενης Ενέργειας

Οι έξυπνοι μετρητές διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το είδος της ενέργειας που καταγράφουν. Καταγράφουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε κιλοβατώρες (kWh) και παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, με δυνατότητα μέτρησης τόσο ενεργού όσο και άεργης ενέργειας. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές. Οι έξυπνοι μετρητές φυσικού αερίου μετρούν την κατανάλωση φυσικού αερίου σε κυβικά μέτρα (m^3) ή σε British Thermal Units (BTU). Αυτοί οι μετρητές προσφέρουν ακριβείς μετρήσεις και μπορούν να συνδεθούν με κεντρικά συστήματα διαχείρισης για απομακρυσμένη ανάγνωση, ενώ χρησιμοποιούνται κυρίως σε οικιακούς και εμπορικούς καταναλωτές. Επίσης, οι έξυπνοι μετρητές νερού καταγράφουν την κατανάλωση νερού σε κυβικά μέτρα (m^3), επιτρέποντας την ακριβή μέτρηση και παρακολούθηση της κατανάλωσης νερού, με δυνατότητες για την ανίχνευση διαρροών και την αποφυγή σπατάλης. Αυτοί οι μετρητές χρησιμοποιούνται κυρίως σε οικιακούς και εμπορικούς καταναλωτές.

Με Βάση την Τεχνολογία Επικοινωνίας

Η τεχνολογία επικοινωνίας που χρησιμοποιείται στους έξυπνους μετρητές καθορίζει την αποτελεσματικότητα και την εμβέλεια τους. Οι μετρητές με Power Line Communication (PLC) χρησιμοποιούν τις υπάρχουσες ηλεκτρικές γραμμές για τη μετάδοση δεδομένων, προσφέροντας εύκολη εγκατάσταση, ιδανική για αστικές περιοχές με πυκνή ηλεκτροδότηση, αν και επηρεάζονται από την ποιότητα του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μετρητές με ραδιοσυχνότητα (RF) χρησιμοποιούν ραδιοσυχνότητες για τη μετάδοση δεδομένων, παρέχοντας ασύρματη επικοινωνία και είναι κατάλληλοι για περιοχές όπου δεν είναι πρακτική η χρήση καλωδίων, όπως σε αγροτικές περιοχές ή σε πυκνοκατοικημένες αστικές ζώνες. Τρίτον, οι μετρητές με GSM/GPRS, LTE-M/NB-IoT αξιοποιούν τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας για τη μετάδοση δεδομένων, καθιστώντας τους ιδανικούς για απομακρυσμένες περιοχές, με υψηλή ασφάλεια στη μετάδοση, αν και εξαρτώνται από την κάλυψη δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Οι μετρητές με Wi-Fi ή Bluetooth χρησιμοποιούν ασύρματα δίκτυα για τη σύνδεση και μετάδοση δεδομένων, είναι κατάλληλοι για εφαρμογές σε οικιακό περιβάλλον και παρέχουν εύκολη ενσωμάτωση με άλλες έξυπνες συσκευές, αν και έχουν περιορισμένη εμβέλεια.

Με Βάση την Εφαρμογή στο Δίκτυο

Ανάλογα με την εφαρμογή τους στο δίκτυο, οι έξυπνοι μετρητές διακρίνονται σε οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς. Οι οικιακοί έξυπνοι μετρητές είναι σχεδιασμένοι για οικιακή χρήση και παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας στο σπίτι, υποστηρίζοντας εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας και διαχείρισης φορτίων. Οι εμπορικοί έξυπνοι μετρητές χρησιμοποιούνται σε εμπορικά κτίρια και επιχειρήσεις, παρέχοντας λεπτομερή δεδομένα για την κατανάλωση ενέργειας και υποστηρίζοντας προσαρμοσμένες τιμολογιακές στρατηγικές. Οι βιομηχανικοί έξυπνοι μετρητές, τέλος, είναι σχεδιασμένοι για βιομηχανική χρήση, προσφέροντας υψηλή ακρίβεια στις μετρήσεις και υποστήριξη στη διαχείριση μεγάλων φορτίων και την ανάλυση ενεργειακών αναγκών.

Με Βάση την Ενεργειακή Πηγή

Τέλος, οι έξυπνοι μετρητές μπορούν να διαφοροποιηθούν με βάση την ενεργειακή πηγή που μετρούν. Οι μετρητές ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές μετρούν την παραγωγή ενέργειας από πηγές όπως η ηλιακή ή αιολική ενέργεια και την ενσωμάτωσή τους στο δίκτυο. Συχνά χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με έξυπνους μετρητές καταναλωτών για την παροχή ενός ολοκληρωμένου συστήματος

διαχείρισης ενέργειας, διευκολύνοντας την εξισορρόπηση της παραγωγής και της κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Αυτοί οι τύποι έξυπνων μετρητών προσφέρουν ποικίλες λύσεις που προσαρμόζονται στις διαφορετικές ανάγκες των καταναλωτών και των παρόχων ενέργειας, ενισχύοντας τη συνολική απόδοση και αποτελεσματικότητα των συστημάτων διαχείρισης ενέργειας.

2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΞΕΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

Οι έξυπνοι μετρητές ξεχωρίζουν για τις δυνατότητες επικοινωνίας και τη διαχείριση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, κάτι που τους διαφοροποιεί από τους παραδοσιακούς μετρητές. Αυτές οι δυνατότητες περιλαμβάνουν:

Αμφίδρομη Επικοινωνία

Επιτρέπουν την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του μετρητή και του κεντρικού συστήματος διαχείρισης του παρόχου ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι δεν μεταδίδουν μόνο δεδομένα κατανάλωσης, αλλά μπορούν επίσης να λαμβάνουν εντολές από το δίκτυο, όπως η απομακρυσμένη απενεργοποίηση ή επανενεργοποίηση της παροχής, ή ακόμα και η αλλαγή τιμολογίων.

Προηγμένη Ανάλυση Δεδομένων

Μπορούν να συλλέγουν λεπτομερή δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας σε διακριτά χρονικά διαστήματα (π.χ. ανά ώρα), επιτρέποντας την ακριβή ανάλυση και την καλύτερη κατανόηση των προτύπων κατανάλωσης. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την πρόβλεψη των αναγκών ενέργειας και τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου.

Δυνατότητες Ενσωμάτωσης με Smart Grids

Είναι σχεδιασμένοι για να λειτουργούν αρμονικά με τα έξυπνα δίκτυα, επιτρέποντας την αυτόματη εξισορρόπηση της ζήτησης και της προσφοράς ενέργειας. Μπορούν να επικοινωνούν με άλλες συσκευές εντός του σπιτιού (όπως έξυπνες συσκευές) και να συμβάλλουν στην πιο αποτελεσματική χρήση της ενέργειας.

Αυτοματοποιημένη Τιμολόγηση και Εξοικονόμηση Ενέργειας

Μέσω της χρήσης έξυπνων μετρητών, οι καταναλωτές μπορούν να ενημερώνονται σε πραγματικό χρόνο για την κατανάλωση ενέργειας και το κόστος της, επιτρέποντάς τους να προσαρμόζουν τη χρήση ενέργειας βάσει των δυναμικών

τιμολογίων (π.χ. υψηλότερες χρεώσεις κατά τις ώρες αιχμής). Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων.

2.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

Οι τεχνικές προδιαγραφές των έξυπνων μετρητών είναι θεμελιώδεις για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της απόδοσης των συστημάτων smart metering. Κάποιες από τις βασικές προδιαγραφές περιλαμβάνουν:

Ακρίβεια Μετρήσεων

Η ακρίβεια των έξυπνων μετρητών είναι καθοριστική για την αξιόπιστη καταγραφή των μεγεθών κατανάλωσης. Οι έξυπνοι μετρητές ταξινομούνται συνήθως σε κατηγορίες ακρίβειας, όπως Class 1 ή Class 2, ανάλογα με την ακρίβεια που παρέχουν. Η επιλογή της κατάλληλης κατηγορίας εξαρτάται από τις απαιτήσεις του δικτύου και τη χρήση του μετρητή.

Επικοινωνιακή Διασύνδεση

Οι έξυπνοι μετρητές ενσωματώνουν διάφορες τεχνολογίες επικοινωνίας, όπως LTE-M, NB-IoT, GSM, RF (ραδιοσυχνότητα), PLC (Power Line Communication), και Wi-Fi. Η επιλογή της τεχνολογίας εξαρτάται από τις ανάγκες του δικτύου και το περιβάλλον στο οποίο εγκαθίσταται ο μετρητής. Οι τεχνολογίες που θα επιλέγονται, θα πρέπει να επιτρέπουν τη συνεχή και αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων.

Ασφάλεια Δεδομένων και Προστασία

Η ασφάλεια είναι ζωτικής σημασίας στα συστήματα smart metering. Οι έξυπνοι μετρητές πρέπει να διαθέτουν μηχανισμούς κρυπτογράφησης και αυθεντικοποίησης για την προστασία των δεδομένων από παραβιάσεις ή απόπειρες παραποίησης. Επιπλέον, πρέπει να εξασφαλίζεται η ακεραιότητα των δεδομένων που μεταδίδονται και αποθηκεύονται.

Ενεργειακή Αυτονομία και Αντοχή

Οι έξυπνοι μετρητές είναι σχεδιασμένοι για μακροχρόνια λειτουργία, με ελάχιστη ανάγκη συντήρησης. Πρέπει να διαθέτουν εσωτερική πηγή ενέργειας (π.χ. μπαταρία) που να τους επιτρέπει να λειτουργούν ακόμα και σε περιπτώσεις διακοπής ρεύματος, καθώς και αντοχή σε ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος.

Προσαρμογή σε Διεθνή Πρότυπα

Οι έξυπνοι μετρητές πρέπει να είναι συμμορφωμένοι με διεθνή πρότυπα και κανονισμούς, όπως το IEC 62053 για μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να διασφαλίζεται η διαλειτουργικότητα και η συμβατότητα με τα υπόλοιπα στοιχεία του δικτύου.

2.4 ΟΙΚΙΑΚΟΙ ΈΞΥΠΝΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ

Οικιακός Έξυπνος μετρητής Gyr E360

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν ορισμένοι οικιακοί έξυπνοι μετρητές με σκοπό να δούμε τα χαρακτηριστικά, τις δυνατότητες σύνδεσης και επικοινωνίας καθώς και τις διαθέσιμες λειτουργίες τους. Ο έξυπνος μετρητής Landis+Gyr E360 ανήκει στην κατηγορία των έξυπνων μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 2.1: Οικιακός έξυπνος μετρητής

Πηγή: <https://www.landisgyr.eu/product/landisgyr-e360/>

Πιο συγκεκριμένα, είναι ένα οικιακός έξυπνος μετρητής που είναι σχεδιασμένος για το περιβάλλον του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) [11] και διαθέτει προηγμένες δυνατότητες επικοινωνίας μέσω των πρωτοκόλλων LTE CAT M1 και NB-IoT. Αυτός ο μετρητής ενσωματώνει σύγχρονες τεχνολογίες επικοινωνίας και ασφάλειας, και υποστηρίζει τη συλλογή και μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, κάτι που τον καθιστά ιδανικό για χρήση σε οικιακά δίκτυα, με ιδιαίτερη έμφαση στις εφαρμογές του IoT.

Ο έξυπνος μετρητής Landis+Gyr E360 διαθέτει μια σειρά από τεχνικά χαρακτηριστικά που τον καθιστούν αξιόπιστο και αποδοτικό για οικιακή χρήση. Τα πιο σημαντικά τεχνικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν:

- ✚ **Αξιόπιστη συνδεσιμότητα:** Υποστηρίζει συνδεσιμότητα μέσω LTE και NB-IoT, προσφέροντας αξιόπιστη επικοινωνία και μετάδοση δεδομένων.

- ✚ **Δεδομένα σχεδόν σε πραγματικό χρόνο:** Η νέα λειτουργία smart push, ως μέρος της λύσης Gridstream® Connect, επιτρέπει τη διαθεσιμότητα δεδομένων σχεδόν σε πραγματικό χρόνο.
- ✚ **Χαμηλό συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (TCO):** Σχεδιασμένος για χαμηλό κόστος επικοινωνίας και ελάχιστο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας κατά τη διάρκεια της 15ετούς ζωής του.
- ✚ **Υψηλά πρότυπα ασφαλείας:** Υποστηρίζει τους υψηλότερους βιομηχανικούς μηχανισμούς ασφαλείας (DLMS security suite 0 και suite 1), πιστοποιημένο λειτουργικό σύστημα με κριτήρια κοινής ασφάλειας, βιβλιοθήκη κρυπτογράφησης πιστοποιημένη κατά NIST / FIPS-140, και πλήρη συμμόρφωση με τον GDPR.
- ✚ **IDIS – Διαλειτουργικότητα:** Υποστηρίζει το πακέτο διαλειτουργικότητας IDIS pack 2, με δυνατότητα αναβάθμισης στο pack 3 όταν θα είναι διαθέσιμο.
- ✚ **Παραλλαγές με ενσύρματο και ασύρματο M-Bus:** Διατίθενται παραλλαγές που υποστηρίζουν τόσο ενσύρματη όσο και ασύρματη επικοινωνία M-Bus.
- ✚ **Διαγνωστικά και στατιστικά στοιχεία:** Παρέχει διαγνωστικά για τάση, συνολική αρμονική παραμόρφωση (THD), συντελεστή ισχύος, και διάγνωση απώλειας ουδέτερου, καθώς και στατιστικά στοιχεία για διακοπές ρεύματος.
- ✚ **Πακέτο προστασίας από παραβιάσεις:** Διαθέτει πακέτο προστασίας κατά των παραβιάσεων για αυξημένη ασφάλεια.

Ο Landis+Gyr E360 είναι διαθέσιμος σε δύο κύριες παραλλαγές, για μονοφασική (1ph) και τριφασική (3ph) εφαρμογή, και ενσωματώνει προηγμένες λειτουργίες για τη μέτρηση και διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας [12].

Οι Διαθέσιμες Παραλλαγές του E360 LTE είναι [13]:

- ✚ Άμεσα Συνδεδεμένα (Direct Connected) 1φ / 230 V με μέγιστο ρεύμα 80 A.
- ✚ Άμεσα Συνδεδεμένα (Direct Connected) 3φ / 230 V με μέγιστο ρεύμα 100 A.
- ✚ Συνδεδεμένα μέσω Μετασχηματιστή Ρεύματος (CT Connected) 3φ / 230 V με αναφορά 1&5 A.

Οικιακός Έξυπνος μετρητής Landis+Gyr E450

Ο έξυπνος μετρητής Landis+Gyr E450 ανήκει στην κατηγορία των οικιακών έξυπνων μετρητών. Πρόκειται για έναν προηγμένο οικιακό μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας με ενσωματωμένο PLC modem, που αποτελεί βασικό στοιχείο της λύσης AMI (Advanced Metering Infrastructure) της Landis+Gyr. Ο E450 είναι εξαιρετικά ευέλικτος και σχεδιασμένος για να προσφέρει μέγιστη λειτουργική προσαρμοστικότητα, καθώς και δυνατότητες αμφίδρομης επικοινωνίας και συλλογής δεδομένων πολλαπλών ενεργειακών πηγών. Επίσης, υποστηρίζει σύγχρονες τεχνολογίες επικοινωνίας PLC, όπως το G3-PLC, και έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει την εύκολη εγκατάσταση και την ελάχιστη συντήρηση κατά τη διάρκεια της μακράς του ζωής, καθιστώντας τον κατάλληλο για ευρεία οικιακή χρήση [14].



Σχήμα2.2: Οικιακός έξυπνος μετρητής Gyr E450

Πηγή: <https://www.landisgyr.eu/product/landisgyr-e450/>

Ο έξυπνος μετρητής Landis+Gyr E450 διαθέτει μια σειρά από χαρακτηριστικά που τον καθιστούν ιδιαίτερα ευέλικτο και αξιόπιστο για οικιακές και εμπορικές εφαρμογές, ειδικά σε περιβάλλοντα που χρησιμοποιούν τεχνολογίες Powerline Carrier (PLC). Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του E450 περιλαμβάνουν [14]:

- **Τεχνολογία Επικοινωνίας:**

- ✓ Χρησιμοποιεί τεχνολογίες Powerline Carrier (PLC) όπως το G3-OFDM και PLAN+ για τη μετάδοση δεδομένων μέσω των ηλεκτρικών γραμμών.

- ✓ Διαθέσιμος σε παραλλαγές που υποστηρίζουν τόσο ενσύρματο όσο και ασύρματο M-Bus, εξασφαλίζοντας ευελιξία στη συνδεσιμότητα.

- **Παραλλαγές:**

- ✓ Διατίθεται σε μονοφασικές (1ph) και τριφασικές (3ph/4W και 3ph/3W) εκδόσεις, με και χωρίς διακόπτη ελέγχου παροχής (Supply Control Switch - SCS).
- ✓ Διαθέσιμος σε δύο ζώνες συχνότητων: Cenelec A band (5-95kHz) και G3-500 (150-500kHz).

- **Ανθεκτικός Σχεδιασμός:**

Σχεδιασμένος για μακροχρόνια ανθεκτικότητα, προσφέροντας υψηλό επίπεδο ασφάλειας και ελάχιστες ανάγκες συντήρησης.

- **Ενημέρωση Λογισμικού εξ αποστάσεως:**

Υποστηρίζει ενημέρωση λογισμικού εξ αποστάσεως, διασφαλίζοντας ότι οι λειτουργίες του μετρητή παραμένουν σύγχρονες και ασφαλείς.

- **Διαλειτουργικότητα και Τυποποίηση:**

Συμμορφώνεται με διεθνή πρότυπα διαλειτουργικότητας (IDIS/DLMS/COSEM), εξασφαλίζοντας την ευελιξία στη χρήση σε διάφορα δίκτυα και συστήματα.

- **Αρχή του "Fair Meter":**

Σχεδιασμένος σύμφωνα με την αρχή του "Fair Meter", που προωθεί την αειφορία και την κοινωνική υπευθυνότητα.

2.5 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΈΞΥΠΝΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ

Landis+Gyr E570



Σχήμα 2.3: Βιομηχανικός έξυπνος μετρητής Gyr E570

Πηγή: <https://www.landisgyr.eu/product/landisgyr-e570/>

Ο έξυπνος μετρητής Landis+Gyr E570 ανήκει στην κατηγορία των εμπορικών και βιομηχανικών έξυπνων μετρητών. Συγκεκριμένα, πρόκειται για έναν μετρητή που είναι σχεδιασμένος για χρήση σε εφαρμογές χαμηλής και μεσαίας τάσης, καλύπτοντας τις ανάγκες εμπορικών, ελαφρών βιομηχανικών, και κατοικιών με υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Ο E570 παρέχει προηγμένες δυνατότητες διαχείρισης ενέργειας, όπως μέτρηση ποιότητας ισχύος, παρακολούθηση μετασχηματιστών και έλεγχο φορτίου και ζήτησης. Επιπλέον, υποστηρίζει τεχνολογίες επικοινωνίας PLC και P2P, καθιστώντας τον κατάλληλο για κεντρική διαχείριση ενέργειας σε εμπορικά και βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Landis+Gyr E850

Ο έξυπνος μετρητής Landis+Gyr E850 ανήκει στην κατηγορία των βιομηχανικών και εμπορικών έξυπνων μετρητών, και πιο συγκεκριμένα των μετρητών δικτύου (grid meters). Αυτός ο μετρητής είναι σχεδιασμένος για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ακρίβεια, όπως σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, φωτοβολταϊκά, αιολικά πάρκα, δίκτυα μετάδοσης, υποσταθμοί, υποδομές σιδηροδρόμων, και άλλοι εμπορικοί και βιομηχανικοί καταναλωτές που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Ο E850 προσφέρει εξαιρετική ακρίβεια και σταθερότητα στη μέτρηση της ενέργειας υπό όλες τις συνθήκες λειτουργίας, καθιστώντας τον ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν βέλτιστη ακρίβεια στους υπολογισμούς χρέωσης και στον έλεγχο λειτουργίας του δικτύου [15].



Σχήμα2.4: Βιομηχανικός Έξυπνος Μετρητής GyrE850

Πηγή: <https://www.landisgyr.eu/product/landisgyr-e850/>

Ο έξυπνος μετρητής Landis+Gyr E850 διαθέτει μια σειρά από χαρακτηριστικά που τον καθιστούν εξαιρετικά ακριβή και ευέλικτο για χρήση σε απαιτητικές βιομηχανικές και εμπορικές εφαρμογές. Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν:

- **Ακρίβεια μέτρησης:** Ο E850 προσφέρει κλάσεις ακρίβειας 0.2S / 0.5S για την ενεργό ενέργεια και 0.5S / 1 για την άεργη ενέργεια, διασφαλίζοντας υψηλή ακρίβεια στους υπολογισμούς χρέωσης.
- **Υποστήριξη πολλαπλών συχνοτήτων:** Μπορεί να λειτουργεί σε συχνότητες 50/60Hz και 16 2/3 Hz, καθιστώντας τον κατάλληλο για χρήση σε υποδομές σιδηροδρόμων.
- **Οθόνη και τοπική ανάγνωση δεδομένων:** Διαθέτει 8-ψήφια οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD) για την τοπική ανάγνωση δεδομένων.
- **Εναλλάξιμα επικοινωνιακά modules:** Υποστηρίζει πολλαπλά επικοινωνιακά modules, όπως RS 232, RS 485, Ethernet, GSM, GPRS, και UMTS (3G), επιτρέποντας ευελιξία στη σύνδεση και την επικοινωνία.
- **Πολλαπλές διεπαφές επικοινωνίας:** Περιλαμβάνει ενσωματωμένη οπτική διεπαφή και σειριακή διεπαφή RS485 με πρωτόκολλο DLMS, επιτρέποντας την επικοινωνία με διάφορους τρίτους προμηθευτές.
- **Μετρήσεις τεσσάρων τεταρτημορίων:** Παρέχει δυνατότητα μέτρησης σε τέσσερις τεταρτημόρια (4-quadrant measurement), καλύπτοντας τόσο την ενεργό όσο και την άεργη ενέργεια.
- **Παρακολούθηση τιμών στιγμιαίας τάσης και ρεύματος:** Μετρά τις στιγμιαίες τιμές των φασικών τάσεων και ρευμάτων, και υποστηρίζει παρακολούθηση της γωνίας φάσης, καθώς και την ανίχνευση της κατεύθυνσης του πεδίου περιστροφής.

- **Λειτουργίες τιμολόγησης και προφίλ φορτίου:** Υποστηρίζει έλεγχο τιμολογίων, προφίλ φορτίου, στιγμιότυπο ημέρας, και αποθηκευμένο προφίλ τιμολογίων.
- **Λειτουργίες παρακολούθησης και εποπτείας:** Περιλαμβάνει πίνακα βυθίσεων τάσης, παρακολούθηση αρμονικών και συνολικής αρμονικής παραμόρφωσης (THD), καθώς και εποπτεία υπερφόρτωσης της γραμμής.

Ο E850 προσφέρει επίσης επιπρόσθετες λειτουργικότητες ανάλογα με τη διαμόρφωση του λογισμικού, όπως διόρθωση σφαλμάτων CT/VT, παρακολούθηση συντελεστή ισχύος, και μέτρηση της φαινόμενης ενέργειας, καθιστώντας τον έναν πλήρη και αξιόπιστο μετρητή για χρήση σε πολύπλοκα βιομηχανικά περιβάλλοντα.

2.6 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης έξυπνων μετρητών είναι πολυάριθμα και αφορούν τόσο τους καταναλωτές όσο και τους παρόχους ενέργειας:

- ✚ **Ενίσχυση της Διαφάνειας:** Οι καταναλωτές έχουν πλήρη εικόνα της κατανάλωσης ενέργειας τους, γεγονός που τους επιτρέπει να λάβουν ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με τη χρήση της ενέργειας.
- ✚ **Ανίχνευση Διαρροών και Προβλημάτων:** Οι πάροχοι μπορούν να εντοπίσουν διαρροές ή άλλες ανωμαλίες στο δίκτυο σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας τις απώλειες ενέργειας.
- ✚ **Βελτίωση Ενεργειακής Αποδοτικότητας:** Οι έξυπνοι μετρητές συμβάλλουν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και στην προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσω της ενσωμάτωσης τους σε έξυπνα δίκτυα.

2.7 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ- SOFTWARE ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

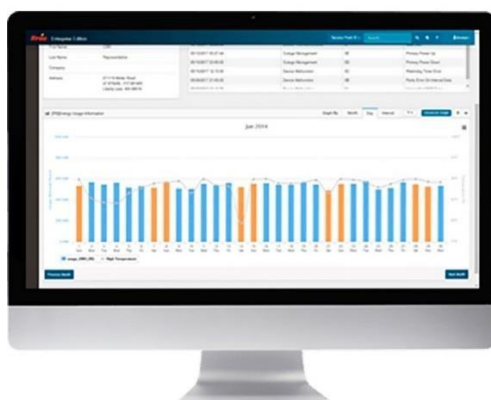
Τα λογισμικά που συνοδεύουν τους έξυπνους μετρητές παίζουν κρίσιμο ρόλο στη λειτουργικότητά τους παρέχοντας ένα εύρος δυνατοτήτων που βελτιώνουν την αποδοτικότητα, την ακρίβεια και την ασφάλεια στη διαχείριση της ενέργειας. Οι δυνατότητες αυτές περιλαμβάνουν την αμφίδρομη επικοινωνία, την απομακρυσμένη διαχείριση, την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και τη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας. Ας δούμε πιο αναλυτικά τις βασικές δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα των λογισμικών έξυπνων μετρητών [16].

2.7.1 AMM SYSTEM

Το λογισμικό AMM (Advanced Metering Management) της Landis+Gyr, σε συνεργασία με την Generis Technology, αποτελεί ένα προηγμένο σύστημα διαχείρισης μετρητών που παρέχει εξελιγμένες λειτουργίες για την προπληρωμή ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου, μαζί με μια υπερσύγχρονη υποδομή συλλογής δεδομένων και δυνατότητες απομακρυσμένης διαχείρισης μετρητών. Επιπλέον, το σύστημα υποστηρίζει πλήρη αμφίδρομη επικοινωνία με τους μετρητές, διευκολύνοντας την ακριβή και έγκαιρη συλλογή δεδομένων, καθώς και τον απομακρυσμένο έλεγχο των λειτουργιών των μετρητών.

Η δυνατότητα αλλαγής ενοικιαστή, προμηθευτή, ενημέρωσης των τιμολογίων πελατών, ανάκτησης των αναγνώσεων πελατών και απομακρυσμένης απενεργοποίησης ή επανενεργοποίησης της παροχής για το φυσικό αέριο και την ηλεκτρική ενέργεια προσφέρουν στους χρήστες πλήρη έλεγχο του συστήματος [17]. Η Υπηρεσία Κοινής Ωφέλειας έχει πλήρη έλεγχο των μετρητών στον τομέα, με τη δυνατότητα να προγραμματίζει αναγνώσεις δεδομένων, να ενημερώνει, να διαμορφώνει και να διαχειρίζεται τους μετρητές απομακρυσμένα. Αυτή η λειτουργία παρέχει οφέλη όπως ακριβής τιμολόγηση, προφίλ φορτίου και μείωση των επισκέψεων στο χώρο των μετρητών.

Το λογισμικό AMM υποστηρίζει την ενσωμάτωση μετρητών από διάφορους προμηθευτές, επιτρέποντας την απρόσκοπτη συνεργασία διαφορετικών τύπων μετρητών σε ένα ενιαίο σύστημα. Αυτή η ανοικτή αρχιτεκτονική επιτρέπει την εύκολη ενσωμάτωση στο υπάρχον λογισμικό μιας εταιρείας κοινής ωφέλειας. Το AMM σύστημα μπορεί επίσης να υποστηρίξει διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας, προσφέροντας ευελιξία και προσαρμοστικότητα στις ανάγκες του δικτύου [17].



Σχήμα 2.5: Λογισμικό AMM (Advanced Metering Management)

Πηγή: <https://emea.itron.com/products/itron-enterprise-edition-meter-data-management>

Το σύστημα διαθέτει μια ρυθμιζόμενη μηχανή επεξεργασίας δεδομένων για βελτιωμένη επικύρωση, εκτίμηση, επεξεργασία και καθορισμό των στοιχείων τιμολόγησης, διασφαλίζοντας την ακρίβεια και την αξιοπιστία των δεδομένων που συλλέγονται. Υποστηρίζει επίσης πολλαπλά κανάλια επικοινωνίας και εξασφαλίζει αμφίδρομη επικοινωνία για τη συλλογή και τον έλεγχο δεδομένων, προσφέροντας ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης των ενεργειακών πόρων. Τα πλεονεκτήματα του AMM System Technology περιλαμβάνουν την ακρίβεια και την εγκαιρότητα στη συλλογή και διαχείριση δεδομένων, επιτρέποντας την ακριβή τιμολόγηση και τη μείωση των λαθών. Επιπλέον, το σύστημα μπορεί να ενσωματωθεί εύκολα στο υπάρχον λογισμικό μιας εταιρείας κοινής ωφέλειας, υποστηρίζοντας διάφορα πρωτόκολλα και τυποποιημένες μορφές δεδομένων. Η υποστήριξη πολλαπλών τύπων μετρητών και καναλιών πληρωμής προσφέρει ευελιξία στις λειτουργίες και τις επιλογές, ενώ η δυνατότητα απομακρυσμένης διαχείρισης και ελέγχου συμβάλλει στη μείωση του κόστους των επισκέψεων για συντήρηση και διαχείριση των μετρητών.

2.7.1.1 ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το διάγραμμα αυτό (Σχήμα 2.5) απεικονίζει τη δομή και τις διάφορες ζώνες λειτουργίας του συστήματος, διακρίνοντας τις λειτουργικές μονάδες που εμπλέκονται στη διαδικασία διαχείρισης των έξυπνων μετρητών. Η Communication Zone (Ζώνη Επικοινωνίας) βρίσκεται στην αριστερή πλευρά της εικόνας και περιλαμβάνει τον πάροχο χρόνου εκπομπής (Airtime Provider) και την επικοινωνιακή μονάδα (Communication Aggregator). Αυτή η ζώνη είναι υπεύθυνη για τη συλλογή και μεταφορά δεδομένων από τους μετρητές προς το κεντρικό σύστημα μέσω δικτύου επικοινωνίας. Η σύνδεση αυτή εξασφαλίζει ότι τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας που συλλέγονται από τους μετρητές στις εγκαταστάσεις των καταναλωτών μπορούν να μεταφερθούν αξιόπιστα και αποτελεσματικά στο σύστημα διαχείρισης[18]. Η Consumer Zone (Ζώνη Καταναλωτή) περιλαμβάνει τους μετρητές που είναι εγκατεστημένοι σε οικιακούς ή εμπορικούς χώρους, από όπου συλλέγονται τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας. Αυτή η ζώνη είναι το σημείο επαφής μεταξύ του συστήματος και του τελικού χρήστη, επιτρέποντας την παρακολούθηση και τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας. Η System Zone (Ζώνη Συστήματος), που βρίσκεται στο κέντρο της εικόνας, αποτελείται από διάφορα υποσυστήματα που διαχειρίζονται τα δεδομένα και τις λειτουργίες του συστήματος.

Αυτή η ζώνη περιλαμβάνει το Head End, το οποίο ασχολείται με τη συλλογή δεδομένων, την απομακρυσμένη διαχείριση συσκευών, και τη διαχείριση γεγονότων συσκευών. Η Meter Data Management περιλαμβάνει τη διαχείριση των δεδομένων

των μετρητών, τη διαχείριση προφίλ, τη διασφάλιση δεδομένων, και τη διαχείριση πληρωμών. Η Pre-Payment Management είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση των προπληρωμών, δίνοντας τη δυνατότητα στους καταναλωτές να προπληρώνουν την κατανάλωση ενέργειας. Η Customer Management περιλαμβάνει λειτουργίες όπως η τιμολόγηση, η διαχείριση πελατών, και η διαχείριση ενέργειας, ενώ η Industry Process Management διαχειρίζεται τις διαδικασίες που αφορούν τις υπηρεσίες ηλεκτρισμού, φυσικού αερίου, και τη διαχείριση πελατών [18]. Τέλος, η Agent Zone (Ζώνη Πρακτόρων), που βρίσκεται στα δεξιά της εικόνας, περιλαμβάνει διάφορους εμπλεκόμενους φορείς όπως διαχειριστές μετρητών, συλλέκτες δεδομένων, αναγνώστες μετρητών, τράπεζες, και παρόχους υπηρεσιών δικτύου.

Αυτή η ζώνη εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία και την αλληλεπίδραση των διαφόρων στοιχείων του συστήματος με τα εξωτερικά ενδιαφερόμενα μέρη.

2.7.2. GRIDSTREAM® CONNECT (LANDIS+GYR)

Πρόκειται για μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα λογισμικού που υποστηρίζει τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων από έξυπνους μετρητές, επιτρέποντας τη διαχείριση και τον έλεγχο των ενεργειακών πόρων σε πραγματικό χρόνο [18]. Προσφέρει προηγμένες δυνατότητες επικοινωνίας, ασφάλειας και διαλειτουργικότητας, καθιστώντας το ιδανικό για την ενσωμάτωση σε σύγχρονα δίκτυα IoT [16].

2.7.3. TERRANOVA SMART NETWORK (TSN)

Το λογισμικό Terranova Smart Network (TSN) είναι μια ολοκληρωμένη λύση που υποστηρίζει διαδικασίες έξυπνης μέτρησης (Smart Metering), διαχείρισης έξυπνων δικτύων (Smart Grid), και διαχείρισης εργατικού δυναμικού (Smart Workforce) για τον τομέα των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας, όπως η ηλεκτρική ενέργεια, το αέριο και το νερό. Το TSN είναι σχεδιασμένο να είναι ανεξάρτητο από τον προμηθευτή και τις τεχνολογίες επικοινωνίας, προσφέροντας ευελιξία στους παρόχους να επιλέγουν τις προτιμώμενες συσκευές και τεχνολογίες επικοινωνίας που ταιριάζουν στις ανάγκες τους. Η πλατφόρμα TAMM (Terranova Advanced Metering Management), μέρος του TSN, προσφέρει μια σειρά από ευέλικτα, επεκτάσιμα και ασφαλή εργαλεία που επιτρέπουν στους παρόχους ενέργειας να αντιμετωπίζουν γρήγορα τις προκλήσεις της έξυπνης μέτρησης. Είναι πλήρως συμβατό με πάνω από 150 μοντέλα μετρητών και συγκεντρωτών, επιτρέποντας την άμεση και χωρίς περιορισμούς ενσωμάτωση με νέες συσκευές, χωρίς επιπλέον κόστος. Αυτή η πλατφόρμα διευκολύνει τη μετάβαση από τη μέτρηση σε μετρητά (meter-to-cash) στην αξιοποίηση των μετρητών ως αισθητήρες δικτύου, προωθώντας την ψηφιακή μεταμόρφωση της διαχείρισης δικτύου. Ένα από τα κύρια

χαρακτηριστικά του TAMM είναι η δυνατότητα απομακρυσμένης ανάγνωσης και ελέγχου των μετρητών, καθώς και η δυνατότητα διαχείρισης των πρωτοκόλλων επικοινωνίας με αποτελεσματικό τρόπο. Η πλατφόρμα υποστηρίζει την αυτόματη συλλογή, επεξεργασία και μετάδοση δεδομένων, με έμφαση στη βελτιστοποίηση των λειτουργικών διαδικασιών και τη μείωση του λειτουργικού κόστους, ενώ ταυτόχρονα ενισχύει τη βιωσιμότητα των επιχειρήσεων. Αυτό το σύστημα είναι κατάλληλο για τη διαχείριση μετρητών πολλαπλών υπηρεσιών, την πραγματοποίηση διαγνωστικών, και τη βελτίωση της υποστήριξης προγραμματισμού και της αποτελεσματικότητας της ομάδας [19].

2.8 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

Αμφίδρομη Επικοινωνία

Τα λογισμικά έξυπνων μετρητών επιτρέπουν την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του μετρητή και του κεντρικού συστήματος διαχείρισης, διευκολύνοντας την αποστολή δεδομένων από τον μετρητή στο κεντρικό σύστημα και την αποστολή εντολών από το κεντρικό σύστημα στον μετρητή. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει την απομακρυσμένη ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της παροχής, την προσαρμογή των τιμολογίων και την ανίχνευση παραβιάσεων .

Ανάλυση Δεδομένων σε Πραγματικό Χρόνο

Συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο ή σχεδόν πραγματικό χρόνο, τα οποία μπορούν να αναλυθούν για να προσφέρουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας. Αυτή η ανάλυση βοηθά τους παρόχους ενέργειας να προβλέπουν τις απαιτήσεις και να βελτιστοποιούν τη λειτουργία του δικτύου, ενώ οι καταναλωτές μπορούν να παρακολουθούν τη χρήση τους και να λαμβάνουν αποφάσεις εξοικονόμησης.

Ασφάλεια Δεδομένων

Τα σύγχρονα λογισμικά προσφέρουν προηγμένες δυνατότητες κρυπτογράφησης και αυθεντικοποίησης, προστατεύοντας τα δεδομένα των καταναλωτών από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση. Επίσης, η ασφάλεια διασφαλίζεται μέσω της παρακολούθησης των επικοινωνιών και της καταγραφής των προσπαθειών πρόσβασης, αποτρέποντας παραβιάσεις και διασφαλίζοντας την ακεραιότητα των δεδομένων.

Αναβαθμίσεις Λογισμικού

Τα λογισμικά έξυπνων μετρητών μπορούν να αναβαθμίζονται εξ αποστάσεως, επιτρέποντας την προσθήκη νέων λειτουργιών και τη διασφάλιση ότι οι συσκευές παραμένουν ενημερωμένες με τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις χωρίς να απαιτείται φυσική πρόσβαση.

2.9 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ ΞΕΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

-  **Αύξηση της Αποτελεσματικότητας:** Τα λογισμικά επιτρέπουν την καλύτερη διαχείριση των ενεργειακών πόρων, βελτιστοποιώντας τη χρήση ενέργειας και μειώνοντας τα κόστη για τους καταναλωτές και τους παρόχους.
-  **Βελτίωση της Ασφάλειας:** Με τις δυνατότητες που προσφέρουν για την παρακολούθηση και προστασία των δεδομένων, τα λογισμικά συμβάλλουν στην προστασία της ιδιωτικότητας και στην αποτροπή παραβιάσεων.
-  **Ευκολία στη Διαχείριση:** Μέσω των απομακρυσμένων αναβαθμίσεων και της ευελιξίας στη διαμόρφωση, τα λογισμικά διευκολύνουν τη διαχείριση των έξυπνων μετρητών από τους παρόχους ενέργειας.
-  **Ανάλυση και Βελτιστοποίηση:** Η δυνατότητα ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει τη συνεχή βελτίωση των διαδικασιών και την άμεση απόκριση σε αλλαγές στη ζήτηση ή προβλήματα στο δίκτυο.

2.10 MODEM MODULE

Τα modem modules αποτελούν κρίσιμα εξαρτήματα για τη διασύνδεση των έξυπνων μετρητών (smart meters) με κεντρικά συστήματα διαχείρισης δεδομένων μέσω δικτύων επικοινωνίας. Αυτά τα modules λειτουργούν ως ενδιάμεσος κόμβος που επιτρέπει στους μετρητές να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο ή σε προκαθορισμένα διαστήματα μέσω διαφόρων τεχνολογιών, όπως το GPRS/LTE/5G δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, το PLC (Power Line Carrier), το Ethernet, και άλλες τεχνολογίες [20].

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των modem modules είναι η ευελιξία που προσφέρουν στις εταιρείες κοινής ωφέλειας, επιτρέποντας την επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας επικοινωνίας ανάλογα με τις ιδιαίτερες ανάγκες του δικτύου και των καταναλωτών. Αυτό καθιστά δυνατή την απομακρυσμένη διαχείριση των μετρητών, την αναβάθμιση του λογισμικού τους χωρίς την ανάγκη φυσικής πρόσβασης, και τη διασφάλιση της ακεραιότητας και της ασφάλειας των δεδομένων που συλλέγονται. Τα modem modules μπορούν επίσης να υποστηρίξουν τη διασύνδεση με πολλαπλές συσκευές μέτρησης μέσω διαφόρων πρωτοκόλλων,

ενισχύοντας έτσι τη λειτουργικότητα και την αποδοτικότητα των συστημάτων μέτρησης [21].

Επιπλέον, τα modem modules συμβάλλουν στη μείωση του κόστους λειτουργίας και στη βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος. Με τη δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου και διαχείρισης, οι εταιρείες μπορούν να μειώσουν τις ανάγκες για επιτόπιες επισκέψεις για συντήρηση ή ενημερώσεις λογισμικού, ενώ ταυτόχρονα διατηρούν υψηλό επίπεδο ασφάλειας και αποδοτικότητας στη διαχείριση των ενεργειακών πόρων. Τα modules αυτά υποστηρίζουν επίσης λειτουργίες όπως η ανίχνευση απάτης και η αποσύνδεση της παροχής σε περιπτώσεις μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης ή άλλων απειλών, προσφέροντας επιπλέον επίπεδα προστασίας για το δίκτυο.

2.10.1 E35C COMMUNICATION MODULE

Το E35C communication module της Landis+Gyr έχει σχεδιαστεί για να καλύψει τις σύγχρονες απαιτήσεις των έξυπνων μετρητών, επεκτείνοντας τις δυνατότητες των μετρητών E350 ώστε να ενσωματωθούν στη λύση Gridstream® της εταιρείας. Το E35C υποστηρίζει τεχνολογίες επικοινωνίας όπως το 2G/3G δίκτυο κινητής τηλεφωνίας (cellular), το PLC (Power Line Carrier) και το Ethernet, καθιστώντας το ένα εξαιρετικά ευέλικτο και πολυλειτουργικό εργαλείο για τις ανάγκες των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας.

2.10.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ E35C

Υποστήριξη Πολλαπλών Τεχνολογιών Επικοινωνίας: Το E35C είναι συμβατό με διάφορες τεχνολογίες επικοινωνίας, όπως τα δίκτυα 2G/3G για κινητή τηλεφωνία, το PLC και το Ethernet. Αυτή η πολυπρωτόκολλη προσέγγιση επιτρέπει στις εταιρείες κοινής ωφέλειας να επιλέγουν την τεχνολογία που ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες τους, προσφέροντας παράλληλα την ευελιξία να προσαρμόζονται στις τεχνολογικές εξελίξεις.

Διασύνδεση με Πολλαπλές Συσκευές Ενέργειας: Το E35C μπορεί να συνδεθεί με έως και τέσσερις συσκευές μέτρησης ενέργειας (όπως μετρητές αερίου, θερμότητας, και νερού) μέσω του M-Bus, καθιστώντας δυνατή τη διαχείριση και τη συλλογή δεδομένων από αυτές τις συσκευές μέσω μιας κεντρικής πλατφόρμας.

Αναβάθμιση Λογισμικού Εν Λειτουργία: Ένα άλλο κρίσιμο χαρακτηριστικό του E35C είναι η δυνατότητα αναβάθμισης του firmware κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, μέσω του πρωτοκόλλου DLMS (Device Language Message Specification) πάνω από οποιοδήποτε εξωτερικό κανάλι επικοινωνίας. Αυτό

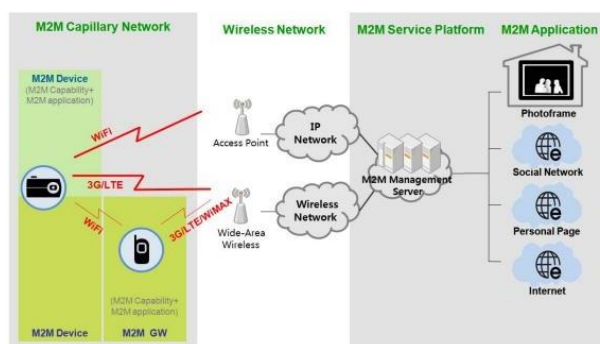
εξασφαλίζει ότι το σύστημα μπορεί να παραμένει ενημερωμένο με τις τελευταίες λειτουργίες και διορθώσεις χωρίς να διακόπτεται η υπηρεσία.

Προστασία εσόδων και Ασφάλεια: Το E35C προσφέρει δυνατότητες αποσύνδεσης για την αποσύνδεση ή τη σύνδεση της ηλεκτρικής παροχής στους χώρους των καταναλωτών, παρέχοντας έτσι προστασία εσόδων για τις εταιρείες κοινής ωφέλειας. Επιπλέον, διαθέτει δυνατότητες ανίχνευσης απάτης μέσω ενός κιτ προστασίας κατά των ισχυρών μαγνητικών πεδίων και της απομάκρυνσης του καλύμματος τερματικών. Αυτές οι λειτουργίες συμβάλλουν στη μείωση των απωλειών και στην προστασία του δικτύου από παραβιάσεις.

Δυνατότητα Προσαρμογής και Ασφάλεια στο Μέλλον: Το E35C σχεδιάστηκε για να είναι έτοιμο για μελλοντικές αναβαθμίσεις και επεκτάσεις. Η modular φύση του επιτρέπει στις εταιρείες κοινής ωφέλειας να προσθέτουν νέες λειτουργίες και να επεκτείνουν τις δυνατότητές του καθώς αλλάζουν οι απαιτήσεις της αγοράς και των τεχνολογιών [22].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΕΞΥΠΝΟΥ ΜΕΤΡΗΤΗ

Η αμφίδρομη M2M(machine to machine) επικοινωνία παράγει δύο ροές δεδομένων. Η πρώτη ροή ονομάζεται downlink και περιλαμβάνει την πληροφορία που έχει κατεύθυνση από το δίκτυο κορμού (backhaul network) προς τους τερματικούς κόμβους. Η δεύτερη ροή ονομάζεται uplink και περιλαμβάνει την πληροφορία που αποστέλλεται από τις τερματικές διατάξεις προς το δίκτυο κορμού. Κάθε τερματικός κόμβος ανήκει σε ένα υποδίκτυο που είναι υπό την επίβλεψη ενός M2M Gateway. Σχηματικά, τα προαναφερθέντα απεικονίζονται στην εικόνα 3.1.



Σχήμα 3.1: Δομή M2M δικτύου επικοινωνιών

Πηγή: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102800_102899/102857/01.01.01_60/tr_102857v010101p.pdf

Ανεξάρτητα από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση της πληροφορίας, δεδομένα αποστέλλονται από και προς τον M2M Gateway και στη συνέχεια, στον πλησιέστερο σταθμό βάσης (Base Station – BS). Στη συνέχεια, κάθε σταθμός ανταλλάσσει πληροφορία με το κέντρο διαχείρισης δεδομένων, ενδεχομένως με μία διαφορετική τεχνολογία επικοινωνιών. Για τη μεταφορά των ανωτέρω ροών δεδομένων πρέπει να γίνεται επιλογή της κατά περίπτωση καταλληλότερης τεχνολογίας. Η συλλογή δεδομένων γίνεται από τους ευφυείς τερματικούς κόμβους του SM συστήματος. Κάθε SM διαθέτει δύο διεπαφές (interfaces). Το πρώτο σχετίζεται με την παρακολούθηση και καταγραφή των επιθυμητών μεγεθών ενώ το δεύτερο σχετίζεται με την επικοινωνία των SM μεταξύ τους σε περίπτωση multi – hop δρομολόγησης, αλλά και με τους συγκεντρωτές.

Το τμήμα του δικτύου που αποτελείται από τα SM και το συγκεντρωτή ονομάζεται δίκτυο πρόσβασης (access network). Οι τεχνολογίες που υποστηρίζουν αποδοτικά τέτοιου είδους δίκτυα θα παρουσιαστούν στη συνέχεια. Διακρίνονται σε ασύρματες και ενσύρματες και εμφανίζουν θετικά και αρνητικά χαρακτηριστικά [23].

3.1 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

3.1.1 ZIGBEE

Το ZigBee αποτελεί ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που βασίζεται στο IEEE 802.15.4. Ορίζει το στρώμα δικτύου, το στρώμα μεταφοράς και το στρώμα εφαρμογής. Λειτουργεί στις ζώνες των 868MHz, 915MHz και 2.4GHz υποστηρίζοντας ρυθμούς από 20kbps έως και 250kbps, ανάλογα με τη συχνότητα λειτουργίας και το είδος διαμόρφωσης. Στην ελεύθερη ζώνη των 2.4GHz χρησιμοποιεί 16 κανάλια με εύρος ζώνης 5MHz με ρυθμό μετάδοσης τα 250Kbps και ψηφιακή διαμόρφωση OQPSK. Έχοντας μέγιστη ισχύ μετάδοσης το 1 mW (0dBm) η ακτίνα κάλυψης της κάθε συσκευής ποικίλλει φθάνοντας τα 50m ανάλογα με το περιβάλλον διάδοσης. Η επεκτασιμότητα του δικτύου επιτυγχάνεται μέσω multi – hop επικοινωνίας και δρομολόγησης. Το ZigBee εμφανίζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

- **Πλεονεκτήματα:** Πρόκειται για μια ασύρματη τεχνολογία που χαρακτηρίζεται από χαμηλή κατανάλωση ισχύος, μειωμένη πολυπλοκότητα καθώς και μικρό κόστος εγκατάστασης. Ο χρόνος απόκρισης από sleeping mode είναι μόλις 15ms, ενώ χρειάζεται 30ms για πρόσβαση στο δίκτυο. Τέλος, χαρακτηρίζεται από δυνατότητα αυτοοργάνωσης μέσω πρωτοκόλλου δυναμικής δρομολόγησης, υψηλή κλιμακωσιμότητα (μέχρι και 65.000 κόμβους), ενώ διαθέτει και υψηλό επίπεδο ασφαλείας .
- **Μειονεκτήματα:** Το πρωτόκολλο υπόκειται σε περιορισμούς που οφείλονται στο μικρό μέγεθος αποθήκευσης, στο χαμηλό ρυθμό μετάδοσης (20-250Kbps), τη μικρή υπολογιστική ισχύ, την αδυναμία υποστήριξης εφαρμογών που είναι μη ανεκτικές στην καθυστέρηση (real-time applications), καθώς και τις παρεμβολές άλλων συσκευών που λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Το τελευταίο καθιστά πιθανή την αδυναμία επικοινωνίας σε θορυβώδες περιβάλλον, λόγω παρεμβολών διάφορων τερματικών εξοπλισμών με πρωτόκολλα επικοινωνίας IEEE 802.11/b/g. Το ZigBee είναι η τεχνολογία με τη καλύτερη επίδοση για ασύρματες επικοινωνίες μικρής απόστασης [24].

3.1.2 6LOWPAN

Το Πρωτόκολλο 6LoWPAN (IPv6 Over Low Power Wireless Personal Area Networks) είναι και αυτό βασισμένο στο IEEE 802.15.4 και χρησιμοποιείται σε εφαρμογές για M2M επικοινωνία προκειμένου να διαμορφωθεί ένα ανεξάρτητο δίκτυο τοπολογίας πλέγματος (mesh topology). Απαντάται σε εφαρμογές που, μεταξύ άλλων, σχετίζονται με αυτοματισμό και παρακολούθηση οικιακού ή εργοστασιακού περιβάλλοντος [25]. Λειτουργεί στη ζώνη των 2.4GHz, οι ρυθμοί μετάδοσης φθάνουν τα 250kbps και η ακτίνα κάλυψης είναι 10m – 20m. Υποστηρίζει IPv6, γεγονός που το καθιστά άμεσα συμβατό με IP δίκτυα και χρησιμοποιεί μεγαλύτερο πακέτο πληροφορίας σε σχέση με το IEEE 802.15.4. Βάσει των προδιαγραφών του IPv6, το ελάχιστο πακέτο 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 [26]. Τα ανωτέρω αποτελούν λειτουργίες του στρώματος προσαρμογής (adaptation layer) μεταξύ του 6LoWPAN και του IEEE 802.15.4.

- **Πλεονεκτήματα:** Απαιτεί χαμηλή κατανάλωση ισχύος από τις τερματικές συσκευές. Η διευθυνσιοδότηση των τερματικών διατάξεων βάσει του IPv6 (48 bits) προσφέρει τη δυνατότητα υποστήριξης αναρίθμητων συσκευών στο ίδιο δίκτυο. Επίσης, διαθέτει υψηλό επίπεδο ασφαλείας.
- **Μειονεκτήματα:** Η χρήση μεγαλύτερων πακέτων αυξάνει την πολυπλοκότητα και την καθυστέρηση μετάδοσης πληροφορίας. Η δρομολόγηση σε mesh networks με 6LoWPAN αποτελεί ένα δισδιάστατο πρόβλημα. Απαιτείται mesh δρομολόγηση εντός του WLAN, ενώ χρειάζεται επίσης και δρομολόγηση πακέτων μεταξύ IPv6 τομέων.

3.1.3 BLUETOOTH

Πρόκειται για τεχνολογία ανταλλαγής δεδομένων σε μικρές αποστάσεις που λειτουργεί στη ζώνη των 2.4 – 2.48GHz. Όπως και στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις, οι κόμβοι δημιουργούν PANs (Personal Area Networks) [27]. Το Bluetooth έχει διάφορες εκδόσεις που υποστηρίζουν ρυθμούς μετάδοσης, από 1Mbps έως 24Mbps, ενώ η διέλευση (throughput) υπερβαίνει τα 80kbps. Το Bluetooth εμφανίζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

- **Πλεονεκτήματα:** Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής διαφορετικών κλάσεων κατανάλωσης ισχύος με κριτήριο την ακτίνα κάλυψης. Διακρίνονται τρεις κλάσεις κατανάλωσης ισχύος 20dBm, 4dBm και 0dBm με αντίστοιχες περιοχές κάλυψης ακτίνας 100m, 10m και 1m.

- **Μειονεκτήματα:** Η τεχνολογία αυτή είναι ακατάλληλη για εφαρμογές M2M που απαιτούν μικρή καθυστέρηση και σχετικά μεγάλο εύρος ζώνης. Επίσης, ένα Bluetooth Master Device μπορεί να εξυπηρετεί μέχρι οχτώ συσκευές ταυτόχρονα, γεγονός 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 Bluetooth τερματικά), υπό την επίβλεψη ενός Bluetooth Master Device. Αυτή η ανάγκη αυξάνει σημαντικά την πολυπλοκότητα του δικτύου και την καθυστέρηση στη μετάδοση πληροφορίας, ενώ εισάγονται και θέματα συγχρονισμού [28].

3.1.4 WIFI

Μια ακόμα τεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για M2M επικοινωνία και να εξασφαλίσει Last Mile Access είναι το Wi-Fi [29]. Πρόκειται για ώριμη τεχνολογία που χρησιμοποιείται ευρέως σε φορητές και σταθερές συσκευές για πρόσβαση στο διαδίκτυο και ανταλλαγή δεδομένων. Χαρακτηρίζεται από υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, φθάνοντας τα 22Mbps ή 144Mbps αντίστοιχα με το υποστηριζόμενο πρωτόκολλο. Η εμβέλεια κυμαίνεται μεταξύ 35m και 100m ανάλογα με το περιβάλλον διάδοσης και τα εμπόδια στην περιοχή κάλυψης. Η μέγιστη ισχύς εκπομπής περιορίζεται στα 20dBm.

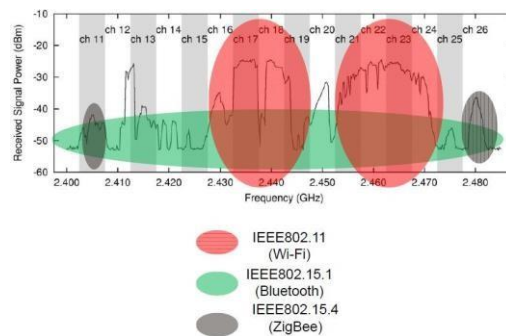
- **Πλεονεκτήματα:** Αποτελεί μία από τις πλέον ώριμες λύσεις για τη δημιουργία LAN και μπορεί να καλύψει εφαρμογές με διαφορετικές απαιτήσεις σε ρυθμό μετάδοσης. Λόγω της ασύρματης μετάδοσης δεν παρατηρούνται σημαντικές καθυστερήσεις στη μεταφορά πακέτων. Επίσης, μπορεί να φιλοξενεί υποδίκτυα διαφορετικής τεχνολογίας. Τέλος, πλεονεκτεί προσφέροντας μεγαλύτερη ακτίνα κάλυψης έναντι των ZigBee και 6LoWPAN [30].

- **Μειονεκτήματα:** Οι τερματικές συσκευές έχουν υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Η ακτίνα κάλυψης μειώνεται όταν υπάρχουν εμπόδια στην περιοχή εφαρμογής, ενώ φαινόμενα σκίασης και πολυδιαδρομικής μετάδοσης μειώνουν την ποιότητα υπηρεσίας. Το WiFi υποφέρει, επίσης, από παρεμβολές, δεδομένου ότι λειτουργεί στην ελεύθερη ζώνη των 2.4GHz. Τα δίκτυα Wi-Fi αντιμετωπίζουν επίσης θέματα ασφαλείας, καθώς είναι ευάλωτοι στόχοι πολλών τύπων επιθέσεων. Υστερεί σημαντικά και σε θέματα κατανάλωσης ισχύος[28] αφού κατά μέσο όρο καταναλώνει 100 φορές περισσότερη ενέργεια σε σχέση με το Zigbee [31].

3.1.5 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 μετάδοσης (υψηλότερο του 1Mbps) όσο και για εφαρμογές χαμηλότερων ρυθμών, όπως για παράδειγμα σε δίκτυα αισθητήρων (WSN) [28]. Αποτελεί τεχνολογία που χρησιμοποιείται κυρίως σε indoor επικοινωνίες λόγω της μικρής εμβέλειας των τερματικών διατάξεων.

- **Πλεονεκτήματα:** Όπως αναφέρθηκε, η τεχνολογία αυτή μπορεί να υποστηρίξει διάφορες εφαρμογές με ποικίλους ρυθμούς μετάδοσης και να διευκολύνει τη συνδεσιμότητα συσκευών με ένα Home Area Network (HAN).



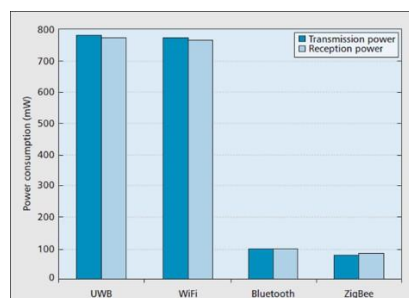
Σχήμα 3.2: Επίπεδο παρεμβολών σε ασύρματα δίκτυα

Πηγή: [http://www.cs.nccu.edu.tw/~jang/teaching/CS-topic_\(2013\)_files/Machine-to-](http://www.cs.nccu.edu.tw/~jang/teaching/CS-topic_(2013)_files/Machine-to-)

[achine%20in%20Smart%20Grids%20%26%](http://www.cs.nccu.edu.tw/~jang/teaching/CS-topic_(2013)_files/Machine-to-machine%20in%20Smart%20Grids%20%26%20Smart%20Cities%20-%20annotated.pdf)

[20Smart%20Cities%20-%20annotated.pdf](http://www.cs.nccu.edu.tw/~jang/teaching/CS-topic_(2013)_files/Machine-to-machine%20in%20Smart%20Grids%20%26%20Smart%20Cities%20-%20annotated.pdf)

- **Μειονεκτήματα:** Το κύριο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι η υψηλή ενεργειακή κατανάλωση των κόμβων του δικτύου.[28].



Σχήμα 3.3: Επίπεδα ισχύος εκπομπής - λήψης για διάφορα πρωτόκολλα

Πηγή: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780443153174000026>

3.1.6 POWERLINE COMMUNICATIONS (PLC)

Η τεχνολογία Powerline Communications (PLC) χρησιμοποιεί το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο για τη μετάδοση πληροφορίας σε ρυθμούς που φτάνουν τα 2 – 3Mbps στο δίκτυο χαμηλής τάσης. Σε ένα δίκτυο PLC, η πληροφορία μπορεί να μεταφέρεται από τις τερματικές διατάξεις μέσω του ηλεκτρικού δικτύου στον πλησιέστερο συγκεντρωτή, ή ακόμα και στον κοντινότερο υποσταθμό μετατροπής μεσαίας/χαμηλής τάσης. Συνήθως η τεχνολογία PLC λειτουργεί κατά υβριδικό τρόπο. Δηλαδή για μια M2M επικοινωνία τα δεδομένα μεταφέρονται με PLC από τερματικές διατάξεις στον κόμβο συγκέντρωσης και στη συνέχεια, χρησιμοποιείται άλλο είδος τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας, ενδεχομένως το δίκτυο κινητών επικοινωνιών, για τη μεταφορά στο τοπικό κέντρο.

- **Πλεονεκτήματα:** Η χρήση της PLC τεχνολογίας μηδενίζει το κόστος εγκατάστασης, δεδομένου ότι το φυσικό μέσο μετάδοσης της πληροφορίας, δηλαδή οι γραμμές μεταφοράς του ηλεκτρικού δικτύου, υπάρχουν ήδη. Ταυτόχρονα αυξάνεται σημαντικά η αξιοπιστία του δικτύου επικοινωνιών, αφού η διαθεσιμότητα του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ μεγάλη. Το ποσοστό κάλυψης αγγίζει το 100%, αφού δεν υπάρχει εγκατάσταση ενδιαφέροντος για SM εφαρμογές που δεν τροφοδοτείται από ρεύμα. Τέλος, αναθέτοντας διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης στα διαφορετικά επίπεδα προτεραιότητας, είναι δυνατή η ιεράρχηση των διαφόρων πακέτων πληροφορίας [35].

- **Μειονεκτήματα:** Η φύση του μέσου μετάδοσης αποτελεί ένα θορυβώδες περιβάλλον, που καθιστά δύσκολη τη διαμόρφωση του καναλιού. Η εξασθένηση είναι σημαντική για μεγάλες αποστάσεις ενώ υπάρχει και έλλειψη προτυποποίησης[42]. Ο δίαυλος είναι ακατάλληλος για χρήση σε μελλοντικές ευρυζωνικές εφαρμογές, αφού η ζώνη μεταξύ 10MHz και 20MHz είναι απαγορευτική[35]. Η φύση και η δομή του δικτύου το καθιστούν ευάλωτο σε θέματα ασφαλείας, ενώ η τοπολογία, η ποικιλία των τερματικών συσκευών, καθώς και η μεταβλητή απόσταση πομπών και δεκτών, επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του σήματος.

3.1.7 DIGITAL SUBSCRIBER LOOP (DSL)

Το DSL αποτελεί τον κύριο τρόπο μετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που αξιοποιεί το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN). Για την M2M επικοινωνία μέσω DSL, απαιτείται η εγκατάσταση τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού που διοχετεύει την πληροφορία που παράγεται στους εκάστοτε τερματικούς κόμβους στο τηλεφωνικό δίκτυο. Η διέλευση και η επίδοση του δικτύου

είναι δύσκολο να προσδιοριστούν ακριβώς, καθώς σημαντικό ρόλο παίζει η απόσταση της εγκατάστασης από το κοντινότερο τοπικό κέντρο. Πάντως, σε κάθε περίπτωση η DSL τεχνολογία καλύπτει τις απαιτήσεις ενός SM δικτύου. Ωστόσο, δεν μπορεί να έχει καθολική εφαρμογή, αφού αραιοκατοικημένες περιοχές στερούνται της εν λόγω υποδομής. Εμφανίζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

- **Πλεονεκτήματα:** Το χαμηλό κόστος, το υπάρχον δίκτυο και η δυνατότητα υποστήριξης υψηλών ρυθμών μετάδοσης καθιστούν το DSL σοβαρό υποψήφιο τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας στο δίκτυο πρόσβασης.
- **Μειονεκτήματα:** Το ποσοστό εκτός λειτουργίας μπορεί να είναι καθοριστικό για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, ενώ η εξάρτηση από την απόσταση του τοπικού κέντρου αποτελεί ένα ακόμα πρόβλημα.

3.2 ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ (CELLULAR NETWORKS)

Δύο είναι οι βασικές τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία των έξυπνων μετρητών με τα τους συγκεντρωτές :

- NB-IoT (Narrowband IoT)
- LTE-M (LTE Cat-M1)

3.3 LTE-M

Κατανάλωση ρεύματος

Τα κυψελωτά δίκτυα σχεδιάστηκαν για να επιτρέπουν αυθόρμητες συνδέσεις μεταξύ κινητών τηλεφώνων. Πραγματοποιούν συνεχώς ring σε κυψελοειδείς συσκευές για να ανακτούν πληροφορίες τοποθεσιών, κάτι που βοηθά να διατηρείται το τηλέφωνο συνδεδεμένο με τους πλησιέστερους πύργους και σταθμούς βάσης. Αυτές οι ενημερώσεις περιοχής παρακολούθησης (TAU) εξαντλούν την μπαταρία. Οι περισσότερες συσκευές IoT δεν χρησιμοποιούν δίκτυα κινητής τηλεφωνίας με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιούν τα κινητά τηλέφωνα. Στέλνουν ή λαμβάνουν μικρά πακέτα δεδομένων περιοδικά ή βάσει συγκεκριμένων ενεργειών (όπως ένας αισθητήρας σε ένα σύστημα συναγερμού) και οι μπαταρίες μπορούν να διαρκέσουν πολύ περισσότερο. Το LTE-M επιτρέπει στις συσκευές IoT να χρησιμοποιούν μια λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας, η οποία τους επιτρέπει να «πάνε για ύπνο» όταν δεν χρησιμοποιούνται. Επίσης, δεν χρειάζεται να ξυπνούν για την αποστολή μόνο της Ενημέρωσης τοποθεσίας, αλλά μπορούν να παρατείνουν τους χρόνους ύπνου για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Το LTE-M επιτρέπει επίσης στις συσκευές να χρησιμοποιούν εκτεταμένη ασυνεχή λήψη (eDRX). Όταν η συσκευή βρίσκεται

εκτός λειτουργίας PSM, ελέγχει τακτικά για πληροφορίες κατερχόμενης ζεύξης. Με το eDRX το χρονικό διάστημα για τον έλεγχο στο ραδιόφωνο αυξάνεται, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας. Η ιδέα πίσω από αυτές τις δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας είναι ότι το LTE-M πρέπει να υποστηρίζει διάρκεια ζωής μπαταρίας 10 ετών σε μπαταρία 5 WH (βατ-ώρα). Αυτή η τεχνολογία είναι μέρος αυτού που το καθιστά δυνατό.

Κάλυψη

Σε αντίθεση με άλλα LPWAN, τα δίκτυα LTE-M/Cat-M1/Cat-M2 μπορούν να χρησιμοποιήσουν την υπάρχουσα υποδομή LTE. Αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα, καθώς πάνω από το 50 τοις εκατό των παγκόσμιων συνδέσεων κινητής τηλεφωνίας γίνονται σε δίκτυα 4G και η υποδομή 4G προβλέπεται να καλύψει το 95 τοις εκατό του κόσμου μέχρι το 2026. Ωστόσο, δεν διαθέτουν όλοι οι πάροχοι κάλυψη 4G δίκτυα LTE-M. Από τον Δεκέμβριο του 2020, 70 πάροχοι σε 40 χώρες επένδυσαν σε τεχνολογίες LTE-M, με 51 δίκτυα να έχουν ήδη αναπτυχθεί. Με Μέγιστη Απώλεια Ζεύξης (MCL) 156 dB—14 dB υψηλότερη από το LTE—τα δίκτυα LTE-M προσφέρουν επίσης μεγαλύτερη κάλυψη και καλύτερη διείσδυση σε εσωτερικούς χώρους. Το σήμα μπορεί να χειριστεί πολλές παρεμβολές από κτίρια και άλλες κατασκευές που εμποδίζουν την πορεία του.

Ταχύτητα δεδομένων

Σε σύγκριση με το LTE, το LTE-M δεν είναι ιδιαίτερα γρήγορο. Αλλά 1 Megabit ανά δευτερόλεπτο για μεταδόσεις ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης είναι εξαιρετικό σε σύγκριση με παλαιότερα δίκτυα όπως το 2G και το 3G (UMTS) και άλλα LPWAN (Είναι αρκετές φορές πιο γρήγορο από το NB-IoT). Και αυτό είναι περισσότερο από αρκετό για τις περισσότερες εφαρμογές IoT. Είναι εφικτό για εφαρμογές με μικρές ανάγκες δεδομένων και ακόμη και περιπτώσεις χρήσης που περιλαμβάνουν ροή βίντεο. Στο πλαίσιο του IoT, η υψηλή απόδοση δεδομένων σημαίνει ότι οι συσκευές που χρησιμοποιούν LTE-M μπορούν να λαμβάνουν εύκολα ενημερώσεις Over-the-Air (OTA) και οι μεταδόσεις δεδομένων θα καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια—επειδή η συσκευή μπορεί να επανέλθει στη λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας πιο γρήγορα.

Κινητικότητα

Με καθυστέρηση μόλις 10-15 χιλιοστών του δευτερολέπτου και την ικανότητά του να υποστηρίζει μεταδόσεις κυψελών αναμεταδίδοντας τη σύνδεση μιας συσκευής από

ένα κινητό S, το LTE-M είναι μια εξαιρετική επιλογή για εφαρμογές IoT που πρέπει να είναι κινητές, όπως η παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων, οι συσκευές διαχείρισης στόλου και φορητές συσκευές.

Μελλοντική διόρθωση

Με υψηλότερη απόδοση δεδομένων από άλλα LPWAN και παλαιότερα δίκτυα, οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες μέσω LTE-M μπορούν να πραγματοποιούν λήψη σημαντικών ενημερώσεων — συμπεριλαμβανομένων νέων δυνατοτήτων και ενημερώσεων ασφαλείας — χωρίς να εξαντλούν την μπαταρία. Αυτό διασφαλίζει ότι οι συσκευές σας συνεχίζουν να είναι πολύτιμες και ασφαλείς για ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους.

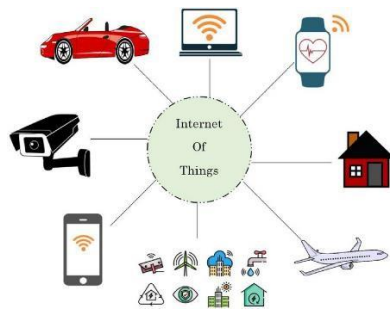
Κόστος συσκευής

Τα δίκτυα 4G κατασκευάστηκαν κυρίως για smartphone. Τα δίκτυα LTE-M κατασκευάστηκαν κυρίως για συσκευές IoT. Ως εκ τούτου, τα εξαρτήματα που απαιτούνται για συσκευές LTE-M είναι λιγότερο περίπλοκα και πιο προσιτά από τα εξαρτήματα που θα χρειαστούν για μια παραδοσιακή συσκευή 4G, παρόλο που και οι δύο χρησιμοποιούν υποδομή 4G LTE.

3.4 NB-IOT

Το NB-IoT, ή το Narrow Band-Internet of things, είναι ένα πρότυπο επικοινωνίας που έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει στις συσκευές IoT να λειτουργούν μέσω ενός δικτύου παρόχου. Σε γενικές γραμμές, αναφέρεται στη διασύνδεση μεταξύ διαφόρων συσκευών ή αισθητήρων που χρησιμοποιούν το φάσμα GSM για την ανταλλαγή δεδομένων. Το NB-IoT είναι μια τεχνολογία LPWAN (Δίκτυο ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος) που δεν απαιτεί «πύλες». Οι αισθητήρες μπορούν να επικοινωνούν απευθείας με τον φορέα. Το IoT και το LPWAN Internet of Things (IoT):

- μπορεί να οριστεί ως το δίκτυο συσκευών. Μπορεί να συνδέονται ή να μην είναι συνδεδεμένα μέσω Διαδικτύου, αλλά μπορούν να αναλύουν, να υπολογίζουν και να μεταφέρουν δεδομένα μέσω του δικτύου χωρίς καμία ενεργή αλληλεπίδραση ανθρώπου ή υπολογιστή.



Σχήμα3.4: Δίκτυο συσκευών (Internet of Things (IoT))

Πηγή : https://www.researchgate.net/figure/Internet-of-Things-applications_fig1_339391240

Το LPWAN, ή Δίκτυο ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος, συνδέει συσκευές σε μεγάλες περιοχές και προσφέρει χαρακτηριστικά επικοινωνίας, όπως επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας με χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης bit, χαμηλό κόστος και μεγαλύτερη απόδοση ισχύος (χαμηλή ισχύς). Το LPWAN υποστηρίζει πολλές συσκευές σε μια ευρεία περιοχή σε σύγκριση με τις υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας και έτσι έχει κερδίσει δημοτικότητα σχεδόν σε κάθε τομέα.

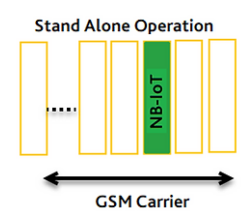
Είναι απίστευτα κατάλληλο για εφαρμογές IoT όπου κάποιος χρειάζεται να μεταδώσει περιορισμένο/μικρό όγκο δεδομένων. Υπάρχουν τεχνολογίες LPWAN που αναπτύχθηκαν κυρίως από φορείς εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας υπό την αιγίδα του GSM Association και εντός της κοινοπραξίας 3GPP. Τέτοιες τεχνολογίες LPWAN είναι οι NB-IoT, LoRa-Alliance, Sigfox, όπου το NB-IoT ανήκει στην αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων και οι υπόλοιπες χρησιμοποιούν εύρος ζώνης συχνότητας χωρίς άδεια. Η Sigfox αναπτύχθηκε το 2010 από την start-up Sigfox (στην Τουλούζη της Γαλλίας). Είναι τόσο εταιρεία όσο και διαχειριστής δικτύου LPWAN. Το LoRa, αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από την start-up Cycleo το 2009 (στη Γκρενόμπλ της Γαλλίας). Αγοράστηκε από τη Semtech (ΗΠΑ) σε 2015 και τυποποιήθηκε από τη LoRa-Alliance.

Το NB-IoT ή Narrow Band-Internet of Things είναι ένα πρότυπο τεχνολογίας ραδιοφώνου που επιτρέπει σε ένα ευρύ φάσμα συσκευών και υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας και αναπτύχθηκε από το 3rd Generation Partnership Project (3GPP).

Αυτή η τεχνολογία συνυπάρχει με το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (GSM) και την LTE υπό αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων (π.χ. 700 MHz, 800 MHz και 900 MHz). Αλλά το NB-IoT περιορίζει το εύρος ζώνης σε μια στενή ζώνη των 180 kHz και τον ρυθμό μετάδοσης bit στα 150-250 kbps.

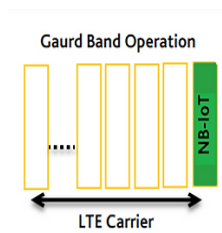
- Απαιτεί λιγότερη ισχύ λειτουργίας.
- Ιδανικό για ασύρματη εφαρμογή μικρότερης εμβέλειας/σταθερής τοποθεσίας σε μικρότερες αποστάσεις.
- Μικρότερη πιθανότητα επικάλυψης με τυχόν παρεμβολικά σήματα.

Παρά το ότι το NB-IoT είναι ενσωματωμένο στο πρότυπο LTE, απλοποιεί πολλές δυνατότητες του LTE με στόχο τη μείωση του κόστους και την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας, όπως η χρήση μιας διαφορετικής διαδικασίας αναζήτησης κυψελών, η αξιοποίηση διαφορετικού εύρους ζώνης, η προσαρμογή μιας τροποποιημένης τεχνικής τυχαίας πρόσβασης, κ.λπ. Ο συμβιβασμός σχετικά με το ρυθμό δεδομένων, την καθυστέρηση και την απόδοση του φάσματος έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη κάλυψη και τη μειωμένη ισχύ κατανάλωσης[26]. Επιπλέον, με την εκμετάλλευση μιας στενότερης ζώνης, η τιμή του τσιπ NB-IoT παρουσιάζεται επίσης μειωμένη ώστε να αναπτυχθεί σε μεγάλη κλίμακα. Το NB-IoT χρησιμοποιεί τις αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων ως LTE και χρησιμοποιεί διαμόρφωση τετραγωνικής μετατόπισης πλήκτρων (QPSK). Υπάρχουν τρία διαφορετικά σενάρια ανάπτυξης, stand-alone, guard-band και in-band, όπως φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα3.5: Αυτόνομη λειτουργία: χρησιμοποιεί ζώνες συχνοτήτων GSM.

Πηγή: <https://www.influxtechnology.com/post/nb-iot>



Σχήμα3.6: Λειτουργία ζώνης προστασίας: χρησιμοποιεί τα αχρησιμοποιήτα μπλοκ πόρων εντός της ζώνης προστασίας

Πηγή: <https://www.influxtechnology.com/post/nb-iot>

υποφορέα 15 kHz και βασίζεται στο SC-FDMA, ενώ στην μονοτονική μετάδοση, η απόσταση του υποφέροντος έχει δύο τιμές, 15 kHz ή 3,75 kHz .

Το NB-IoT (Narrowband IoT) είναι μια τεχνολογία κινητής επικοινωνίας που έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει συνδέσεις χαμηλής ισχύος και μεγάλου εύρους κάλυψης, ειδικά σε περιβάλλοντα με πολλές συσκευές IoT. Η τεχνολογία αυτή αποτελεί μέρος της οικογένειας προτύπων LTE (Long Term Evolution) και επικεντρώνεται στην παροχή αξιόπιστης και αποδοτικής επικοινωνίας για εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων [26].

3.4.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ NB-IOT

Το NB-IoT λειτουργεί σε ένα φάσμα στενής ζώνης εύρους 200 kHz και μπορεί να λειτουργήσει μέσα στα υπάρχοντα δίκτυα LTE, σε ειδικές ζώνες LTE ή σε ξεχωριστά ζεύγη συχνοτήτων (standalone). Η τεχνολογία αυτή υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων έως 250 kbps στο downlink και το uplink. Το NB-IoT παρέχει εξαιρετική κάλυψη, ακόμα και σε περιοχές με δύσκολες συνθήκες, όπως υπόγεια ή απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές [36]. Είναι μια εξειδικευμένη τεχνολογία κινητής επικοινωνίας σχεδιασμένη για να υποστηρίζει εφαρμογές IoT που απαιτούν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, μακροχρόνια διάρκεια μπαταρίας και εξαιρετική κάλυψη σε περιβάλλοντα με δύσκολες συνθήκες. Η τεχνολογία αυτή εντάσσεται στο ευρύτερο οικοσύστημα του LTE και έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που την καθιστούν ιδανική για διάφορες εφαρμογές IoT, όπως οι έξυπνοι μετρητές, οι αισθητήρες περιβάλλοντος και τα συστήματα παρακολούθησης.

Το φάσμα στενής ζώνης εύρους 200 kHz στο οποίο λειτουργεί είναι σημαντικά μικρότερο σε σύγκριση με τις παραδοσιακές ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται από άλλες τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας. Αυτή η στενή ζώνη επιτρέπει την εξαιρετικά αποδοτική χρήση του διαθέσιμου φάσματος, διευκολύνοντας τη χρήση της τεχνολογίας σε υπάρχοντα δίκτυα LTE. Το NB-IoT μπορεί να λειτουργήσει είτε σε υφιστάμενες ζώνες LTE (in-band), είτε σε ζώνες προστασίας LTE (guard bands), είτε σε ξεχωριστά ζεύγη συχνοτήτων (standalone)[37]. Η τεχνολογία NB-IoT υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων έως 250 kbps τόσο στο downlink όσο και στο uplink. Παρόλο που αυτές οι ταχύτητες είναι χαμηλότερες σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες LTE, είναι επαρκείς για πολλές εφαρμογές IoT που απαιτούν μετάδοση μικρών ποσοτήτων δεδομένων, όπως η παρακολούθηση αισθητήρων ή η διαχείριση ενέργειας[30]. Η αρχιτεκτονική του NB-IoT είναι σχεδιασμένη για να μεγιστοποιεί την κάλυψη και την αποδοτικότητα. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί απλοποιημένη μορφοποίηση και κωδικοποίηση δεδομένων για να μειώσει την κατανάλωση ισχύος και να αυξήσει τη διάρκεια ζωής

των μπαταριών των συσκευών. Επιπλέον, η εξαιρετική ικανότητα διείσδυσης σήματος που προσφέρει το NB-IoT το καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές σε περιοχές με περιορισμένη κάλυψη, όπως υπόγεια, εσωτερικοί χώροι ή απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές [30]. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του NB-IoT είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Η τεχνολογία αυτή υποστηρίζει λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας όπως το eDRX (extended Discontinuous Reception) και το PSM (Power Saving Mode), οι οποίες επιτρέπουν στις συσκευές να παραμένουν σε κατάσταση αναμονής για μεγάλες περιόδους, χωρίς να απαιτούν συνεχή σύνδεση στο δίκτυο. Αυτή η προσέγγιση μειώνει δραματικά την κατανάλωση ενέργειας και επιτρέπει στις συσκευές να λειτουργούν για έως και 10 χρόνια με μία μόνο μπαταρία. Το NB-IoT ενσωματώνει επίσης προηγμένες λειτουργίες ασφάλειας, όπως η κρυπτογράφηση δεδομένων και η ταυτοποίηση συσκευών, εξασφαλίζοντας ότι οι επικοινωνίες παραμένουν ασφαλείς και προστατευμένες από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση. Η τεχνολογία αυτή συμμορφώνεται με τα πρότυπα 3GPP (Third Generation Partnership Project), εξασφαλίζοντας διαλειτουργικότητα και συμμόρφωση με τις παγκόσμιες απαιτήσεις ασφάλειας και αξιοπιστίας [24].

3.4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ NB-IOT

Οι κύριες εφαρμογές του NB-IoT περιλαμβάνουν την έξυπνη μέτρηση (smart metering), την παρακολούθηση των έξυπνων πόλεων (smart cities), την παρακολούθηση της υγείας, και τις εφαρμογές παρακολούθησης και ελέγχου σε βιομηχανικό επίπεδο. Το NB-IoT είναι ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν μακροπρόθεσμη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, καθώς και για εφαρμογές που χρειάζονται αξιόπιστη συνδεσιμότητα σε περιβάλλοντα με χαμηλή κάλυψη σήματος. Το NB-IoT αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες για την υποστήριξη της ανάπτυξης του IoT, κυρίως λόγω της ικανότητάς του να υποστηρίζει τεράστιο αριθμό συσκευών σε δίκτυα με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Η τεχνολογία αυτή έχει ήδη αρχίσει να διαμορφώνει σημαντικά τη βιομηχανία της ενέργειας, ειδικά σε τομείς όπως η έξυπνη μέτρηση, όπου τα έξυπνα δίκτυα μπορούν να προσφέρουν καλύτερη διαχείριση των ενεργειακών πόρων. Η ενσωμάτωση των έξυπνων μετρητών με τεχνολογίες όπως το NB-IoT επιτρέπει τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, δίνοντας στις εταιρείες κοινής ωφέλειας τη δυνατότητα να βελτιστοποιήσουν τη διανομή ενέργειας, να μειώσουν τις απώλειες και να βελτιώσουν τη λειτουργική τους αποδοτικότητα. Πέρα από τη βιομηχανία της ενέργειας, το NB-IoT χρησιμοποιείται σε εφαρμογές παρακολούθησης περιβάλλοντος, όπως τα έξυπνα συστήματα

άρδευσης που προσαρμόζουν τη χρήση νερού με βάση τις καιρικές συνθήκες και την υγρασία του εδάφους. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν τη διαχείριση της κυκλοφορίας σε έξυπνες πόλεις, όπου οι αισθητήρες NB-IoT παρακολουθούν τη ροή της κυκλοφορίας και βοηθούν στη βελτίωση της απόδοσης των φαναριών και άλλων συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας [38].

3.4.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ NB-IOT

Το NB-IoT προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η οποία μπορεί να επιτρέψει σε συσκευές να λειτουργούν για έως και 10 χρόνια με μία μόνο μπαταρία. Επιπλέον, παρέχει εξαιρετική διείσδυση σήματος και εκτεταμένη κάλυψη, κάτι που το καθιστά ιδανικό για εφαρμογές σε υπόγεια ή σε περιοχές με χαμηλή πυκνότητα πληθυσμού. Η τεχνολογία αυτή επίσης υποστηρίζει την επικοινωνία μεγάλου αριθμού συσκευών ανά κυψέλη, καθιστώντας την ιδανική για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας.

3.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ LTE-M ENANTI NB-IOT

Σε σύγκριση με το Narrowband-IoT (NB-IoT), οι ταχύτητες δεδομένων του LTE-M είναι περισσότερες από 10 φορές μεγαλύτερες, η καθυστέρηση είναι περίπου 10 έως 100 φορές χαμηλότερη και διαθέτει πολύ μεγαλύτερη κάλυψη, καθώς χρησιμοποιεί την υπάρχουσα υποδομή 4G LTE. Ωστόσο, ενώ και τα δύο αυτά LPWAN λειτουργούν καλά σε εσωτερικούς χώρους, το NB-IoT έχει ελαφρώς υψηλότερη Μέγιστη Απώλεια Ζεύξης (MCL), που σημαίνει ότι μπορεί να χειριστεί λίγο περισσότερες παρεμβολές. Το LTE-M μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει ένα ευρύτερο φάσμα συχνοτήτων, αν και όπως υποδηλώνει το όνομα, το Narrowband-IoT χρησιμοποιεί στενότερες ζώνες συχνοτήτων, επιτρέποντας σε αυτήν την τεχνολογία να χρησιμοποιεί το φάσμα Ραδιοσυχνοτήτων (RF) πιο αποτελεσματικά.

V·T·MI [8][9]	LTE Cat 1	LTE Cat 1 bis	LTE-M				NB-IoT		EC-GSM-IoT
			LC-LTE/MTCe	eMTC			LTE Cat NB1	LTE Cat NB2	
				LTE Cat 0	LTE Cat M1	LTE Cat M2			
Έκδοση 3GPP	Έκδοση 8	Έκδοση 13	Έκδοση 12	Έκδοση 13	Έκδοση 14	Έκδοση 14	Έκδοση 13	Έκδοση 14	Έκδοση 13
Ρυθμός αιχμής κατερχόμενης ζεύξης	10 Mbit/s	10 Mbit/s	1 Mbit/s	1 Mbit/s	~4 Mbit/s	~4 Mbit/s	26 kbit/s	127 kbit/s	474 kbit/s (EDGE) 2 Mbit/s (EGPRS2B)
Ρυθμός αιχμής ανοδικής ζεύξης	5 Mbit/s	5 Mbit/s	1 Mbit/s	1 Mbit/s	~7 Mbit/s	~7 Mbit/s	66 kbit/s (πολυτονικός) 16,9 kbit/s (μονότονος)	159 kbit/s	474 kbit/s (EDGE) 2 Mbit/s (EGPRS2B)
Αφάνεια	50–100 ms		δεν έχει αναπτυχθεί	10–15 ms			1,6–10 δευτ		700 ms – 2 s
Αριθμός κεραιών	2	1	1	1	1	1	1	1	1–2
Λειτουργία διπλής όψης	Full duplex		Full ή half duplex	Full ή half duplex	Full ή half duplex	Full ή half duplex	Half duplex	Half duplex	Half duplex
Εύρος ζώνης λήψης συσκευής	1,4–20 MHz		1,4–20 MHz	1,4 MHz	5 MHz	5 MHz	180 kHz	180 kHz	200 kHz
Αλυσίδες δεκτών	2 (MIMO)		1 (SISO)	1 (SISO)	1 (SISO)	1 (SISO)	1 (SISO)	1 (SISO)	1–2
Ισχύς μετάδοσης της συσκευής	23 dBm	23 dBm	23 dBm	20 / 23 dBm	20 / 23 dBm	20 / 23 dBm	20 / 23 dBm	14 / 20 / 23 dBm	23 / 33 dBm

Σχήμα3.9:Σύγκριση LTE-M έναντι NB-IoT

Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/LTE-M>

Η σύγκριση των NB-IoT και LTE-M δείχνει ότι και οι δύο τεχνολογίες έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, ανάλογα με την εφαρμογή και τις απαιτήσεις της συνδεσιμότητας. Το NB-IoT είναι ιδανικό για εφαρμογές χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και περιορισμένης επικοινωνίας, όπως οι σταθεροί αισθητήρες και οι έξυπνοι μετρητές σε απομακρυσμένες περιοχές. Από την άλλη πλευρά, το LTE-M προσφέρει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και καλύτερη υποστήριξη για εφαρμογές κινητικότητας, όπως οι φορητές συσκευές και οι συσκευές παρακολούθησης οχημάτων. Η επιλογή μεταξύ NB-IoT και LTE-M εξαρτάται από τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής. Εάν η ανάγκη είναι για μια λύση με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, μακροχρόνια διάρκεια μπαταρίας και αξιόπιστη επικοινωνία σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες, τότε το NB-IoT είναι η κατάλληλη επιλογή. Αντίθετα, για εφαρμογές που απαιτούν υψηλότερους ρυθμούς

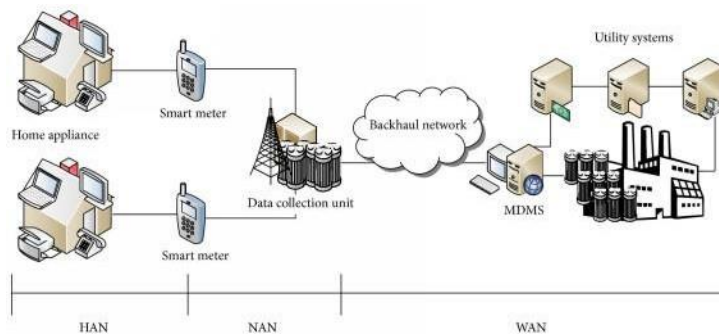
μετάδοσης δεδομένων και υποστήριξη κινητικότητας, το LTE-M είναι πιο κατάλληλο. Σε γενικές γραμμές, η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας επικοινωνίας εξαρτάται από τις ειδικές ανάγκες του δικτύου IoT και των εφαρμογών του. Η καταλληλότητα των τεχνολογιών κατά τη μελέτη ενός SM συστήματος εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

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

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι για επικοινωνία μικρών αποστάσεων κατάλληλες τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες είναι το Bluetooth ή το UWB. Για εφαρμογές χαμηλών ρυθμών μετάδοσης που απαιτούν μικρή κατανάλωση ισχύος ή κάλυψη ελαφρώς μεγαλύτερων αποστάσεων καταλληλότερες τεχνολογίες είναι αυτές που βασίζονται στα πρότυπα IEEE 802.15.4 και IEEE 802.11. Τέλος, για εγκατάσταση συστημάτων με χαμηλό κόστος, υψηλότερες ταχύτητες και ακτίνα κάλυψης της τάξης των χιλιομέτρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες NB-IoT, PLC και LTE-M. Είναι φανερό ότι η ορθή επιλογή της τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας αποτελεί σύνθετο πρόβλημα. Η απόφαση για την καταλληλότερη τεχνολογία λαμβάνεται με κριτήριο την εφαρμογή που πρόκειται να εξυπηρετηθεί, τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης, την απόσταση των κόμβων του δικτύου, τους περιορισμούς ως προς την ενεργειακή κατανάλωση και τους εκάστοτε οικονομικούς περιορισμούς [33,34].

3.6 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΟΡΜΟΥ

Οι τεχνολογίες που περιγράφηκαν προηγουμένως αφορούν το δίκτυο πρόσβασης, δηλαδή το τμήμα μεταξύ SM και συγκεντρωτών (concentrators). Στη συνέχεια, οι συγκεντρωτές αναλαμβάνουν να προωθήσουν τη συνολική κίνηση που προκύπτει από κάθε περιοχή στον πλησιέστερο σταθμό βάσης μέσω, ενδεχομένως, διαφορετικής τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας. Η διαφοροποίηση οφείλεται στον αυξημένο όγκο κίνησης που καλείται να εξυπηρετήσει η ζεύξη συγκεντρωτή – σταθμού βάσης, καθώς και στην απόσταση που ενδέχεται να υπάρχει μεταξύ τους. Στη συνέχεια, οι σταθμοί βάσεις προωθούν τα δεδομένα προς το κέντρο διαχείρισης (MDMS).



Σχήμα 3.10: Υποδομή συστήματος SM

Πηγή: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2014/149649>

Η τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία ενδέχεται και πάλι να διαφοροποιηθεί καθώς η κίνηση και η απόσταση μετάδοσης είναι τώρα ακόμα μεγαλύτερη. Οι συγκεντρωτές και οι σταθμοί βάσεις τροφοδοτούνται από το ηλεκτρικό δίκτυο και αυτό επιτρέπει τη χρήση πρωτοκόλλων που απαιτούν υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας με δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων σε μεγαλύτερη απόσταση. Αξίζει να αναφερθεί ότι η ζεύξη σταθμού βάσης – MDMS μπορεί να απουσιάζει στις περιπτώσεις όπου ο συγκεντρωτής ταυτίζεται τοπολογικά και λειτουργικά με το σταθμό βάσης. Το τμήμα του δικτύου που αναπτύσσεται από τους συγκεντρωτές προς το κέντρο διαχείρισης αποτελεί το δίκτυο κορμού (backhaul network). Κατά τη μετάβαση από τα τερματικά προς το κέντρο διαχείρισης δεδομένων, οι τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις πρέπει να διαθέτουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης και μηχανισμούς που αποτρέπουν την καθυστέρηση [39].

3.7 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΟΡΜΟΥ

Ακολούθως, παρουσιάζονται τεχνολογίες, τόσο ασύρματες όσο και ενσύρματες, που είναι κατάλληλες για επικοινωνία στο δίκτυο κορμού. Επίσης, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε τεχνολογίας.

3.7.1 ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ

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

- **Πλεονεκτήματα:** Λόγω του μεγάλου διαθέσιμου φάσματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά φέροντα με διαφορετικούς ρυθμούς και να επιλέγεται ο καταλληλότερος εξ αυτών σύμφωνα με τις απαιτήσεις της SM

εφαρμογής. Η καθυστέρηση μεταφοράς της πληροφορίας είναι ανεπαίσθητη, ενώ η υψηλή κατευθυντικότητα που χαρακτηρίζει τις μικροκυματικές κεραίες εκμηδενίζει τις παρεμβολές από και σε άλλες εκπομπές. Η ταχεία απόσβεση λόγω μετάδοσης σε υψηλές συχνότητες και ο εκμηδενισμός των παρεμβολών λόγω υψηλής κατευθυντικότητας επιτρέπουν την επαναχρησιμοποίηση παραπλήσιων συχνοτήτων σε κοντινές περιοχές, χωρίς να έχουμε αυξημένο SIR.

- **Μειονεκτήματα:** Ο μικροκυματικός δίαυλος επηρεάζεται έντονα από καιρικά φαινόμενα, ενώ σε συχνότητες μεγαλύτερες των 10GHz έντονη βροχόπτωση μπορεί να θέσει το δίαυλο εκτός λειτουργίας για μεγάλο χρονικό διάστημα, εφόσον το περιθώριο διαλείψεων είναι ανεπαρκές[40]. Οι μικροκυματικές ζεύξεις απαιτούν Line of Sight (LOS) επικοινωνία για να εξασφαλίσουν το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό διαθεσιμότητας της ζεύξης.

3.7.2 WIMAX

Αρχικά, η ασύρματη τεχνολογία του WiMAX διαμορφώθηκε ως εναλλακτική λύση της ενσύρματης πρόσβασης στο Διαδίκτυο μέσω του DSL. Όπως φάνηκε αργότερα, η χρήση της επεκτάθηκε και σε άλλους τομείς, όπως η παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών σε φορητές συσκευές, η παροχή triple play, καθώς επίσης σε εφαρμογές smart grid και smart metering. Η ακτίνα μιας WiMAX κυψέλης μπορεί να καθοριστεί με βάση τις προδιαγραφές ως προς την ισχύ εκπομπής. Η ακτίνα κάλυψης μπορεί να φθάσει ακόμα και τα 50km. Όπως συμβαίνει σε κάθε μορφή ασύρματης επικοινωνίας, ο ρυθμός μετάδοσης του WiMAX είναι αντιστρόφως ανάλογος της ακτίνας κάλυψης, φθάνοντας ακόμα και τα 70Mbps σε περιοχές κοντά στο σημείο εκπομπής. Η φασματική απόδοση του WiMAX προσεγγίζει αυτή των δικτύων κινητών επικοινωνιών (3.5G – 4G) με 3.7bits/Hertz [41].

- **Πλεονεκτήματα:** Η δυνατότητα ρύθμισης της επιθυμητής ισχύος εκπομπής των συγκεντρωτών συμβάλλει στην επίτευξη διαφόρων συνδυασμών ταχύτητας και ακτίνων κάλυψης, προσδίδοντας έτσι ευελιξία στο σχεδιασμό του SM (ή M2M) δικτύου. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι χρησιμοποιούνται τόσο αδειοδοτημένες (δυνατότητα χρήσης ελεύθερων φασματικών ζωνών λόγω μετάβασης στην ψηφιακή εκπομπή τηλεόρασης), όσο και ελεύθερες περιοχές φάσματος στα 2.3GHz, 2.5GHz και 3.5GHz.
- **Μειονεκτήματα:** Το ότι το WiMAX λειτουργεί στην ίδια περιοχή συχνοτήτων με το Wi-Fi συνεπάγεται υψηλό επίπεδο αμοιβαίων παρεμβολών. Η ποικιλία ρυθμών μετάδοσης μέσα στην ίδια την κυψέλη προσδίδει ανομοιομορφία στις υπηρεσίες που

μπορούν να εξυπηρετηθούν, αφού η υποστήριξη ευρυζωνικών υπηρεσιών στα άκρα των κυψελών απαιτεί τη διάσπαση τους προς σχηματισμό νέων, αυξάνοντας έτσι το κόστος υλοποίησης του SM (ή M2M) δικτύου, καθώς επίσης και το επίπεδο παρεμβολών από άλλες κυψέλες. Τέλος, η μετάδοση WiMAX σημάτων υποβαθμίζεται από φαινόμενα πολυδιαδρομικής μετάδοσης (multipath) και σκίασης (fading) λόγω της εδαφικής ή και ρυμοτομικής ανομοιομορφίας των περιοχών κάλυψης.

3.7.3 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ (FIBER – OPTIC)

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

- **Πλεονεκτήματα:** Η μετάδοση είναι αξιόπιστη, χωρίς να επηρεάζεται από θόρυβο ή ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (ElectroMagnetic Interference – EMI) και παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Interference – RFI).[42] Για αυτό αποτελεί το ιδανικό μέσο για περιβάλλοντα λειτουργίας υψηλής τάσης, όπως οι υποσταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση επαναληπτών χρειάζεται μόνο στις περιπτώσεις όπου το σήμα πρέπει να διανύσει αρκετά χιλιόμετρα, μειώνοντας το κόστος για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων.

- **Μειονεκτήματα:** Για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης εμφανίζεται έντονο φαινόμενο διασποράς, ενώ η ισχύς έγχυσης στην οπτική ίνα πρέπει να ελέγχεται προς αποφυγή μη γραμμικών φαινομένων. Με την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης αυξάνεται σημαντικά το κόστος των lasers, ενώ η επιλεκτικότητα των οπτικών φίλτρων είναι περιορισμένη, σε σχέση με τα ψηφιακά ηλεκτρονικά φίλτρα. Συνεπώς, για σήματα μικρού εύρους ζώνης απαιτείται η οπτοηλεκτρονική μετατροπή όλων των δεδομένων και φιλτράρισμα της επιθυμητής πληροφορίας με ηλεκτρονικά φίλτρα που είναι περισσότερο επιλεκτικά.

3.7.4 ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ (CELLULAR NETWORKS)

Τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών αποτελούν πολύ καλή λύση και για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ συγκεντρωτών και σταθμού βάσης. Δεδομένου ότι το δίκτυο κινητών επικοινωνιών θα χρησιμοποιηθεί για backhaul access, οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, ρυθμούς μετάδοσης και ευαισθησίας στην καθυστέρηση είναι αυξημένες. Επομένως, είναι αναγκαία η λειτουργία σε υψηλότερες συχνότητες από

αυτή του GSM (900MHz), όπως είναι το UMTS (1800MHz), το DCS (2100MHz) και το LTE (η ζώνη συχνοτήτων λειτουργίας μπορεί να διαφέρει [43]), όπου το διαθέσιμο εύρος ζώνης μεταβάλλεται μεταξύ 1.4MHz και 20MHz επιτυγχάνοντας ρυθμούς μετάδοσης που πλησιάζουν το 1Gbps για αμφίδρομη επικοινωνία[44].

3.7.5 DSL ΚΑΙ PLC

Είναι αναμενόμενο ότι οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε backhaul δίκτυα. Τα σχετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έχουν ήδη αναφερθεί. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ένας σημαντικός περιορισμός. Οι PLC επικοινωνίες μπορούν να υποστηρίξουν ρυθμούς μετάδοσης ως 24Mbps στη μέση τάση[45] , με αποτέλεσμα μελλοντικά να αποτελέσουν στενωπό του δικτύου, αφού το πλήθος δεδομένων που θα κληθούν να εξυπηρετήσουν ενδεχομένως να βρίσκεται πέραν των δυνατοτήτων τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΛΛΟΓΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ, ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΕ ΚΕΝΤΡΙΚΟ SERVER

4.1 AMI. (ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE)

Υπάρχουν πολλά στοιχεία που χρειάζονται για να λειτουργεί ένα έξυπνο δίκτυο με τη μέγιστη χωρητικότητά του. Μερικά καθοριστικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται για την κάλυψη των αναγκών του δικτύου είναι [46]:

- ✓ Να παρέχει ποιότητα ισχύος για το ευρύ φάσμα αναγκών
- ✓ Να έχει δυνατότητα ενεργής συμμετοχής των καταναλωτών
- ✓ Να είναι ανθεκτικά έναντι επιθέσεων στον κυβερνοχώρο
- ✓ Να μπορεί να ενεργοποιήσει νέα προϊόντα, νέες υπηρεσίες και νέες αγορές
- ✓ Να μπορεί να ανταποκριθεί σε διαταραχή του συστήματος με τρόπο αυτοθεραπείας
- ✓ Ενίσχυση της χωρητικότητας και της αποδοτικότητας των υφιστάμενων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας

Από την παραπάνω λίστα, βλέπουμε ότι απαιτείται άριστη διαχείριση δεδομένων για τη λειτουργικότητα των έξυπνων δικτύων και μία από τις λύσεις σε αυτήν την κρίσιμη ανάγκη επικοινωνίας είναι η (AMI)-προηγμένη υποδομή μέτρησης. Η προηγμένη υποδομή μέτρησης (AMI) είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα που αποτελείται από έξυπνους μετρητές, δίκτυα επικοινωνίας και συστήματα διαχείρισης δεδομένων που επιτρέπει αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του παρόχου υπηρεσιών κοινής ωφελείας και του πελάτη. Αυτή η υποδομή είναι ένα ουσιαστικό βήμα στον εκσυγχρονισμό των τεχνολογιών δικτύου, διότι περιλαμβάνει άμεσα τον πελάτη στο πλαίσιο λειτουργίας του έξυπνου δικτύου, γεγονός που αυξάνει την αξία στις παρεχόμενες υπηρεσίες. Δεδομένου ότι το AMI είναι μια κρίσιμη υποδομή του έξυπνου δικτύου, αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία [47]:

- ✚ Έξυπνους μετρητές και συγκεντρωτές δεδομένων
- ✚ Δίκτυο επικοινωνίας ευρείας περιοχής (WAN)
- ✚ Κεντρικό σύστημα δεδομένων μετρητών (MDC).
- ✚ Σύστημα διαχείρισης δεδομένων μετρητή (MDM).
- ✚ Δίκτυο οικιακής περιοχής (HAN)

4.1.1 ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ AMI

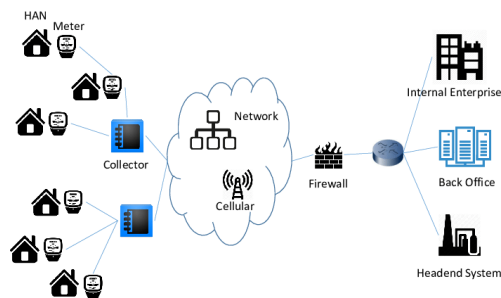
Έχει επικρατήσει η επιστημονική άποψη ότι το δίκτυο AMI πρέπει να έχει ιεραρχική δομή που παρακολουθεί την αρχιτεκτονική του δικτύου HE. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική αποσκοπεί στην καλύτερη διαχείριση του τεράστιου αριθμού έξυπνων μετρητών. Τα στρώματα ενός δικτύου AMI (υποδίκτυα - tiers) είναι:

- **Home Area Network (HAN)**: Το HAN προσφέρει διασύνδεση σε ευφυείς μετρητές, έξυπνες συσκευές, αισθητήρες, συσκευές κατανάλωσης ενέργειας και συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας. Πύλη (gateway ή οικιακός συγκεντρωτής) του HAN θεωρείται ο έξυπνος μετρητής.
- **Local/Industrial /Block Area Network (LAN/IAN/BAN)**: Αφορά μια ευρύτερη περιοχή, όπως ένα εργοστάσιο ή μία πολυκατοικία προσφέρει διασύνδεση μεταξύ μιας ομάδας έξυπνων μετρητών, οι οποίοι είναι πύλες σε δίκτυα HAN. Πύλη του BAN θεωρείται κάθε τοπικός συγκεντρωτής (local gateway).
- **Neighborhood Area Network (NAN)**: Αποτελεί την δικτύωση μια ομάδας έξυπνων μετρητών και local gateways σε χωρική έκταση διαμέτρου της τάξης εκατοντάδων μέτρων. Πύλη του NAN θεωρείται ένας συγκεντρωτής, που επικοινωνεί με έξυπνους μετρητές και τοπικούς συγκεντρωτές.
- **Wide Area Network (WAN)**: Το δίκτυο αυτό έχει γεωγραφική έκταση διαμέτρου μερικών χιλιομέτρων (π.χ. κάλυψη μιας πόλης) και περιλαμβάνει συγκεντρωτές. Πύλες του WAN θεωρούνται τοπικά κέντρα ελέγχου, που επικοινωνούν με ομάδες συγκεντρωτών. Το σύνολο των τοπικών κέντρων ελέγχου συνδέονται με τον MDMS και σχηματίζουν το δίκτυο κορμού του AMI.

Όμως, ως δίκτυο WAN μπορεί να θεωρηθεί και το δίκτυο επικοινωνίας ενός ποσοστού συγκεντρωτών απευθείας με το MDMS. Ένα τοπικό κέντρο ελέγχου είναι εγκατεστημένο σε περιοχές μετασχηματιστών ΥΤ/ΜΤ ή σε ιδιόκτητο χώρο του παρόχου HE 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



Σχήμα 4.1: Ιεραρχική δομή AMI

Πηγή: [https://www.researchgate.net/profile/A-H-M-](https://www.researchgate.net/profile/A-H-M-Jakaria/publication/334962995/figure/fig1/AS:977035895771136@1609954918025/A-typical-AMI-infrastructure.png)

[Jakaria/publication/334962995/figure/fig1/AS:977035895771136@1609954918025/A-typical-AMI-infrastructure.png](https://www.researchgate.net/profile/A-H-M-Jakaria/publication/334962995/figure/fig1/AS:977035895771136@1609954918025/A-typical-AMI-infrastructure.png)

ευφυούς μέτρησης, ικανοποιώντας τις προδιαγραφές σε QoS. Ένα ιεραρχικό υβριδικό δίκτυο AMI διαθέτει τα εξής πλεονεκτήματα:

- 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.

4.2 ΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ

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 ενδιαμέσοι 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.

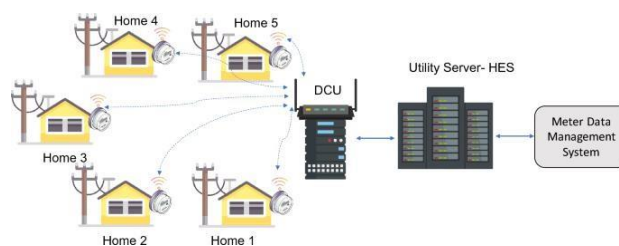
Σε ένα ασύρματο ΣΕΜ, τα τοπικά δίκτυα HAN/BAN/NAN/WAN διαμορφώνονται ακολουθώντας συγκεκριμένες δικτυακές τοπολογίες όπως:

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

Κάθε είδος τοπολογίας χρειάζεται τουλάχιστον μια συσκευή πλήρους λειτουργίας (FFD), για να λειτουργήσει αποτελεσματικά [48].

4.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΥΠΝΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Το βασικό στοιχείο έξυπνου μετρητή είναι να συλλέγει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να μεταδίδει αυτές τις πληροφορίες στο βοηθητικό πρόγραμμα του παρόχου (head-end system HES). Αυτή η δυναμική σύνδεση ενισχύει σημαντικά τη διαχείριση του δικτύου. Στο υπάρχον πλαίσιο έξυπνης μέτρησης, τα δεδομένα οικιακής κατανάλωσης διαβιβάζονται στους παρόχους υπηρεσιών κοινής ωφέλειας μέσω διαφορετικών συσκευών, ανάλογα με τις γεωγραφικές συνθήκες και τις ενεργειακές πολιτικές διαφόρων χωρών. Πρώτον, τα δεδομένα κατανάλωσης από οικιακούς χρήστες διοχετεύονται αρχικά σε κοντινές μονάδες συγκέντρωσης δεδομένων (DCU). Στη συνέχεια, αυτά τα δεδομένα συγκεντρώνονται στο Head End System (HES) του παρόχου βοηθητικού προγράμματος και στη συνέχεια προωθούνται στο Meter Data Management System (MDMS). Η συνήθως χρησιμοποιούμενη υπάρχουσα αρχιτεκτονική έξυπνης μέτρησης απεικονίζεται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1. Αρχιτεκτονική έξυπνης μέτρησης

Πηγή: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-44149-9/figures/1>

4.4 HEAD-END SYSTEM

Τα Head-end systems είναι συστήματα που συλλέγουν δεδομένα μετρήσεων και συμβάντα. Πολλοί συγκεντρωτές μπορούν να επικοινωνούν με την MDMS μέσω ενός συστήματος head-end, αλλά με ένα βοηθητικό πρόγραμμα μπορεί να υπάρχουν πολλά συστήματα head-end που επικοινωνούν με συγκεντρωτές. Τα Head-end systems επεξεργάζονται τον τύπο των αρχικών δεδομένων μέτρησης και των συμβάντων συσκευής που θα δημιουργηθούν για συσκευές (και τα σχετικά εξαρτήματά τους μέτρησης) με βάση τον τύπο του στοιχείου μέτρησης. Επίσης

καθορίζουν τον τρόπο επεξεργασίας των εντολών του έξυπνου μετρητή. Τα Head-end systems έχουν διαμορφωθεί ώστε να αναγνωρίζουν τον τρόπο με τον οποίο ένα συγκεκριμένο εξωτερικό σύστημα επικοινωνεί με το Meter Data Management. Αυτό επιτυγχάνεται:

- Με τον τύπο αναγνωριστικού που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό συσκευών και στοιχείων μέτρησης. Αυτά χρησιμοποιούνται τόσο κατά την εισαγωγή όσο και την εξαγωγή δεδομένων.
- Με τη μορφή της ημερομηνίας/ώρας που χρησιμοποιείται σε διάφορες εισαγωγές δεδομένων (δηλαδή εάν η μορφή ημερομηνίας/ώρας περιλαμβάνει πληροφορίες ζώνης ώρας ή όχι).

Το Head-End System (HES) αποτελεί κρίσιμο στοιχείο της αλυσίδας των έξυπνων μετρητών από άκρο σε άκρο, καθώς είναι ο σύνδεσμος μεταξύ των εφαρμογών back-office και του δικτύου επικοινωνίας που επιτρέπει την πρόσβαση στους έξυπνους μετρητές. Λαμβάνει με αυτόματο τρόπο τα δεδομένα από τους έξυπνους μετρητές, τα αποθηκεύει, διενεργεί ελέγχους ακεραιότητας ενώ επιπρόσθετα αποτελεί το βασικό σύστημα διαχείρισης, παραμετροποίησης, ελέγχου και επικοινωνίας (π.χ. firmware update, διαχείριση επικοινωνίας, απενεργοποίηση/ενεργοποίηση, διαχείριση events/alarms - παρακολούθηση συναγερμών παραβίασης του μετρητή) με τις μετρητικές συσκευές, με ασφαλή τρόπο. Επίσης ενσωματώνει το Key Management System, μέσω του οποίου γίνεται η διαχείριση των κρυπτογραφικών κλειδιών για την αμφίδρομη επικοινωνία [49].

4.5 MDMS

Ένα σύστημα διαχείρισης δεδομένων μετρητή (MDMS) συλλέγει και αποθηκεύει δεδομένα μετρητών από ένα Head-end system και επεξεργάζεται αυτά τα δεδομένα μετρητών σε πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άλλες εφαρμογές κοινής ωφέλειας, όπως τιμολόγηση, συστήματα πληροφοριών πελατών και συστήματα διαχείρισης διακοπών λειτουργίας. Αυτό το σύστημα είναι χτισμένο στο σύστημα MDC, του οποίου η κύρια λειτουργία περιλαμβάνει την επικύρωση, την εκτίμηση και την επεξεργασία (VEE) δεδομένων μετρητών που αργότερα μεταβιβάζονται στα συστήματα κοινής ωφέλειας. Ένα MDMS είναι απαραίτητο για το χειρισμό μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων που παράγονται μέσω της αυτοματοποιημένης μέτρησης ή της προηγμένης υποδομής μέτρησης. Επιτρέπει χαλαρή σύζευξη μεταξύ συστημάτων. Αρκετά συστήματα αυτόματης ανάγνωσης μετρητών (AMR) στέλνουν τα δεδομένα τους μέσω των αντίστοιχων head-end servers για τη ρουτίνα VEE για να καλύψουν τα κενά στα δεδομένα τους, δημιουργώντας

καθαρά, ολοκληρωμένα και έτοιμα δεδομένα. Άλλα συστήματα κοινής ωφέλειας, όπως μια αποθήκη δεδομένων, η διαχείριση διακοπών λειτουργίας ή η χρέωση, λαμβάνουν επίσης τα δεδομένα τους για τους συγκεκριμένους σκοπούς τους από το MDMS. Ορισμένα συστήματα AMR/AMI που παρέχουν δεδομένα μετρητών στο MDMS είναι μετρητές αερίου, ηλεκτρικοί μετρητές και μετρητές νερού. Σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα δικτύου, το MDMS δίνει τη δυνατότητα στον καταναλωτή/πελάτη να βλέπει όλα τα δεδομένα κατανάλωσής του σε μία δομή, με τη δυνατότητα διαχείρισης τόσο αναλογικών όσο και διαστημάτων δεδομένων για βελτιστοποίηση της χρήσης και του κόστους.

Κύρια λειτουργία του Meter Data Management System (MDMS) αποτελεί η επικύρωση των δεδομένων (μετρήσεων) μέσω της αναγνώρισης σφαλμάτων και της εκτίμησης των τιμών που λείπουν, πριν αυτά μεταβιβαστούν σε άλλα επιχειρησιακά συστήματα και τρίτα μέρη με τα οποία το MDMS ανταλλάσσει δεδομένα μέσω κατάλληλων διεπαφών (interfaces), όπως ενδεικτικά το σύστημα τιμολόγησης για το σκέλος της διανομής (billing), εργαλεία ανάλυσης (analytics), customer portal - όπου οι καταναλωτές μπορούν να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα κατανάλωσής τους. Το MDMS λειτουργεί ως ένα κεντρικό αποθετήριο δεδομένων που υποστηρίζει την αποθήκευση, αρχειοθέτηση, ανάκτηση και ανάλυση των δεδομένων του μετρητή και άλλων MIS δεδομένων, μαζί με αλγόριθμους επικύρωσης και επαλήθευσης.

4.6 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ MDMS

Παρά τον καθοριστικό του ρόλο ως πηγή δεδομένων, το MDMS παίζει κάποιους άλλους λειτουργικούς ρόλους στο ευρύτερο οικοσύστημα πληροφορικής. Μπορεί να είναι ένας ελεγκτής κυκλοφορίας (traffic director), ένα αποθετήριο δεδομένων (data repository), μια μηχανή διαμόρφωσης δεδομένων (data framing engine), ένας χάρτης υποδομής (Infrastructure map) και ένα σύστημα διαχείρισης πληροφοριών (asset management system).

traffic director: Το MDMS μπορεί να συνδέει εφαρμογές back-end σε συγκεκριμένα συστήματα AMR/AMI σε δυναμική βάση. Αυτό καθιστά την πρόσβαση στα δεδομένα εύκολη και διαφανή για τους χρήστες.

data repository: Το MDMS μπορεί να χρησιμεύσει ως ενδιάμεσος μεταξύ των εφαρμογών back-end που ζητούν πληροφορίες μετρητών και συγκεκριμένων συστημάτων AMR/AMI που συλλέγουν τα δεδομένα. Ενώ το MDMS είναι κυρίως ένα διαδικτυακό σύστημα επεξεργασίας συναλλαγών, μπορεί να λειτουργήσει ως ενδιάμεσος χώρος αποθήκευσης δεδομένων.

data framing engine: Το MDMS μπορεί να εκχωρήσει δεδομένα χρήσης διαστήματος σε συγκεκριμένους καθοριστικούς παράγοντες χρέωσης για να επιτρέψει τη χρέωση σύνθετων χρεώσεων. Αυτό είναι χρήσιμο όταν οι πελάτες έχουν συγκεκριμένα κίνητρα, όπως η τιμή τιμολόγησης ώρας της ημέρας ή ημέρας αιχμής, όπου η τιμολόγηση ποικίλλει εκθετικά.

Infrastructure map: σε αυτόν τον ρόλο, το MDMS μπορεί να αποθηκεύσει έναν πολύ λεπτομερή εικονικό χάρτη των στοιχείων ηλεκτρικής υποδομής και των διασυνδέσεών τους. Αυτά τα εξαρτήματα περιλαμβάνουν μετρητές, μετασχηματιστές, κυκλώματα διανομής, υποσταθμούς και παρόμοια. Αυτός ο χάρτης χρησιμοποιείται ως μοντέλο συνδεσιμότητας για να μεταβιβάσει αυτές τις πληροφορίες, όπως συναγερμούς διακοπής λειτουργίας, στα συστήματα διαχείρισης διακοπών και άλλες ειδοποιήσεις στα αντίστοιχα συστήματα τους.

Asset management system: σε αυτόν τον ρόλο, ο χάρτης υποδομής που έχει ήδη το MDMS μπορεί να επαυξηθεί με δεδομένα περιουσιακών στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν ως σύστημα διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων που μπορεί να είναι χρήσιμο για επιχειρήσεις κοινής ωφελείας μικρής κλίμακας που μπορεί να μην είναι σε θέση να αντέξουν οικονομικά μια αυτόνομη σύστημα διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων.

Υπάρχουν πολλοί ρόλοι στους οποίους μπορεί να χωρέσει το MDMS στον συνεχώς εξελισσόμενο τομέα των έξυπνων δικτύων. Αξίζει, ωστόσο, να σημειωθεί ότι υπάρχουν μερικές προκλήσεις με την ανάπτυξή του, όπως ο συγχρονισμός δεδομένων, η ολοκλήρωση συστήματος, η επεκτασιμότητα, η διαμόρφωση του συστήματος και ο χρονοσυνχρονισμός, που όλα έχουν να κάνουν με τον τεράστιο όγκο δεδομένων που διατρέχουν το σύστημα MDM [50].

4.7 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η αποθήκευση των μετρήσεων από τους έξυπνους μετρητές αποτελεί το πρώτο και βασικό βήμα στη διαδικασία διαχείρισης των δεδομένων. Οι μετρήσεις συλλέγονται συνήθως μέσω διαφόρων πρωτοκόλλων επικοινωνίας, όπως το NB-IoT ή το LTE-M, και μεταφέρονται σε έναν κεντρικό server όπου αποθηκεύονται σε μορφή logs. Αυτά τα logs περιέχουν λεπτομερή δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας, τις χρονικές σφραγίδες (timestamps), τις τιμές τάσης και ρεύματος, και άλλες κρίσιμες παραμέτρους [51].

Οι τρόποι συλλογής των δεδομένων μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την αρχιτεκτονική του συστήματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι μετρήσεις

αποθηκεύονται τοπικά στον μετρητή και μεταφέρονται στον κεντρικό server σε προκαθορισμένα διαστήματα, ενώ σε άλλες περιπτώσεις, τα δεδομένα μεταφέρονται συνεχώς σε πραγματικό χρόνο.

Η μορφή αποθήκευσης των logs ποικίλλει, αλλά συνήθως υιοθετούνται μορφές όπως τα αρχεία CSV, τα JSON και τα binary αρχεία, που επιτρέπουν την αποδοτική αποθήκευση και εύκολη επεξεργασία των δεδομένων. Οι ανάγκες αποθήκευσης δεδομένων ποικίλλουν ανάλογα με τη συχνότητα λήψης και τον τύπο των δεδομένων. Για παράδειγμα, τα δεδομένα που καταγράφονται σε πραγματικό χρόνο απαιτούν μεγαλύτερο όγκο αποθήκευσης σε σύγκριση με τα δεδομένα που καταγράφονται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Συγκεκριμένα:

Δεδομένα σε Πραγματικό Χρόνο

Η καταγραφή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, όπως οι μετρήσεις τάσης, έντασης και συχνότητας, απαιτεί συνεχή ροή μεγάλου όγκου δεδομένων. Αυτό απαιτεί υψηλές δυνατότητες αποθήκευσης και γρήγορη πρόσβαση στα δεδομένα.

Δεδομένα σε Τακτά Διαστήματα

Η καταγραφή δεδομένων σε τακτά χρονικά διαστήματα, όπως οι ημερήσιες ή εβδομαδιαίες αναφορές, μειώνει τις απαιτήσεις αποθήκευσης σε σύγκριση με τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, αλλά εξακολουθεί να απαιτεί σημαντική χωρητικότητα, ειδικά για μεγάλα δίκτυα με πολλούς μετρητές.

Η αποδοτική διαχείριση των δεδομένων απαιτεί την ανάπτυξη κατάλληλων υποδομών αποθήκευσης και επεξεργασίας, ώστε να εξασφαλίζεται η διαθεσιμότητα και η ακεραιότητα των δεδομένων. Αυτές οι υποδομές περιλαμβάνουν:

Κεντρικούς Διακομιστές και Βάσεις Δεδομένων: Ισχυροί κεντρικοί διακομιστές και προηγμένες βάσεις δεδομένων για την αποθήκευση και την επεξεργασία των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και την παροχή γρήγορης πρόσβασης στις πληροφορίες.

Συστήματα Cloud : Οι λύσεις αποθήκευσης στο cloud προσφέρουν ευελιξία και επεκτασιμότητα, επιτρέποντας τη δυναμική αύξηση της χωρητικότητας αποθήκευσης ανάλογα με τις ανάγκες.

Ασφάλεια Δεδομένων: Εφαρμογή πρωτοκόλλων ασφαλείας για την προστασία των δεδομένων από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση και διασφάλιση της ακεραιότητας και της εμπιστευτικότητας των πληροφοριών.

Συστήματα Ανάλυσης Δεδομένων: Χρήση προηγμένων συστημάτων ανάλυσης για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών από τα δεδομένα και την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων για τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου. Η ανάπτυξη αυτών των υποδομών είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική διαχείριση των μεγάλων όγκων δεδομένων που συλλέγονται από τα συστήματα έξυπνης μέτρησης.

Με αυτόν τον τρόπο, ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας μπορεί να εξασφαλίσει τη συνεχή και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, βελτιώνοντας ταυτόχρονα την αποδοτικότητα και την ποιότητα του δικτύου.

4.8 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ETL ΣΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

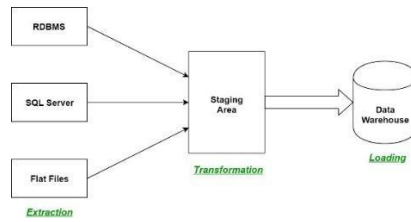
Το ETL σημαίνει Extract, Transform, Load και είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται στην αποθήκευση δεδομένων για την εξαγωγή δεδομένων από διάφορες πηγές, τη μετατροπή τους σε μια μορφή κατάλληλη για φόρτωση σε μια αποθήκη δεδομένων και στη συνέχεια τη φόρτωσή τους στην αποθήκη. Η διαδικασία του ETL μπορεί να αναλυθεί στα ακόλουθα τρία στάδια:

Εξαγωγή : Το πρώτο στάδιο στη διαδικασία ETL είναι η εξαγωγή δεδομένων από διάφορες πηγές, όπως συστήματα συναλλαγών, υπολογιστικά φύλλα και επίπεδα αρχεία. Αυτό το βήμα περιλαμβάνει την ανάγνωση δεδομένων από τα συστήματα πηγής και την αποθήκευσή τους σε μια περιοχή σταδιοποίησης.

Μετασχηματισμός : Σε αυτό το στάδιο, τα εξαγόμενα δεδομένα μετατρέπονται σε μορφή κατάλληλη για φόρτωση στην αποθήκη δεδομένων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει καθαρισμό και επικύρωση των δεδομένων, μετατροπή τύπων δεδομένων, συνδυασμό δεδομένων από πολλαπλές πηγές και δημιουργία νέων πεδίων δεδομένων.

Φόρτωση : Αφού μετασχηματιστούν τα δεδομένα, φορτώνονται στην αποθήκη δεδομένων. Αυτό το βήμα περιλαμβάνει τη δημιουργία των δομών φυσικών δεδομένων και τη φόρτωση των δεδομένων στην αποθήκη.

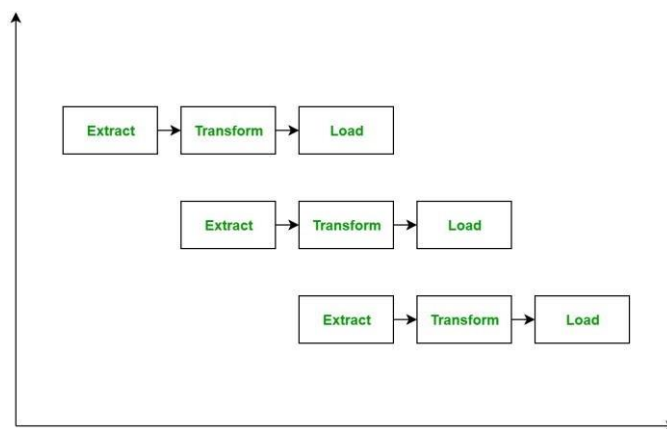
Υπάρχουν πολλά διαφορετικά διαθέσιμα εργαλεία και τεχνολογίες ETL, όπως Informatica, Talend, DataStage και άλλα, που μπορούν να αυτοματοποιήσουν και να απλοποιήσουν τη διαδικασία ETL. Ένα εργαλείο ETL εξάγει τα δεδομένα από διάφορα συστήματα πηγών δεδομένων, τα μετατρέπει (στο Staging Area) και στη συνέχεια, τα φορτώνει στο σύστημα αποθήκης δεδομένων.



Σχήμα4.2. Διαδικασία ETL

Πηγή: <https://media.geeksforgeeks.org/wp-content/uploads/ETL.jpg>

Η διαδικασία ETL μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει την έννοια της διοχέτευσης, δηλαδή μόλις εξαχθούν ορισμένα δεδομένα, μπορεί να μετασχηματιστεί και κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου μπορούν να εξαχθούν ορισμένα νέα δεδομένα. Και ενώ τα μετασχηματισμένα δεδομένα φορτώνονται στην αποθήκη δεδομένων, τα δεδομένα που έχουν ήδη εξαχθεί μπορούν να μετασχηματιστούν. Το μπλοκ διάγραμμα της διοχέτευσης της διαδικασίας ETL φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα4.3. Το μπλοκ διάγραμμα της διοχέτευσης της διαδικασίας ETL

Πηγή: <https://media.geeksforgeeks.org/wp-content/uploads/pipe.jpg>

4.9 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ETL

Πλεονεκτήματα:

1. Βελτιωμένη ποιότητα δεδομένων: Η διαδικασία ETL διασφαλίζει ότι τα δεδομένα στην αποθήκη δεδομένων είναι ακριβή, πλήρη και ενημερωμένα.
2. Καλύτερη ενοποίηση δεδομένων: Η διαδικασία ETL βοηθά στην ενοποίηση δεδομένων από πολλαπλές πηγές και συστήματα, καθιστώντας τα πιο προσιτά και χρηστικά.

3. Αυξημένη ασφάλεια δεδομένων: Η διαδικασία ETL μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της ασφάλειας των δεδομένων ελέγχοντας την πρόσβαση στην αποθήκη δεδομένων και διασφαλίζοντας ότι μόνο εξουσιοδοτημένοι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα.
4. Βελτιωμένη επεκτασιμότητα: Η διαδικασία ETL μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της επεκτασιμότητας παρέχοντας έναν τρόπο διαχείρισης και ανάλυσης μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων.
5. Αυξημένη αυτοματοποίηση: Τα εργαλεία και οι τεχνολογίες ETL μπορούν να αυτοματοποιήσουν και να απλοποιήσουν τη διαδικασία ETL, μειώνοντας τον χρόνο και την προσπάθεια που απαιτείται για τη φόρτωση και την ενημέρωση δεδομένων στην αποθήκη.

Μειονεκτήματα:

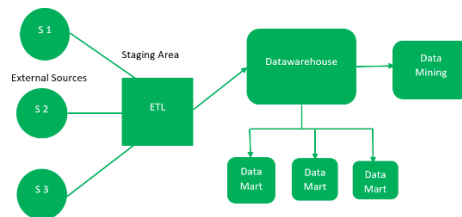
1. Υψηλό κόστος: Η εφαρμογή και η συντήρηση της διαδικασίας ETL μπορεί να είναι δαπανηρή, ειδικά για οργανισμούς με περιορισμένους πόρους.
2. Πολυπλοκότητα: Η διαδικασία ETL μπορεί να είναι πολύπλοκη και δύσκολη στην εφαρμογή, ειδικά για οργανισμούς που δεν διαθέτουν την απαραίτητη τεχνογνωσία ή πόρους.
3. Περιορισμένη ευελιξία: Η διαδικασία ETL μπορεί να περιοριστεί ως προς την ευελιξία, καθώς ενδέχεται να μην είναι σε θέση να χειριστεί μη δομημένα δεδομένα ή ροές δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.
4. Περιορισμένη επεκτασιμότητα: Η διαδικασία ETL μπορεί να είναι περιορισμένη όσον αφορά την επεκτασιμότητα, καθώς μπορεί να μην είναι σε θέση να χειριστεί πολύ μεγάλες ποσότητες δεδομένων.
5. Ανησυχίες για το απόρρητο δεδομένων: Η διαδικασία ETL μπορεί να εγείρει ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο των δεδομένων, καθώς μεγάλος όγκος δεδομένων συλλέγεται, αποθηκεύεται και αναλύεται.

Συνολικά, η διαδικασία ETL είναι μια ουσιαστική διαδικασία στην αποθήκευση δεδομένων που βοηθά να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα στην αποθήκη δεδομένων είναι ακριβή, πλήρη και ενημερωμένα. Ωστόσο, συνοδεύεται επίσης από το δικό του σύνολο προκλήσεων και περιορισμών και οι οργανισμοί πρέπει να εξετάσουν προσεκτικά το κόστος και τα οφέλη πριν τα εφαρμόσουν [52].

4.10 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (DATAWAREHOUSE)

Μια αποθήκη δεδομένων είναι μια ετερογενής συλλογή διαφορετικών πηγών δεδομένων που οργανώνονται κάτω από ένα ενοποιημένο σχήμα. Υπάρχουν δυο προσεγγίσεις για την κατασκευή της αποθήκης δεδομένων: Η προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω και η προσέγγιση από κάτω προς τα πάνω εξηγούνται όπως παρακάτω.

1. Προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω:



Σχήμα.4.4. Προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω

Πηγή:<https://media.geeksforgeeks.org/wp-content/uploads/666-3.png>

Τα βασικά συστατικά αναλύονται παρακάτω:

- **Εξωτερικές πηγές** (external sources): Η εξωτερική πηγή είναι μια πηγή από την οποία συλλέγονται δεδομένα ανεξάρτητα από τον τύπο των δεδομένων. Τα δεδομένα μπορούν επίσης να είναι δομημένα, ημιδομημένα και μη δομημένα.
- **Staging Area**: Δεδομένου ότι τα δεδομένα που εξάγονται από τις εξωτερικές πηγές δεν ακολουθούν μια συγκεκριμένη μορφή, υπάρχει ανάγκη επικύρωσης αυτών των δεδομένων για φόρτωση στην αποθήκη δεδομένων. Για το σκοπό αυτό, συνιστάται η χρήση του εργαλείου ETL.
- **E(Extracted)**: Τα δεδομένα εξάγονται από Εξωτερική πηγή δεδομένων.
- **T(Transform)**: Τα δεδομένα μετατρέπονται στην τυπική μορφή.
- **L(Load)**: Τα δεδομένα φορτώνονται στην αποθήκη δεδομένων μετά τη μετατροπή τους στην τυπική μορφή.
- **Αποθήκη δεδομένων**: Μετά τον καθαρισμό των δεδομένων, αποθηκεύονται στην αποθήκη δεδομένων ως κεντρικό αποθετήριο. Στην πραγματικότητα αποθηκεύει τα μεταδεδομένα (metadata) και τα πραγματικά δεδομένα αποθηκεύονται στα μάρκετ δεδομένων. Σημαντικό είναι ότι το datawarehouse αποθηκεύει τα δεδομένα στην πιο καθαρή τους μορφή σε αυτήν την προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω.
- **Data Mart**:

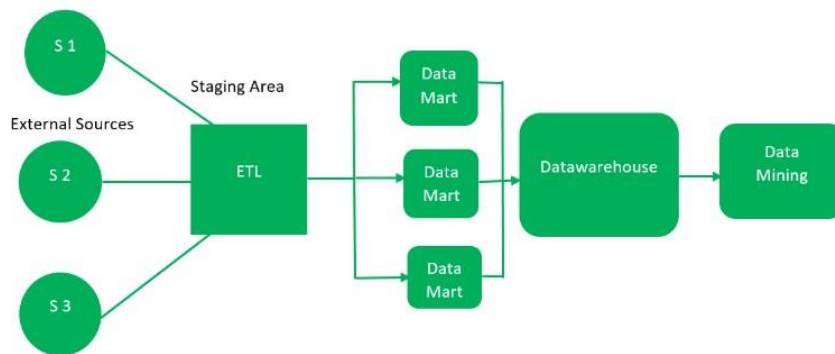
Το Data Mart είναι επίσης μέρος του στοιχείου αποθήκευσης. Περιέχει υποσύνολο των δεδομένων που είναι αποθηκευμένα στο datawarehouse που αφορούν σε μία

συγκεκριμένη θεματική περιοχή ή τμήμα ενός οργανισμού. Βοηθά τους χρήστες να έχουν γρήγορη πρόσβαση στις πληροφορίες που χρειάζονται πιο συχνά στην εργασία τους.

➤ Εξόρυξη Δεδομένων:

Η πρακτική της ανάλυσης των μεγάλων δεδομένων που υπάρχουν στην αποθήκη δεδομένων είναι η εξόρυξη δεδομένων. Χρησιμοποιείται για την εύρεση των κρυφών μοτίβων που υπάρχουν στη βάση δεδομένων ή στην αποθήκη δεδομένων με τη βοήθεια αλγορίθμου εξόρυξης δεδομένων.

2. Προσέγγιση από κάτω προς τα πάνω:



Σχήμα.4.5. Προσέγγιση από κάτω προς τα πάνω

Πηγή:<https://media.geeksforgeeks.org/wp-content/uploads/777-1.png>

Τα δεδομένα εξάγονται από εξωτερικές πηγές (όπως συμβαίνει στην προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω). Στη συνέχεια, τα δεδομένα περνούν από την περιοχή σταδιοποίησης και φορτώνονται σε data marts αντί για datawarehouse. Αυτά τα data marts ενσωματώνονται στη συνέχεια στο datawarehouse [53].

4.11 ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΥΦΥΟΥΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΓΙΑ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΑΛΛΩΝ

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(Advanced metering infrastructure) [48].

4.12 DATA ANALYTICS ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ

Μετά την αποθήκευση των δεδομένων στο data warehouse, το επόμενο βήμα είναι η ανάλυση των δεδομένων για την εξαγωγή χρήσιμων στατιστικών και πληροφοριών. Η ανάλυση δεδομένων είναι απαραίτητη για να μετατραπούν τα ακατέργαστα δεδομένα σε πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη αποφάσεων. Η ανάλυση μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση τεχνικών data mining, machine learning και στατιστικών μεθόδων για την ανακάλυψη μοτίβων και την πρόβλεψη τάσεων. Για παράδειγμα, τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας μπορούν να αναλυθούν για να εντοπιστούν περιοχές με υψηλή κατανάλωση, να προβλεφθούν μελλοντικές απαιτήσεις, ή να αναγνωριστούν ανωμαλίες στη λειτουργία του δικτύου. Επιπλέον, τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της συμπεριφοράς των καταναλωτών, παρέχοντας έτσι πολύτιμες πληροφορίες για την εξατομικευμένη προσέγγιση και την καλύτερη εξυπηρέτηση των πελατών. Η επιστήμη των δεδομένων μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη των διακυμάνσεων της ζήτησης ενέργειας αναλύοντας ιστορικά δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας, τα καιρικά μοτίβα, την οικονομική δραστηριότητα και τους

κοινωνικούς παράγοντες. Αυτή η ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη μοντέλων μηχανικής μάθησης που μπορούν να προβλέψουν τη μελλοντική ζήτηση με υψηλό βαθμό ακρίβειας.

4.13 ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΡΙΒΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΖΗΤΗΣΗΣ

Αποτελεσματική κατανομή πόρων: Με την ακριβή πρόβλεψη της ζήτησης, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν να κατανέμουν τους πόρους τους πιο αποτελεσματικά. Για παράδειγμα, μπορούν να αποφύγουν τη λειτουργία περιττών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και να διασφαλίσουν ότι υπάρχει αρκετή διαθέσιμη δυναμικότητα παραγωγής για την κάλυψη της ζήτησης αιχμής.

Σταθερότητα δικτύου: Η ακριβής πρόβλεψη της ζήτησης μπορεί να βοηθήσει στη διασφάλιση της σταθερότητας του δικτύου επιτρέποντας στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να προβλέπουν αλλαγές στη ζήτηση και να λαμβάνουν μέτρα για να διατηρήσουν την ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή διακοπής ρεύματος και άλλων διακοπών ρεύματος.

Η επιστήμη δεδομένων μπορεί να βοηθήσει στην ανάλυση των προτύπων κατανάλωσης ενέργειας συλλέγοντας δεδομένα από ποικίλες πηγές, όπως έξυπνους μετρητές, συστήματα διαχείρισης κτιρίων και συστήματα βιομηχανικού ελέγχου. Αυτά τα δεδομένα μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό τάσεων και προτύπων στην κατανάλωση ενέργειας.

4.14 ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ευκαιρίες για εξοικονόμηση ενέργειας: Αναλύοντας τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας, οι επιχειρήσεις και οι ιδιοκτήτες κατοικιών μπορούν να εντοπίσουν ευκαιρίες μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας. Για παράδειγμα, μπορεί να προσδιοριστούν τις ώρες της ημέρας ή την ημέρα της εβδομάδας όπου η κατανάλωση ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλή και να λάβουν μέτρα για τη μείωση της κατανάλωσης κατά τη διάρκεια αυτών των ωρών.

Βελτίωση της αποτελεσματικότητας: Η επιστήμη δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών συσκευών έξυπνων μετρητών. Επίσης έχει γίνει ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για τη βελτίωση της απόδοσης στον κλάδο της ενέργειας χρησιμοποιώντας τη δύναμη προηγμένων αλγορίθμων ανάλυσης και μηχανικής μάθησης που μπορούν να ξεκλειδώσουν

πολύτιμες πληροφορίες από τις μεγάλες ποσότητες συνόλων δεδομένων που παράγονται στις εταιρίες ενέργειας. Η επιστήμη δεδομένων μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί εύκολα για την πρόβλεψη της συντήρησης του εξοπλισμού καθώς και των υποδομών που γίνεται με την ανάλυση των ιστορικών δεδομένων για την απόδοση του εξοπλισμού καθώς και των μοτίβων αστοχίας και βοηθά τις εταιρείες ενέργειας να προγραμματίσουν τη συντήρηση που οδηγεί σε ελάχιστο χρόνο διακοπής λειτουργίας [53].

4.15 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ KPIS ΣΕ DASHBOARDS

Η τελική φάση της διαδικασίας διαχείρισης των μετρήσεων περιλαμβάνει την παρουσίαση των βασικών δεικτών απόδοσης (KPIs) μέσω dashboards. Τα dashboards είναι οπτικές διεπαφές που επιτρέπουν στους χρήστες να παρακολουθούν και να αναλύουν τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Ένα καλά σχεδιασμένο dashboard μπορεί να περιλαμβάνει γραφήματα, διαγράμματα και άλλα οπτικά στοιχεία που δείχνουν τις τάσεις, τις αποκλίσεις, και τις βασικές μετρήσεις του συστήματος. Οι εφαρμογές των dashboards μπορούν να απευθύνονται τόσο στους παρόχους υπηρεσιών όσο και στους πελάτες. Για τους παρόχους, τα dashboards μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση του δικτύου, στην παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας, και στην αναγνώριση περιοχών που χρειάζονται παρέμβαση. Για τους πελάτες, τα dashboards μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωσή τους, επιτρέποντάς τους να λαμβάνουν καλύτερες αποφάσεις σχετικά με τη χρήση της ενέργειας και να μειώνουν τα κόστη τους.



Σχήμα 4.6: Dashboard Smart meters μέτρηση

Πηγή: https://images.ctfassets.net/fevtq3bap7tj/4Z3xdca3bymwimUoa408Ck/8c3bf8a8d2335a9613131d03c650131b/Energy_Dashboard_2x.jpg.png

Υπάρχουν πολλοί λόγοι να υπάρχει δυνατότητα παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας στο σπίτι:

- **Αυξανόμενο ενεργειακό κόστος:** Αυτή η διαχείριση θα βοηθήσει στη μείωση του κόστους, προσδιορίζοντας την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας.
- **Περιβαλλοντικές επιπτώσεις:** Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας έχει σημαντικό θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον.
- **Υγεία και άνεση:** Η αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας μπορεί να βελτιώσει την άνεση και την υγεία του σπιτιού.
- **Χρηματοοικονομικός Σχεδιασμός και Προϋπολογισμός:** Η κατανόηση των προτύπων κατανάλωσης ενέργειας βοηθά στον καλύτερο οικονομικό σχεδιασμό και προϋπολογισμό.
- **Αύξηση της ευαισθητοποίησης και της υπευθυνότητας:** Ως υπεύθυνος πολίτης δεν πρέπει να σπαταλάμε ενέργεια και αυτή η παρακολούθηση θα βοηθήσει στην αιτία.

Με την ολοκλήρωση αυτών των βημάτων, το σύστημα μπορεί να προσφέρει μια ολοκληρωμένη λύση για τη διαχείριση των μετρήσεων και των δεδομένων, ενισχύοντας τόσο την αποδοτικότητα όσο και την ασφάλεια της λειτουργίας των έξυπνων μετρητών και των σχετικών υποδομών [55].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

5.1 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΥΦΥΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

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 ευφύων 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, κ.λ.π.

5.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

Η αρχιτεκτονική ενός αυτόματου συστήματος ευφύων 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 πρέπει να διαμορφωθεί έτσι ώστε να εφαρμοστούν σύγχρονες τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες για τηλεμέτρηση (remote metering)

δεδομένων των μετρητών δεδομένου της πυκνότητάς τους σε αστικές, ημιαστικές και αγροτικές περιοχές. Δηλαδή, κύριος σκοπός της εγκατάστασης του 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.

5.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Για το δίκτυο πρόσβασης του ΣΕΜ, ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας απαιτεί τη χρήση τεχνολογίας PLC ή τη χρήση των υφιστάμενων δικτύων κινητών επικοινωνιών (GPRS, LTE). 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 [48].

5.4 ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟ ΚΟΡΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΞΥΠΝΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Για την επικοινωνία των συγκεντρωτών με το MDMS στο δίκτυο μεταφοράς μετρητικών δεδομένων, ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας 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

5.5. ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Το ΣΕΜ (σύστημα ευφυούς μέτρησης) πρέπει να είναι συμβατό με τα 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 GPRS/LTE-M/NB-IoT) και, επομένως, συνδεσιμότητα σε ενδεχόμενη βλάβη μίας από τις δύο βαθμίδες ή σε ενδεχόμενη απώλεια σύνδεσης λόγω σφάλματος στο δίκτυο ΧΤ [48].

5.6. ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΥΦΥΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

Η εγκατάσταση και η ορθή λειτουργία ενός συστήματος AMI αποσκοπεί στην υλοποίηση μιας σειράς λειτουργιών για την εκπλήρωση των υπηρεσιών που απαιτεί ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας. 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
- 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/επανασύνδεση, οι ειδοποιήσεις για παραβιάσεις και ο έλεγχος ποιότητας είναι κρίσιμες για την αποδοτική λειτουργία του συστήματος ευφυών μετρητών [48].

5.7 ΕΠΕΚΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ

Κατά τη διαστασιολόγηση ενός έξυπνου μετρητή, 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 διαδιάστατη 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 Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Ενέργειας είναι με την εξέλιξη του συστήματος ευφυών μετρητών να διαμορφωθεί ένα πλήρως λειτουργικό έξυπνου μετρητή, αποτελούμενο από περίπου 7.000.000 έξυπνους μετρητές που θα προσφέρει το σύνολο των υπηρεσιών του ευφυούς δικτύου.

5.8 ΣΥΜΦΩΝΙΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ (SERVICE LEVEL AGREEMENT-SLA) ΤΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας 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.

5.9 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Όσο αφορά τις τεχνολογίες επικοινωνιών, ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας 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 ασφαλείας. Σε όλες τις τεχνολογίες επικοινωνιών, εφαρμόζονται πρωτόκολλα που εγγυώνται αξιοπιστία, ευρωστία τηλεπικοινωνιακών πόρων, ασφάλεια και επεκτασιμότητα. Ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας 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 πρόσβασης	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
GPRS/LTE-M/NB-IoT	Χαμηλό κόστος υλοποίησης	Υψηλό κόστος επικοινωνίας
	Υψηλές ταχύτητες μετάδοσης	Κατά τόπους προβληματική διαθεσιμότητα
		Εξάρτηση από τηλεπικοινωνιακό πάροχο
PLC	Χρήση υπάρχουσας υποδομής	Ευαίσθητο σε διαταραχές
	Χαμηλό κόστος	Χαμηλή ταχύτητα μετάδοσης
	Συμφέρουσα λύση για περιοχές υψηλής πυκνότητας	Έλλειψη κοινού standard

Πίνακας 5.1 Σύγκριση τεχνολογιών δικτύου πρόσβασης.

Επιπλέον ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας 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 ηλεπικοινωνιακό σχεδιασμό και επιλογή PLC τεχνολογιών και δεν πρέπει να καθορίζεται εξ αρχής. Όταν οι έξυπνοι μετρητές ή οι συγκεντρωτές χρησιμοποιούν δίκτυα κινητών επικοινωνιών, ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας 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 ευφύων μετρητών είναι η συλλογή των ευαίσθητων δεδομένων κατανάλωσης πελατών για τιμολόγηση. Ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας 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 [48].

5.10 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΥΦΥΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ ΤΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας 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 SM εντός της ηλεκτροδοτούμενης εγκατάστασης (π.χ. στον πίνακα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας).

Έτσι, καταργείται η ανάγκη για IHD, καθώς ο καταναλωτής έχει άμεση πρόσβαση στις μετρητικές ενδείξεις ενώ είναι ευκολότερη η επικοινωνία SM–MDMS μέσω GPRS/LTE-M/NB-IoT. Επίσης, η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ EM–MDMS μπορεί να γίνεται μέσω του οικιακού δικτύου WiFi/DSL, χρησιμοποιώντας το υπάρχον τηλεφωνικό δίκτυο. Η Διακήρυξη του Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Ενέργειας 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 Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας 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 Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Ενέργειας, 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 Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας 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.

5.11 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΤΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σε επίπεδο υπηρεσιών, ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας έχει προδιαγράψει μια σειρά από συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών, οι οποίες θεωρούνται εφικτές μετά από ορθή σχεδίαση του συστήματος ευφύων μετρητών. Σε γενικές γραμμές, ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας 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 σειρά υπηρεσιών ευφυούς δικτύου, που προτείνεται και στη διεθνή βιβλιογραφία. Είναι θετικό το γεγονός ότι ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας 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 ηλεκτρικής ενέργειας. 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 Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Ενέργειας, δεν υπάρχει σαφής αναφορά σε υπηρεσίες, όπως η διασπαρμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και σε υπηρεσίες που σχετίζονται με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Πάντως, ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας θέτει έμμεσα τις βάσεις για μελλοντική υλοποίηση των ανωτέρω υπηρεσιών [48].

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 Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας καθορίζονται οι παράμετροι διαστασιολόγησης και η μελλοντική εξέλιξη του πιλοτικού σύστημα ευφύων μετρητών.

5.12 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΥΦΥΟΥΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Το πρώτο στάδιο για τον υπολογισμό του παραγόμενου όγκου δεδομένων είναι ο προσδιορισμός του όγκου δεδομένων που δημιουργεί ένας SM κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ο όγκος της παραγόμενης κίνησης από κάθε SM 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)
- ❖ Ωρα καταγραφής

Σύμφωνα με τον ανωτέρω κατάλογο το ελάχιστο πλήθος ηλεκτρικών μεγεθών είναι 10. Εφόσον για την περιγραφή κάθε μεγέθους απαιτούνται 4 bytes [55] ένας

συγκεντρωτής δέχεται ανά 15 λεπτά από κάθε SM δεδομένα τηλεμέτρησης όγκου[57]:

$$4 \cdot 10 = 40 \text{ bytes} \quad (5.1)$$

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

$$40 \cdot 96 = 3840 \text{ bytes} \quad (5.2)$$

Για την ασφαλή μεταφορά των μετρητικών δεδομένων ενός SM 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[55]
- + 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 SM που μεταδίδουν οι συγκεντρωτές, είτε μέσω δικτύων κινητών επικοινωνιών είτε με BB-PLC τεχνολογία επί της MT είτε μέσω xDSL σύνδεσης, είναι:

$$P = 3840 + 14 + 50 + 22 + 500 \quad (5.3)$$

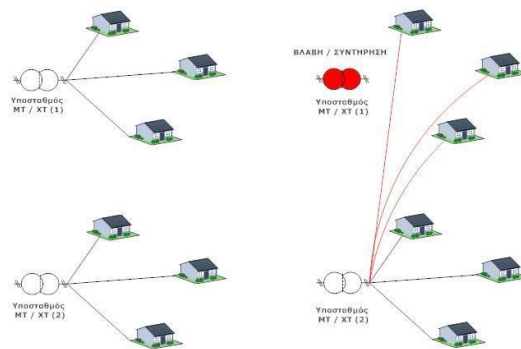
$$P = 4426 \text{ bytes} \quad (5.4)$$

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

Σύμφωνα με τη διακήρυξη του Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Ενέργειας 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 SM, σε μεσαίας πληθυσμιακής πυκνότητας περιοχές εξυπηρετεί 80-150 SM και σε αραιοκατοικημένες περιοχές εξυπηρετεί λιγότερους από 80 SM.
- ✚ 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 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 SM, γεγονός που μπορεί μέχρι και να διπλασιάσει τον αριθμό των SM που εξυπηρετεί ο συγκεντρωτής [48].



Σχήμα 5.1: Σενάριο εξυπηρέτησης SM από γειτονικό συγκεντρωτή [39]

5.13 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΗΣ ΠΡΑΚΤΙΚΗ

Οι μετρήσεις και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται από τον Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Ενέργειας πρέπει να συγκρίνονται με τις διεθνείς πρακτικές για να διασφαλιστεί η υιοθέτηση των καλύτερων διαθέσιμων τεχνολογιών και μεθοδολογιών. Η ανάλυση των πρακτικών άλλων χωρών μπορεί να προσφέρει πολύτιμες γνώσεις και ιδέες για τη βελτίωση των ελληνικών συστημάτων μέτρησης. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τη χρήση προηγμένων συστημάτων smart metering σε χώρες όπως η Γερμανία και οι Ηνωμένες Πολιτείες, όπου εφαρμόζονται σύγχρονες τεχνολογίες και καινοτόμες μέθοδοι για τη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η προσαρμογή των διεθνών πρακτικών στις ελληνικές συνθήκες περιλαμβάνει την αξιολόγηση των τεχνολογιών και των μεθόδων που είναι κατάλληλες για το ελληνικό δίκτυο. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών μέτρησης, την ανάπτυξη νέων διαδικασιών για τη συλλογή και την ανάλυση των δεδομένων και την εκπαίδευση του προσωπικού σε νέες τεχνικές και εργαλεία. Η εφαρμογή αυτών των βέλτιστων πρακτικών μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της αποδοτικότητας, της αξιοπιστίας και της ποιότητας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, ενώ παράλληλα μειώνει το κόστος και βελτιώνει την εμπειρία των καταναλωτών.

5.14 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες πρόκειται να υλοποιήσουν άμεσα, ή έχουν υλοποιήσει ήδη, SM προγράμματα. Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα σημαντικότερα από αυτά και θα αναδειχθούν οι τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση.

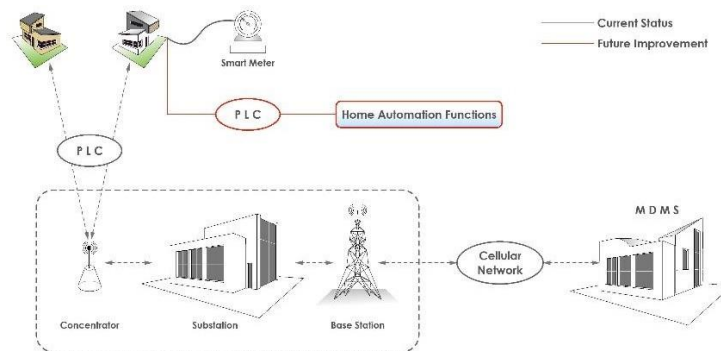
5.14.1 PLC PROJECTS: ΙΤΑΛΙΑ, ΓΑΛΛΙΑ, ΝΟΡΒΗΓΙΑ, ΣΟΥΗΔΙΑ ΚΑΙ ΟΛΛΑΝΔΙΑ

Το μεγαλύτερο Smart Metering Project (SMP) υλοποιήθηκε από την εταιρία Enel, που είναι η Αρχή Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας της Ιταλίας και εξυπηρετεί περίπου 30 εκατομμύρια καταναλωτές, ενώ στη Σουηδία το εγκατεστημένο SMP απαριθμεί 600.000 ευφυείς μετρητές. Η Ιταλία και η Σουηδία έχουν ολοκληρώσει την εγκατάσταση SM. Η Γαλλία σχεδιάζει την εφαρμογή δικού της SMP, βασισμένου στις αρχές του ιταλικού, με στόχο να εξυπηρετήσει 35 εκατομμύρια καταναλωτές.

Τα προαναφερθέντα SMP χρησιμοποιούν τεχνολογία PLC στο δίκτυο πρόσβασης. Οι πληροφορίες που συλλέγουν οι μετρητές μεταδίδονται μέσω του δικτύου ΧΤ στον πλησιέστερο υποσταθμό Χαμηλής Τάσης/Μέσης Τάσης (ΧΤ/ΜΤ), όπου είναι εγκατεστημένος ο συγκεντρωτής. Για το δίκτυο κορμού χρησιμοποιείται το υπάρχον δίκτυο κινητών επικοινωνιών, μεταφέροντας πακέτα δεδομένων από το συγκεντρωτή στο MDMS μέσω GPRS/LTE-M/NB-IoT και αντιστρόφως.

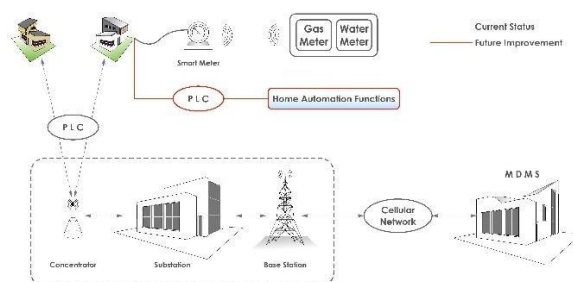
Οι λειτουργίες του ιταλικού SMP σχετίζονται με τη μηνιαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια τεσσάρων χρονικών ζωνών και την ανίχνευση παραποιήσεων μετρήσεων και βλαβών του ηλεκτρικού δικτύου. Το SMP παρέχει τη δυνατότητα απομακρυσμένης διαχείρισης όπως, ενδεικτικά, ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και ρύθμισης της μέγιστης ισχύος που μπορεί να καταναλώσει κάποιος καταναλωτής κάθε χρονική στιγμή. Ο καταναλωτής έχει τη δυνατότητα να βλέπει την τρέχουσα κατανάλωση, καθώς και το μέγιστο που

μπορεί να καταναλώσει. Ως προς τη μελλοντική βελτίωση της SM υποδομής οι εκάστοτε αρμόδιοι φορείς υλοποίησης των SMP μελετούν την εγκατάσταση τοπικής διεπαφής στα συστήματα αυτόματης οικιακής διαχείρισης που να παρέχει πληροφορίες πραγματικού χρόνου σχετικά με την ενεργειακή κατανάλωση.



Σχήμα 5.2: Αρχιτεκτονική συστήματος με PLC

Χώρες όπως η Νορβηγία και η Ολλανδία μελετούν την υλοποίηση ενός SMP με τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Ωστόσο, μελετάται η επέκταση της SM υποδομής και των λειτουργιών του SM δικτύου που περιγράφηκαν προηγουμένως. Μετρητές αερίου και νερού θα συνδέονται ασύρματα με το μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος θα αναλαμβάνει τη μετάδοση της συνολικής πληροφορίας στο συγκεντρωτή και, στη συνέχεια, στον κατά περίπτωση αρμόδιο φορέα, δημιουργώντας έτσι ένα SM σύστημα που υποστηρίζει πολλαπλές υπηρεσίες [39].



Σχήμα 5.3: Νορβηγικό πρότυπο αρχιτεκτονικής συστήματος με PLC

Στην Ιταλία Η μαζική εγκατάσταση ευφών μετρητών ξεκίνησε το 2008 και ολοκληρώθηκε το 2011 από την Enel εξυπηρετώντας περίπου 30 εκατομμύρια

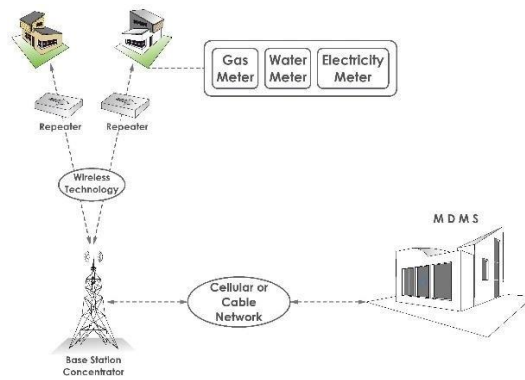
καταναλωτές. Το εγκατεστημένο δίκτυο χρησιμοποιεί PLC τεχνολογία και εκτελεί λειτουργίες αυτοματοποιημένης απομακρυσμένης ανάγνωσης ενδείξεων κατανάλωσης και διαχείριση της διανομής ενέργειας . Το ιταλικό SMP δεν υλοποιεί λειτουργίες αποστολής πληροφοριών τιμολόγησης και συνεχούς καταγραφής της στιγμιαίας κατανάλωσης. Επίσης, το ιταλικό SMP δεν παρέχει τη δυνατότητα προπληρωμής, λειτουργία που επιτρέπει στους καταναλωτές την προπληρωμή της επιθυμητής καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και, κατ' επέκταση, την αποδοτικότερη ρύθμιση των αναγκών τους. Η απομακρυσμένη διαχείριση αφορά μόνο το μετρητή και όχι τον υπόλοιπο ηλεκτρικό εξοπλισμό του καταναλωτή .

Η Σουηδία είναι η πρώτη χώρα που θέσπισε τη μαζική εγκατάσταση ευφύων μετρητών. Το SM δίκτυο ολοκληρώθηκε το 2009 και αποτελείται από μετρητές ωριαίων μετρήσεων με δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων .

Η Γαλλία θέσπισε το Σεπτέμβριο του 2010 τους όρους υποχρεωτικής εγκατάστασης ευφύων μετρητών προς κάλυψη του 95% των ενεργειακών παροχών . Η απόφαση εγκατάστασης 35 εκατομμυρίων ευφύων μετρητών υπήρξε αποτέλεσμα αρκετών επιτυχημένων πιλοτικών προγραμμάτων. Η εγκατάσταση των SM ξεκίνησε το 2013 και ολοκληρώθηκε το 2018. Υπεύθυνος υλοποίησης είναι η ERDF (Électricité Réseau Distribution France), δηλαδή ο γαλλικός φορέας διαχείρισης του ηλεκτρικού δικτύου χαμηλής και μέσης τάσης. Παράλληλα, βρίσκεται σε εξέλιξη ένα έργο 300.000 ευφύων μετρητών και 5.000 συγκεντρωτών. Το έργο χρησιμοποιεί PLC τεχνολογία για επικοινωνία σε επίπεδο LAN και GPRS/LTE-M/NB-IoT τεχνολογία σε επίπεδο WAN. Η τεχνολογία επικοινωνίας ονομάζεται Linky και βασίζεται στο πρωτόκολλο PLC-G3. Τόσο οι μετρητές όσο και οι συγκεντρωτές έχουν προδιαγραφές διαλειτουργικότητας.

5.14.2 Ασύρματα συστήματα μέτρησης αερίου: Γαλλία και Ιταλία

Η Γαλλία έχει εφαρμόσει ένα SMP για συγκέντρωση πληροφοριών από μετρητές αερίου. Η ακτίνα κάλυψης κάθε συγκεντρωτή κυμαίνεται μεταξύ 1 – 2km, ενώ προβλέπεται η χρήση επαναληπτών για την εξυπηρέτηση μετρητών που βρίσκονται εκτός της περιοχής κάλυψης. Οι συγκεντρωτές μπορεί να είναι εγκατεστημένοι σε υποσταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας ή σε σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας.

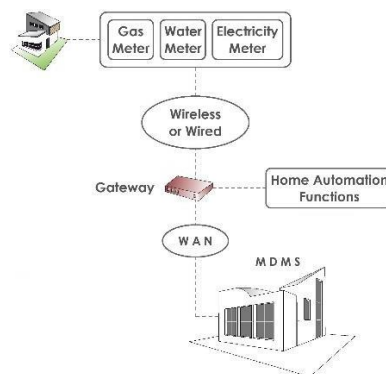


Σχήμα 5.4: Αρχιτεκτονική ασύρματης τεχνολογίας

Τα SM συστήματα που χρησιμοποιούν ασύρματο τρόπο μετάδοσης δεδομένων μεταξύ τερματικών διατάξεων και συγκεντρωτών έχουν το μειονέκτημα της αδυναμίας επιτυχούς αμφίδρομης επικοινωνίας. Λόγω ανομοιομορφίας της ζεύξης ανόδου σε σχέση με τη ζεύξη καθόδου υπάρχει αδυναμία υποστήριξης συνεχούς downlink πληροφορίας. Συνεπώς, υπηρεσίες που απαιτούν συνεχή ροή πληροφορίας από το MDMS προς τις τερματικές διατάξεις υποστηρίζονται δύσκολα από την ασύρματη αρχιτεκτονική. Τέτοιες υπηρεσίες αφορούν τη διαχείριση ηλεκτρικών συσκευών του οικιακού εξοπλισμού προς εξισορρόπηση προσφοράς – ζήτησης και δευτερευουσών πηγών ενέργειας .

5.14.3 ΒΡΕΤΑΝΙΑ ΚΑΙ ΓΕΡΜΑΝΙΑ -HOME AREA NETWORK

Η Βρετανία και η Γερμανία προτείνουν διαφορετική προσέγγιση για τη μετάδοση δεδομένων μέτρησης προς το κέντρο διαχείρισης. Οι μετρητές επικοινωνούν με μια πύλη (gateway) που είναι εγκατεστημένη κοντά στους μετρητές.



Σχήμα 5.5 : Αρχιτεκτονική με χρήση gateway

Βάσει της συγκεκριμένης τηλεπικοινωνιακής αρχιτεκτονικής, η επικοινωνία SM και πύλης (gateway) μπορεί να είναι ασύρματη ή ενσύρματη και είναι μονόδρομη αφού μόνο οι ευφυείς μετρητές αποστέλλουν δεδομένα προς την πύλη. Η

επικοινωνία των ευφυών μετρητών με απομακρυσμένες οντότητες του SM συστήματος γίνεται μόνο μέσω της πύλης.

Οι λειτουργίες της πύλης δεν περιορίζονται μόνο στη διασύνδεση των SM με το MDMS, αλλά επεκτείνονται σε αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων, αποστολή ειδοποιήσεων και αναφορά διακοπής – αποκατάστασης της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, η πύλη μπορεί να διασυνδέσει και άλλες συσκευές του οικιακού αυτοματισμού επιτρέποντας την ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ τερματικών διατάξεων προς εξυπηρέτηση λειτουργιών αυτοματισμού. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της χρήσης πύλης είναι η εξασφάλιση υψηλής χωρητικότητας λόγω της υποστήριξης ποικιλίας πρωτοκόλλων μετάδοσης μικρών αποστάσεων για διασύνδεση συσκευών στο χώρο του καταναλωτή .

Η Βρετανία έχει αντικαταστήσει τους συμβατικούς μετρητές με SM από το 2015 έως το 2020 και περιλαμβάνει 53 εκατομμύρια μετρητές σε μικρές επιχειρήσεις και κατοικίες. Η Γερμανία έχει υλοποιήσει μικρά πιλοτικά έργα εγκατάστασης μερικών χιλιάδων μετρητών, ενώ η RWE (Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk) έχει ξεκινήσει την εγκατάσταση 100.000 SM. Ωστόσο, εκκρεμεί η νομοθεσία για την εγκατάσταση SM στη χώρα. Η Ολλανδία ξεκίνησε την εγκατάσταση SM το 2012. Το 2015 η Enexis, ένας ανεξάρτητος διαχειριστής δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας ξεκίνησε πιλοτική εγκατάσταση SM υιοθετώντας την τεχνολογία PLC – G3. Τέλος, εφαρμογές ευφυών συστημάτων μέτρησης υπάρχουν και στην Ελλάδα. Έχουν υλοποιηθεί μικρά πιλοτικά προγράμματα οικιακών πελατών ΧΤ. Το σημαντικότερο πιλοτικό πρόγραμμα υλοποιήθηκε στη Λάρισα και, μεταξύ άλλων, προσφέρει λειτουργίες που αφορούν την απομακρυσμένη διαχείριση και παρακολούθηση αρδευτικών αντλιών κατά τη διάρκεια αυξημένης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας [39].

Στον Πίνακα 5.1. παρουσιάζονται οι πάροχοι μετρητικού εξοπλισμού και η τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα εκάστοτε ελληνικά πιλοτικά SMP:

	Πάροχοι μετρητικού εξοπλισμού	Τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία
Μικρά Προγράμματα Πελατών ΧΤ	Iskraemeco	PLC
	Itron And Landis + Gyr	PLC
	Sagem	PLC
	Kamstrup	RF mesh
Πιλοτικές Εφαρμογές Smart Grid	Λάρισα (Siemens)	BB-PLC/WiFi
	Λαύριο (ΕΜΠ)	BB-PLC/WiFi

Πίνακας 5.2: Εφαρμογές ευφύων συστημάτων μέτρησης[39]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ RESIDENTIAL SMART METERING SYSTEMS ΣΕ ΟΙΚΙΣΜΟ

6.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΥΦΥΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ.

Οι προς εξυπηρέτηση περιοχές με κριτήριο την πληθυσμιακή πυκνότητα, χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες που χαρακτηρίζονται αντίστοιχα ως αστικές, ημιαστικές και αγροτικές. Οι βιομηχανικές περιοχές έχουν την ίδια πυκνότητα μετρητών με τις ημιαστικές περιοχές και συνεπώς θα θεωρηθούν ως τέτοιες. Στον Πίνακα 6.1 οι προς εξυπηρέτηση περιοχές κατατάσσονται βάσει της γεωγραφικής πυκνότητας των ευφύων μετρητών.

Περιοχή	Πυκνότητα SM (1 SM ανά 3 άτομα)
Αστική	> 2000 SM/km ²
Ημιαστική	800 SM/km ²
Αγροτική	10 SM/km ²

Πίνακας 6.1: Χαρακτηρισμός περιοχής βάσει πυκνότητας μετρητών

6.1.1 ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Οι αστικές περιοχές αναπτύσσονται κυρίως σε λεκανοπέδια και πεδιάδες μεγάλων εκτάσεων. Το γεωγραφικό ανάγλυφο αστικών περιοχών δεν παρουσιάζει έντονες μεταβολές. 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 πολυώροφα 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 ολιγορόροφες 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.

6.1.2 ΗΜΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Οι ημιαστικές περιοχές αναπτύσσονται σε λεκανοπέδια ή πεδιάδες μικρότερης έκτασης με ομοιομορφία ως προς το γεωγραφικό ανάγλυφο. Εμφανίζουν συγκεκριμένα πολεοδομικά χαρακτηριστικά με πολυώροφα κτίρια στο κέντρο της πόλης και μονοκατοικίες στην περιφέρεια. Η πληθυσμιακή πυκνότητα ανέρχεται σε μερικές εκατοντάδες κατοίκους/km². Η οικοδομική δραστηριότητα είναι έντονη στην περιφέρεια και συντελεί στη γεωγραφική και πληθυσμιακή επέκταση της ημιαστικής περιοχής διατηρώντας, ωστόσο, ημιαστικά πολεοδομικά χαρακτηριστικά. Στην κατηγορία των ημιαστικών περιοχών εντάσσονται και οι βιομηχανικές περιοχές. Στον πυρήνα των βιομηχανικών περιοχών βρίσκονται οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις ενώ στην περιφέρεια απαντώνται εργατικές κατοικίες. Οι εργατικές κατοικίες μπορεί να είναι είτε πολυώροφα κτίρια είτε μονοκατοικίες. Η πολεοδομική δραστηριότητα είναι πολύ περιορισμένη.

6.1.3 ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

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/km². Η οικοδομική δραστηριότητα είναι περιορισμένη διατηρώντας αμετάβλητα τα πολεοδομικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά [39].

6.2 ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΒΑΣΕΙ ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Σημαντικό παράγοντα στην κατηγοριοποίηση των περιπτώσεων αυτών έχει και η κατά περίπτωση διαθεσιμότητα – καταλληλότητα τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών. Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται οι κατά περίπτωση διαθέσιμες

τηλεπικοινωνιακές υποδομές:

Περιοχή εφαρμογής	Ενσύρματες τεχνολογίες	Ασύρματες τεχνολογίες
Αστική	PLC xDSL/οπτικές ίνες	ZigBee/6LoWPAN WiFi→DSL GPRS/LTE-M/NB-IoT
Ημιαστική (ή Βιομηχανική)	PLC xDSL (οπτικές ίνες σπανίως)	WiFi GPRS/LTE-M/NB-IoT
Αγροτική	PLC	GPRS/ LTE-M/NB-IoT

Πίνακας 6.2: Αντιστοιχία τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών με περιοχές ανάπτυξης SM συστημάτων

Με τον όρο WiFi→DSL στον πίνακα 6.2 εννοείται η ασύρματη σύνδεση των SM με τον DSL δρομολογητή μέσω WiFi και, στη συνέχεια, μετάδοση της πληροφορίας μέσω DSL. Η καταλληλότητα των διαθέσιμων τηλεπικοινωνιακών υποδομών για SM εφαρμογές εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της προς μετάδοση πληροφορίας και της πληθυσμιακής πυκνότητας που επηρεάζει τον όγκο των προς μετάδοση δεδομένων. Εξαρτάται, επίσης, και από την πυκνότητα της δόμησης που καθορίζει τη μέγιστη απόσταση των τερματικών διατάξεων από τον συγκεντρωτή.

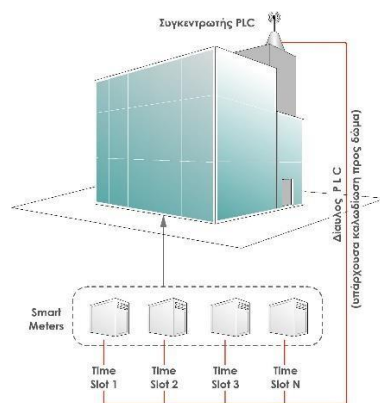
6.2.1 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΔΟΜΗΣΗΣ

Τα πολυώροφα κτίρια είναι κύριο χαρακτηριστικό περιοχών υψηλής πυκνότητας δόμησης. Οι μετρητές τοποθετούνται συνήθως στη βάση των κτιρίων, σε σημεία που βρίσκονται ενδεχομένως εκτός κάλυψης του δικτύου κινητών επικοινωνιών. Ωστόσο, οι τεχνολογίες PLC και WiFi→DSL καθώς και οι ασύρματες τεχνολογίες μικρής εμβέλειας (ZigBee, 6LoWPAN) υποστηρίζουν επιτυχώς τη μετάδοση δεδομένων των SM.

6.2.2 ΧΡΗΣΗ PLC ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

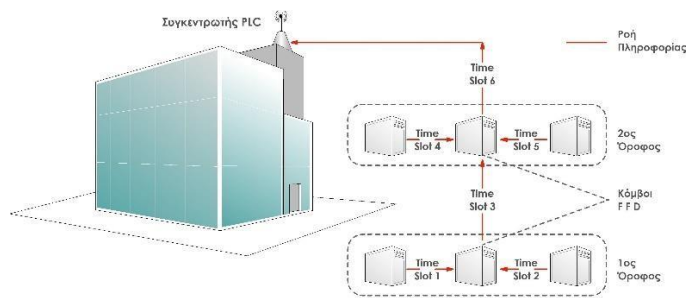
Παραδοσιακά, ο συγκεντρωτής τοποθετείται στον πλησιέστερο υποσταθμό MT/XT και διαχειρίζεται έως και 1.000 SM. Στην περίπτωση αυτή, η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ SM – συγκεντρωτή γίνεται μέσω των γραμμών XT. Εναλλακτικά, η μετάδοση πληροφορίας γίνεται μέσω της υπάρχουσας ηλεκτρικής καλωδίωσης του κτιρίου προς το συγκεντρωτή που είναι τοποθετημένος στην οροφή του κτιρίου. Στη συνέχεια, ο συγκεντρωτής επικοινωνεί με τον πλησιέστερο σταθμό βάσης μέσω του υπάρχοντος δικτύου κινητών επικοινωνιών. Για την επικοινωνία SM – συγκεντρωτή διακρίνονται δύο περιπτώσεις:

- Οι SM λειτουργούν ανεξάρτητα και επικοινωνούν απευθείας με το συγκεντρωτή. Στην περίπτωση αυτή, κάθε τερματική διάταξη είναι ένας RFD κόμβος και το δίκτυο SM που προκύπτει χαρακτηρίζεται από τοπολογία αστέρα. Η πρόσβαση στο κοινό μέσο μετάδοσης γίνεται με TDMA (ή CSMA/CD) προς αποφυγή συγκρούσεων. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται TDMA κάθε κόμβος μεταδίδει πληροφορία μόνο σε συγκεκριμένη χρονική σχισμή (time slot) και έχει στη διάθεσή του όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης.



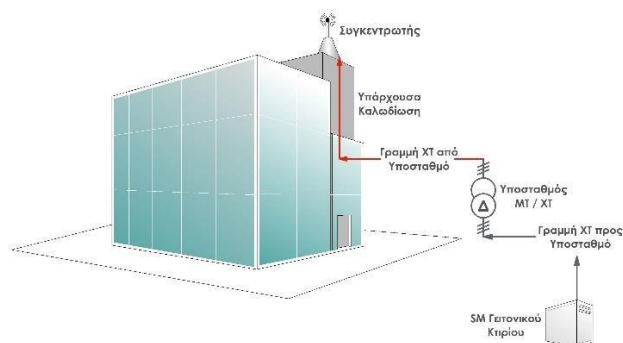
Σχήμα 6.1: Επικοινωνία SM – συγκεντρωτή με TDMA τοπολογίας διαύλου

- Οι SM εγκαθίστανται σε κάθε κατανάλωση κατανεμόμενοι στους ορόφους πολυώροφων κτιρίων και το SM δίκτυο χαρακτηρίζεται από δενδρική τοπολογία. Κάθε όροφος διαθέτει πολλούς κόμβους RFD και τουλάχιστον ένα κόμβο FFD. Οι κόμβοι RFD καταγράφουν και αποστέλλουν πληροφορίες στον κόμβο FFD, ενώ ο κόμβος FFD εκτελεί τόσο λειτουργίες καταγραφής των ιδίων μετρήσεων όσο και λειτουργίες προώθησης των συναθροισμένων δεδομένων σε κόμβους FFD ανωτέρων επιπέδων. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι η πληροφορία να φθάσει στο συγκεντρωτή στην οροφή του κτιρίου. Η πρόσβαση στο κοινό μέσο μετάδοσης γίνεται μέσω TDMA (ή CSMA/CD) και στην περίπτωση δενδρικής τοπολογίας. Στο Σχήμα 6.2 απεικονίζεται η λειτουργία της δενδρικής τοπολογίας που περιγράφηκε μέσω TDMA.



Σχήμα 6.2: Επικοινωνία SM – συγκεντρωτή με TDMA τοπολογία δένδρου

Είναι απαραίτητη η εγκατάσταση τουλάχιστον δύο διατάξεων FFD σε κάθε όροφο, ώστε να διασφαλίζεται η μετάδοση δεδομένων προς το συγκεντρωτή ακόμα και σε περίπτωση διακοπής επικοινωνίας ενός FFD κόμβου. Κάθε συγκεντρωτής μπορεί να συγκεντρώνει δεδομένα τόσο του ιδίου όσο και γειτονικών κτιρίων προκειμένου να αξιοποιήσει αποδοτικά τη χωρητικότητά του (έως 1.000 μετρητές). Τα δεδομένα από μετρητές γειτονικών κτιρίων μεταφέρονται μέσω της γραμμής ΧΤ μέχρι τον υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ και, στη συνέχεια, προς το συγκεντρωτή.



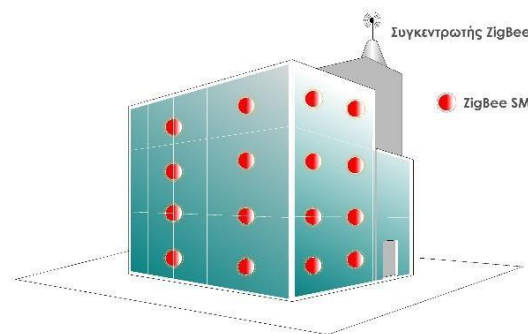
Σχήμα 6.3: Επικοινωνία συγκεντρωτή – γειτονικού SM

Στο Σχήμα 6.3 απεικονίζεται η επικοινωνία συγκεντρωτή – SM γειτονικού κτιρίου. Ωστόσο, η τεχνική εγκατάστασης των συγκεντρωτών σε οροφές κτιρίων είναι αποτελεσματική μόνο εφόσον κάθε συγκεντρωτής συγκεντρώνει δεδομένα μετρητών του ιδίου και όχι γειτονικών κτιρίων. Η αξιοπιστία της επικοινωνίας γειτονικών SM – συγκεντρωτή μειώνεται λόγω της αυξημένης απόστασης που διανύει η πληροφορία μέσω των θορυβωδών γραμμών ΧΤ προκειμένου να καταλήξει στο συγκεντρωτή. Μια άλλη περίπτωση χρήσης της PLC τεχνολογίας προκύπτει μέσω της τοποθέτησης του συγκεντρωτή στον πλησιέστερο υπαίθριο κατανομητή (Kabelverteiler – KV) του

τηλεφωνικού δικτύου. Η τοποθέτηση του συγκεντρωτή στο KV είναι καταλληλότερη όταν, για την επικοινωνία συγκεντρωτή – MDMS, χρησιμοποιείται DSL τεχνολογία.

6.2.3 ΧΡΗΣΗ ZIGBEE Η 6LOWPAN

Η μετάδοση πληροφορίας γίνεται ασύρματα και απαιτείται η τοποθέτηση των SM σε μικρές μεταξύ τους αποστάσεις (30 – 50m), προκειμένου κάθε SM να έχει τουλάχιστον ένα γειτονικό SM εντός της εμβέλειάς του. Η τοποθέτηση των τερματικών διατάξεων γίνεται σε κάθε όροφο και το SM δίκτυο χαρακτηρίζεται από τοπολογία πλέγματος.



Σχήμα 6.4: Επικοινωνία SM – συγκεντρωτή με ZigBee

Η πρόσβαση στο κοινό μέσο μετάδοσης γίνεται μέσω TDMA (ή CSMA/CD) προς αποφυγή συγκρούσεων των πακέτων. Η πληροφορία δρομολογείται πολυβηματικά προς το συγκεντρωτή, το σημείο εγκατάστασης του οποίου εξαρτάται από την τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί στο δίκτυο κορμού για μετάδοση δεδομένων από αυτόν μέχρι το MDMS. Η επιλογή του σημείου εγκατάστασης του συγκεντρωτή πρέπει να εξασφαλίζει τη διαθεσιμότητα της τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας του δικτύου κορμού.

6.2.4 Χρήση DSL ή WiFi

Η αμφίδρομη επικοινωνία των μετρητών με το συγκεντρωτή μπορεί να γίνει μέσω σύνδεσης DSL ή WiFi, υπό την προϋπόθεση ότι είναι διαθέσιμη η αντίστοιχη τηλεπικοινωνιακή υποδομή. Στην περίπτωση μετάδοσης δεδομένων μέσω DSL, η από– άκρο–σε–άκρο επικοινωνία μεταξύ SM και MDMS γίνεται χωρίς να μεσολαβεί συγκεντρωτής. Αντίθετα, στην περίπτωση επικοινωνίας μέσω WiFi απαιτείται συγκεντρωτής προς συλλογή των δεδομένων από τις τερματικές διατάξεις.

6.3 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΤΡΙΑΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΔΟΜΗΣΗΣ

Η επικοινωνία SM – συγκεντρωτή έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά σε περιοχές μέτριας πυκνότητας δόμησης. Καθοριστικό παράγοντα στην επιλογή τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας για το δίκτυο πρόσβασης έχουν τα πολεοδομικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά της περιοχής καθώς και η υπάρχουσα τηλεπικοινωνιακή υποδομή. Η επικοινωνία SM – συγκεντρωτή μπορεί να γίνεται είτε με ασύρματο είτε με ενσύρματο τρόπο.

6.3.1 ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

Το μειωμένο πλήθος εμποδίων λόγω του μικρότερου ύψους των κτιρίων και η αυξημένη απόσταση μεταξύ των κτιρίων συντελούν στην αύξηση του πλήθους των κατάλληλων ασύρματων τεχνολογιών (π.χ. GPRS/ LTE-M/NB-IoT, WiFi). Το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο για την επικοινωνία SM – συγκεντρωτή έχει κυψελωτή δομή. Κάθε κυψέλη διαθέτει ένα σταθμό βάσης (BS), η εμβέλεια του οποίου καθορίζει τη γεωγραφική έκταση της κυψέλης. Η επικοινωνία τερματικών SM διατάξεων – σταθμού βάσης γίνεται χωρίς τη μεσολάβηση συγκεντρωτή. Η ασύρματη τεχνολογία μπορεί να είναι WiFi ή GPRS/ LTE-M/NB-IoT.

Η ακτίνα της κυψέλης εξαρτάται από την ισχύ εκπομπής του σταθμού βάσης προς υποστήριξη της downlink κίνησης και την ισχύ εκπομπής των SM προς υποστήριξη της uplink κίνησης. Επομένως, η ακτίνα κάλυψης ενός σταθμού βάσης WiFi περιορίζεται σε μερικές εκατοντάδες μέτρα. Ένας σταθμός βάσης WiFi μπορεί να υποστηρίξει εκατοντάδες τερματικά και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που ποικίλλουν ανάλογα με το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται. Το είδος του σταθμού βάσης καθορίζει και την απαίτηση LOS ή NLOS επικοινωνίας μεταξύ SM – BS. Η γεωγραφική κάλυψη ευρύτερων περιοχών απαιτεί την εγκατάσταση πολλών σταθμών βάσης αυξάνοντας το κόστος εγκατάστασης του SM δικτύου. Ωστόσο, οι σταθμοί βάσης WiFi που θα εγκατασταθούν για εξυπηρέτηση SM υπηρεσιών μπορούν να μισθωθούν σε τηλεπικοινωνιακούς παρόχους για άλλες υπηρεσίες (π.χ. παροχή διαδικτυακών υπηρεσιών).

Για την επικοινωνία SM – BS χρησιμοποιείται το υπάρχον δίκτυο κινητών επικοινωνιών που οδηγεί σε ελαχιστοποίηση του κόστους εγκατάστασης νέας τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Οι μετρητές επικοινωνούν με το BS μέσω GPRS/ LTE-M/NB-IoT. Οι πραγματικοί ρυθμοί μετάδοσης εξαρτώνται από την τεχνολογία κινητών επικοινωνιών (GPRS/ LTE-M/NB-IoT) που είναι διαθέσιμη στα σημεία εγκατάστασης των μετρητών. Η διαθέσιμη χωρητικότητα στο σημείο εγκατάστασης των SM εξαρτάται κυρίως από την απόσταση του πλησιέστερου σταθμού βάσης και τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Αν και η ακτίνα κάλυψης των κυψελών φθάνει τα 1–2km, το πλήθος των τερματικών που μπορούν να εξυπηρετηθούν εξαρτάται από τον αριθμό των καναλιών κινητής τηλεφωνίας που θα διατεθεί για την επικοινωνία των SM.

6.3.2 ΕΝΣΥΡΜΑΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

Η τεχνολογία PLC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετάδοση πληροφορίας και στις περιοχές μέτριας πυκνότητας δόμησης, ελαχιστοποιώντας το κόστος εγκατάστασης νέας τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Ο συγκεντρωτής PLC μπορεί να τοποθετηθεί:

- ✚ **Στον πλησιέστερο υποσταθμό MT/XT:** Ανάλογα με την ισχύ του κάθε υποσταθμός MT/XT μπορεί να εξυπηρετήσει έως και 350 οικιακές παροχές ηλεκτρικής ενέργειας που είναι ισάριθμες με το πλήθος των προς εξυπηρέτηση μετρητών. Ο συγκεντρωτής μπορεί να υποστηρίξει έως και 1.000 συνδέσεις με τερματικές διατάξεις που χρησιμοποιούν PLC. Η επικοινωνία συγκεντρωτή – MDMS γίνεται με διαφορετική τεχνολογία (π.χ. μέσω GPRS/ LTE-M/NB-IoT).
- ✚ **Στον πλησιέστερο υπαίθριο καταναλωτή (KV) του τηλεφωνικού δικτύου:** Στην περίπτωση αυτή, η επικοινωνία συγκεντρωτή – MDMS γίνεται μέσω DSL ή οπτικών ινών.

Σε περιοχές μέτριας πυκνότητας δόμησης, η αξιοπιστία της μετάδοσης πληροφορίας μέσω PLC είναι μειωμένη λόγω της μεγάλης απόστασης μεταξύ SM και του σημείου εγκατάστασης του συγκεντρωτή, δηλαδή του υποσταθμού MT/XT ή του KV. Η αυξημένη εξασθένηση που επιφέρει ο PLC δίαυλος μετάδοσης υποβαθμίζει την ποιότητα μετάδοσης για εξασφάλιση του QoS. Τέλος, η μετάδοση πληροφορίας μπορεί να γίνει απευθείας μέσω DSL αν είναι δυνατή η άμεση σύνδεση του μετρητή στο τηλεφωνικό δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή, η επικοινωνία SM – MDMS γίνεται χωρίς μεσολάβηση συγκεντρωτή.

6.4 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΙΚΡΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΔΟΜΗΣΗΣ

Οι περιοχές μικρής πυκνότητας δόμησης υποστηρίζονται επιτυχώς μόνο μέσω PLC και GPRS/ LTE-M/NB-IoT τεχνολογιών λόγω έλλειψης DSL τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Η χρήση GPRS/ LTE-M/NB-IoT είναι προτιμότερη λόγω της δυνατότητας απευθείας επικοινωνίας SM – BS. Ωστόσο, η κάλυψη των προς εξυπηρέτηση περιοχών από το δίκτυο κινητών επικοινωνιών δεν είναι πάντοτε επαρκής ή εφικτή.

Μετρητές που βρίσκονται εκτός κάλυψης GPRS/ LTE-M/NB-IoT επικοινωνούν μέσω PLC με το συγκεντρωτή που τοποθετείται στον πλησιέστερο υποσταθμό MT/XT. Στη συνέχεια, ο συγκεντρωτής συνδέεται στο δίκτυο κορμού μέσω της καταλληλότερης διαθέσιμης τεχνολογίας (π.χ. GPRS/ LTE-M/NB-IoT) [39].

Είδος περιοχής	Ασύρματη τεχνολογία		Ενσύρματη τεχνολογία	
Υψηλής Πυκνότητας Δόμησης	ZigBee ή 6LoWPAN	Τοπολογία πλέγματος	PLC (συγκεντρωτής στην ταράτσα)	Τοπολογία αστέρα ή δένδρου
	WiFi (εσωτερικού χώρου)	Τοπολογία αστέρα	DSL	Τοπολογία αστέρα
Μέτριας Πυκνότητας Δόμησης	GPRS/4G	Τοπολογία αστέρα	PLC (συγκεντρωτής σε υποσταθμόΧΤ/ΜΤ ή ΚV)	Συνδυασμό τοπολογίας αστέρα – διαύλου
	WiFi (εξωτερικού χώρου)	Τοπολογία αστέρα	DSL	Τοπολογία αστέρα
Μικρής Πυκνότητας Δόμησης	GPRS/4G	Τοπολογία αστέρα	PLC (συγκεντρωτήςσε υποσταθμόΧΤ/ΜΤ)	Συνδυασμός τοπολογίας αστέρα – διαύλου

Πίνακας 6.3: Κατάλληλες τεχνολογίες πρόσβασης για το δίκτυο SM κατά κατηγορία πυκνότητας δόμησης

6.5 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

Η τηλεπικοινωνιακή διαστασιολόγηση του δικτύου πρόσβασης εξαρτάται από τα τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά των ευφών μετρητών και των συγκεντρωτών. Το πλήθος των τερματικών διατάξεων ανά συγκεντρωτή, ο διαθέσιμος ρυθμός μετάδοσης του συγκεντρωτή και των SM τερματικών, ο όγκος πληροφορίας που διακινείται μεταξύ SM και συγκεντρωτών, καθώς και το μέγεθος του ενταμιευτή (buffer) του συγκεντρωτή αποτελούν παράγοντες καθοριστικής σημασίας για τον προσδιορισμό των τηλεπικοινωνιακών μεγεθών του δικτύου πρόσβασης. Η πληθυσμιακή πυκνότητα καθορίζει έμμεσα το πλήθος των μετρητών ανά συγκεντρωτή, ενώ η πολεοδομική κατάσταση και το ανάγλυφο του εδάφους επηρεάζουν το περιβάλλον διάδοσης και, κατ' επέκταση, την επιλογή της τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας. Όλοι οι ανωτέρω παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη ώστε διαστασιολογηθεί σωστά το δίκτυο πρόσβασης. Το ότι δεν υπάρχει πάντα μονοσήμαντη τηλεπικοινωνιακή επιλογή για την εξυπηρέτηση των διαφόρων περιοχών περιπλέκει την ανάλυση αλλά προσφέρει εναλλακτικές προσεγγίσεις για την επίλυση του προβλήματος.

6.5.1 ΣΗΜΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕΤΡΗΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΩΝ

Με βάση τη Διακήρυξη, τα σημεία εγκατάστασης των ευφυών μετρητών ταυτίζονται με τα σημεία εγκατάστασης των συμβατικών μετρητών. Συνεπώς, οι ευφυείς μετρητές θα εγκατασταθούν είτε σε κάποιο εξωτερικό σημείο είτε στον υπόγειο χώρο των κτιρίων. Κάθε μετρητής επικοινωνεί με το κέντρο διαχείρισης μέσω PLC ή GRPS/ LTE-M/NB-IoT τεχνολογίας. Στην περίπτωση που επιλεγεί η GRPS/ LTE-M/NB-IoT τεχνολογία η επικοινωνία SM – MDMS είναι άμεση ενώ στην περίπτωση που επιλεγεί η PLC τεχνολογία μεσολαβεί συγκεντρωτής. Ο συγκεντρωτής εγκαθίσταται στον πλησιέστερο υποσταθμό MT/XT, συγκεντρώνει τα δεδομένα των SM τερματικών και τα αποστέλλει στο κέντρο διαχείρισης.

6.5.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΔΙΑΚΙΝΟΥΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

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

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

Τα πακέτα πληροφορίας που εμπεριέχουν τις μετρήσεις των ανωτέρων ηλεκτρικών μεγεθών πρέπει να πλαισιώνονται από πληροφορίες σχετικές με την ταυτότητα και τη θέση του μετρητή, καθώς και την ακριβή ώρα καταγραφής κάθε μέτρησης. Η αποστολή δεδομένων από τους SM πραγματοποιείται περιοδικά ανά 15 λεπτά. Τα ηλεκτρικά μεγέθη δειγματοληπτούνται συνεχώς και οι μετρήσεις αποθηκεύονται στους μετρητές μέχρι να αποσταλούν στον αρμόδιο συγκεντρωτή. Στην περίπτωση επικοινωνίας μέσω GPRS/ LTE-M/NB-IoT, οι μετρητές αποστέλλουν τα δεδομένα τους μια φορά ανά 24 ώρες απευθείας στο MDMS μέσω του δικτύου κινητών επικοινωνιών. Ο όγκος της πληροφορίας κυμαίνεται από μερικές δεκάδες ως εκατοντάδες bytes[57]. Η περιγραφή κάθε μετρούμενου ηλεκτρικού μεγέθους απαιτεί 4 bytes [56].

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

Πίνακας 6.4: Bytes ανά ηλεκτρικό μέγεθος

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

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

$$P_{PLC} = \text{Επικεφαλίδα} + \text{Δεδομένα} + \text{Κωδικοποίηση} + \text{Padding} \quad (6.1)$$

$$P_{PLC} = 50 + 40 + 22 + 16 = 128 \text{ bytes} \quad (6.2)$$

Στα 128 bytes έχει συμπεριληφθεί και ένα μικρό περιθώριο (padding) 16 bytes για ενδεχόμενη πλεονάζουσα πληροφορία επικεφαλίδας και ασφάλειας. Μηνύματα λαθών και απομακρυσμένων εντολών σύνδεσης/αποσύνδεσης έχουν μικρότερο όγκο πληροφορίας και πλαισιώνονται σε μικρότερα πακέτα. Στον Πίνακα 6.5 παρουσιάζονται ορισμένα πρωτόκολλα για PLC επικοινωνίες, καθώς και οι φορείς που τα χρησιμοποιούν. Το μέγιστο μέγεθος πακέτου των 128 bytes και ο ελάχιστος ρυθμός μετάδοσης των 4.8kbps που επιβάλλει η Διακήρυξη του Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Ενέργειας υποστηρίζονται επιτυχώς από όλα τα PLC πρωτόκολλα του Πίνακα 6.5 [58].

Πρότυπο PLC τεχνολογίας	(Μέγιστος) Ρυθμός μετάδοσης	Είδος διαμόρφωσης	Φορείς χρησιμοποίησης
PLC G3	33.4kbps	OFDM	Erd
PRIME	128kbps	OFDM	Iberdrola
Meters & More	9.6kbps	BPSK	Enel
PLC OSGP	5kbps	BPSK	Esna – Echelon

Πίνακας 6.5: PLC τεχνολογίες

✚ Κάθε GPRS μετρητής αποθηκεύει τις ημερήσιες μετρήσεις (ανά 15 λεπτά, δηλαδή

96 φορές ανά ημέρα) και τις αποστέλλει μια φορά ανά ημέρα στο MDMS. Επομένως, ο συνολικός όγκος δεδομένων ενός GPRS μετρητή είναι:

$$P_{GPRS} = \text{Επικεφαλίδα} + \text{Δεδομένα ανά 15 λεπτά} \cdot 96 \text{ φορές ανά ημέρα} + \text{Κωδικοποίηση} \quad (6.3)$$

$$P_{GPRS} = \text{Επικεφαλίδα} + 40 \cdot 96 + \text{Κωδικοποίηση} = 4kB(\text{περίπου}) \quad (6.4)$$

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

6.5.3 ΧΡΟΝΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

Στον Πίνακα 6.7 συνοψίζονται τα τηλεπικοινωνιακά μεγέθη που εμφανίζονται στην ανάλυση που ακολουθεί.

Σύμβολο	Μέγεθος
ϵ	Συνολικό πλήθος SM του NAN
T	Περίοδος συγκεντρώσης μετρήσεων από το συγκεντρωτή
k	Πλήθος αναχωρήσεων από τον υποσταθμό MT/XT
i	Μήκος γραμμής μεταφοράς
n_i	Πλήθος SM ανά αναχώρηση (γραμμή XT)

t_i	Διαθέσιμο χρονικό διάστημα ανά αναχώρηση προς αποστολή δεδομένων
t_M	Χρόνος μετάδοσης πληροφορίας από SM στο συγκεντρωτή
t_{SM}	Μέγιστο διαθέσιμο χρονικό διάστημα ανά SM προς αποστολή δεδομένων
R	Ρυθμός μετάδοσης SM
P	Όγκος πληροφορίας ανά SM ανά T

Πίνακας 6.6: Αντιστοιχία συμβόλων και τηλεπικοινωνιακών μεγεθών

Κάθε SM δίκτυο NAN δομείται γύρω από το συγκεντρωτή που τοποθετείται στον υποσταθμό MT/XT και συντονίζει N_t t μετρητές. Δεδομένου ότι το πλήθος των μετρητών είναι ίσο προς το πλήθος των παροχών ηλεκτρικής ενέργειας του υποσταθμού ισχύει

$$N_t \leq 350 \quad (6.5)$$

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

$$N_t = \sum_{i=1}^k n_i \leq 350 \quad (6.6)$$

Ο ρυθμός μετάδοσης κάθε μετρητή προδιαγράφεται από τη Διακήρυξη του Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Ενέργειας ίσος με

$$R_{SM}=4.8\text{kbps} \quad (6.7)$$

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

$$T=15*60=900\text{sec} \quad (6.8)$$

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

$$T=\sum_{i=1}^k t_i \quad (6.9)$$

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

$$t_i = n_i \frac{900}{350} \quad (6.10)$$

Η σχέση (6.6) αποδίδει το συνολικό χρόνο που ανατίθεται σε κάθε αναχώρηση του υποσταθμού ΜΤ/ΧΤ προκειμένου να μεταδώσουν τις μετρήσεις τους οι n_i SM διατάξεις που είναι συνδεδεμένες στην εκάστοτε γραμμή ΧΤ.

6.5.3.1 ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΤΟ ΚΟΙΝΟ ΜΕΣΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΜΕΣΩ TDMA

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

$$t_{SM} = \frac{t_i}{n_i} \quad (6.11)$$

Ο χρόνος μετάδοσης των δεδομένων κάθε μετρητή συνδέεται με τον όγκο πληροφορίας P

(σε bits) και το ρυθμό μετάδοσης του μετρητή R_{SM} μέσω της σχέσης

$$t_{d,TDMA} = \frac{P}{R_{SM}} \quad (6.12)$$

Προκειμένου να είναι επιτυχής η μετάδοση δεδομένων πρέπει να ισχύει

$$t_{SM} \geq t_{d,TDMA} \quad (6.13)$$

Η τελευταία σχέση εξασφαλίζει την επιτυχή μετάδοση του συνολικού όγκου δεδομένων με ρυθμό μετάδοσης R_{SM} . Δεδομένου ότι $\bar{k} = 7$ και $\bar{n} = 50$, προκύπτουν κατά σειρά:

$$t_i = 50 \cdot \frac{900}{350} \cong 128s \quad (6.14)$$

$$t_{SM} = \frac{t_i}{n} = \frac{128}{50} \cong 2.56s \quad (6.15)$$

Επειδή πρέπει

$$t_{SM} \geq t_{d,TDMA} = \frac{P}{R_{SM}} \quad (6.16)$$

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

$$P_{max}=t_{SM} * R_{SM} \Rightarrow P_{max}=1536 \text{ bytes} \quad (6.17)$$

6.5.3.2 ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΤΟ ΚΟΙΝΟ ΜΕΣΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΜΕΣΩ CSMA/CD

Το CSMA/CD είναι ένα πρωτόκολλο τυχαίας πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης και η λειτουργία του αναλύεται στο παράρτημα . Η ανάγκη ταχείας ανίχνευσης των συγκρούσεων προς ελαχιστοποίηση του μέσου χρόνου μετάδοσης πακέτων και μεγιστοποίηση της διέλευσης απαιτεί μια ελάχιστη τιμή στο μέγεθος πακέτου. Το ελάχιστο μέγεθος πακέτου εξαρτάται από το μέγιστο μήκος του κοινού διαύλου μετάδοσης (γραμμή ΧΤ) και από την ταχύτητα διάδοσης του φωτός ($2 \cdot 10^8$ /s για γραμμές μεταφοράς ΧΤ) και ορίζεται μέσω της σχέσης

$$P_{min} \text{ (bits)} = 2 * t_{prop} * R = 2 * \frac{L_{max}}{C_{wired}} * R_{SM} = 2 * \frac{1000}{2 * 10^8} * 4.8 * 10^3 \ll 1 \quad (6.18)$$

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

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

$$t_{d,CSMA/CD} = \frac{P}{R_{SM}} + e * 2 * t_{prop} = \frac{P}{R_{SM}} + e * 2 * \frac{L_{max}}{C_{wired}} \quad (6.19)$$

πρέπει να ισχύει όμως και :

$$t_{SM} \geq t_{d,CSMA/CD} \quad (6.20)$$

Οι χρονικές διάρκειες που περιγράφονται στις $t_{d,CSMA/CD}$ και $t_{d,TDMA}$ και αφορούν το συνολικό χρόνο μετάδοσης πληροφορίας μεταξύ SM και συγκεντρωτή διαφέρουν κατά τον όρο:

$$e*2*\frac{L_i}{C_{wired}} \quad (6.21)$$

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

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

$$t_i = n_i * t_{d,CSMA/CD} \quad (6.22)$$

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

Στην παράγραφο 6.5.2, ο συνολικός όγκος πληροφορίας που μεταδίδεται μεταξύ SM και συγκεντρωτή ανά 15 λεπτά βρέθηκε ίσος με 128 bytes. Τα πρωτόκολλα PLC G3 και PRIME χρησιμοποιούν μέγιστο μήκος πακέτου ίσο με 235 και 377 bytes αντίστοιχα . Συνεπώς, κατά περίπτωση αρκεί μόνο ένα πακέτο των 128 bytes για τη μετάδοση της πληροφορίας.

Προκύπτουν κατά σειρά:

$$t_{d,TDMA} = \frac{P}{R_{SM}} = \frac{128*8}{4.8*10^3} \cong 0.22\text{sec} \quad (6.23)$$

$$t_{d,CSMA/CD} = \frac{P}{R_{SM}} + e*2*\frac{L_i}{C_{wired}} \quad (6.24)$$

Δεδομένου ότι για $500 \leq L_i \leq 1.000$

$$e*2*\frac{L_i}{C_{wired}} \cong 10^{-5} \rightarrow 0 \quad (6.25)$$

Προκύπτει:

$$t_{d,CSMA/CD} \cong t_{d,TDMA} \quad (6.26)$$

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

$$t_{SM} \geq t_{d,TDMA} \quad (6.27)$$

Ωστόσο, ο συνολικός χρόνος μετάδοσης δεδομένων είναι μεγαλύτερος, καθώς προστίθεται ο χρόνος εγκατάστασης/τερματισμού των συνδέσεων και επεξεργασίας των μηνυμάτων σηματοδότησης μεταξύ μετρητών και συγκεντρωτή. Σε κάθε περίπτωση, ο συνολικός χρόνος μετάδοσης παραμένει μικρός καθώς οι πρόσθετες αυτές καθυστερήσεις είναι μικρές και δεν επιβαρύνουν σημαντικά το PLC δίκτυο. Η μετάδοση δεδομένων ολοκληρώνεται σε χρονικό διάστημα πολύ μικρότερο των 15 λεπτών, επιτρέποντας, όταν αυτό χρειάζεται ή ζητείται, την ενδιάμεση ανταλλαγή μηνυμάτων ελέγχου από το MDMS, μηνυμάτων σφαλμάτων κτλ. Για παράδειγμα, υποθέτοντας $t_{d,tota} = 1 \text{ sec}$ (αύξηση του $t_{d,TDMA}$ κατά 350%) η αποστολή των δεδομένων τηλεμέτρησης όλων των SM διαρκεί 350 sec, αφήνοντας 550sec (9 λεπτά) διαθέσιμα σε λοιπές υπηρεσίες.

6.5.4 ΔΙΚΤΥΑ ΣΕΜ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΕΝΣΥΡΜΑΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Η PLC τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για μετρητές εσωτερικού χώρου (συνήθως σε υπόγειους χώρους), όσο και μετρητές εξωτερικού χώρου. Οι μετρητές που επικοινωνούν με PLC τεχνολογία αποστέλλουν δεδομένα στο συγκεντρωτή που βρίσκεται στον πλησιέστερο υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ. Η ισχύς των μετασχηματιστών ΜΤ/ΧΤ κυμαίνεται μεταξύ 25 – 1000kVA και καθορίζει το πλήθος των εξυπηρετούμενων παροχών ηλεκτρικής ενέργειας. Στα αστικά κέντρα, οι συνήθεις τιμές ισχύος είναι 400, 630 και σπανιότερα 1.000kVA. Υποσταθμοί μεγάλης ισχύος (1000kVA) υποστηρίζουν μέχρι 350 οικιακές παροχές. Το πλήθος των παροχών ηλεκτρικής ενέργειας που εξυπηρετούνται από ένα υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ είναι ίσο με το πλήθος των μετρητών που οφείλουν να υποστηρίζουν οι αντίστοιχοι συγκεντρωτές.

Κάθε υποσταθμός μπορεί να έχει από 1 έως 12 αναχωρήσεις (γραμμές) ΧΤ μήκους 200 – 500m (θεωρητικό μέγιστο 1.200m). Οι μετρήσεις των SM διαβιβάζονται στο συγκεντρωτή μέσω των γραμμών ΧΤ. Το πλήθος μετρητών που μπορεί να υποστηρίξει κάθε συγκεντρωτής εξαρτάται και από τον όγκο πληροφορίας που αποστέλλουν οι μετρητές και το μέγεθος του ενταμιευτή του (buffer size). Συγκεντρωτές του εμπορίου υποστηρίζουν επιτυχώς 1.000 (μέγιστο 2.000 κόμβους). Οι συγκεντρωτές συλλέγουν

δεδομένα ανά 15 λεπτά από κάθε μετρητή και τα αποθηκεύουν προσωρινά. Η αποτελεσματικότητα της αποθήκευσης καθορίζεται από το μέγεθος των ενταμιευτών σε σχέση με το πλήθος των μετρητών και τον όγκο πληροφορίας που αποστέλλει κάθε μετρητής. Η αποστολή των συνολικών δεδομένων από τους συγκεντρωτές στο MDMS πραγματοποιείται μια φορά ανά ημέρα μέσω GPRS/ LTE-M/NB-IoT τεχνολογίας.

Πολεοδομική πυκνότητα	Παροχές ΧΤ ανά υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ
Υψηλή	150 – 350
Μέτρια	80 – 150
Χαμηλή	< 80

Πίνακας 6.7: Ενεργειακές παροχές ΧΤ ανά υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ συναρτήσει της πολεοδομικής πυκνότητας

Η εγκατάσταση των συγκεντρωτών στους υποσταθμούς ΜΤ/ΧΤ πρέπει να εξασφαλίζει τη μετάδοση των SM δεδομένων προς το MDMS ακόμα και σε περίπτωση διακοπής λειτουργίας κάποιου μετασχηματιστή ΜΤ/ΧΤ λόγω βλάβης ή συντήρησης, οπότε η ηλεκτροδότηση των αποκομμένων καταναλώσεων πραγματοποιείται μέσω γειτονικού υποσταθμού (βλ. σχ.5.2). Οι ενεργειακοί πόροι του μετασχηματιστή και οι τηλεπικοινωνιακοί πόροι του συγκεντρωτή διαμοιράζονται σε όλες τις νέες παροχές που καλείται να εξυπηρετήσει ο γειτονικός υποσταθμός. Ο συγκεντρωτής του γειτονικού υποσταθμού συντονίζει πλέον όλους τους μετρητές. Το αυξημένο πλήθος μετρητών που καλείται να υποστηρίξει προσωρινά ένας υποσταθμός πρέπει να είναι μικρότερο της δυναμικότητας του συγκεντρωτή που είναι συνήθως 1.000 μετρητές.

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

6.5.5 Δίκτυα ΣΕΜ πρόσβασης ασύρματης τεχνολογίας

Η επικοινωνία SM – MDMS γίνεται άμεσα, χωρίς τη μεσολάβηση συγκεντρωτή και με χρήστης βέλτιστης διαθέσιμης τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας μεταξύ GPRS και 4G. Δεδομένου ότι τα σημεία εγκατάστασης των μετρητών μπορεί να βρίσκονται ή εντός ή εκτός κάλυψης του δικτύου κινητών επικοινωνιών, διακρίνονται δύο περιπτώσεις:

1. Υπάρχει διαθεσιμότητα GPRS/LTE-M/NB-IoT τεχνολογίας στο σημείο εγκατάστασης των SM:

Οι ανωτέρω ασύρματες τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας από τους SM άμεσα. Κάθε μετρητής λειτουργεί ανεξάρτητα και αποστέλλει στο MDMS μια φορά ανά 24 ώρες τα δεδομένα που καταγράφει. Κάθε μετρητής μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά τόσο με GPRS όσο και με LTE-M,NB-IoT, επιλέγοντας τη βέλτιστη διαθέσιμη.

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

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

6.6 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Η διαστασιολόγηση του δικτύου πρόσβασης όταν χρησιμοποιείται ασύρματη τεχνολογία διαφέρει από την αντίστοιχη διαστασιολόγηση όταν χρησιμοποιείται η PLC τεχνολογία. Η σημαντικότερη διαφορά εντοπίζεται στο ότι στην περίπτωση ασύρματης τεχνολογίας η αποστολή δεδομένων τηλεμέτρησης μεταξύ SM – MDMS γίνεται μια φορά ανά 24 ώρες. Συνεπώς, για την αποθήκευση των ημερήσιων μετρήσεων, κάθε μετρητής που επικοινωνεί μέσω GPRS/ LTE-M/NB-IoT απαιτεί μεγαλύτερο μέγεθος ενταμιευτή σε σχέση με τους μετρητές που επικοινωνούν μέσω PLC. Λόγω της διαφοροποίησης που αναφέρθηκε στην παράγραφο 6.5.5., ο όγκος της προς μετάδοσης πληροφορίας εμφανίζει διαφοροποιήσεις αφού υπάρχουν μετρητές που μεταδίδουν μόνο τις δικές τους μετρήσεις και μετρητές που, εκτός από τις δικές τους, μεταδίδουν και μετρήσεις γειτονικών SM. Επομένως, διακρίνονται δύο περιπτώσεις, αντίστοιχες προς την κατηγοριοποίηση της παραγράφου 6.5.5 με όγκους πληροφορίας:

✚ P_{SM} : ημερήσιος όγκος πληροφορίας συνήθους μετρητή που αποστέλλει μόνο δικές του μετρήσεις

✚ $P_{SM(n)}$: ημερήσιος όγκος πληροφορίας ενός κύριου μετρητή με n εξαρτημένους μετρητές

6.6.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΖΗΤΟΥΜΕΝΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕΣΩ GPRS

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

$$t_{SM,GPRS} = \frac{P_{SM}}{R_{GPRS}} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 8}{40 \cdot 10^3} = 0.8s \quad (6.28)$$

Ωστόσο, ο χρόνος εγκατάστασης/τερματισμού μιας GPRS σύνδεσης αυξάνει σημαντικά τη συνολική διάρκεια αποστολής δεδομένων τηλεμέτρησης που κυμαίνεται μεταξύ 25 – 50 sec και μάλιστα όταν ο χρόνος μετάδοσης δεδομένων είναι μόλις 0.8 sec [58].

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

$$T_{collection} = 8 \cdot 60 \cdot 60 = 28800 \text{ sec} \quad (6.29)$$

Αναφέρθηκε ήδη ότι, στην πράξη, χρησιμοποιούνται 2 χρονοσχισμές ανά SM με ρυθμό μετάδοσης ίσο με 40kbps. Δεδομένου ότι κάθε ραδιοδιάυλος διαθέτει 8

χρονοσχισμές, επιτρέπεται η ταυτόχρονη μετάδοση μέχρι και 3 SM, υποθέτοντας ότι μια εκ των οκτώ χρονοσχισμών χρησιμοποιείται για σηματοδότηση από το δίκτυο κινητών επικοινωνιών. Το πλήθος των SM που μπορούν να εξυπηρετηθούν κατά τη διάρκεια απομάστευσης ισούται με:

$$N_{SM} = \frac{T_{collection} * N_{συν}}{T_{GPRS}} \quad (6.30)$$

όπου T_{GPRS} η συνολική διάρκεια μιας GPRS συνεδρίας (Χρονική διάρκεια εγκατάσταση/τερματισμού GPRS σύνδεσης και διάρκεια αποστολής δεδομένων) και $N_{συν} = 3$ το πλήθος των ταυτοχρόνως υποστηριζόμενων τερματικών ανά ραδιοδιάυλο σε μια GPRS κυψέλη. Συνεπώς:

$$N_{SM} = \begin{cases} \frac{28800 * 3}{25} = 3400 \text{ για } T_{GPRS} = 25s \\ \frac{28800 * 3}{50} = 1700 \text{ για } T_{GPRS} = 50s \end{cases} \quad (6.31)$$

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

Λαμβάνοντας υπόψη τον Πίνακα 6.1 και τα αποτελέσματα της σχέσης (6.31) προκύπτει ότι μια GPRS κυψέλη μπορεί να υποστηρίξει όλα τα είδη των υποψήφιων αντιπροσωπευτικών περιοχών εξυπηρέτησης. Η εξυπηρέτηση είναι οριακή για αστικές περιοχές που χαρακτηρίζονται από μεγάλη διάρκεια GPRS συνεδρίας. Η διάρκεια αυτή δεν μπορεί να προσδιοριστεί μονοσήμαντα, καθώς ποικίλλει και εξαρτάται από το τηλεπικοινωνιακό φορτίο του δικτύου κινητών επικοινωνιών, ενώ αποτελεί καθοριστικό παράγοντα περιορισμού του πλήθους των υποστηριζόμενων τερματικών σε μία GPRS κυψέλη βάσει της (6.30). Η περίπτωση των ανεξάρτητων GPRS μετρητών είναι η πλέον επιβαρυνόμενη χρονικά εκ των δύο περιπτώσεων της παραγράφου 6.5.5, καθώς απαιτούνται τόσες GPRS συνεδρίες όσοι και οι ανεξάρτητοι SM. Ο όγκος πληροφορίας αυξάνεται στην περίπτωση κυρίων μετρητών, δεν υπάρχει, όμως, ανάγκη επικοινωνίας των εξαρτημένων μετρητών. Συνεπώς, η ανάλυση που προηγήθηκε αποτελεί το χειρότερο δυνατό σενάριο και τα αποτελέσματα καλύπτουν και τις δύο περιπτώσεις της παρ. 6.5.5.

6.6.2 ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΣΩ GPRS

Η GPRS τεχνολογία χαρακτηρίζεται από μεγάλο ποσοστό κάλυψης. Κάθε ραδιοδιάυλος εύρους ζώνης 200kHz χωρίζεται σε 8 χρονοσχισμές προκειμένου να εξυπηρετηθούν έως 8 χρήστες ανά ραδιοδιάυλο μέσω TDMA. Ο ρυθμός μετάδοσης κάθε χρονοσχισμής είναι 21.525kbps. Συνεπώς, ο μέγιστος θεωρητικός ρυθμός

μετάδοσης ισούται με 172.2kbps και απαιτεί τη χρήση και των 8 διαθέσιμων χρονοσχισμών . Ωστόσο, Στην πράξη, οι ρυθμοί μετάδοσης για uplink και downlink ζεύξεις περιορίζονται σε $R = 40\text{ kbps}$ καταλαμβάνοντας 2 χρονοσχισμές ενός ραδιοδιαύλου προκειμένου να αυξηθεί το πλήθος των χρηστών ανά κυψέλη . Η συνολική χωρητικότητα ενός GPRS δικτύου μετάδοσης SM δεδομένων εξαρτάται από το πλήθος των χρονοσχισμών που θα δεσμευτούν για αποκλειστική αποστολή δεδομένων μέσω GPRS. Η απομάστευση της πληροφορίας των GPRS μετρητών γίνεται μεταξύ 00:00 – 08:00, χρονικό διάστημα κατά το οποίο το φορτίο τηλεπικοινωνιακής κίνησης για εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας είναι χαμηλό. Κατά το διάστημα αυτό προσφέρεται η δυνατότητα καλύτερης εξυπηρέτησης της αποστολής δεδομένων τηλεμέτρησης, αφού, τότε, είναι διαθέσιμες περισσότερες χρονοσχιμές προς αύξηση του ρυθμού μετάδοσης.

$$t_{SM,GPRS} = \frac{P_{SM}}{R_{GPRS}} \text{ ή } t_{SM,GPRS} = \frac{P_{SM(n)}}{R_{GPRS}} \quad (6.32)$$

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

Οι ανεξάρτητοι μετρητές αποστέλλουν μόνο τα δικά τους δεδομένα και χαρακτηρίζονται από μικρότερο όγκο κίνησης σε σχέση με τους κύριους μετρητές. Συνεπώς, η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ ανεξάρτητων μετρητών και MDMS μπορεί να γίνει αξιόπιστα ακόμα και με τους χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης που προσφέρει η GPRS τεχνολογία. Αντιθέτως, σε περιπτώσεις μετάδοσης μεγάλου όγκου πληροφορίας, αντί του απλού GPRS, πρέπει να χρησιμοποιείται η 4G τεχνολογία.[39].

6.7 ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΣΩ LTE-M/NB-IOT

Η 3GPP έκδοση 13 για βελτιωμένες επικοινωνίες τύπου μηχανής (eMTC) περιλαμβάνει τόσο την κατηγορία LTE M1 (LTE CatM1 που ονομάζεται επίσης LTE-M) όσο και το IoT στενής ζώνης (NB-IoT). Τα MCL που καθορίζονται από το 3GPP για αυτές τις τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών 4G είναι 160,7 dB (LTE-M) και 164 dB (NB-IoT). Σε ορισμένες περιπτώσεις χρήσης 5G, οι απαιτήσεις για NB-IoT και/ή LTE-M μπορεί να περιλαμβάνουν MCL 164 dB και υποστήριξη για πυκνότητα σύνδεσης 1.000.000 συσκευών ανά km², αλλά αυτό ποικίλλει ανάλογα με συγκεκριμένα σενάρια και περιπτώσεις χρήσης. Έτσι, σύμφωνα με αυτά τα MCL, το NB-IoT και το LTE-M έχουν το ίδιο βάθος διείσδυσης για τα πρότυπα 5G. Για τα πρότυπα 4G, το LTE-M υπολείπεται του NB-IoT κατά 3,3 dB (160,7 dB), που σημαίνει ότι το NB-IoT μπορεί να έχει καλύτερο βάθος διείσδυσης από το LTE-M σε δίκτυα τηλεπικοινωνιών 4G [60].

Radio Access Technology	Maximum Coupling Loss (MCL) in dB
E-GPRS	~ 164 dB
LTE	~ 144 dB
LTE-M or Cat-M1	~ 160 dB
LTE-NB or NB-IoT	~ 164 dB
SIGFOX	~ 162 dB
LORA	~ 157 dB

Πίνακας 6.8: σύγκριση τεχνολογιών και MCL

6.8 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (RADIO DESIGN) ΤΟΥ NB-IOT

Οι κυψελοειδείς τεχνολογίες που εισήχθησαν από το 3rd Generation Partnership Project (3GPP), δηλαδή, Narrowband-IoT (NB-IoT) και LTE Cat-M, έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να επιτρέπουν την masive Machine-Type Communication (mMTC). Οι έξυπνοι μετρητές απαιτούν να έχουν μόνιμη σύνδεση με το κυψελοειδές δίκτυο, που λειτουργεί σε κατάσταση RRC, και να επικοινωνεί με τους μετρητές σε τακτά χρονικά διαστήματα. Αυτή η συμπεριφορά οδηγεί σε μαζικές αφίξεις, αυξάνοντας δραστικά την καθυστέρηση και ταυτόχρονα ξεφεύγει από τις απαιτήσεις mMTC του 5G-IoT που ορίζονται στο ITU-R M.2410, π.χ. 1000000 συσκευές /km² με συχνότητα μετάδοσης δεδομένων ενός πακέτου ανά δύο ώρες με λιγότερο από 10 % απώλειες. Επιπλέον, υπάρχουν αυστηροί κανόνες σχετικά με τον μέγιστο χρόνο πρόσβασης στους έξυπνους μετρητές, π.χ., σε περίπτωση συσκότισης, όλοι οι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας υποτίθεται ότι θα είναι ξανά online εντός 15 λεπτών. Το NB-IoT έχει σχεδιαστεί ειδικά για να πληρεί τις απαιτήσεις LPWAN για εκτεταμένη κάλυψη έως 1.64 dB (+20 dB σε σχέση με παλαιού τύπου συστήματα Long-Term Evolution (LTE)), παρατεταμένη διάρκεια ζωής μπαταρίας άνω των δέκα ετών και καθυστέρηση επικοινωνίας κάτω από 10 δευτερόλεπτα. Επειδή το σημαντικό μέρος του NB-IoT βασίζεται στο LTE, μπορεί να αναπτυχθεί στην ίδια ζώνη με το παλαιού τύπου LTE, καταλαμβάνοντας ένα τμήμα φάσματος 180 kHz (που αντιστοιχεί σε ένα μπλοκ φυσικών πόρων (PRB)) (Physical Resource Block) σε λειτουργία εντός ζώνης.

Οι μεταδόσεις ανερχόμενης ζεύξης που υποστηρίζονται από ένα κοινόχρηστο κανάλι φυσικής ανοδικής ζεύξης στενής ζώνης (NPUSCH) μπορούν να χρησιμοποιούν έως και 128 επαναλήψεις. Το NPUSCH μπορεί να χρησιμοποιήσει απόσταση 3,75 ή 15 kHz με $\pi/2$ -BPSK ή $\pi/4$ -με διαμορφωση QPSK για μείωση του Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) στη λειτουργία ενός τόνου.

Διαφορετικά, χρησιμοποιείται απόσταση 15 kHz με διαμόρφωση QPSK σε λειτουργία πολλαπλών τόνων. Το NPUSCH επιτρέπει επιπλέον έως και 1000 bit Transport Block (TB) στην Έκδοση 13 και έως 2536 bit στην Έκδοση 14. Επιπλέον, το NPUSCH χρησιμοποιεί ένα Σήμα αναφοράς αποδιαμόρφωσης (DMRS) αφιερωμένο στην εκτίμηση καναλιού στον τομέα συχνότητας. Ακολουθεί μια περίληψη για τα διαφορετικά κανάλια και σήματα για uplink (UL) και downlink (DL) που χρησιμοποιούνται από το NB-IoT [62][63].

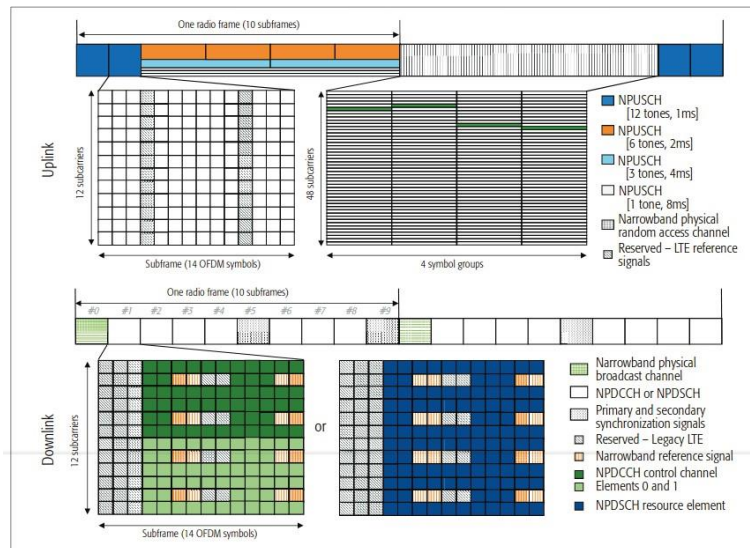
Channel		Usage	
Uplink	NarrowBand Physical Uplink Shared Channel (NPUSCH)	Uplink dedicated data	Η δημιουργία του συγκεκριμένου καναλιού έχει γίνει με στόχο της μετάδοσης δεδομένων. Επίσης κάνοντας χρήση της HARQ (Hybrid Automatic Repeated Request) που πρόκειται για έναν συνδυασμό ελέγχου σφαλμάτων στέλνει μηνύματα Ack/Nack. Χαρακτηρίζεται για το εύρος της κάλυψης καθώς και τη διάρκεια ζωής τη μπαταρίας.
	NarrowBand Physical Random Access Channel (NPRACH)	Random Access	Με τον όρο NPRACH εννοούμε την διαδικασία που επιτρέπει στον χρήστη να πραγματοποιήσει σύνδεση με το eNodeB. Αρχικά γίνεται ο συγχρονισμός του σήματος εκπομπής κυψέλης και όταν φτάσει στο στάδιο λήψης των πληροφοριών διαμόρφωσης κυψέλης μεταδίδεται το σήμα NPRACH μέσω του UE. Το χαρακτηριστικό αυτής της διαδικασίας είναι ότι αποφεύγεται η παρεμβολή μεταξύ των χρηστών.
Downlink	NarrowBand Physical Downlink Shared Channel (NPDSCH)	Downlink Dedicated And Common Data	Το συγκεκριμένο κανάλι αποτελεί το βασικό κανάλι κατερχόμενης ζεύξης. Η χρήση του καναλιού NPDSCH έχει ως στόχο την υλοποίηση της μεταφοράς των δεδομένων του χρήστη στο UE. Ο ρόλος του συγκεκριμένου καναλιού είναι να υλοποιεί την μεταφορά του DL-SCH και του PCH για τους UEs του NB-IoT. Επιπλέον για το κανάλι NPDSCH ορίζονται τα 680 bits ως το μέγιστο μέγεθος μπλοκ μεταφοράς.
	NarrowBand Physical Downlink Control Channel (NPDCCH)	Uplink and Downlink scheduling information	Το συγκεκριμένο κανάλι έχει δημιουργηθεί με σκοπό την μεταφορά πληροφοριών για τον έλεγχο της κατερχόμενης ζεύξης. Τέτοιες πληροφορίες αφορούν τον UE που εκπέμπει το κανάλι NPDSCH, με ποια συχνότητα μεταδίδεται καθώς και τον χρόνο μετάδοσης. Επίσης το κανάλι NPDCCH περιλαμβάνει και τον DCI (δείκτη ελέγχου Downlink). Ο DCI αποσκοπεί στην μεταφορά των πληροφοριών κατερχόμενης και ανερχόμενης ζεύξης που αφορούν την κατανομή των πόρων.

	NarrowBand Physical Broadcast Channel (NPBCH)	Master Information for system access	Πρόκειται για το βασικό κανάλι που είναι υπεύθυνο για την αποστολή των πληροφοριών στον εξοπλισμό του χρήστη. Το κανάλι NPBCH είναι υπεύθυνο για το MIB (Master Information Block). Πρόκειται για ένα μπλοκ πληροφοριών δικτύου που αναλύει την παραμετροποίηση του δικτύου. Τέλος, χάρις το MIB επιτυγχάνεται η σύνδεση με τον eNodeB.
	NarrowBand Synchronization Signal (NPSS/NSSS)	Time and frequency Synchronization	Το NB-IoT με σκοπό να συγχρονίσει τον χρόνο και την συχνότητα χρησιμοποιεί τρία διαφορετικά σήματα. Συνεπώς έχουμε το πρωτεύον σήμα NPSS (NarrowBand Primary Synchronization Signal), το δευτερεύον σήμα NSSS (NarrowBand Secondary Synchronization Signal) και το σήμα NRS (NarrowBand Reference Signal). Όσον αφορά το σήμα NPSS, με τη χρήση του στοχεύουμε στην αναγνώριση της κυψέλης με σκοπό την επίτευξη της αρχικής σύνδεσης. Από την άλλη το σήμα NSSS είναι υπεύθυνο για την παροχή των πληροφοριών που απαιτούνται για την αποκωδικοποίηση του καναλιού NPBCH.

Πίνακας 6.9: Τα βασικά κανάλια και σήματα ενός δικτύου NB-IoT [62][63]

Σε αντίθεση με την ανερχόμενη ζεύξη που αποτελείται από NPRACH και NPUSCH, η δομή πλαισίου κατερχόμενης ζεύξης αποτελείται από έως και οκτώ διακριτά σήματα/κανάλια και βασίζεται σε απόσταση 15 kHz με διαμόρφωση QPSK με μέγιστο TB 680 bit (έως 2535 bites στην Έκδοση 14). Το σήμα αναφοράς στενής ζώνης (NRS) χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των συνθηκών του καναλιού λήψης που απαιτούνται για μετρήσεις ισχύος και ποιότητας σήματος.

Περαιτέρω, το πρωτεύον σήμα συγχρονισμού στενής ζώνης (NPSS) και το δευτερεύον σήμα συγχρονισμού στενής ζώνης (NSSS) έχουν σχεδιαστεί για να συγχρονίζουν τον Εξοπλισμό Χρήστη (UE) με την κυψέλη NB-IoT. Συγκεκριμένα, επιτρέπουν στο UE να ανιχνεύει την ταυτότητα φυσικής κυψέλης (PCI) χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο συγχρονισμού κατά την αρχική απόκτηση χωρίς τη γνώση του τρόπου ανάπτυξης που βασίζεται σε ένα διάστημα επανάληψης 80 ms σε συγκεκριμένα υποπλάγια [61].



Σχήμα 6.5: παράδειγμα σχεδιασμού ενός υπο πλαισίου NB-IoT [61]

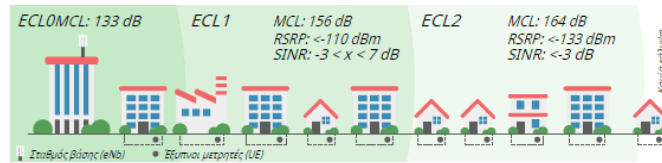
Στη συνέχεια, κάθε 10 ms, το Κύριο Μπλοκ πληροφοριών (MIB) μεταδίδεται μέσω του καναλιού φυσικής εκπομπής στενής ζώνης (NPBCH).

Από την άλλη πλευρά, το σύστημα πληροφοριών μπλοκ (SIB) και οι πληροφορίες UL επιχορήγησης και προγραμματισμού DL μεταφέρονται μέσω ενός καναλιού ελέγχου φυσικής λήψης στενής ζώνης (NPDCCH) με βασικό χρονικό διάστημα μετάδοσης (TTI) 1 ms.

Τέλος, τα πραγματικά δεδομένα unicast από το eNB στο UE μεταδίδονται μέσω ενός Narrowband Physical Downlink Shared Channel (NPDSCH). Τα πακέτα από το ανώτερο στρώμα τμηματοποιούνται σε ένα ή περισσότερα TB και αποστέλλονται ένα προς ένα.

A. Επίπεδα Ενίσχυσης Κάλυψης

Η κύρια ιδέα πίσω από την εκτεταμένη κάλυψη βρίσκεται στις επαναλήψεις. Ωστόσο, το παρατεταμένο εύρος εξαργυρώνεται από αυξημένη καθυστέρηση, η οποία μπορεί εύκολα να ξεπεράσει το όριο των 10 δευτερολέπτων όταν το μήνυμα είναι μεγαλύτερο από το πραγματικό μέγεθος TB (Transport Blocks). Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, το NB-IoT εισάγει τρεις κατηγορίες ECL στις οποίες ορίζονται τα μεγέθη TB και ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων για κάθε κανάλι.

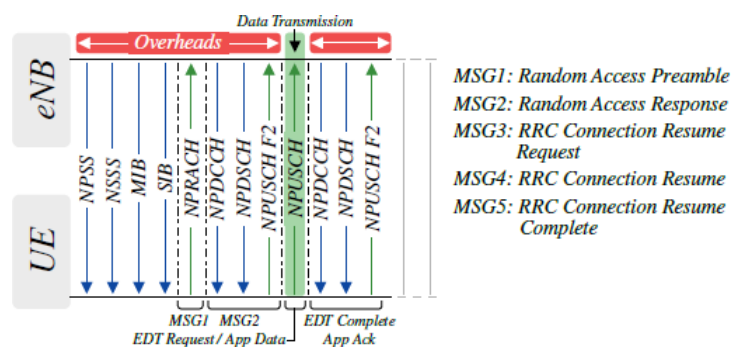


Σχήμα 6.6: Επίπεδα ενίσχυσης κάλυψης [61]

Όπως απεικονίζεται στη Σχήμα 6.7, κάθε ECL έχει μια τιμή κατωφλίου όπου το σύστημα περνά στο κατάλληλο ECL. Οι τιμές Reference Signal Received Power (RSRP) και Signal-to-Noise Plus Interference (SINR) καθορίζουν τα επίπεδα κατωφλίου. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές ECL δεν είναι σταθερές αλλά μπορούν να αλλάξουν με βάση τις απαιτήσεις του χειριστή του δικτύου [61].

B. Μεταφορά δεδομένων στο κινητό IoT

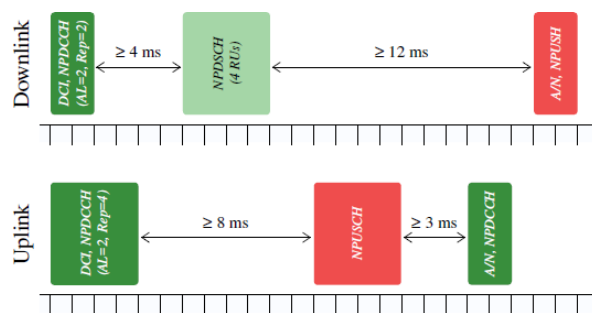
Με απώτερο στόχο την εξυπηρέτηση χιλιάδων UE με ένα μόνο eNB, το CIoT απαιτεί την ελαχιστοποίηση του overhead σήματος, ειδικά στο Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης (RAN). Για τον σκοπό αυτό, η Έκδοση 13 εισήγαγε τη βελτιστοποίηση CIoT Evolved Packet System (EPS) τόσο στο επίπεδο ελέγχου (CP) όσο και στο επίπεδο χρήστη (UP). Επιπλέον, στην Έκδοση 15, εισήχθη ο μηχανισμός Early Data Transmission (EDT) που αντιπροσωπεύει μια σημαντική βελτίωση στη χρήση του φάσματος. Το EDT μειώνει την καθυστέρηση μετάδοσης και βελτιώνει την απόδοση του φάσματος. Η καθυστέρηση μετάδοσης μειώνεται πάνω από 50%, ακόμη και όταν το μέγεθος του μηνύματος υπερβαίνει το ωφέλιμο φορτίο ενός πακέτου προς την κατεύθυνση της κατερχόμενης ζεύξης.



Σχήμα 6.7: NB-IoT: EDT [61]

Γ. Μηχανισμοί Μετάδοσης Δεδομένων

Το eNB υποδεικνύει τη μετάδοση δεδομένων κατερχόμενης ζεύξης στο UE μέσω του μηνύματος Ένδειξη ελέγχου κατερχόμενης ζεύξης (DCI) στο NPDCCH. Ωστόσο, οι UE NB-IoT έχουν σχεδιαστεί με μειωμένη υπολογιστική ικανότητα. χρησιμοποιείται η χρονική μετατόπιση τουλάχιστον 4 ms μεταξύ του τέλους του NPDCCH και της αρχής του NPDSCH. Μόλις ληφθούν τα δεδομένα που περιέχονται στο NPDSCH, αναμένονται 4 ms αποκωδικοποίησης σε καλές συνθήκες ραδιοφώνου με MCS 10 και TB 680 bit. Μετά από τουλάχιστον 12 ms, ένα μήνυμα Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) με επιβεβαίωση μετάδοσης μεταφέρεται μέσω NPUSCH. Εάν πρέπει να σταλούν περισσότερα δεδομένα, η UE πρέπει να περιμένει 3 ms πριν ακούσει για NPDCCH. Η όλη διαδικασία που συνδυάζει το DCI και το NPDCCH απεικονίζεται στην Σχήμα6.9.



Σχήμα 6.8: NB-IoT. Μηχανισμοί Μετάδοσης Δεδομένων [61]

Έτσι, η αναμενόμενη απόδοση στην κατερχόμενη ζεύξη μπορεί στη συνέχεια να εξαχθεί ως εξής:

$$T = TB_{\text{Max}} / (NPDCCH + NPDSCH + NPUSCH + \text{Off}) = 680 / (1 + 4 + 2 + (4 + 12 + 3)) = 26.15 \text{ kbps} \quad (6.33)$$

το οποίο, ωστόσο, ισχύει μόνο για το NB-IoT στην Έκδοση 13, καθώς οι νεότερες εκδόσεις έδωσαν τη δυνατότητα χρήσης μεγαλύτερης TB και δύο διεργασιών HARQ που βελτιώνουν τη μέγιστη απόδοση έως και 127 kb/s .

Στην κατεύθυνση ανερχόμενης ζεύξης, όταν το UE λαμβάνει σήμα σχετικά με την προγραμματισμένη επιχορήγηση μέσω DCI στο NPDCCH, χρειάζονται τουλάχιστον 8 ms πριν η συσκευή στείλει δεδομένα ανοδικής ζεύξης μέσω NPUSCH.

Εάν λάβουμε υπόψη τις καλές συνθήκες ραδιοφώνου με μέγιστο MCS 12, TB 1000 bit και τους 12 τόνους, χρειάζονται 4 ms για την αποστολή δεδομένων μέσω του NPUSCH. Στην περίπτωση μονοφωνικής μετάδοσης, χρειάζονται τουλάχιστον 48 ms. Στη συνέχεια, χρειάζονται τουλάχιστον άλλα 3 ms για να λάβετε μια επιβεβαίωση από την eNB μέσω NPDCCH και πιθανώς την ακόλουθη επιχορήγηση. Με βάση αυτές τις τιμές, η μέγιστη απόδοση (τόσο για μονό όσο και για πολλαπλούς τόνους) μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$T = TB_{Max}/(NPDCCH + NPUSCH + Off) \quad (6.34)$$

$$T_{Multi} = 1000/(1 + 4 + (8 + 3)) = 62.5 \text{ kbps} \quad (6.35)$$

$$T_{Single} = 1000/(1 + 48 + (8 + 3)) = 16.7 \text{ kbps} \quad (6.36)$$

Ομοίως με την κατερχόμενη σύνδεση, αυτές οι τιμές ισχύουν για την πρώτη έκδοση NB-IoT. Οι νεότερες εκδόσεις επιτρέπουν απόδοση έως και 159 kb/s λόγω των μεγαλύτερων TB και δύο HARQ[60] .

6.9 ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΕΣ ΣΤΟ MDMS

Ο μέγιστος όγκος δεδομένων που συγκεντρώνει ένας συγκεντρωτής για 350 μετρητές ανά ημέρα είναι:

$$D_t = N_t \cdot P \cdot 96 = 350 \cdot 128 \cdot 96 = 4.3MB \quad (6.37)$$

Ο ανωτέρω όγκος δεδομένων προκύπτει όταν ο συγκεντρωτής δεν επεξεργάζεται τα δεδομένα που συγκεντρώνει και κάθε μετρητής αποστέλλει μετρήσεις όλων των μεγεθών που καταγράφει. Η θέση των συγκεντρωτών πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η διαθεσιμότητα 4G τεχνολογίας προκειμένου να ελαχιστοποιείται ο χρόνος αποστολής δεδομένων προς το MDMS. Δεδομένου ότι μια τυπική 4G σύνδεση εξασφαλίζει ρυθμό μετάδοσης ίσο με 1Mbps στη ζεύξη uplink, η διάρκεια αποστολής των δεδομένων του συγκεντρωτή είναι:

$$t_{concentrator} = \frac{4300000 \cdot 8}{1000000} = 4.3 \text{ sec} \quad (6.38)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Συμπέρασμα

Στόχος της εργασίας αυτής ήταν 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.

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
- Την τεχνογνωσία από ευρωπαϊκά ΣΕΜ
- Το προφίλ της τηλεπικοινωνιακής κίνησης και ειδικότερα ο ημερήσιος όγκος δεδομένων
- Τις προδιαγραφές και τους περιορισμούς που θέτει ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ενέργειας
- 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 ευφυών συσκευών (της τάξης των εκατομμυρίων), όπου κάθε έξυπνη συσκευή μεταδίδει μικρό όγκο δεδομένων, με διαφορετικές απαιτήσεις σε QoS.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] A. Mutule, I. Zikmanis, and A. M. Dumitrescu, "Electric Consumption Assessment using Smart Meter Data and KPI Methodology," *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol. 57, pp. 3-19, 2020. doi: 10.2478/lpts-2020-0011.
- [2] P. Faria, F. Lezama, Z. Vale, and M. Khorram, "A methodology for energy key performance indicators analysis," *Energy Informatics*, vol. 4, 2021. doi: 10.1186/s42162-021-00140-0.
- [3] A. Nebrida, C. Amador, C. Madiam, and G. Ranche, "Development of Smart Meter to Monitor Real Time Energy Consumption for Sustainability," *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, vol. 14, 2023. doi: 10.30880/ijscet.2023.14.04.003.
- [4] A. Antonowicz, P. Derbis, M. Nowak, and A. Urbaniak, "Smart Meter in Voltage Control System of Power Network," 2020, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICCC49264.2020.9257289.
- [5] L. Jiang, G. Ye, Y. Xiang, V. Cuk, and J. F. G. Cobben, "Influence of high frequency current harmonics on (Smart) energy meters," 2015, pp. 1-5. doi: 10.1109/UPEC.2015.7339771.
- [6] K. Sharma and L. Saini, "Performance analysis of smart metering for smart grid: An overview," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 720-735, 2015. doi: 10.1016/j.rser.2015.04.170.
- [7] A. Irfan et al., "IoT Based Smart Meter," 2019, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICIC48496.2019.8966684.
- [8] Y. Rind, M. Raza, M. Zubair, M. Q. Mehmood, and Y. Massoud, "Smart Energy Meters for Smart Grids, an Internet of Things Perspective," *Energies*, vol. 16, p. 1974, 2023. doi: 10.3390/en16041974.
- [9] J. Viegas, S. Vieira, R. Melicio, V. M. F. Mendes, and J. Sousa, "Classification of new electricity customers based on surveys and smart metering data," *Energy*, vol. 107, pp. 804-817, 2016. doi: 10.1016/j.energy.2016.04.065.
- [10] Y. Chen et al., "A Study on Reliability of Smart Meters based on Monte-Carlo Method and Fault Trees," *Distributed Generation & Alternative Energy Journal*, 2021. doi: 10.13052/dgaej2156-3306.3726.
- [11] Landis+Gyr, "Utility IoT," 2024. [Online]. Available: <https://www.landisgyr.com/challenge/utility-iot/>.
- [12] Landis+Gyr, "E360: The Smart Residential Meter," 2020. [Online]. Available: <https://www.landisgyr.eu>.
- [13] Landis+Gyr, "Landis+Gyr E360," 2019. [Online]. Available: <https://www.landisgyr.eu/product/landisgyr-e360/>.
- [14] Landis+Gyr, "Landis+Gyr E450," 2024. [Online]. Available: <https://www.landisgyr.eu/product/landisgyr-e450/>.
- [15] Landis+Gyr, "Landis+Gyr ZXQ-E850," 2024. [Online]. Available: <https://www.landisgyr.eu/product/landisgyr-zxq-e850/>.

- [16] A. Ghosal and M. Conti, "Key Management Systems for Smart Grid Advanced Metering Infrastructure: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2019. doi: 10.1109/COMST.2019.2907650.
- [17] K. Satyapal, A. Patil, K. Samad, and S. Diggikar, "Advanced Metering Infrastructure and Its Role in Building A Smart and Sustainable Power Distribution System: A Comprehensive Review from India's Frame of Reference," *International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 11, pp. 249-268, 2024. doi: 10.14445/23488379/IJEEE-V11I3P121.
- [18] Landis+Gyr, "AMM Solution Overview," 2021. [Online]. Available: https://www.landisgyr.eu/webfoo/wp-content/uploads/product-files/LandisGyr_AMM_Solution_overview.pdf.
- [19] Terranovasoftware, "Smart Metering Solutions," 2024. [Online]. Available: <https://www.terranovasoftware.eu/en/solutions/smart-network/smart-metering>.
- [20] D. Kim, B. Chung, and Y. Chung, "Analysis of AMI Communication Methods in Various Field Environments," *Energies*, vol. 13, p. 5185, 2020. doi: 10.3390/en13195185.
- [21] S. Mir, S. Ashruf, and Y. Bhat, "Review on Smart Electric Metering System Based on GSM/IOT," 2019.
- [22] Landis+Gyr, "E35C Brochure," 2022. [Online]. Available: https://www.landisgyr.eu/webfoo/wp-content/uploads/2012/09/E35C_Brochure_English.pdf.
- [23] M. Pennacchioni et al., "NB-IoT system deployment for smart metering: Evaluation of coverage and capacity performances," 2017, pp. 1-6. doi: 10.23919/AEIT.2017.8240561.
- [24,27] A. Hidayati and M. I. Nashiruddin, "LPWA-based IoT Technology Selection for Smart Metering Deployment in Urban and Sub Urban Areas: A State Electricity Company Perspective," *Buletin Pos dan Telekomunikasi*, vol. 18, p. 75, 2020. doi: 10.17933/bpostel.2020.180201.
- [25] "6LoWPAN," Wikipedia, 2024. [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/6LoWPAN>.
- [26] I. Adamou, A. Laguidi, and Y. Mejdoub, "A comparative study on LPWAN standards: Nb-IoT and LTE-M," *ITM Web of Conferences*, vol. 52, 2023. doi: 10.1051/itmconf/20235201007.
- [28] P. Yadav, M. Biswal, and H. Vemuganti, "Smart meter data management challenges," 2024. doi: 10.1016/B978-0-443-15317-4.00002-6.
- [29] G. Karagiannis, G. Pham, A. Nguyen, G. Heijenk, B. Haverkort, and F. Campfens, "Performance of LTE for Smart Grid Communications," 2014. doi: 10.1007/978-3-319-05359-2_16.
- [30] K. Sharma, A. Malik, I. Batra, A. S. M. Hosen, M. A. L. Sarker, and D. Han, "Technologies Behind the Smart Grid and Internet of Things: A System Survey," *Computers, Materials & Continua*, vol. 75, pp. 5049-5072, 2023. doi: 10.32604/cmc.2023.035638.
- [31] K. Demertzis, "Smart Energy Grids," 2018. doi: 10.13140/RG.2.2.18491.05927.
- [32] R. V. Balan et al., "Development of smart energy monitoring using NB-IoT and cloud," *Measurement: Sensors*, vol. 29, 2023. doi: 10.1016/j.measen.2023.100884.

- [33] R. Ratasuk, N. Mangalvedhe, Y. Zhang, M. Robert, and J. Koskinen, "Overview of narrowband IoT in LTE Rel-13," *IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN)*, 2016, pp. 1-7. doi: 10.1109/CSCN.2016.7785170.
- [34] R. Ratasuk, N. Mangalvedhe, Z. Xiong, M. Robert, and D. Bhatoolaul, "Enhancements of narrowband IoT in 3GPP Rel-14 and Rel-15," *IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN)*, 2017, pp. 60-65. doi: 10.1109/CSCN.2017.8088599.
- [35] Y. Yan, Y. Qian, H. Sharif, and D. Tipper, "A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements, and Challenges," *IEEE*, 2013.
- [36] M. Bali, K. Gupta, K. Kour, and P. Singh, "Towards energy-efficient NB-IoT: A survey on evaluating its suitability for smart applications," *Materials Today: Proceedings*, 2021.
- [37] S. Routray, D. Gopal, A. Javali, and A. Sahoo, "Narrowband IoT (NB-IoT) Assisted Smart Grids," 2021, pp. 1454-1458. doi: 10.1109/ICAIS50930.2021.9395891.
- [38] S. Routray and S. Mohanty, *Narrowband IoT: Principles, Potentials, and Applications*, Jan. 2024.
- [39] A. Giannakopoulou, "Δίκτυα Πρόσβασης Συστημάτων Ευφυούς Μέτρησης," ΕΜΠ, 2014.
- [40] P. Cottis and P. Arapoglou, *Wireless Communications*, 2011.
- [41] WiMAX, "WiMAX," Wikipedia, 2024. [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>.
- [42] F. L. V. C. Gungor, "A survey on communication networks for electric system automation," 2006.
- [43] LTE Networks, "List of LTE Networks," Wikipedia, 2024. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_LTE_networks.
- [44] M. Dohler, D. Boswarthick, and J. Alonso-Zárate, *Machine-to-Machine in Smart Grids & Smart Cities (Technologies, Standards, and Applications)*, 2012.
- [45] J.-J. Lee, Y.-J. Park, S.-W. Kwon, H.-M. Oh, H.-S. Park, K.-H. Kim, D.-Y. Lee, and Y.-H. Jeong, "High data rate internet service over medium voltage power lines," *IEEE*, 2005.
- [46] F. Satyajayant Misra, G. Xue, and D. Yang, "Smart grid – The new and improved power grid: A survey," 2012.
- [47] G. Barai, S. Krishnan, and B. Venkatesh, "Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid - a review," *2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, 2015.
- [48] A. Rafias, "Δίκτυα Μεταφοράς Συστημάτων Ευφυούς Μέτρησης," Ph.D. thesis, 2014.
- [49] Oracle, "Understanding Head End Systems," *Rate Cloud User Guides*, 2024. [Online]. Available: https://docs.oracle.com/en/industries/energy-water/rate-cloud/22b/rcs-user-guides/index.html#page/RCS_22B/D1_AG_Understanding_Head_End_Systems.html

- [50] Genus Power, "Meter Data Management System: The Key to Sustainable Energy Consumption," 2024. [Online]. Available: <https://genuspower.com/meter-data-management-system-the-key-to-sustainable-energy-consumption/>
- [51] M. Pennacchioni, M.-G. Di Benedetto, T. Pecorella, C. Carlini, and P. Obino, "NB-IoT system deployment for smart metering: Evaluation of coverage and capacity performances," *AEIT International Annual Conference*, 2017, pp. 1-6. doi: 10.23919/AEIT.2017.8240561.
- [52] GeeksforGeeks, "ETL Process in Data Warehouse," 2024. [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/etl-process-in-data-warehouse/>
- [53] GeeksforGeeks, "Data Warehouse Architecture," 2024. [Online]. Available: https://www.geeksforgeeks.org/data-warehouse-architecture/?ref=header_outind
- [54] GeeksforGeeks, "The Impact of Data Science in the Energy Industry," 2024. [Online]. Available: https://www.geeksforgeeks.org/the-impact-of-data-science-in-the-energy-industry/?ref=header_outind
- [55] GeeksforGeeks, "Home Energy Usage Monitoring Dashboard in R," 2024. [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/home-energy-usage-monitoring-dashboard-in-r/>
- [56] E. C. Limited, "High-level smart meter data traffic analysis," 2010.
- [57] M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, "Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN, and WAN," *Elsevier*, 2014.
- [58] M. Hoch, "Comparison of PLC G3 and PRIME," *IEEE*, 2011.
- [59] Enexis, "G3-PLC at Enexis: Description of G3-PLC technology and pilot results at Enexis," 2013.
- [60] EverythingRF, "What is Maximum Coupling Loss," 2024. [Online]. Available: <https://www.everythingrf.com/community/what-is-maximum-coupling-loss>
- [61] M. Stusek, P. Masek, and R. Dvorak, "Exploiting NB-IoT network performance and capacity for smart-metering use-cases," 2023.
- [62] W. Ayoub, A. E. Samhat, F. Nouvel, M. Mroue, and J. C. Prévotet, "Internet of mobile things: Overview of LoRaWAN, DASH7, and NB-IoT in LPWANs standards and supported mobility," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2018.
- [63] P. Niemelä, "Narrowband LTE in machine-to-machine satellite communication," 2018