



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Δίκτυα Πρόσβασης Συστημάτων Ευφυούς Μέτρησης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Γιαννακόπουλου Αθανάσιου

Επιβλέπων: Παναγιώτης Π. Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Δίκτυα Πρόσβασης Συστημάτων Ευφυούς Μέτρησης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Γιαννακόπουλου Αθανάσιου

Επιβλέπων: Παναγιώτης Π. Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή την 25^η Ιουλίου 2014

.....
Παναγιώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χρήστος Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Φικιώρης
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Γιαννακόπουλος Αθανάσιος
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Ηλεκτρονικών Υπολογιστών ΕΜΠ

Copyright © Γιαννακόπουλος Αθανάσιος, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθ. Παναγιώτη Κωττή για τη ευκαιρία που μου προσέφερε να πραγματοποιήσω τη διπλωματική μου εργασία υπό την επίβλεψή του. Ήταν εκείνος που πριν λίγα χρόνια με έφερε για πρώτη φορά σε επαφή με τον κόσμο της έρευνας, μιας εμπειρίας που άλλαξε ριζικά τη πορεία μου ως Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και ως επιστήμονας γενικότερα. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και τις ευκαιρίες που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου και οι οποίες αποτελούν εφελθτήριο για τη μετέπειτα ακαδημαϊκή μου πορεία.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου για την προθυμία τους, τη βοήθειά τους, τις γνώσεις που μου προσέφεραν, καθώς και τις εποικοδομητικές συζητήσεις και απόψεις για διάφορα θέματα ακαδημαϊκού ενδιαφέροντος.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια της διαδρομής μου στο ΕΜΠ. Τους φίλους μου εντός και εκτός σχολής που μοιράστηκαν μαζί μου πολλές από τις στιγμές αυτών των 5 χρόνων, αλλά κυρίως την οικογένεια μου, τους γονείς μου, Γιώργο και Ζωή και την αδερφή μου, Ρεγγίνα, που ήταν, είναι και θα είναι κοντά μου και θα με στηρίζουν σε όλη την πορεία της ζωής μου. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στη Φαίη για όσα περάσαμε μαζί.

Περίληψη

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

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγή στις βασικές έννοιες των SM συστημάτων. Περιγράφονται τα χαρακτηριστικά, οι απαιτήσεις και οι λειτουργίες SM συστημάτων και αναφέρονται υπάρχουσες και μελλοντικές υπηρεσίες του ευφυούς ενεργειακού δικτύου.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά των SM δικτύων. Περιγράφονται και συγκρίνονται οι τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες που είναι κατάλληλες για μετάδοση δεδομένων στο δίκτυο πρόσβασης και στο δίκτυο κορμού των SM συστημάτων, καθώς και τα χαρακτηριστικά της μεταξύ τους επικοινωνίας.

Το Κεφάλαιο 3 παρουσιάζει τις τεχνολογίες και τις λειτουργίες των σημαντικότερων πιλοτικών και πλήρως εφαρμοσμένων ευρωπαϊκών SM συστημάτων.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται και σχολιάζονται οι προδιαγραφές του πιλοτικού SM συστήματος, σύμφωνα με τη Διακήρυξη του ΔΕΔΔΗΕ. Γίνεται αναφορά στα οφέλη του ελληνικού SM συστήματος, ενώ παρατίθενται και οι αδυναμίες της Διακήρυξης.

Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφεται η υλοποίηση του ελληνικού πιλοτικού SM συστήματος. Επίσης, διαστασιολογούνται οι προς εξυπηρέτηση περιπτώσεις λαμβάνοντας υπόψη όλα τα απαραίτητα τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 προτείνεται μια εναλλακτική προσέγγιση για τα SM συστήματα και περιγράφονται τα χαρακτηριστικά και τα πλεονεκτήματά της.

Λέξεις Κλειδιά

Δίκτυα πρόσβασης συστημάτων ευφυούς μέτρησης, PLC στο δίκτυο πρόσβασης, GPRS/3G στο δίκτυο πρόσβασης, προδιαγραφές συστημάτων ευφυούς μέτρησης, διαστασιολόγηση δικτύου πρόσβασης

Abstract

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

The 1st Section is an introduction to the basic features of SM systems. Following the description of the main requirements and functions of SM systems, Smart Grid services and new applications are also stated as part of the study.

The 2nd Section points out the communication features related to SM systems, as it describes the communication technologies for SM access and backhaul network, including technical features of SM communication and data transfer.

The 3rd Section analyzes the communication technologies and functions of pilot and fully deployed European SM Projects.

The 4th Section studies the specifications of the Greek pilot SM Project provided by HEDNO, through a communications point of view. The study focuses also on the comparison of the Greek SM Project to other European SM Projects and concludes with the statement of weaknesses of the HEDNO-provided specifications.

The 5th Section sets a description of the SM access network for the Greek SM Project and dimensions the main implementation cases, while taking into account all the necessary parameters.

The 6th and final Section holds a proposition for an alternative approach for SM systems, analyzing the features and benefits of this approach.

Key Words

Access network of smart metering systems, PLC in the access network, GPRS/3G in the access network, specifications for smart metering systems, access network dimensioning

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| Ευχαριστίες..... | 1 |
| Περίληψη..... | 3 |
| Abstract | 5 |
| Συνοτομογραφίες | 9 |
| Ευρετήριο Σχημάτων..... | 11 |
| Ευρετήριο Πινάκων..... | 12 |
| 1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ..... | 13 |
| 1.1 Χαρακτηριστικά, απαιτήσεις και λειτουργίες συστημάτων ευφύων μετρητών | 13 |
| 1.2 Υπηρεσίες και εφαρμογές των ασύρματων αισθητήρων | 15 |
| 1.2.1 Άμεσα συσχετισμένες εφαρμογές | 16 |
| 1.2.2 Υπηρεσίες ευφυούς ενεργειακού δικτύου – Smart Grid | 16 |
| 1.2.3 Νέες εφαρμογές ευφύων μετρητών συστημάτων και αισθητήρων | 17 |
| 1.2.4 Cloud computing για big data..... | 18 |
| 2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ..... | 20 |
| 2.1 Τεχνολογίες που έχουν σχέση με ευφυείς μετρητές..... | 20 |
| 2.1.1 Συλλογή δεδομένων και μετρήσεων στο δίκτυο πρόσβασης | 20 |
| 2.1.2 Μετάδοση δεδομένων στο δίκτυο κορμού..... | 28 |
| 2.1.3 Interfacing μεταξύ δικτύου πρόσβασης και δικτύου κορμού..... | 36 |
| 2.1.4 Διασυνδεσιμότητα – διαλειτουργικότητα του εξοπλισμού | 37 |
| 2.2 Επικοινωνία ευφύων μετρητών | 37 |
| 2.2.1 Έλεγχος δρομολόγησης κίνησης..... | 37 |
| 2.2.2 Καταμερισμός φορτίου | 39 |
| 2.2.3 Περιορισμός φορτίου..... | 39 |
| 2.2.4 Διασπορά χρόνων μετάδοσης (TDMA) | 40 |
| 2.2.5 Εισαγωγή προτεραιοτήτων | 40 |
| 2.2.6 Λειτουργία σε διαφορετικές συχνότητες (FDMA) | 41 |
| 2.2.7 Λειτουργία με το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης (CSMA/CD) | 41 |
| 3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ SM..... | 42 |
| 3.1 Κριτήρια επιλογής για συστήματα και εγκαταστάσεις SM..... | 42 |
| 3.1.1 Απαιτήσεις εφαρμογών και υπηρεσιών | 42 |
| 3.1.2 Δικτυακή τοπολογία και απαιτήσεις αρχιτεκτονικής | 44 |
| 3.2 Εφαρμογές στην Ευρώπη..... | 45 |
| 3.2.1 PLC Projects: Ιταλία, Γαλλία, Νορβηγία, Σουηδία και Ολλανδία..... | 45 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2.2 | Ασύρματα συστήματα μέτρησης αερίου: Γαλλία και Ιταλία | 47 |
| 3.2.3 | Λύση για Home Area Network: Βρετανία και Γερμανία | 48 |
| 3.2.4 | Άλλα τρέχοντα και μελλοντικά ευφυή συστήματα μέτρησης στην Ευρώπη .. | 49 |
| 4. | ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ SM PROJECT ΤΟΥ ΔΕΔΔΗΕ | 50 |
| 4.1 | Παρουσίαση και σύντομος σχολιασμός των προδιαγραφών..... | 50 |
| 4.2 | Αντιστοιχία των προδιαγραφών με τη διεθνή πρακτική και βιβλιογραφία | 53 |
| 4.3 | Οφέλη του SMP και μελέτη κόστους – οφέλους..... | 54 |
| 4.4 | Πρόγραμμα τηλεμέτρησης και ευρωπαϊκός στόχος «20-20-20»..... | 57 |
| 4.5 | Κριτική της Διακήρυξης από τηλεπικοινωνιακή σκοπιά..... | 58 |
| 4.6 | Αποτελέσματα διαβούλευσης και διαμόρφωση της τελικής Διακήρυξης | 61 |
| 4.7 | Αδυναμίες της Διακήρυξης | 62 |
| 5. | ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ SM PROJECT ΤΟΥ ΔΕΔΔΗΕ | 64 |
| 5.1 | Ανάλυση των περιπτώσεων εφαρμογής του συστημάτων τηλεμέτρησης..... | 64 |
| 5.2 | Αντιστοιχία περιπτώσεων με τηλεπικοινωνιακές λύσεις | 65 |
| 5.2.1 | Περιοχές υψηλής πυκνότητας δόμησης | 66 |
| 5.2.2 | Περιοχές μέτριας πυκνότητας δόμησης | 69 |
| 5.2.3 | Περιοχές μικρής πυκνότητας δόμησης | 70 |
| 5.3 | Διαστασιολόγηση των προς εξυπηρέτηση περιπτώσεων | 71 |
| 5.3.1 | Σημεία εγκατάστασης μετρητών και συγκεντρωτών..... | 71 |
| 5.3.2 | Προσδιορισμός του όγκου διακινούμενης πληροφορίας..... | 72 |
| 5.3.3 | SM δίκτυα πρόσβασης ενσύρματης τεχνολογίας..... | 73 |
| 5.3.4 | Διαστασιολόγηση SM δικτύων πρόσβασης ενσύρματης τεχνολογίας | 75 |
| 5.3.5 | SM δίκτυα πρόσβασης ασύρματης τεχνολογίας | 78 |
| 5.3.6 | Διαστασιολόγηση SM δικτύων πρόσβασης ασύρματης τεχνολογίας | 79 |
| 5.3.7 | Αποστολή δεδομένων από τους συγκεντρωτές στο MDMS | 83 |
| 6. | ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ SMP..... | 85 |
| 6.1 | Θέση εγκατάστασης και τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία SM..... | 85 |
| 6.2 | Πλεονεκτήματα εναλλακτικής προσέγγισης..... | 86 |
| | Βιβλιογραφία..... | 88 |

Συντομογραφίες

| | |
|----------|--|
| 2G/3G/4G | Second/Third/Fourth Generation |
| 6LoWPAN | IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Network |
| AES | Advanced Encryption Standard |
| AMI | Advanced Metering Infrastructure |
| AODV | Ad – Hoc On – Demand Distance Vector |
| BAN | Building Area Network |
| BS | Base Station |
| CBA | Cost – Benefit Analysis |
| CDMA | Code Division Multiple Access |
| CSMA/CD | Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection |
| DER | Distributed Energy Resources |
| DCS | Digital Communication System |
| DES | Data Encryption Standard |
| DSL | Digital Subscriber Loop |
| EDGE | Enhanced Data Rates for GSM Evolution |
| EMI | Electromagnetic Interference |
| FAN | Field Area Network |
| FDD | Frequency – Division Duplexing |
| FDMA | Frequency Division Multiple Access |
| FFD | Full Function Device |
| GoS | Grade of Service |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| GSM | Global System Mobile |
| H2H | Human – to – Human |
| HAN | Home Area Network |
| HSPA | High Speed Packet Access |
| IAN | Industrial Area Network |
| IHD | In Home Display |
| IoT | Internet of Things |
| IPv6 | IP version 6 |
| KV | Kabelverteiler |
| LAN | Local Area Network |
| LE | Low Energy |
| LOS | Line of Sight |
| LTE | Long Term Evolution |
| M2M | Machine – to – Machine |
| MDMS | Meter Data Management System |
| NAN | Neighbour Area Network |
| NLOS | None Line of Sight |
| PSTN | Public Switched Telephone Network |
| QoS | Quality of Service |
| PLC | Powerline Communication/Carrier |
| RF | Radio Frequency |
| RFD | Reduced Function Device |
| RFI | Radio Frequency Interference |

| | |
|--------|--|
| ROLL | Routing over Low Power or Lossy Networks |
| SG | Smart Grid |
| SIR | Signal to Interference Ratio |
| SLA | Service Level Agreement |
| SM | Smart Meter |
| SMP | Smart Meter Project |
| TDD | Time – Division Duplexing |
| TDMA | Time Division Multiple Access |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunication System |
| WAN | Wide Area Network |
| WLAN | Wireless Local Area Network |
| WSN | Wireless Sensor Network |
| ΔΕΔΔΗΕ | Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας |
| ΗΕ | Ηλεκτρική Ενέργεια |
| ΚΠΑ | Καθαρή Παρούσα Αξία |
| ΜΤ | Μέση Τάση |
| ΣΗΕ | Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας |
| ΧΤ | Χαμηλή Τάση |

Ευρετήριο Σχημάτων

| | |
|--|----|
| Σχήμα 1.1: Επικοινωνία SM και MDMS [1]..... | 13 |
| Σχήμα 1.2: Σύστημα WAMR [3] | 17 |
| Σχήμα 2.1: Δομή M2M δικτύου επικοινωνιών [6] | 20 |
| Σχήμα 2.2: Επίπεδο παρεμβολών σε ασύρματα δίκτυα [14] | 23 |
| Σχήμα 2.3: Διαστρωμάτωση Πρωτοκόλλων [10] | 23 |
| Σχήμα 2.4: Επίπεδα ισχύος εκπομπής - λήψης για διάφορα πρωτόκολλα [12] | 25 |
| Σχήμα 2.5: Ταξινόμηση τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών [14] | 27 |
| Σχήμα 2.6: Υποδομή συστήματος SM | 28 |
| Σχήμα 2.7: Επίδοση WiMAX σε σχέση με άλλες τεχνολογίες [19] | 30 |
| Σχήμα 2.8: Συλλογή δεδομένων σε περίπτωση αστοχίας [1]..... | 32 |
| Σχήμα 2.9: Εναλλακτική δρομολόγηση σε mesh τοπολογία [1]..... | 34 |
| Σχήμα 2.10: Απευθείας επικοινωνία σταθμού βάσης με MDMS | 35 |
| Σχήμα 2.11: Λειτουργία PLC [1] | 36 |
| Σχήμα 2.12: Access network – backhaul network interface..... | 36 |
| Σχήμα 2.13: Συνδυασμός τοπολογίας διαύλου – αστέρα..... | 38 |
| Σχήμα 2.14: Δρομολόγηση σε διαφορετικό concentrator [1]..... | 39 |
| Σχήμα 2.15: Διασπορά χρόνου μετάδοσης | 40 |
| Σχήμα 2.16: Προτεραιότητες πακέτων δεδομένων [1] | 40 |
| Σχήμα 2.17: Λειτουργία FDMA [1] | 41 |
| Σχήμα 3.1: Κυριότητες λειτουργίες SG ανά περιοχή [25] | 43 |
| Σχήμα 3.2: Αρχιτεκτονική συστήματος με PLC | 46 |
| Σχήμα 3.3: Νορβηγικό πρότυπο αρχιτεκτονικής συστήματος με PLC | 46 |
| Σχήμα 3.4: Αρχιτεκτονική ασύρματης τεχνολογίας | 47 |
| Σχήμα 3.5: Αρχιτεκτονική με χρήση gateway | 48 |
| Σχήμα 4.1: CBA του SMP του ΔΕΔΔΗΕ [27] | 55 |
| Σχήμα 4.2: CBA σε ευρωπαϊκές χώρες [27] | 56 |
| Σχήμα 4.3: Ευρωπαϊκός σχεδιασμός «20-20-20» | 57 |
| Σχήμα 5.1: Επικοινωνία SM – συγκεντρωτή με TDMA τοπολογίας διαύλου | 66 |
| Σχήμα 5.2: Επικοινωνία SM – συγκεντρωτή με TDMA τοπολογίας δένδρου | 67 |
| Σχήμα 5.3: Επικοινωνία συγκεντρωτή – γειτονικού SM | 68 |
| Σχήμα 5.4: Επικοινωνία SM – συγκεντρωτή με ZigBee | 68 |
| Σχήμα 5.5: Λειτουργία σε περίπτωση βλάβης – συντήρησης υποσταθμού | 74 |
| Σχήμα 6.1: Επικοινωνία SM – MDMS κατά την εναλλακτική προσέγγιση..... | 86 |

Ευρετήριο Πινάκων

| | |
|--|----|
| Πίνακας 2.1: Σύνοψη τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών | 27 |
| Πίνακας 3.1: QoS σημαντικότερων εφαρμογών SG [25] | 43 |
| Πίνακας 3.2: Σύνοψη τοπολογιών [1] | 44 |
| Πίνακας 3.3: Εφαρμογές ευφυών συστημάτων μέτρησης | 49 |
| Πίνακας 4.1: Ποσοστά μετρητών που χρησιμοποιούν τις δύο επιλεγμένες τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες πρόσβασης [29] | 51 |
| Πίνακας 4.2: Ποσοστό μετρητών ανά περιοχή [28]..... | 52 |
| Πίνακας 4.3: Οφέλη έξυπνης μέτρησης [27] | 54 |
| Πίνακας 4.4: CBA του ελληνικού SMP..... | 56 |
| Πίνακας 4.5: Υπέρ και κατά της PLC και GPRS τεχνολογίας [27] | 58 |
| Πίνακας 4.6: PLC τεχνολογίες [27]..... | 59 |
| Πίνακας 4.7: Κατηγοριοποίηση PLC τεχνολογιών βάσει του ρυθμού μετάδοσης [31] | 60 |
| Πίνακας 4.8: Χαρακτηριστικά NB – PLC προτύπων [31] | 60 |
| Πίνακας 4.9: Σύγκριση μεγεθών αρχικής και τελικής Διακήρυξης..... | 61 |
| Πίνακας 5.1: Χαρακτηρισμός περιοχής βάσει πυκνότητας μετρητών [32]..... | 64 |
| Πίνακας 5.2: Αντιστοιχία τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών με περιοχές ανάπτυξης SM συστημάτων..... | 65 |
| Πίνακας 5.3: Κατάλληλες τεχνολογίες πρόσβασης για το δίκτυο SM κατά κατηγορία πυκνότητας δόμησης | 71 |
| Πίνακας 5.4: Bytes ανά ηλεκτρικό μέγεθος [33] | 72 |
| Πίνακας 5.5: Ενεργειακές παροχές ΧΤ ανά υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ συναρτήσει της πολεοδομικής πυκνότητας..... | 74 |
| Πίνακας 5.6: Αντιστοιχία συμβόλων και τηλεπικοινωνιακών μεγεθών | 75 |
| Πίνακας 5.7: Ρυθμός μετάδοσης συναρτήσει του πλήθους ταυτοχρόνως υποστηριζόμενων τερματικών διατάξεων [37] | 82 |

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

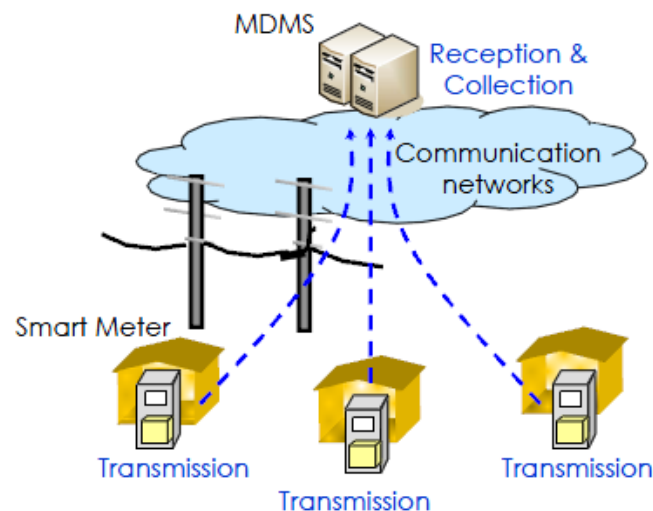
Οι τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων ετών δημιουργούν νέους τομείς εφαρμογών στη ζωή των ανθρώπων. Για πρώτη φορά, ο άνθρωπος έχει τη δυνατότητα να ζει σε περιβάλλον με αυξημένα επίπεδα ευφυίας σε διάφορους τομείς, γεγονός που βελτιώνει την ποιότητα ζωής του. Η είσοδος των αισθητήρων και της επικοινωνίας μεταξύ μηχανών (Machine to Machine – M2M Communication) σε διάφορους τομείς συμβάλλει στη βελτίωση της καθημερινότητας και δημιουργεί ταυτόχρονα νέες περιοχές ενδιαφέροντος που σχετίζονται με τη μεταφορά, την αποθήκευση και τη διαχείριση τεράστιων όγκων δεδομένων. Η λειτουργία των ανωτέρω δεν θα ήταν εφικτή και αποτελεσματική αν δεν ήταν δυνατή η διασύνδεση όλων των διατάξεων και συστημάτων με το διαδίκτυο (Internet of Things – IoT).

Τα σύγχρονα συστήματα που αποσκοπούν στην εξυπηρέτηση διαφόρων εφαρμογών αποτελούνται από μεγάλο πλήθος ευφύων κόμβων, χαμηλού κόστους και μικρής κατανάλωσης ισχύος, που συλλέγουν πληροφορία και επικοινωνούν μεταξύ τους, δημιουργώντας έτσι ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Wireless Sensor Networks – WSN). Τα δίκτυα αυτά απαιτούν την παρουσία ενός gateway που υλοποιεί τη συγκέντρωση της πληροφορίας και τη διοχέτευσή της στο δίκτυο κορμού.

Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά και θα τεθούν οι απαιτήσεις για τη λειτουργία συστημάτων ευφύων μετρητών (Smart Meters – SM), ενώ θα γίνει αναφορά σε υπηρεσίες και εφαρμογές που εξυπηρετούνται από SM.

1.1 Χαρακτηριστικά, απαιτήσεις και λειτουργίες συστημάτων ευφύων μετρητών

Τα SM συστήματα αποτελούν δίκτυα επικοινωνιών που αποσκοπούν στην αμφίδρομη μετάδοση πληροφορίας μεταξύ των μετρητών και του κέντρου διαχείρισης δεδομένων – μετρήσεων (Meter Data Management System – MDMS). Στο πλαίσιο της μετρητικής διαδικασίας οι SM συλλέγουν δεδομένα και τα αποστέλλουν στο κέντρο διαχείρισης προς επεξεργασία, ενώ το κέντρο διαχείρισης αποστέλλει εντολές ελέγχου στα τερματικά, δηλαδή στους ευφυείς μετρητές. [1].



Σχήμα 1.1: Επικοινωνία SM και MDMS [1]

Προκύπτει ότι τα SM συστήματα αποτελούν πλήρως λειτουργικά πληροφοριακά δίκτυα τα οποία αποτελούνται από 5 στοιχεία – κλειδιά:

1. *Ευφυείς μετρητές (SM)*: Αποτελούν τις τερματικές διατάξεις του δικτύου που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή και μετάδοση πληροφορίας.
2. *Συγκεντρωτής – Πύλη (Concentrator – Gateway)*: Πρόκειται για την οντότητα του δικτύου που επιτρέπει τη σύνδεση των τερματικών συσκευών με το δίκτυο κορμού.
3. *Σύστημα Διαχείρισης Δεδομένων (Meter Data Management System – MDMS)*: Αποτελεί σημείο συγκέντρωσης της πληροφορίας που συλλέγουν οι μετρητές. Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται μέσω πληροφοριακών συστημάτων. Επίσης, άλλες εφαρμογές μπορεί να έχουν εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στα δεδομένα.
4. *Δίκτυο SM – SM Area Network*: Αναφέρεται στη γεωγραφική περιοχή που περιλαμβάνει τα τερματικά και τα gateways.
5. *Δίκτυο Επικοινωνιών SM – SM Communication Network*: Είναι το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο που διασυνδέει τα SM με τα gateways και τα gateways με το MDMS.

Τα SM συστήματα πρέπει να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- *Ασφάλεια (Security)*: Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφάλεια και η ακεραιότητα των δεδομένων που ανταλλάσσονται είναι απαραίτητοι κατάλληλοι μηχανισμοί και διαδικασίες προτυποποίησης [2].
- *Αξιοπιστία, Διαθεσιμότητα και Ευρωστία (Reliability, Availability and Robustness)*: Το ασύρματο δίκτυο που δημιουργείται πρέπει να χαρακτηρίζεται από συνεχή διαθεσιμότητα καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του, ακόμα και αν κάποιος κόμβος παύσει να είναι ενεργός λόγω βλάβης ή εξάντλησης της ενέργειάς του. Αυτό επιτυγχάνεται με σωστό σχεδιασμό προς ελαχιστοποίηση των απωλειών ακόμα και υπό τις χειρότερες συνθήκες λειτουργίας. Ο σχεδιασμός αυτός γίνεται με την προϋπόθεση τήρησης των επιπέδων εξυπηρέτησης (Service Level Agreements – SLA) που έχουν τεθεί για κάθε εφαρμογή [2].
- *Κλιμακωσιμότητα (Scalability)*: Ο σχεδιασμός των SM συστημάτων πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να ενταχθούν μελλοντικά και άλλοι κόμβοι – μετρητές στο δίκτυο. Η διαστασιολόγηση του δικτύου οφείλει να είναι επαρκής ώστε να μπορεί να εξυπηρετήσει επιτυχώς μελλοντικές εφαρμογές καθώς και περιστατικά λειτουργίας που προκαλούν εκρηκτικές ροές δεδομένων (burst traffic). Η δυναμική προσαρμογή, τόσο στην τοπολογία όσο και στην ανάθεση πόρων, αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό επιτυχούς σχεδίασης.
- *Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service – QoS)*: Οι ετερογενείς ροές που ενδέχεται να εξυπηρετήσει κάποιο SM σύστημα υπάγονται σε διαφορετικές απαιτήσεις ως προς την ποιότητα υπηρεσιών. Συνεπώς, ο σχεδιασμός πρέπει να γίνεται με βάση κριτήρια που κατηγοριοποιούν την κίνηση και δεσμεύουν πόρους ώστε να εξασφαλίζονται τόσο εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real time) όσο και εφαρμογές ευαίσθητες σε απώλεια δεδομένων (loss sensitive).

Τα ανωτέρω χαρακτηριστικά αφορούν όλα τα δίκτυα επικοινωνιών. Ωστόσο, τα δίκτυα που εξυπηρετούν την επικοινωνία των SM κόμβων χαρακτηρίζονται από αυξημένη ακρίβεια μετρήσεων και μικρή ανοχή σε σφάλματα. Η αυξημένη πυκνότητα των κόμβων είναι αυτή

που επιτρέπει την υψηλή ακρίβεια των μετρήσεων και την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων λόγω της υψηλής συσχέτισης των καταγεγραμμένων μετρήσεων. Τα WSN μπορούν να εφαρμοστούν για παρακολούθηση σε περιβάλλοντα απροσπέλαστα και βρίσκονται σε δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας και μετάδοσης πληροφορίας, ενώ μπορούν να καλύψουν μεγάλες περιοχές. Τέλος, η δυνατότητα αυτοοργάνωσης (self – organization) και αυτοδιαμόρφωσης (self – configuration) καθιστά δυνατή την αυτόνομη λειτουργία ελαχιστοποιώντας την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης, ακόμα και σε περιπτώσεις σφάλματος ή απώλειας κάποιου κόμβου, λόγω της δυνατότητας δυναμικής αναπροσαρμογής [3].

Τα δίκτυα επικοινωνιών SM έχουν χαρακτηριστικά που σχετίζονται κυρίως με τα ακόλουθα επιθυμητά:

- *Λειτουργία για μεγάλο χρονικό διάστημα:* Προκειμένου να αποτελούν μια οικονομικώς προσιτή λύση, τα SM συστήματα πρέπει να χαρακτηρίζονται από μεγάλο κύκλο ζωής, φτάνοντας μερικά χρόνια αδιάκοπης λειτουργίας [1]. Αυτό επιτυγχάνεται με σωστή επιλογή των τηλεπικοινωνιακών χαρακτηριστικών των κόμβων αποσκοπώντας στην εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων. Η τοπολογία του δικτύου, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, οι λειτουργίες κάθε κόμβου και οι αλγόριθμοι δρομολόγησης της πληροφορίας πρέπει να επιλεγούν κατά τρόπο που ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας.
- *Κατασκευή και συντήρηση χαμηλού κόστους:* Δεδομένου ότι ένα SM σύστημα περιλαμβάνει εκατοντάδες ή χιλιάδες κόμβους, τόσο το κόστος προμήθειας όσο και το κόστος συντήρησης του δικτύου SM πρέπει να βρίσκονται σε αποδεκτά επίπεδα [1].

Η κύρια λειτουργία των SM συστημάτων είναι η μέτρηση συγκεκριμένων μεγεθών με καθορισμένη συχνότητα και η αποστολή των μετρήσεων στο MDMS. Άλλες λειτουργίες έχουν ως αντικείμενο την άμεση αναφορά κάποιου προβλήματος που εντοπίστηκε στα τερματικά ή στο δίκτυο SM. Επίσης, τα ευφυή τερματικά είναι σε θέση να δέχονται εντολές από το κέντρο διαχείρισης προκειμένου να εκτελέσουν ενέργειες που στοχεύουν στη διόρθωση δυσλειτουργιών ή σφαλμάτων του ηλεκτρικού δικτύου. Επιπλέον, η επικοινωνία των μετρητών και του MDMS μπορεί να γίνεται για καθαρά διαχειριστικούς λόγους ή για ανανέωση του λογισμικού των SM [1].

1.2 Υπηρεσίες και εφαρμογές των ασύρματων αισθητήρων

Οι κόμβοι των SM συστημάτων είναι αισθητήρες με δυνατότητα καταγραφής μεγεθών που σχετίζονται με το περιβάλλον που αυτοί εγκαθίστανται. Μεταξύ άλλων, μπορούν να συλλέγουν πληροφορία που αφορά θερμοκρασία, επίπεδα θορύβου, ακτινοβολία, δονήσεις κτλ [3]. Η υλοποίηση SM δικτύων αποτελεί τη βάση για την παροχή νέων υπηρεσιών και εφαρμογών. Πέραν τούτου, τα SM δίκτυα αποτελούν και βήμα για τη διευκόλυνση υπαρχουσών υπηρεσιών που μπορεί να σχετίζονται με διαγνωστικές πληροφορίες των μετρητών, δεδομένα που προκύπτουν από διακοπή των υπηρεσιών λόγω σφαλμάτων ή αστοχιών, μετρήσεις τάσεων και αρμονικών σε ηλεκτρικά δίκτυα, δεδομένα που αφορούν στην πίεση και τη θερμοκρασία αερίων, ανίχνευση διαρροών σε υδραυλικές εγκαταστάσεις και προστασία οικιακών και εργοστασιακών εγκαταστάσεων.

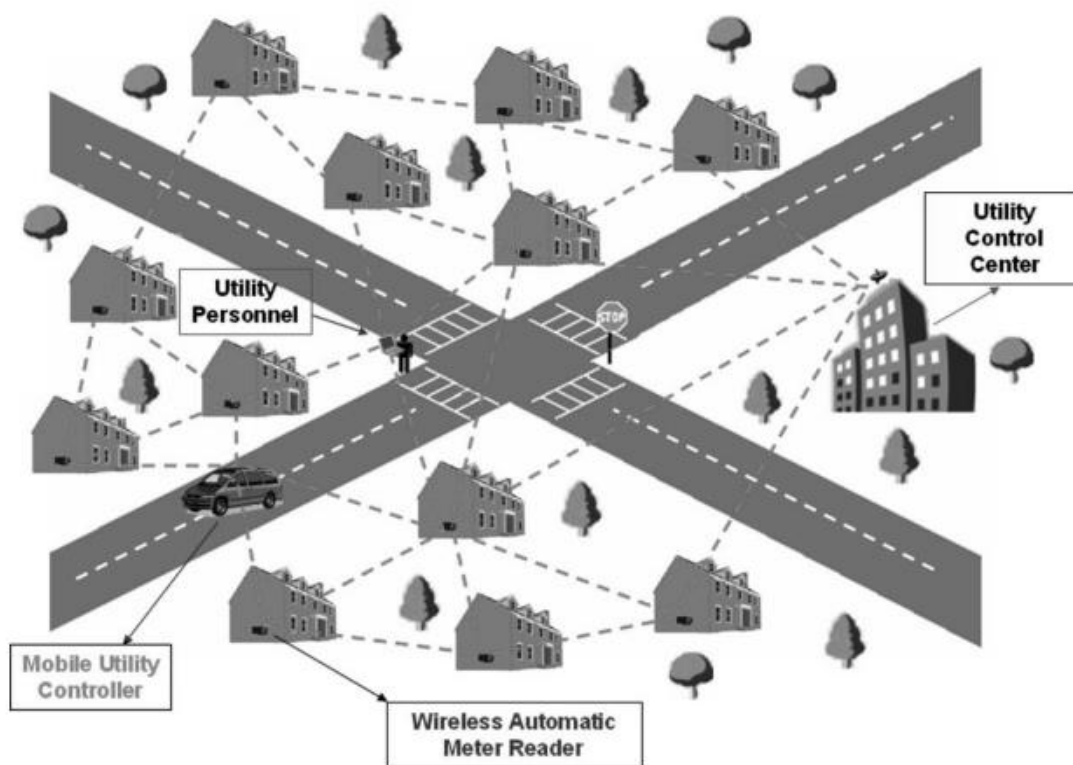
1.2.1 Άμεσα συσχετισμένες εφαρμογές

Η βασική λειτουργία των ευφυών μετρητών είναι η απομακρυσμένη συλλογή δεδομένων. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα μετρούν μεγέθη επιθυμητά προς μελέτη και παρατήρηση, προωθούν τις μετρήσεις στους τοπικούς συγκεντρωτές και στη συνέχεια, στα κέντρα επεξεργασίας δεδομένων. Η διαδικασία αυτή είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και στηρίζεται στην αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ τερματικών διατάξεων και MDMS. Η παραγόμενη κίνηση απαιτεί μικρό εύρος ζώνης σε σχέση με άλλες τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές, ενώ οι εξυπηρετούμενες ροές δεδομένων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα δεδομένα που σχετίζονται με τις μετρήσεις των επιθυμητών μεγεθών. Τέτοιου είδους δεδομένα έχουν συνήθως σχέση με off-line λειτουργίες και είναι ανεκτικά σε καθυστέρηση. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα δεδομένα που αποστέλλονται από τα MDMS προς τους τερματικούς κόμβους και σχετίζονται με το επίπεδο ελέγχου (control plane) του δικτύου, αποσκοπώντας στην άμεση ενεργοποίηση – απενεργοποίηση λειτουργιών. Αποτελούν υπηρεσίες πραγματικού χρόνου και πρέπει να αντιμετωπίζονται με τρόπο που να εξασφαλίζει την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση. Τέτοια πληροφορία προκύπτει συνήθως μετά από την επεξεργασία των δεδομένων στα MDMS και ενεργοποιεί συγκεκριμένη εντολή που αποστέλλεται προς εκτέλεση στους μετρητές.

1.2.2 Υπηρεσίες ευφυούς ενεργειακού δικτύου – Smart Grid

Πολύ σημαντικός είναι ο ρόλος των SM συστημάτων σε Smart Grid (SG) εφαρμογές. Το απαρχαιωμένο ηλεκτρικό δίκτυο απαιτεί την επιτόπια ανάγνωση των ενδείξεων των μετρητών, γεγονός που καθιστά αδύνατη την real time παρακολούθηση προσφοράς και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και τη γενικότερη εποπτεία της κατάστασης του ηλεκτρικού δικτύου. Η απουσία σύνδεσης μεταξύ παραδοσιακών μετρητών και κέντρων συλλογής δεδομένων αποτελεί τη βασική αιτία αδυναμίας απομακρυσμένης και ευέλικτης διαχείρισης συντελεστών του ηλεκτρικού δικτύου βάσει στατιστικών δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας [3]. Μέσω ευφυών τερματικών (Wireless Automatic Meter Reading – WAMR) είναι πλέον δυνατή η απομακρυσμένη παρακολούθηση σημαντικών τμημάτων και μονάδων του ηλεκτρικού δικτύου, όπως υποσταθμοί ή μετασχηματιστές. Ο SM είναι επίσης σε θέση να αναφέρει σφάλματα και βλάβες του ηλεκτρικού δικτύου, ενώ μπορεί να ανιχνεύσει και να πληροφορήσει για θέματα κλοπής ή απάτης. Η εγκατάσταση SM τερματικών σε οικίες καθιστά δυνατή την καταγραφή της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και προσφέρει τη δυνατότητα για εφαρμογές όπως εξισορρόπηση φορτίου (load balancing) και τιμολόγηση πραγματικού χρόνου (real time pricing), ενώ καθιστά δυνατή την εισαγωγή νέων λειτουργιών, όπως απομακρυσμένη διακοπή – ενεργοποίηση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας ή αποστολή μηνυμάτων στο μετρητή. Η άμεση παρακολούθηση του δικτύου καθιστά δυνατή και τη γνώση της αναλογίας προσφοράς και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό αποτελεί βασικό παράγοντα αποτελεσματικότερης διαχείρισης των πόρων του ηλεκτρικού δικτύου. Μέσω απομακρυσμένων εντολών σύνδεσης – αποσύνδεσης στα SM είναι ευκολότερη η ακαριαία είσοδος ή έξοδος καταναλωμένων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας (Distributed Energy Resources – DER), ώστε να εξισώνεται άμεσα η προσφερόμενη και η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι ελαχιστοποιείται το συνολικό λειτουργικό κόστος, μειώνονται οι ανάγκες για πρώτες ύλες, γίνεται σωστή εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μειώνονται οι συνολικοί ρύποι. Βελτιστοποιείται παράλληλα η παροχή υπηρεσιών

καθώς και η αξιοποίηση και η αποδοτικότητα του ηλεκτρικού δικτύου. Αξιοποιώντας τις λειτουργίες τηλεμετρίας, το κέντρο ελέγχου μπορεί να συλλέγει δεδομένα πραγματικού χρόνου για συγκεκριμένα σημεία του δικτύου διανομής και να έχει πλήρη εικόνα της κατάστασής του, γεγονός που συμβάλλει στη μείωση των αστοχιών, την ταχεία ανίχνευσή τους και την ελαχιστοποίηση του χρόνου αποκατάστασης βλαβών [3].



Σχήμα 1.2: Σύστημα WAMR [3]

Από την πλευρά των χρηστών, κάθε τερματική συσκευή μπορεί να συγκεντρώνει δεδομένα που αφορούν την εξατομικευμένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, δημιουργώντας έτσι το ενεργειακό προφίλ κάθε χρήστη, μέσω του οποίου μπορεί να έχει άμεση πρόσβαση στην πραγματική κατανάλωση ισχύος και να τη ρυθμίζει προς το συμφέρον του. Μέσω του συστήματος τιμολόγησης πραγματικού χρόνου, ο καταναλωτής μπορεί να μειώσει τα συνολικά έξοδά του και ταυτόχρονα να συμβάλει στη μείωση των ρύπων, μετατοπίζοντας τη ζήτησή του σε περιόδους χαμηλής ζήτησης (off – peak). Παραχωρώντας τον απομακρυσμένο έλεγχο ορισμένων συσκευών στο διαχειριστή ηλεκτρικής ενέργειας, ο καταναλωτής μπορεί να συνεισφέρει έναντι αποζημίωσης στην εξισορρόπηση προσφοράς και ζήτησης, ενώ ο ίδιος μηχανισμός μπορεί να εφαρμοστεί σε φωτοβολταϊκά και αιολικά πάρκα.

1.2.3 Νέες εφαρμογές ευφών μετρητών συστημάτων και αισθητήρων

Η ανάπτυξη των SM συστημάτων και WSN οδηγεί στη δημιουργία εφαρμογών που αφορούν πολυάριθμους τομείς της καθημερινότητας. Δεδομένου ότι εισάγουν πλήρως αυτοματοποιημένες διαδικασίες για την συλλογή δεδομένων, αποτελούν τη βέλτιστη λύση για εξυπηρέτηση μελλοντικών εφαρμογών, τόσο τεχνολογικά, όσο και οικονομικά.

Ενδεικτικά, καθιστούν δυνατή ή βελτιώνουν την υλοποίηση εφαρμογών και υπηρεσιών που σχετίζονται με [4]:

- Smart Cities
- Smart Environment
- Smart Water
- Smart Security and Emergencies
- Smart Retail and Logistics
- Smart Industrial Control
- Smart Agriculture
- Smart Home and e-Health

Η λειτουργία των SM συστημάτων είναι πλήρως αυτοματοποιημένη επιτρέποντας την εγκατάσταση και λειτουργία τους, τόσο σε προσβάσιμα όσο και σε με προσπελάσιμα μέρη. Η δυνατότητα απομακρυσμένης συλλογής δεδομένων ανοίγει το δρόμο για απομακρυσμένη παρακολούθηση οικιακών και εργοστασιακών εγκαταστάσεων ή απομακρυσμένο έλεγχο συσκευών και μηχανών.

Εφαρμογές που σχετίζονται με Smart Cities και Smart Environment έχουν τεθεί ήδη σε εφαρμογή και σχετίζονται με παρακολούθηση θέσεων στάθμευσης, ρύθμιση συγκοινωνίας, παρακολούθηση πυρκαγιών ή χιονοστιβάδων, επίπεδα μόλυνσης υδάτινων πόρων κτλ. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και ο κλάδος των SM συστημάτων αναπτύσσεται, ολοένα και περισσότερες εφαρμογές θα μπορούν να εξυπηρετηθούν αποδοτικότερα, ενώ μεγάλη αναμένεται να είναι και η ανάγκη για δημιουργία νέων υπηρεσιών.

1.2.4 Cloud computing για big data

Τα συστήματα SM αποτελούνται από χιλιάδες κόμβους που παράγουν δεδομένα ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Τα σύνολα δεδομένων (data sets) που προκύπτουν από τις περιοδικές μετρήσεις είναι τεράστια σε μέγεθος (big data) και απαιτούν σύνθετη διαχείριση και επεξεργασία. Οι παραδοσιακές τεχνικές βάσεων δεδομένων και οι κλασικές υλοποιήσεις σε hardware δημιουργούν προκλήσεις που αφορούν τη μεταφορά, την αποθήκευση, την αναζήτηση, την ανάλυση, το διαμοιρασμό, και τη γραφική απεικόνιση των εν λόγω δεδομένων. Η εισαγωγή των big data δεν οφείλεται μόνο σε SM συστήματα, αλλά γενικότερα στην ύπαρξη αυξημένου όγκου πληροφορίας που εξυπηρετεί ολοένα και περισσότερες υπηρεσίες. Η αποτελεσματική αντιμετώπιση των ανωτέρω προκλήσεων με παραδοσιακές υποδομές είναι οικονομικά ασύμφορη. Μια εναλλακτική προσέγγιση μπορεί να δώσει το cloud computing. Πρόκειται για μια τεχνολογία που επιτρέπει την εύκολη και on – demand πρόσβαση σε διαμοιραζόμενους υπολογιστικούς πόρους (π.χ. δίκτυα, servers, αποθηκευτικό χώρο, εφαρμογές και υπηρεσίες) με δυνατότητα υψηλής παραμετροποίησης. Οι απαιτούμενοι πόροι δεσμεύονται επί όσο χρόνο χρειάζεται και απελευθερώνονται μετά το πέρας των λειτουργιών απαιτώντας ελάχιστη διαχειριστική προσπάθεια. Η εκτέλεση των απαιτούμενων λειτουργιών γίνεται διαδικτυακά και επιστρέφονται μόνο τα αποτελέσματα. Ως εκ τούτου, το cloud computing ενδείκνυται για υπηρεσίες που απαιτούν χαμηλό λειτουργικό κόστος, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει υψηλή ευελιξία σε υπολογιστική ισχύ και τεχνολογία. Από τα προηγούμενα γίνεται αντιληπτό ότι το cloud computing αποτελεί τη βέλτιστη τεχνολογική προσέγγιση για εφαρμογές big data. Επιπλέον παρέχει τη δυνατότητα δυναμικής προσαρμογής της υπολογιστικής ικανότητας ως προς τη διαχείριση δεδομένων. Σύμφωνα με τις παραδοσιακές τεχνικές, η υπολογιστική ισχύ πρέπει να καθορίζεται εξαρχής, ενώ η προσαρμογή του συστήματος σε δυναμικά μεταβαλλόμενες καταστάσεις απαιτεί ριζική αλλαγή των πληροφοριακών συστημάτων.

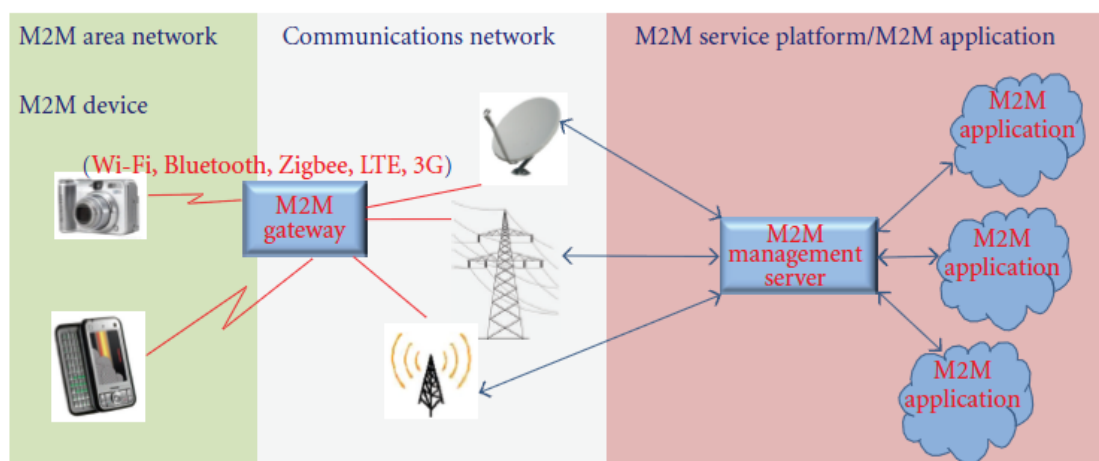
Ωστόσο, το cloud computing παρέχει τη δυνατότητα δυναμικής προσαρμογής της υπολογιστικής ισχύος, επιτρέποντας έτσι σε μια υπηρεσία να ξεκινήσει από χαμηλό όγκο δεδομένων και σταδιακά να τον αυξήσει, διατηρώντας ταυτόχρονα το κόστος λειτουργίας στα ελάχιστα δυνατά επίπεδα [5].

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν τα τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά ενός SM συστήματος. Η ανάλυση θα ξεκινήσει με μια παρουσίαση των βασικών τεχνολογιών πρόσβασης (last mile access technologies) και θα συνεχιστεί με τις βασικές τεχνολογίες πρόσβασης στο δίκτυο κορμού (backhauling technologies). Θα αναφερθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε τεχνολογίας, η καταλληλότητά τους ως προς την εξυπηρέτηση διάφορων εφαρμογών, ενώ θα παρουσιαστούν και οι πιθανές δικτυακές τοπολογίες. Τέλος, θα τονιστεί η ανάγκη διασυνδεσιμότητας του εξοπλισμού, δηλαδή η δυνατότητα ανταλλαγής πληροφορίας μεταξύ διατάξεων που χρησιμοποιούν διαφορετικές τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες, προκειμένου το δίκτυο να είναι πλήρως λειτουργικό.

2.1 Τεχνολογίες που έχουν σχέση με ευφυείς μετρήτές

Η αμφίδρομη M2M 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 στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1: Δομή M2M δικτύου επικοινωνιών [6]

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.

2.1.1 Συλλογή δεδομένων και μετρήσεων στο δίκτυο πρόσβασης

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.

2.1.1.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά τεχνολογιών στο δίκτυο πρόσβασης

Ακολουθώς, παρουσιάζονται τεχνολογίες, τόσο ασύρματες όσο και ενσύρματες, που είναι κατάλληλες για επικοινωνία στο δίκτυο πρόσβασης. Παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε τεχνολογίας, ενώ επισημαίνεται ότι η επιλογή της καταλληλότερης αποτελεί σύνθετο πρόβλημα που πρέπει να λάβει υπόψη του πολλές παραμέτρους.

Το πρωτόκολλο 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 [7].
- **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 [8].

Το Πρωτόκολλο 6LoWPAN (IPv6 Over Low Power Wireless Personal Area Networks)

Το πρωτόκολλο 6LoWPAN 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 [9]. 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 [10]. Τα ανωτέρω αποτελούν λειτουργίες του στρώματος προσαρμογής (adaptation layer) μεταξύ του 6LoWPAN και του IEEE 802.15.4. Το 6LoWPAN εμφανίζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

- *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.

Το Πρωτόκολλο 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) [11]. 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 [12].

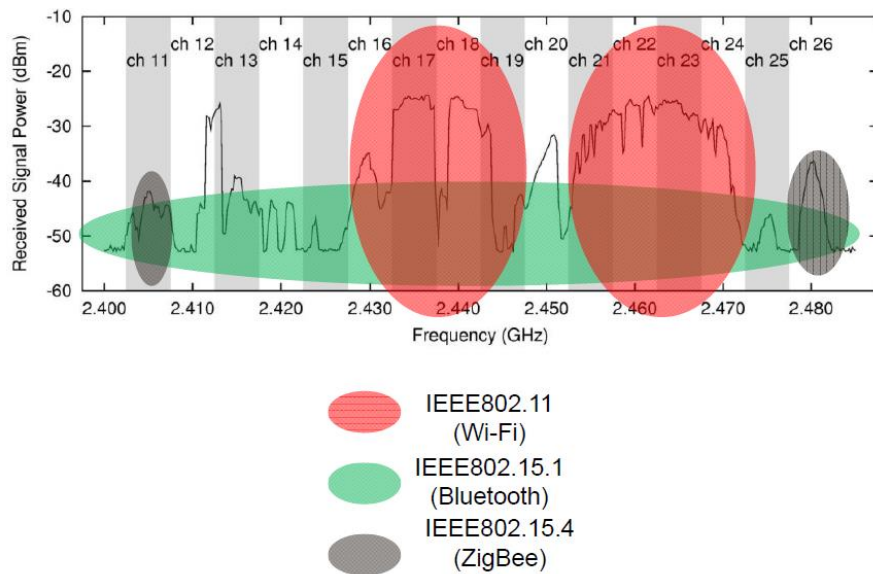
Το Πρωτόκολλο WiFi

Μια ακόμα τεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για M2M επικοινωνία και να εξασφαλίσει Last Mile Access είναι το Wi-Fi [13]. 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. Η τεχνολογία WiFi εμφανίζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

- **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 [6].
- **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 [12] αφού κατά μέσο όρο καταναλώνει 100 φορές περισσότερη ενέργεια σε σχέση με το Zigbee [14].

Στο Σχήμα 2.2 απεικονίζεται το επίπεδο παρεμβολών των προαναφερθέντων τεχνολογιών.



Σχήμα 2.2: Επίπεδο παρεμβολών σε ασύρματα δίκτυα [14]

Στο σχήμα 2.3 φαίνεται η διαστρωμάτωση των προαναφερθέντων πρωτοκόλλων.

| ZigBee | 6LoWPAN | Wi-Fi | Bluetooth |
|----------------------------------|--|---------------------------|-------------------------------------|
| Applications | Applications | Applications | Applications |
| ZigBee Application Support Layer | UDP Transport | LDP/TCP Transport | HID TCP/UDP RFCOMM |
| ZigBee Network Layer | IPv6 Network Layer 6LoWPAN Adaption | IPv6 / IPv4 Network Layer | SDP IP |
| 802.15.4 MAC Layer | 802.15.4 MAC Layer | 802.11 MAC Layer | L2CAP / Link Mgr. / Link Controller |
| 802.15.4 Phy Layer | 802.15.4 Phy Layer | 802.11 Phy Layer | Bluetooth PHY |

Σχήμα 2.3: Διαστρωμάτωση Πρωτοκόλλων [10]

Κυψελωτά δίκτυα κινητών επικοινωνιών (cellular networks)

Το υπάρχον δίκτυο κινητής επικοινωνίας αποτελεί καλή επιλογή για τη μεταφορά της πληροφορίας από τις τερματικές διατάξεις (smart meters) μέχρι τον ενδιάμεσο κόμβο συγκέντρωσης δεδομένων (concentrator – M2M Gateway). Ωστόσο, πρέπει προηγουμένως να γίνουν κατάλληλες τροποποιήσεις ώστε να υποστηρίζεται επιτυχώς η M2M επικοινωνία, καθώς αρχικός σκοπός του δικτύου ήταν η ανθρώπινη (Human to Human – H2H) επικοινωνία [15]. Η πληροφορία που συλλέγουν οι τερματικές διατάξεις μπορεί να μεταδοθεί μέσω των διαθέσιμων τεχνολογιών κινητών επικοινωνιών 2G, 2.5G, 3G και LTE, αφού σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται κυρίως για εφαρμογές με smart meters [2]. Τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

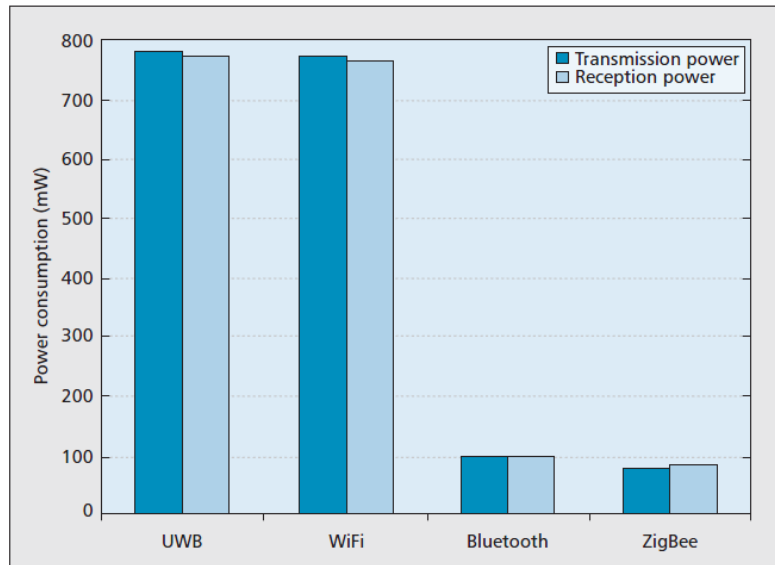
- **Πλεονεκτήματα:** Τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών είναι ήδη εγκατεστημένα, γεγονός που απαλλάσσει εταιρίες από το κόστος εγκατάστασης νέας τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Η χωρητικότητα των δικτύων κινητών επικοινωνιών είναι επαρκής για SM και M2M εφαρμογές λόγω του μικρού όγκου διακινούμενης πληροφορίας. Χαρακτηρίζονται ακόμα από υψηλό επίπεδο προστασίας κατά τη μετάδοση πληροφορίας. Οι τεχνολογίες 2G, 2.5G, 3G και LTE λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες επιτρέποντας τη μετάδοση πληροφορίας με διαφόρους ρυθμούς ενώ το ποσοστό κάλυψης των υπάρχόντων δικτύων αγγίζει το 100%.
- **Μειονεκτήματα:** Η επίδοση των δικτύων κινητών επικοινωνιών καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το βαθμό εξυπηρέτησης (Grade of Service – GoS) [16], μέγεθος που αποτιμά την πιθανότητα απόρριψης αιτημάτων πρόσβασης στο δίκτυο. Μικρός GoS ενδέχεται να οδηγήσει σε απόρριψη της πληροφορίας κρίσιμων M2M εφαρμογών σε ώρες αιχμής κίνησης, δεδομένου ότι το δίκτυο χρησιμοποιείται ήδη από πελάτες εταιριών κινητής τηλεφωνίας. Η συμφόρηση στο δίκτυο μπορεί να μειώσει αρκετά την επίδοση των M2M εφαρμογών. Τέλος, η από-άκρο-σε-άκρο επικοινωνία μέσω δικτύου κινητών επικοινωνιών είναι ενεργειακά δαπανηρή. Βλάβες ή διακοπή της τροφοδοσίας σε σταθμούς βάσεις θέτουν προσωρινά το δίκτυο εκτός λειτουργίας.

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) [12]. Αποτελεί τεχνολογία που χρησιμοποιείται κυρίως σε indoor επικοινωνίες λόγω της μικρής εμβέλειας των τερματικών διατάξεων. Εμφανίζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

- **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).
- **Μειονεκτήματα:** Το κύριο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι η υψηλή ενεργειακή κατανάλωση των κόμβων του δικτύου. Ένα ακόμα σημαντικό μειονέκτημα σχετίζεται με το γεγονός ότι η ομάδα προτυποποίησης του IEEE 802.15.3a διαλύθηκε το 2006, με αποτέλεσμα το UWB να μη γνωρίζει επιπλέον ανάπτυξη και βελτιστοποίηση [12].

Στο σχήμα 2.4 συγκρίνεται η ισχύς εκπομπής του UWB με άλλα πρωτόκολλα επικοινωνίας.



Σχήμα 2.4: Επίπεδα ισχύος εκπομπής - λήψης για διάφορα πρωτόκολλα [12]

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. Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα είναι:

- **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 [17].
- **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 [3]. Ο δίαυλος είναι ακατάλληλος για χρήση σε μελλοντικές ευρυζωνικές εφαρμογές, αφού η ζώνη μεταξύ 10MHz και 20MHz είναι απαγορευτική [17]. 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.

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.

2.1.1.2 Καταλληλότητα τεχνολογιών

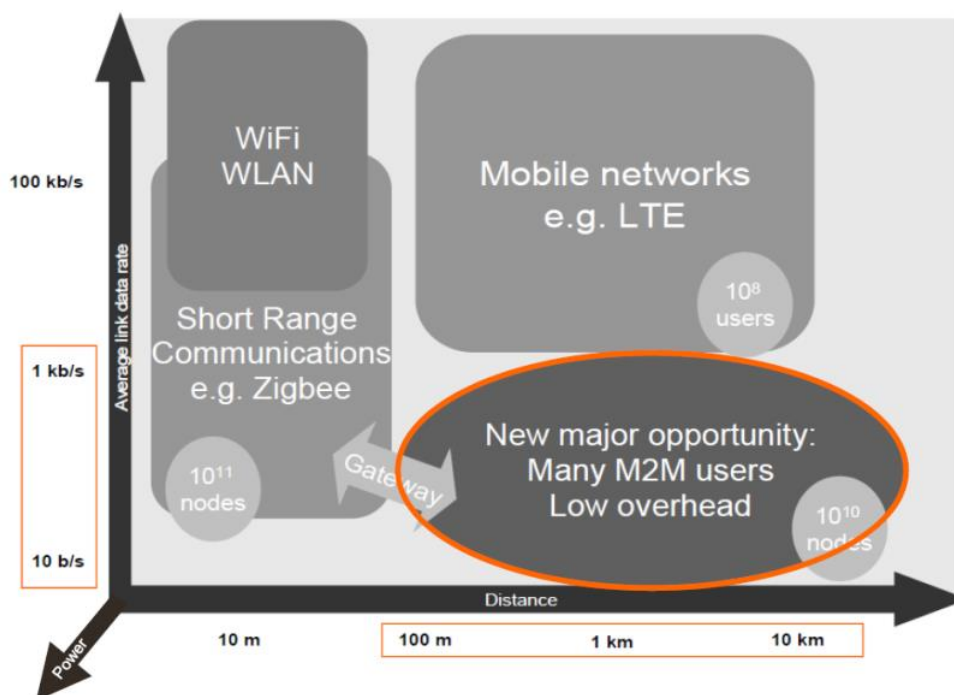
Η καταλληλότητα των τεχνολογιών κατά τη μελέτη ενός SM συστήματος εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- 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 DSL, PLC και GPRS. Αυτές έχουν επιπλέον το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν το υπάρχον δίκτυο.

Στο Σχήμα 2.5 απεικονίζεται ποια είναι η καταλληλότερη τεχνολογία με κριτήριο την απόσταση κάλυψης και το ρυθμό μετάδοσης που απαιτείται για SM ή M2M εφαρμογές.

Στον Πίνακα 2.1 συνοψίζονται τα τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά των προαναφερθέντων τεχνολογιών και αναφέρονται εφαρμογές στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποδοτικά εκάστη εξ αυτών.



Σχήμα 2.5: Ταξινόμηση τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών [14]

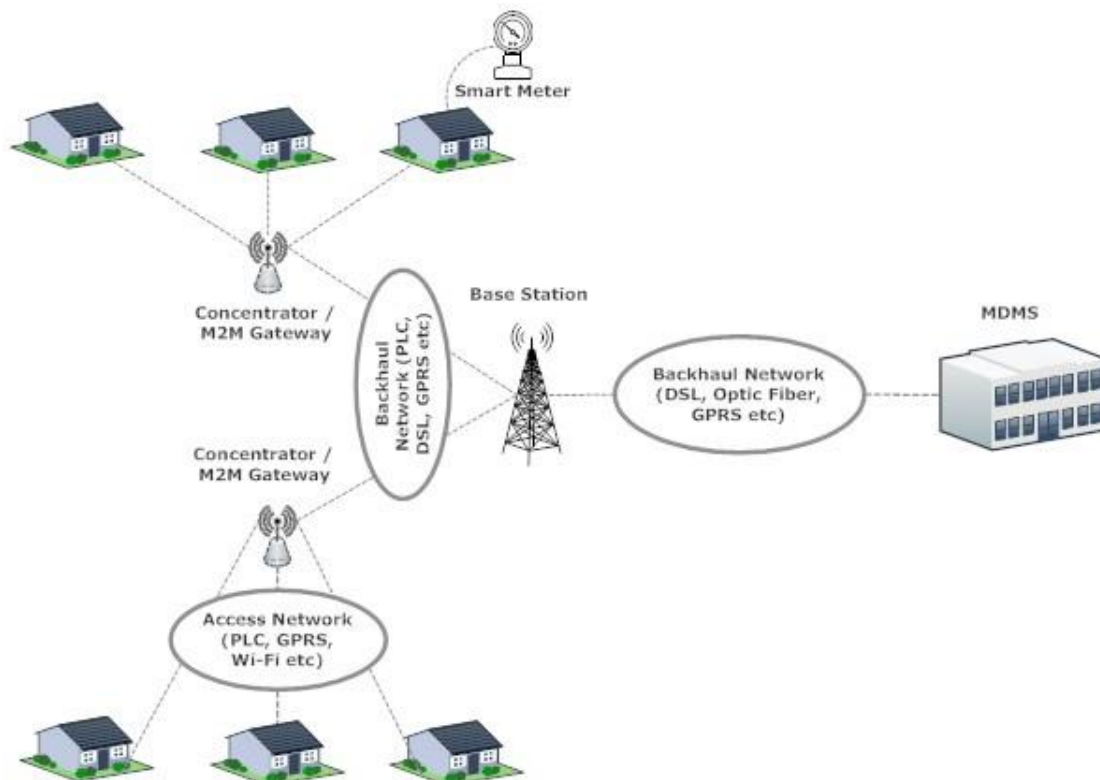
| | Φάσμα | Ρυθμός μετάδοσης | Ακτίνα κάλυψης | Περιορισμοί | Εφαρμογές |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|--|---|
| GSM | 900-1800MHz | Μέχρι 14.4Kbps | 1-10km | Χαμηλός ρυθμός μετάδοσης | AMI, Προσφορά – Ζήτηση, HAN |
| GPRS | 900-1800MHz | Μέχρι 170Kbps | 1-10km | Χαμηλός ρυθμός μετάδοσης | AMI, Προσφορά – Ζήτηση, HAN |
| 3G | 1.92-1.98GHz, 2.11-2.17GHz (licensed) | 348Kbps-2Mbps | 1-10km | Υψηλό κόστος ενοικίασης φάσματος | AMI, Προσφορά – Ζήτηση, HAN |
| Wi-Fi | 2.4, 3.6 and 5GHz | 22Mbps (802.11g) 144Mbps (802.11n) | 45m | Μικρή ακτίνα κάλυψης | Διασύνδεση WLAN οικιακών εγκαταστάσεων |
| WiMAX | 2.5-3.5GHz, 5.8GHz | Μέχρι 75Mbps | 10-50km (LOS) 1-5km (NLOS) | Χρησιμοποιείται σπανίως | AMI, Προσφορά – Ζήτηση |
| PLC | 1-30MHz | 2-3Mbps | 1-3km | Δύσκολο και θορυβώδες φυσικό μέσο | AMI |
| IEEE 802.15.4 ZigBee/6LoWPAN | 868MHz, 918MHz, 2.4GHz | 250Kbps | 30-50m | Χαμηλός ρυθμός μετάδοσης, μικρή ακτίνα κάλυψης | AMI, HAN |
| Bluetooth | 2.4GHz | 3Mbps (enhanced) 1Mbps (basic or LE) | 1m, 10m, 100m (κλάσεις) 5-15m (LE) | Μικρή ακτίνα κάλυψης, υψηλή κατανάλωση ισχύος | Smart Meters, Μεταφορά δεδομένων, Παρακολούθηση |

Πίνακας 2.1: Σύνοψη τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών

Είναι φανερό ότι η ορθή επιλογή της τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας αποτελεί σύνθετο πρόβλημα. Η απόφαση για την καταλληλότερη τεχνολογία λαμβάνεται με κριτήριο την εφαρμογή που πρόκειται να εξυπηρετηθεί, τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης, την απόσταση των κόμβων του δικτύου, τους περιορισμούς ως προς την ενεργειακή κατανάλωση και τους εκάστοτε οικονομικούς περιορισμούς.

2.1.2 Μετάδοση δεδομένων στο δίκτυο κορμού

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



Σχήμα 2.6: Υποδομή συστήματος SM

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.

2.1.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά τεχνολογιών στο δίκτυο κορμού

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

Μικροκυματικές ζεύξεις

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

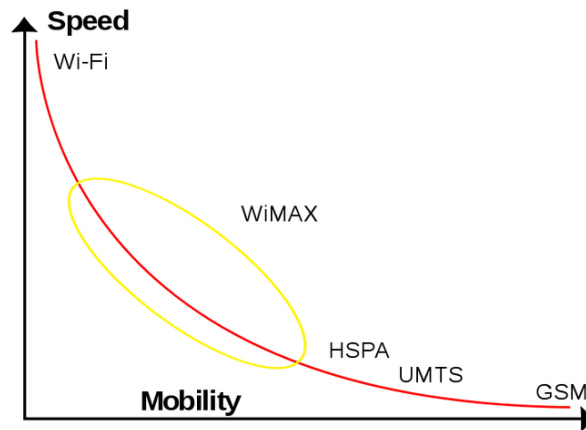
- **Πλεονεκτήματα:** Λόγω του μεγάλου διαθέσιμου φάσματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά φέροντα με διαφορετικούς ρυθμούς και να επιλέγεται ο καταλληλότερος εξ αυτών σύμφωνα με τις απαιτήσεις της SM εφαρμογής. Η καθυστέρηση μεταφοράς της πληροφορίας είναι ανεπαίσθητη, ενώ η υψηλή κατευθυντικότητα 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 [18]. Οι μικροκυματικές ζεύξεις απαιτούν Line of Sight (LOS) επικοινωνία για να εξασφαλίσουν το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό διαθεσιμότητας της ζεύξης.

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 [19].

- **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.



Σχήμα 2.7: Επίδοση WiMAX σε σχέση με άλλες τεχνολογίες [19]

- **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.

Επικοινωνίες οπτικών ινών (fiber - optic)

Οι επικοινωνίες οπτικών ινών αποτέλεσαν επαναστατικό βήμα στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, καθώς οι συχνότητες μετάδοσης της πληροφορίας είναι της τάξης των THz και οι συνήθεις ταχύτητες είναι της τάξης των Gbps. Με χρήση διαφόρων τεχνικών πολύπλεξης και πρόσβασης στο μέσο (TDMA, OFDMA, OCDMA) επιτυγχάνεται ο επιθυμητός συνδυασμός ρυθμών μετάδοσης αντίστοιχα προς την εφαρμογή. Λεπτομερή ανάλυση των οπτικών επικοινωνιών μπορεί να βρει κανείς στην [20].

- **Πλεονεκτήματα:** Η μετάδοση είναι αξιόπιστη, χωρίς να επηρεάζεται από θόρυβο ή ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (ElectroMagnetic Interference – EMI) και παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Interference – RFI) [3]. 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.

Κυβελωτά δίκτυα κινητών επικοινωνιών (cellular networks)

Τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών αποτελούν πολύ καλή λύση και για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ συγκεντρωτών και σταθμού βάσης. Σύντομη παρουσίαση των δικτύων κινητών επικοινωνιών έγινε στην παράγραφο 2.3, ωστόσο αξίζει να επισημανθεί το εξής. 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 [21]), όπου το διαθέσιμο εύρος ζώνης μεταβάλλεται μεταξύ 1.4MHz και 20MHz επιτυγχάνοντας ρυθμούς μετάδοσης που πλησιάζουν το 1Gbps για αμφίδρομη επικοινωνία [14].

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 [22], με αποτέλεσμα μελλοντικά να αποτελέσουν στενωπό του δικτύου, αφού το πλήθος δεδομένων που θα κληθούν να εξυπηρετήσουν ενδεχομένως να βρίσκεται πέραν των δυνατοτήτων τους.

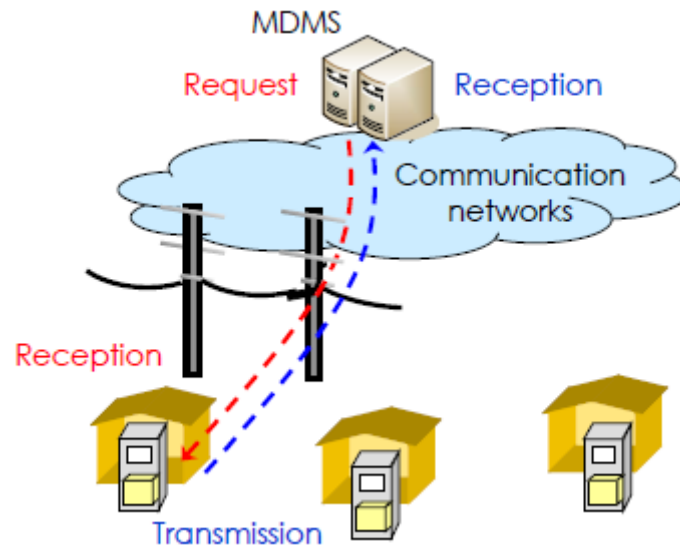
2.1.2.2 Διαχείριση κίνησης

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

Ως εκ τούτου, τα πακέτα πληροφορίας πρέπει να διαθέτουν και πεδίο προτεραιότητας, ώστε να έχουν την κατάλληλη αντιμετώπιση από το δίκτυο. Η μεταφορά δεδομένων που σχετίζεται με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (best effort) με ελαστικές απαιτήσεις ως προς την καθυστέρηση μετάδοσης. Πακέτα που ενδέχεται να χαθούν λόγω σφάλματος, αδυναμίας επικοινωνίας του μετρητή, ή υπερφόρτωσης του δικτύου, μπορούν να ανακτηθούν από τα MDMS με απευθείας κλήση στο κόμβο που παρουσίασε αστοχία, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.8.

Η δεύτερη κατηγορία ιεράρχησης πληροφορίας σχετίζεται με πακέτα διαχείρισης του δικτύου. Αυτά μπορεί να εμπεριέχουν εντολές εισόδου – εξόδου δευτερευουσών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή DER, απομακρυσμένη διαχείριση συσκευών για εξισορρόπηση φορτίου (load balancing) κτλ. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται επίσης και

πακέτα με πληροφορία σφαλμάτων, αστοχιών, υπερφόρτωσης και γενικότερα προβλήματα του δικτύου. Η ανωτέρω πληροφορία συμβάλλει στην άμεση εποπτεία της λειτουργίας του ηλεκτρικού δικτύου και τη διατήρηση υψηλού QoS για τους καταναλωτές. Συνεπώς, αποτελούν υπηρεσίες πραγματικού χρόνου και πρέπει να αντιμετωπίζονται από το δίκτυο επικοινωνιών με τον αντίστοιχο τρόπο. Οι ανωτέρω υπηρεσίες είναι ευαίσθητες τόσο στην καθυστέρηση όσο και στην απώλεια πακέτων, ώστε να εξασφαλίζεται το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Ομοίως απαιτούν ταχεία και αξιόπιστη μεταφορά και επεξεργασία της πληροφορίας από τους ενδιάμεσους κόμβους, ταχείες διαδικασίες στο κέντρο διαχείρισης και άμεση ανατροφοδότηση της πληροφορίας ελέγχου στο δίκτυο.



Σχήμα 2.8: Συλλογή δεδομένων σε περίπτωση αστοχίας [1]

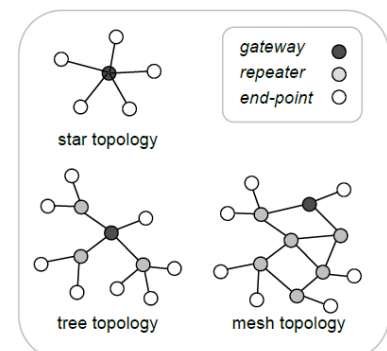
2.1.2.3 Δικτυακές τοπολογίες

Η τοπολογία ενός SM δικτύου εξαρτάται από τη χωρική κατανομή των ευφύων μετρητών και από τον τρόπο που αυτοί επικοινωνούν μεταξύ τους. Με κριτήριο την υπολογιστική τους ικανότητα, οι SM κατηγοριοποιούνται σε [23]:

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

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

- Τοπολογία αστέρα (star)
- Τοπολογία δένδρου (tree)



- Τοπολογία κατανεμημένου δικτύου (mesh network)

Για να λειτουργήσει αποτελεσματικά ένα είδος τοπολογίας χρειάζεται τουλάχιστον μια συσκευή πλήρους λειτουργίας (FFD).

Τοπολογία αστέρα

Η τοπολογία αστέρα αποτελείται από ένα κόμβο FFD και πλήθος αισθητήρων καταγραφής. Αποκαλείται και point – to – point επικοινωνία, καθώς όλοι οι κόμβοι καταγραφής επικοινωνούν απευθείας με τον κόμβο πλήρους λειτουργίας, που έχει και το ρόλο συγκεντρωτή, όντας υπεύθυνος για την περαιτέρω προώθηση των δεδομένων. Απαραίτητη προϋπόθεση, που αποτελεί ταυτόχρονα και σημαντικό περιορισμό της τοπολογίας αυτής, είναι η εγκατάσταση των κόμβων εντός της εμβέλειας του FFD, προκειμένου να είναι δυνατή η επικοινωνία και η μεταφορά δεδομένων. Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η απευθείας δρομολόγηση, καθώς τα πακέτα μεταφέρονται από τους κόμβους RFD στους κόμβους FFD χωρίς ενδιάμεσα βήματα.

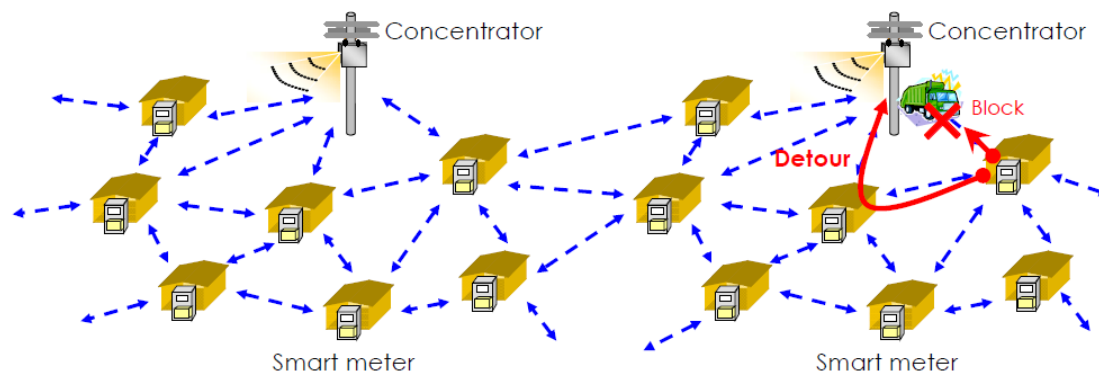
Τοπολογία δένδρου

Η τοπολογία δένδρου προκύπτει με ομαδοποίηση τελικών κόμβων που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τον κόμβο – συγκεντρωτή και αδυνατούν να επικοινωνήσουν απευθείας μαζί του. Κάθε ομάδα τελικών κόμβων επικοινωνεί με ένα επαναλήπτη που είναι κόμβος FFD αφού πρέπει να διαθέτει λειτουργίες καταγραφής, λήψης και προώθησης πακέτων. Λειτουργία του επαναλήπτη είναι η συγκέντρωση δεδομένων από τους κόμβους κατώτερου επιπέδου και η προώθησή τους προς τον κόμβο – συγκεντρωτή. Είναι φανερό ότι κάθε πακέτο πραγματοποιεί πολλαπλά βήματα για να φθάσει στον τελικό προορισμό του, χρησιμοποιώντας έτσι μια multi – hop δρομολόγηση. Αυτό το είδος τοπολογίας παρουσιάζει το πλεονέκτημα της κλιμακωσιμότητας, καθώς κάθε νέος κόμβος μπορεί να εντάσσεται σε μια υπάρχουσα ομάδα, γεγονός που τον καθιστά άμεσα λειτουργικό. Ωστόσο, η τοπολογία αυτή χρειάζεται πρωτόκολλα δρομολόγησης που πρέπει να λαμβάνουν υπόψιν τα περιορισμένα ενεργειακά αποθέματα των κόμβων. Παραδείγματα τέτοιων αλγορίθμων είναι οι ROLL και AODV [10]. Οι αλγόριθμοι οφείλουν επίσης να είναι ευέλικτοι σε αλλαγές, όπως είναι η είσοδος νέων κόμβων.

Mesh τοπολογία

Η κατανεμημένη (mesh) τοπολογία έχει σχεδόν τα ίδια χαρακτηριστικά με την τοπολογία δένδρου, χαρακτηριζόμενη, ωστόσο, από μικρότερη ομοιομορφία στη χωρική κατανομή των κόμβων. Η δρομολόγηση γίνεται με παρόμοιους αλγορίθμους και εξακολουθεί να έχει multi – hop χαρακτήρα, ενώ τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα δεν διαφέρουν σημαντικά από εκείνα της τοπολογίας δένδρου. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της mesh τοπολογίας είναι η διαθεσιμότητα εναλλακτικών διαδρομών. Ακριβώς επειδή υπάρχει χωρική ανομοιομορφία, η επικοινωνία με τον κόμβο – συγκεντρωτή (sink node) μπορεί να γίνει μέσω εναλλακτικών multi – hop δρομολογήσεων. Όλοι οι κόμβοι βασίζονται στους γειτονικούς τους για να μεταφέρουν δεδομένα. Σε δίκτυα στατικής multi – hop δρομολόγησης η παύση λειτουργίας ενός ενδιάμεσου κόμβου συνεπάγεται αδυναμία επικοινωνίας όσων εξαρτώνται από αυτόν. Ωστόσο, μέσω της τοπολογίας πλέγματος και της δυνατότητας εναλλακτικής δρομολόγησης, η επικοινωνία είναι ακόμα εφικτή. Στο

Σχήμα 2.9 απεικονίζεται η εναλλακτική δρομολόγηση σε περίπτωση αδυναμίας επικοινωνίας με γειτονικό κόμβο.



Σχήμα 2.9: Εναλλακτική δρομολόγηση σε mesh τοπολογία [1]

Σε τοπολογίες δένδρου αυτό δεν είναι δυνατό όταν τεθεί εκτός λειτουργίας ο κόμβος – πατέρας.

2.1.2.4 Υπάρχουσα τηλεπικοινωνιακή υποδομή

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

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

Επίσης, κατά περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν και υπάρχοντα δημόσια δίκτυα ασύρματης πρόσβασης, όπως το WiMAX. Ωστόσο, τέτοια δίκτυα δεν παρέχουν καθολική κάλυψη και επομένως δεν θα μελετηθούν περαιτέρω.

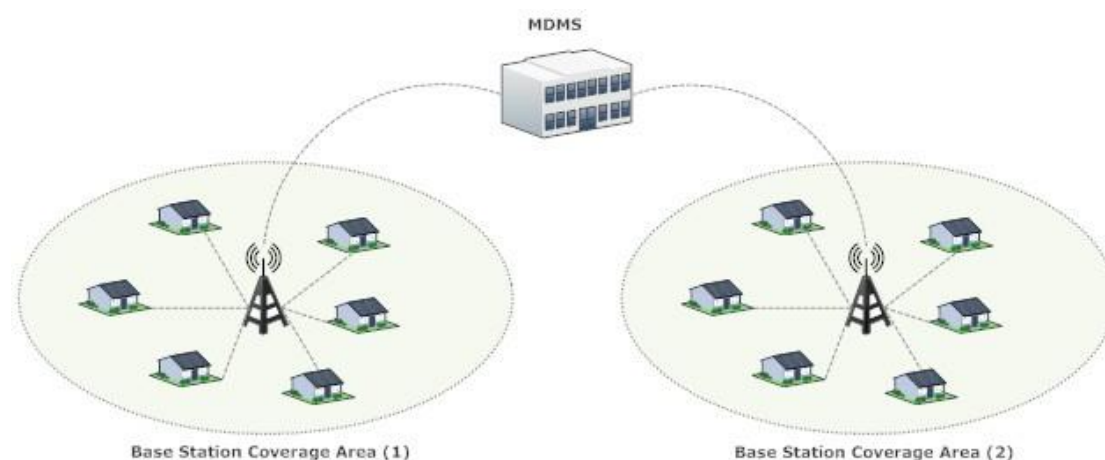
Το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο

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

υπηρεσίες αναμένεται να είναι ελάχιστη ως μηδενική, καθώς η κίνηση των SM είναι περιοδική και όχι συνεχής, ενώ ο όγκος πληροφορίας είναι της τάξης των δεκάδων bytes.

Το δίκτυο κινητών επικοινωνιών

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

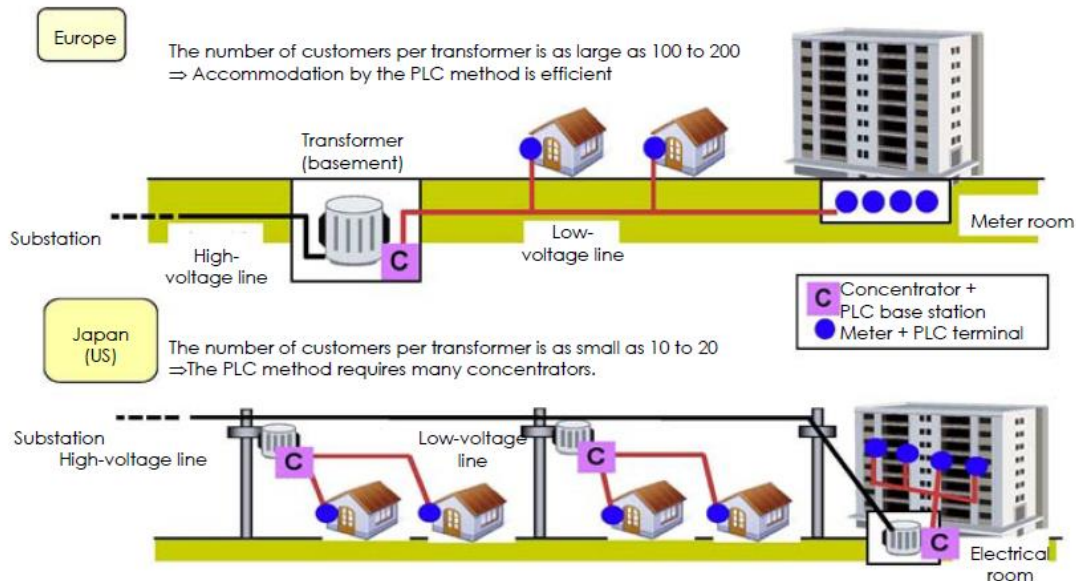


Σχήμα 2.10: Απευθείας επικοινωνία σταθμού βάσης με MDMS

Το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Ως τηλεπικοινωνιακή υποδομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, υπό την προϋπόθεση ότι θα γίνουν κατάλληλες τροποποιήσεις, ώστε να υποστηρίζονται PLC επικοινωνίες. Από πλευράς γεωγραφικής κάλυψης η PLC τεχνολογία αποτελεί τη βέλτιστη λύση, ενώ παράλληλα επιτρέπει την άμεση λειτουργία SM συστημάτων. Παρά το πλεονέκτημα της μεγάλης γεωγραφικής κάλυψης και της άμεσης λειτουργίας, η τεχνολογία PLC έχει πολλά μειονεκτήματα. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι ο θορυβώδης δίαυλος επικοινωνίας που δυσκολεύει τη μετάδοση πληροφορίας καθώς και η σημαντική εξασθένηση που προξενείται σε μεγάλες αποστάσεις. Συνεπώς, πρόκειται για

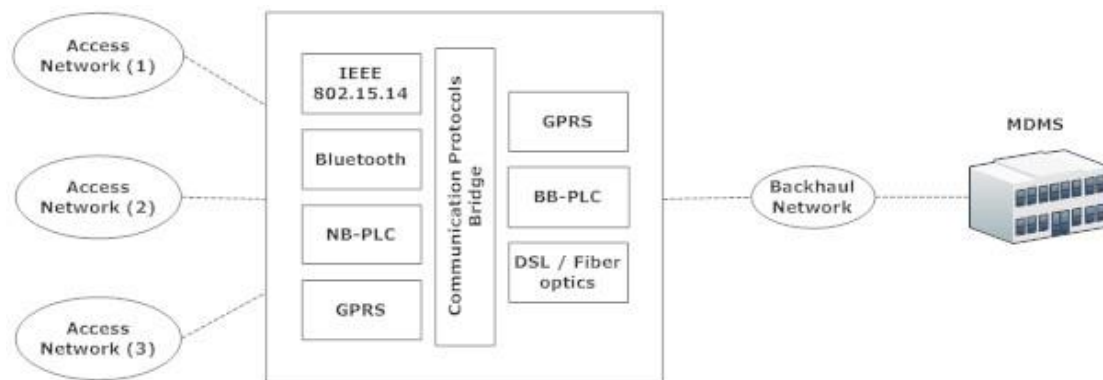
εναλλακτική τεχνολογία που προτιμάται σε περιπτώσεις όπου η ασύρματη επικοινωνία είναι αδύνατη [1]. Ωστόσο πρέπει να αποφεύγεται όταν μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές μέθοδοι.



Σχήμα 2.11: Λειτουργία PLC [1]

2.1.3 Interfacing μεταξύ δικτύου πρόσβασης και δικτύου κορμού

Από την αναφορά που έγινε προηγουμένως, προκύπτει ότι η καταλληλότητα των τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το δίκτυο πρόσβασης και το δίκτυο κορμού ποικίλλει. Η επιλογή της τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας επηρεάζεται από κριτήρια που σχετίζονται με την απόσταση των κόμβων, τον επιθυμητό ρυθμό μετάδοσης, το ανάγλυφο του εδάφους, τη ρυμοτομική κατάσταση κτλ. Επομένως, τα διάφορα δίκτυα πρόσβασης μπορεί να χρησιμοποιούν διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας, ενώ μπορεί να διαφέρει και η τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία στο δίκτυο κορμού. Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται η κατάλληλη διεπαφή (interface) μεταξύ δικτύου πρόσβασης και δικτύου κορμού. Το Σχήμα 2.12 απεικονίζει τη γεφύρωση των πρωτοκόλλων που απαιτείται κατά τη μετάβαση από το δίκτυο πρόσβασης στο δίκτυο κορμού και αντιστρόφως.



Σχήμα 2.12: Access network – backhaul network interface

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

2.1.4 Διασυνδεσιμότητα – διαλειτουργικότητα του εξοπλισμού

Οι προδιαγραφές του σωστού interfacing που περιγράφηκαν προηγουμένως εξασφαλίζουν την ικανότητα επικοινωνίας ετερογενών δικτύων. Η διαλειτουργικότητα είναι η δυνατότητα τεχνολογικής συνύπαρξης και η διασυνδεσιμότητα εξασφαλίζει την ικανότητα επικοινωνίας ετερογενών διατάξεων και δικτύων. Η διασυνδεσιμότητα του εξοπλισμού είναι απαραίτητη προκειμένου να ανταλλάσσεται πληροφορία αξιόπιστα, ενεργειακά, αποδοτικά και με ασφάλεια μεταξύ των επιμέρους τμημάτων που συνθέτουν το δίκτυο. Η διαλειτουργικότητα και διασυνδεσιμότητα του εξοπλισμού πρέπει να διασφαλίζεται ακόμα και εντός του ίδιου LAN, αφού αυτό μπορεί να υποστηρίζει συσκευές διαφορετικής τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας. Ωστόσο η ανάγκη διασυνδεσιμότητας δεν περιορίζεται μόνο στην επικοινωνία των συσκευών του δικτύου. Ένα SM σύστημα πρέπει να εξασφαλίζει την ικανότητα επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων ροών πληροφορίας που μπορεί να προκύψουν από τις διαφορετικές υπηρεσίες που αυτό εξυπηρετεί.

2.2 Επικοινωνία ευφών μετρητών

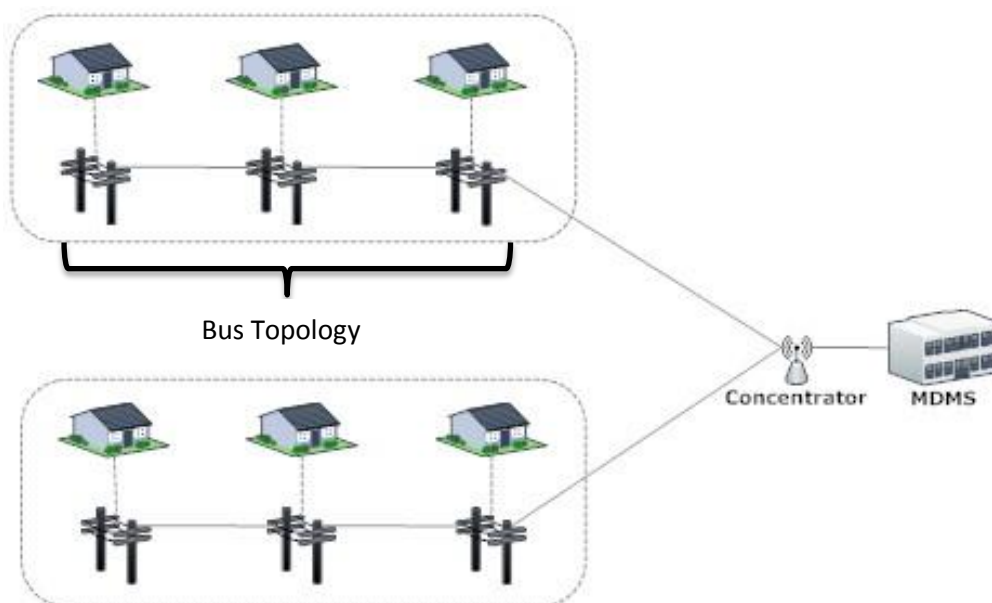
Κατά την εγκατάσταση ενός SM συστήματος, το δίκτυο πρόσβασης απαιτεί ενδελεχή μελέτη. Η μετάδοση δεδομένων από τους μετρητές προς το συγκεντρωτή γίνεται σε διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον διάδοσης. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε στην αστοχία λειτουργίας – επικοινωνίας κάποιων μετρητών λόγω εξάντλησης πόρων, είτε στη συνεχή μεταβολή του περιβάλλοντος διάδοσης λόγω κινούμενων εμποδίων και σκεδαστών. Αυτά πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά τη σχεδίαση και να χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα αντίμετρα για την αντιμετώπισή τους. Από την άλλη πλευρά, το δίκτυο κορμού χαρακτηρίζεται από σταθερά σημεία σύνδεσης και εξυπηρετείται από τεχνολογίες που δεν επηρεάζονται σημαντικά από τις μεταβολές στο περιβάλλον διάδοσης. Ακολούθως, θα γίνει αναφορά στις θεμελιώδεις λειτουργίες που δρουν ως αντίμετρα στις μεταβολές των συνθηκών μετάδοσης και διασφαλίζουν τη διαθεσιμότητα του δικτύου. Οι λειτουργίες προσαρμόζονται κατάλληλα στην τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία που επιλέγεται για να εξυπηρετήσει κάθε περίπτωση.

2.2.1 Έλεγχος δρομολόγησης κίνησης

Σε περίπτωση που ένα SM δίκτυο έχει σχεδιαστεί με mesh τοπολογία, υπάρχει η δυνατότητα άμεσης ανταπόκρισης σε μεταβολές του περιβάλλοντος διάδοσης λόγω της

δυνατότητας εναλλακτικής δρομολόγησης. Κάθε τερματική διάταξη ανακαλύπτει μόνη της τη διαδρομή προς το συγκεντρωτή, χαρακτηριστικό που επιτρέπει δυναμική προσαρμογή σε μεταβολές του περιβάλλοντος διάδοσης και εύρεση νέων διαδρομών όταν αυτό είναι απαραίτητο. Αυτό αυξάνει την ανταλλαγή μηνυμάτων σηματοδοσίας μεταξύ των μετρητών, διασφαλίζει όμως την ανταλλαγή δεδομένων και την τελική μεταφορά τους στο MDMS. Η σηματοδοσία γίνεται ενόσω τα SM είναι αδρανή όσον αφορά τη μεταφορά δεδομένων. Συνεπώς, μηνύματα σηματοδοσίας δεν δεσμεύουν χωρητικότητα κατά τη μετάδοση ωφέλιμης πληροφορίας [1].

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



Σχήμα 2.13: Συνδυασμός τοπολογίας διαύλου – αστέρα

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

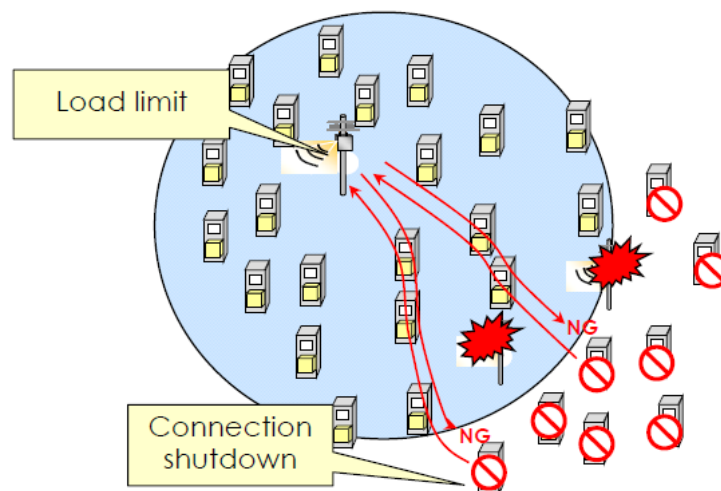
Η τοπολογία διαύλου – αστέρα μειώνει την πολυπλοκότητα της υλοποίησης του δικτύου και της δρομολόγησης της πληροφορίας, αν και δεν εξασφαλίζει εναλλακτική διαδρομή σε περίπτωση διακοπής κάποιας ζεύξης. Σε PLC δίκτυα, σε περίπτωση σφάλματος ενδιάμεσου κόμβου ή διακοπής της σύνδεσης αποκόπτεται σημαντικός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

2.2.2 Καταμερισμός φορτίου

Το πλήθος των μετρητών που επικοινωνεί με συγκεκριμένο συγκεντρωτή πρέπει να προσδιορίζεται κατά τρόπο που να εξασφαλίζεται η διατήρηση της QoS και να ελαχιστοποιείται το κόστος εγκατάστασης. Οι δύο αυτοί στόχοι είναι αντικρουόμενοι. Μειώνοντας το πλήθος των συγκεντρωτών, μειώνεται το κόστος εγκατάστασης αυξάνοντας, όμως το πλήθος των SM που οι συγκεντρωτές καλούνται να εξυπηρετήσουν. Αυτό μπορεί να προκαλέσει φαινόμενα συμφόρησης ή απώλειας πακέτων υποβαθμίζοντας την ποιότητα υπηρεσίας του SM δικτύου. Από την άλλη πλευρά, αυξημένο πλήθος συγκεντρωτών διασφαλίζει υψηλή QoS, ωστόσο αυξάνει το κόστος εγκατάστασης του δικτύου. Συνεπώς, απαιτείται προσεκτικός προσδιορισμός του κατάλληλου πλήθους μετρητών ανά συγκεντρωτή [1].

2.2.3 Περιορισμός φορτίου

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



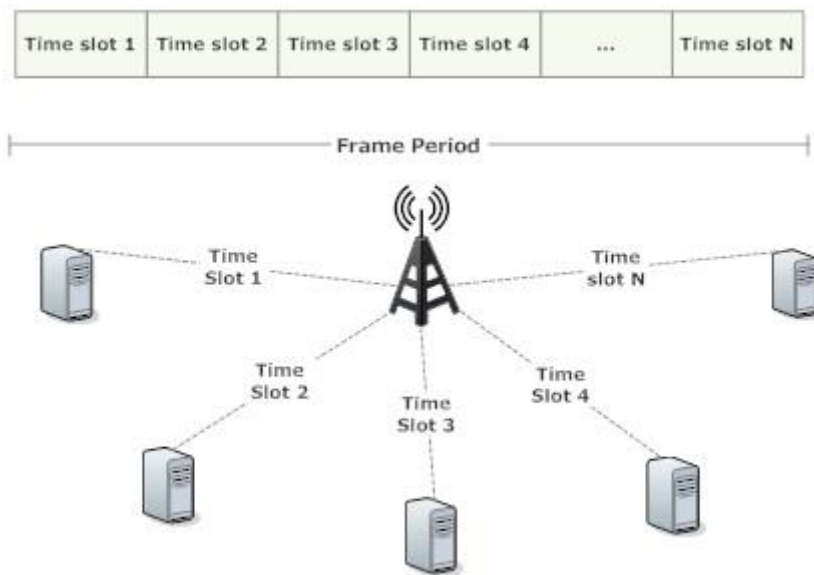
Σχήμα 2.14: Δρομολόγηση σε διαφορετικό concentrator [1]

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

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

2.2.4 Διασπορά χρόνων μετάδοσης (TDMA)

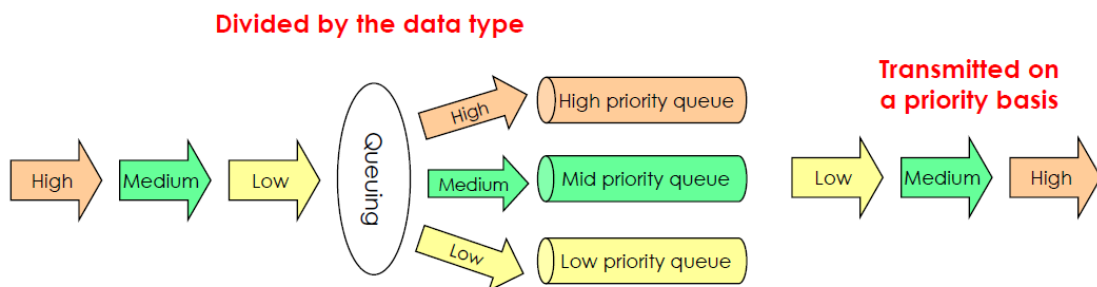
Η συλλογή των SM δεδομένων γίνεται περιοδικά, βάσει της περιόδου δειγματοληψίας που έχει τεθεί από τις προδιαγραφές. Μέσα στο χρονικό αυτό διάστημα οφείλει να ισοκατανεμηθεί η αποστολή δεδομένων όλων των μετρητών [1], ώστε να μην προκαλούνται φαινόμενα συμφόρησης στο συγκεντρωτή και απώλεια δεδομένων σε ενδιαμέσους κόμβους. Δηλαδή, πρέπει να διαμορφωθεί κατάλληλο σχήμα TDMA μεταξύ των SM που θα βοηθήσει στη βέλτιστη αξιοποίηση των δικτυακών πόρων, ώστε ο δίαυλος επικοινωνίας να είναι συνεχώς απασχολημένος και συγχρόνως να ελαχιστοποιείται το απαιτούμενο μέγεθος ενταμιευτών τόσο στους ενδιαμέσους κόμβους όσο και στο συγκεντρωτή.



Σχήμα 2.15: Διασπορά χρόνου μετάδοσης

2.2.5 Εισαγωγή προτεραιοτήτων

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



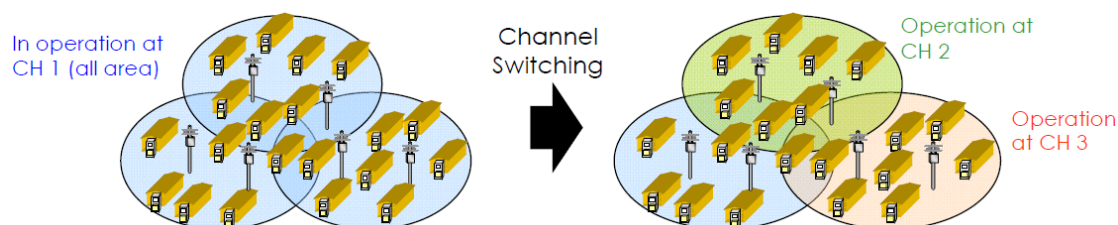
Σχήμα 2.16: Προτεραιότητες πακέτων δεδομένων [1]

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

διαχωρισμού προτεραιοτήτων και όχι βάσει της σειράς άφιξης. Ανάλυση της εισαγωγής προτεραιοτήτων έχει γίνει και στην παράγραφο 2.1.2.

2.2.6 Λειτουργία σε διαφορετικές συχνότητες (FDMA)

Το σχήμα TDMA έχει αποτελεσματική εφαρμογή στην περιοχή κάλυψης ενός συγκεντρωτή. Το συνολικό δίκτυο περιλαμβάνει πλήθος συγκεντρωτών, έκαστος των οποίων ελέγχει τη δική του κυψέλη και εξυπηρετεί πολυάριθμους SM. Προκειμένου να μειώνονται τα επίπεδα παρεμβολής μεταξύ γειτονικών κυψελών απαιτείται η χρήση FDMA. Κάθε συγκεντρωτής επικοινωνεί με τα προσαρτημένα σε αυτόν τερματικά σε διαφορετικά κανάλια συχνοτήτων σε σχέση με τα κανάλια που χρησιμοποιούν γειτονικοί συγκεντρωτές [1]. Αυτός ο τρόπος κυψελωτής δομής ενός SM δικτύου αποτελεί συγχρόνως και αντίμετρο για τον περιορισμό φορτίου που αναφέρθηκε προηγουμένως. Δίκτυα που υποστηρίζουν PLC τεχνολογία μπορούν να χρησιμοποιήσουν και τεχνικές FDMA. Το ίδιο ισχύει για μετρητές που αποστέλλουν δεδομένα ασύρματα μέσω του δικτύου κινητών επικοινωνιών.



Σχήμα 2.17: Λειτουργία FDMA [1]

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

Η χρήση TDMA ή FDMA απαιτεί αυστηρό προσδιορισμό των τηλεπικοινωνιακών πόρων που χρησιμοποιεί κάθε τερματική διάταξη για τη μετάδοση δεδομένων. Στην περίπτωση χρήσης TDMA προσδιορίζονται με ακρίβεια και αυστηρότητα η διάρκεια και η θέση της χρονικής σχισμής εντός του χρονικού πλαισίου μετάδοσης, ενώ στο FDMA προσδιορίζεται αυστηρά η φέρουσα συχνότητα και το εύρος ζώνης του καναλιού που μεταδίδεται η πληροφορία από κάθε τερματική διάταξη. Το πρωτόκολλο CSMA/CD αίρει τον περιορισμό της αποστολής δεδομένων εντός συγκεκριμένης χρονικής σχισμής ή προκαθορισμένου συχνοτικού καναλιού. Η πρόσβαση στο μέσο γίνεται κατά τυχαίο τρόπο, ωστόσο ακολουθείται συγκεκριμένος αλγόριθμος για την αποφυγή των συγκρούσεων. Όταν μια τερματική διάταξη έχει δεδομένα προς αποστολή, ανιχνεύει την ισχύ του καναλιού για να διαπιστώσει αν κάποιος άλλος κόμβος μεταδίδει εκείνη τη στιγμή. Αν το κανάλι είναι απασχολημένο, η τερματική διάταξη αναμένει μέχρι το κανάλι να αδρανοποιηθεί. Μόλις το κανάλι γίνει αδρανές, μεταδίδεται ένα πλαίσιο. Σε περίπτωση σύγκρουσης η μετάδοση διακόπτεται άμεσα και κάθε τερματική διάταξη αναμένει για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και επαναλαμβάνει την ίδια διαδικασία. Η απόδοση του CSMA/CD ως προς τη χρησιμοποίηση του διαύλου είναι μεγαλύτερη σε σχέση με άλλα πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης (π.χ. ALOHA) [24]. Το πρωτόκολλο CSMA/CD διευκολύνει την κλιμακωσιμότητα του δικτύου SM μέσω προσθήκης νέων SM τερματικών στο δίκτυο πρόσβασης, καθώς δεν απαιτείται επαναπρογραμματισμός των χρονικών ή συχνοτικών καναλιών.

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ SM

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναφέρθηκαν τα χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες ενός SM συστήματος και παρουσιάστηκαν οι τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο δίκτυο πρόσβασης και στο δίκτυο κορμού. Ωστόσο, για την εγκατάσταση ενός συστήματος SM δεν αρκεί η γνώση του συνόλου των προς εξυπηρέτηση υπηρεσιών, των βασικών δομικών και λειτουργικών του χαρακτηριστικών, καθώς και των διαθέσιμων τεχνολογιών για μετάδοση δεδομένων. Η σχεδίαση και υλοποίηση ενός SM συστήματος επηρεάζεται σημαντικά από συνδυασμό παραγόντων. Στο σύνολό του, ένα SM σύστημα πρέπει να διαθέτει χαρακτηριστικά κατάλληλα για την εκάστοτε περιοχή εγκατάστασης, λαμβάνοντας υπόψη την πληθυσμιακή πυκνότητα, την πολεοδομική κατάσταση και το ανάγλυφο του εδάφους. Στην πρώτη ενότητα του Κεφαλαίου 3 θα γίνει αναφορά στα κριτήρια επιλογής SM συστημάτων, ενώ στη δεύτερη ενότητα θα παρουσιαστούν παραδείγματα υλοποίησης στην Ευρώπη.

3.1 Κριτήρια επιλογής για συστήματα και εγκαταστάσεις SM

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

3.1.1 Απαιτήσεις εφαρμογών και υπηρεσιών

Η πληροφορία που διακινείται αμφίδρομα εντός του SM συστήματος πρέπει να ποσοτικοποιηθεί και κατηγοριοποιηθεί κατάλληλα. Ο χαρακτηρισμός της τηλεπικοινωνιακής κίνησης προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτουν οι κόμβοι – αισθητήρες και καθορίζει την επιλογή της δικτυακής τοπολογίας και της αντίστοιχης τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας. Οι απαντήσεις στα ακόλουθα ερωτήματα θα συμβάλουν στον προσδιορισμό των τηλεπικοινωνιακών χαρακτηριστικών του SM δικτύου [3].

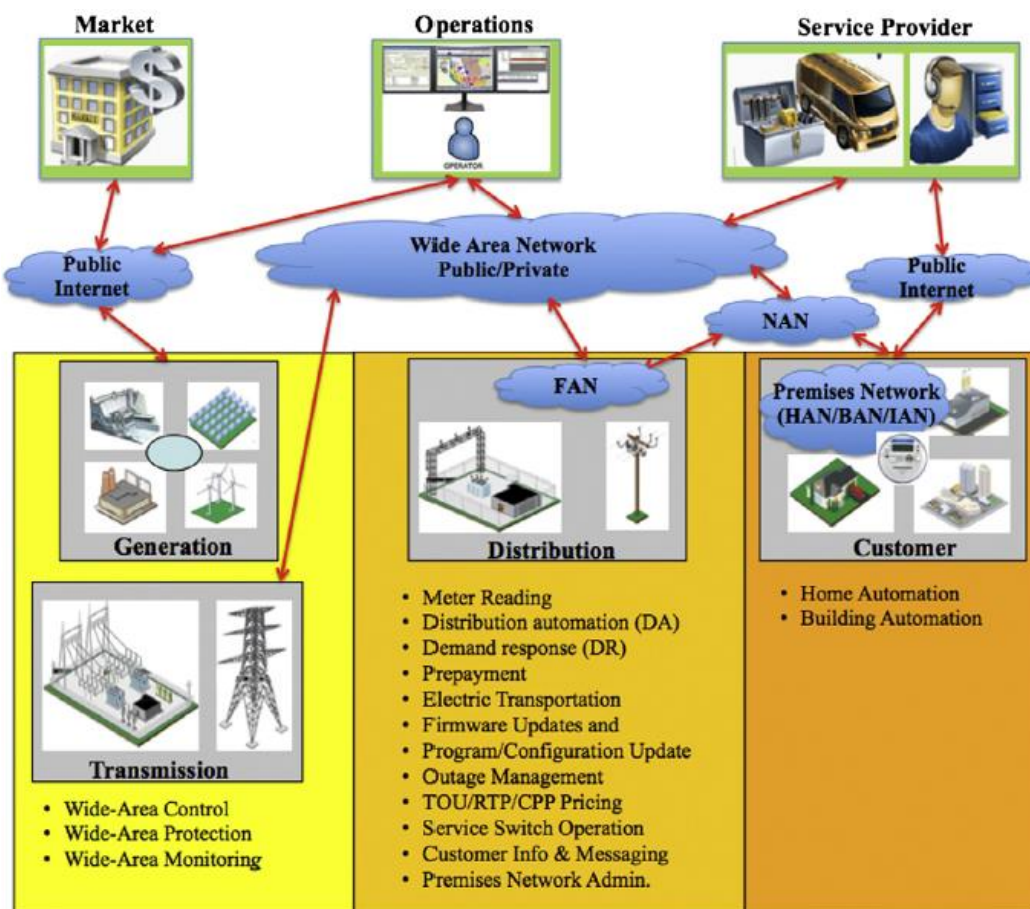
- Ποιά είναι η απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) των υποστηριζόμενων εφαρμογών; Ποιά πληροφορία σχετίζεται με παρακολούθηση πραγματικού χρόνου και ποιά είναι ανεκτική σε καθυστέρηση;
- Η καταγραφή και αποστολή των δεδομένων εκτός από περιοδική, πρέπει να πραγματοποιείται και κατά περίπτωση περιστατικών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

Η ποιότητα υπηρεσιών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το διαθέσιμο ρυθμό μετάδοσης της τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας που χρησιμοποιείται και το μέγεθος του πακέτου. Στον Πίνακα 3.1 περιγράφονται οι σημαντικότερες εφαρμογές ενός SG. Αναλυτικές πληροφορίες για το μέγεθος πακέτων, την αξιοπιστία, την ανεκτή καθυστέρηση και την περίοδο δειγματοληψίας υπάρχουν στην [25].

| Εφαρμογή | Μέγεθος πακέτων (bytes) | Μέγιστη ανεκτή καθυστέρηση | Αξιοπιστία |
|---|-------------------------|----------------------------|------------|
| Ανάγνωση μετρητών on – demand (από MDMS προς SM) | 100 | < 15 sec | > 98 % |
| Προγραμματισμένη ανάγνωση μετρητών (από SM προς MDMS) | 1.600 – 2.400 | < 2 ώρες | > 98 % |
| Απομακρυσμένη διαχείριση, παρακολούθηση και συντήρηση του δικτύου διανομής | 100 – 1.000 | < 5 sec | > 99.5 % |
| Έλεγχος τάσης και ισχύος (VAR) του δικτύου διανομής | 150 – 250 | < 5 sec | > 99.5 % |
| Λειτουργίες αυτοματισμού άμεσης εξισορρόπησης προσφοράς – ζήτησης | 150 – 250 | < 4 sec | > 99.5 % |
| Λειτουργίες ανίχνευσης σφαλμάτων και βλαβών, απομόνωση και αντικατάσταση βλαβών | 25 | < 5 sec | > 99.5 % |
| Αναβάθμιση λογισμικού | 400k – 2.000k | < 2 min – 7 ημέρες | > 98 % |

Πίνακας 3.1: QoS σημαντικότερων εφαρμογών SG [25]

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζονται οι σημαντικότερες λειτουργίες ενός ευφυούς ηλεκτρικού δικτύου (SG), καθώς και το είδος δικτύου στο οποίο αυτές εντάσσονται (WAN, FAN/NAN, HAN/BAN/IAN). Ο χαρακτηρισμός του δικτύου εξαρτάται από τη γεωγραφική του έκταση.



Σχήμα 3.1: Κυριότητες λειτουργίες SG ανά περιοχή [25]

3.1.2 Δικτυακή τοπολογία και απαιτήσεις αρχιτεκτονικής

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

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

Πίνακας 3.2: Σύνοψη τοπολογιών [1]

Η αξιολόγηση και η κατά περίπτωση καταλληλότητα των κυριότερων τοπολογιών για δίκτυα πρόσβασης συνοψίζεται στον Πίνακα 3.2. Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται αντιστοιχία των τοπολογιών του τηλεπικοινωνιακού δικτύου με τις εκάστοτε περιοχές εφαρμογής ανάλογα

με την πληθυσμιακή πυκνότητα, τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά και το ανάγλυφο του εδάφους.

Ο προσδιορισμός της κατά περίπτωση κατάλληλης τοπολογίας μπορεί να γίνει απαντώντας στα ακόλουθα ερωτήματα [3]:

- Για τη δρομολόγηση της πληροφορίας μεταξύ τερματικών διατάξεων και συγκεντρωτών απαιτείται επικοινωνία *ένα προς ένα, ένα προς πολλά, πολλά προς ένα ή πολλά προς πολλά*;
- Ποιές είναι οι χειρότερες συνθήκες μετάδοσης στην περιοχή κάλυψης;
- Πόσοι είναι οι SM κόμβοι που ενδέχεται να εξυπηρετήσει το SM σύστημα, τόσο για τον τρέχοντα σχεδιασμό όσο και προβλέποντας μελλοντική επέκταση;

3.2 Εφαρμογές στην Ευρώπη

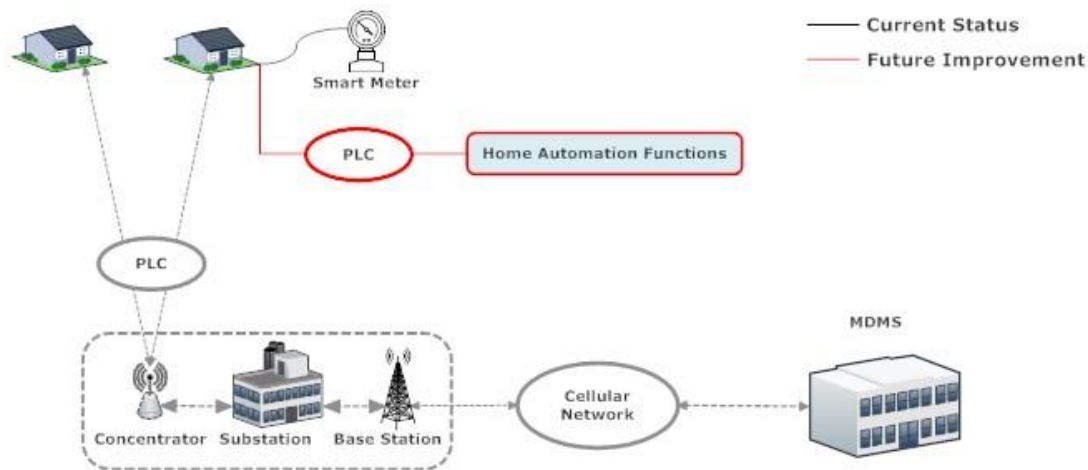
Ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες πρόκειται να υλοποιήσουν άμεσα, ή έχουν υλοποιήσει ήδη, SM προγράμματα. Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα σημαντικότερα από αυτά και θα αναδειχθούν οι τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση. Στην [25] αναλύονται SM προγραμμάτων χωρών της Αμερικής, της Ασίας και της Ευρώπης.

3.2.1 PLC Projects: Ιταλία, Γαλλία, Νορβηγία, Σουηδία και Ολλανδία

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 [26]. Καίτοι η Ιταλία και η Σουηδία έχουν ολοκληρώσει την εγκατάσταση SM, ετοιμάζουν δεύτερη γενιά ευφύστερων μετρητών [27]. Η Γαλλία σχεδιάζει την εφαρμογή δικού της SMP, βασισμένου στις αρχές του ιταλικού, με στόχο να εξυπηρετήσει 35 εκατομμύρια καταναλωτές.

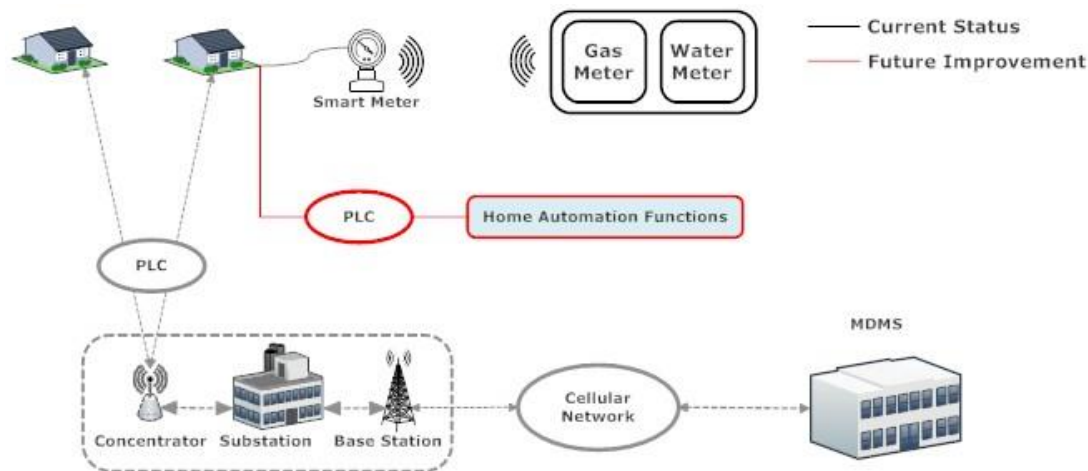
Τα προαναφερθέντα SMP χρησιμοποιούν τεχνολογία PLC στο δίκτυο πρόσβασης. Οι πληροφορίες που συλλέγουν οι μετρητές μεταδίδονται μέσω του δικτύου ΧΤ στον πλησιέστερο υποσταθμό Χαμηλής Τάσης/Μέσης Τάσης (ΧΤ/ΜΤ), όπου είναι εγκατεστημένος ο συγκεντρωτής. Για το δίκτυο κορμού χρησιμοποιείται το υπάρχον δίκτυο κινητών επικοινωνιών, μεταφέροντας πακέτα δεδομένων από το συγκεντρωτή στο MDMS μέσω GPRS 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 [26]. 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 3.2: 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.



Σχήμα 3.3: Νορβηγικό πρότυπο αρχιτεκτονικής συστήματος με PLC

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 [27]. 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 [26].

Σουηδία

Η Σουηδία είναι η πρώτη χώρα που θέσπισε τη μαζική εγκατάσταση ευφυών μετρητών. Το SM δίκτυο ολοκληρώθηκε το 2009 και αποτελείται από μετρητές ωριαίων μετρήσεων με δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων [27].

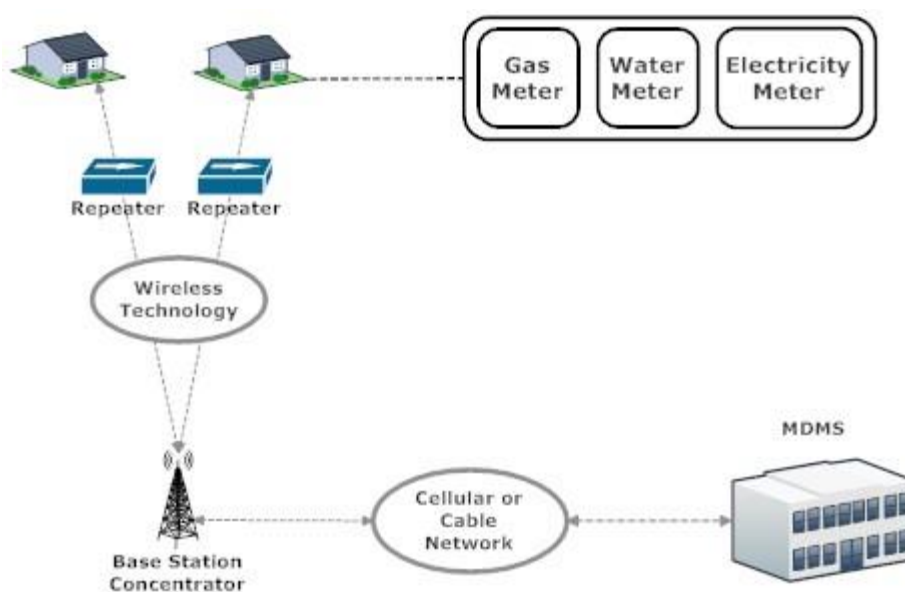
Γαλλία

Η Γαλλία θέσπισε το Σεπτέμβριο του 2010 τους όρους υποχρεωτικής εγκατάστασης ευφυών μετρητών προς κάλυψη του 95% των ενεργειακών παροχών έως το τέλος του 2016. Η απόφαση εγκατάστασης 35 εκατομμυρίων ευφυών μετρητών υπήρξε αποτέλεσμα αρκετών επιτυχημένων πιλοτικών προγραμμάτων. Η εγκατάσταση των SM ξεκίνησε το 2013 και θα ολοκληρωθεί 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 πιλοτικό έργο 300.000 ευφυών μετρητών και 5.000 συγκεντρωτών. Το πιλοτικό έργο χρησιμοποιεί PLC τεχνολογία για επικοινωνία σε επίπεδο LAN και GPRS 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 [27].

3.2.2 Ασύρματα συστήματα μέτρησης αερίου: Γαλλία και Ιταλία

Η Γαλλία έχει εφαρμόσει ένα SMP για συγκέντρωση πληροφοριών από μετρητές αερίου. Προβλέπεται εγκατάσταση 20.000 συγκεντρωτών που θα διαχειρίζονται 11 εκατομμύρια μετρητές, ενώ η Ιταλία σχεδιάζει αντίστοιχο πιλοτικό πρόγραμμα [26].

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.

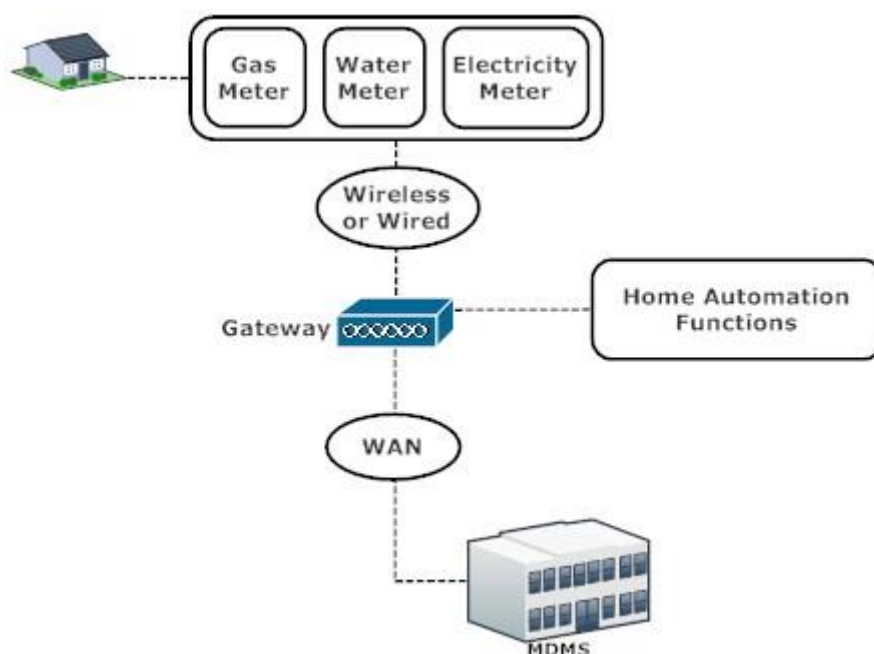


Σχήμα 3.4: Αρχιτεκτονική ασύρματης τεχνολογίας

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 [26].

3.2.3 Λύση για Home Area Network: Βρετανία και Γερμανία

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 3.5: 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 ευφύων 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 [26].

3.2.4 Άλλα τρέχοντα και μελλοντικά ευφυή συστήματα μέτρησης στην Ευρώπη

Η εφαρμογή συστήματος ευφυούς μέτρησης είναι σε εξέλιξη και στην Ισπανία. Στόχος του ισπανικού SMP είναι η εγκατάσταση ευφύων μετρητών σε όλους τους καταναλωτές έως το 2018. Έχουν ήδη εγκατασταθεί 4 εκατομμύρια SM από πέντε ισπανικές εταιρίες (*Endesa, Iberdrola, Gas Natural Fenosa, Hidrocantábrico* και *EON*). Συγκεκριμένα:

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

Η Βρετανία έχει προγραμματίσει τη μαζική αντικατάσταση των συμβατικών μετρητών 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. Εταιρίες διανομής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν εγκαταστήσει 95.000 SM στην Αυστρία και αναμένεται η εγκατάσταση επιπλέον 370.000 SM μέχρι το 2015. 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 θα ξεκινήσει πιλοτική εγκατάσταση SM υιοθετώντας την τεχνολογία PLC – G3. Τέλος, εφαρμογές ευφύων συστημάτων μέτρησης υπάρχουν και στην Ελλάδα. Έχουν υλοποιηθεί μικρά πιλοτικά προγράμματα οικιακών πελατών ΧΤ, καθώς και πιλοτικές εφαρμογές SG. 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. Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι πάροχοι μετρητικού εξοπλισμού και η τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα εκάστοτε ελληνικά πιλοτικά SMP:

| | Πάροχοι μετρητικού εξοπλισμού | Τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία |
|---|---------------------------------|-----------------------------|
| Μικρά Πιλοτικά Προγράμματα Οικιακών 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 |
| | Μικρά Ερευνητικά (Μελτέμι κτλ.) | |

Πίνακας 3.3: Εφαρμογές ευφύων συστημάτων μέτρησης

4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ SM PROJECT ΤΟΥ ΔΕΔΔΗΕ

Το Κεφάλαιο 4 μελετά τις προδιαγραφές του Smart Meter Project (SMP) του ΔΕΔΔΗΕ. Πρόκειται για ένα πιλοτικό σύστημα τηλεμέτρησης και διαχείρισης της ζήτησης παροχών ηλεκτρικής ενέργειας οικιακών καταναλωτών και μικρών εμπορικών επιχειρήσεων. Στη Διακήρυξη προδιαγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πιλοτικού συστήματος τηλεμέτρησης, το κεντρικό σύστημα επεξεργασίας των SM δεδομένων και οι προδιαγραφές των ευφύων μετρητών. Σκοπός της ανάλυσης που ακολουθεί είναι η μελέτη και ο σχολιασμός της Διακήρυξης κυρίως από τη σκοπιά των τηλεπικοινωνιών. Θα σχολιαστούν συντόμως και άλλες προδιαγραφές που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα του πιλοτικού προγράμματος. Επίσης, γίνεται αντιστοιχία των προδιαγραφών του πιλοτικού συστήματος τηλεμέτρησης του ΔΕΔΔΗΕ με τη διεθνή πρακτική και βιβλιογραφία και διατυπώνεται λεπτομερής κριτική της Διακήρυξης από τηλεπικοινωνιακή σκοπιά. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαβούλευσης που οδήγησαν στη σύνταξη της τελικής Διακήρυξης [28] που έχει σημαντικές διαφορές σε σχέση με την αρχική Διακήρυξη [29].

4.1 Παρουσίαση και σύντομος σχολιασμός των προδιαγραφών

Οι ευφυείς μετρητές αποτελούν την κύρια συνιστώσα για την ανάπτυξη του SMP του ΔΕΔΔΗΕ. Οι SM καταγράφουν σε πραγματικό χρόνο την κατανάλωση ενέργειας και άλλων ηλεκτρικών μεγεθών και έχουν τη δυνατότητα αποστολής δεδομένων και λήψης εντολών. Κύριες λειτουργίες των SM είναι [27]:

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

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

Η Διακήρυξη του ΔΕΔΔΗΕ αποσκοπεί στην τεχνοοικονομική προδιαγραφή του βέλτιστου συνδυασμού των εξής:

- Τεχνολογίας μετρητών
- Τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας δικτύου πρόσβασης και δικτύου κορμού
- Κέντρου συλλογής και επεξεργασίας μετρητικών δεδομένων (MDMS)

Επιπλέον, η Διακήρυξη επιδιώκει τη διασφάλιση της δυνατότητας επεξεργασίας δεδομένων από εσωτερικά μετρητικά συστήματα του ΔΕΔΔΗΕ που σχετίζονται με τη διαχείριση βλαβών, τη διαχείριση του ηλεκτρικού δικτύου κτλ, χωρίς να υποβαθμίζεται η λειτουργία και να σπαταλώνται τηλεπικοινωνιακοί πόροι του SM δικτύου. Επειδή είναι επιθυμητό το

MDMS να συνδεθεί με άλλα ήδη λειτουργούντα συστήματα διαχείρισης και ελέγχου του ηλεκτρικού δικτύου όπως τα SCADA – DMS, OMS, GIS, CIS, WFM και DR [29] είναι αναγκαία η διαλειτουργικότητα μεταξύ του SM συστήματος και των οντοτήτων αυτών.

Τελικός στόχος του υπό διακήρυξη SM συστήματος είναι η δημιουργία υποδομής που θα επιτρέπει [29]:

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

Επίσης, στις προδιαγραφές της Διακήρυξης ορίζονται οι τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες που επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν στο δίκτυο πρόσβασης. Επιθυμητά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών επικοινωνίας είναι η υψηλή αξιοπιστία και διαθεσιμότητα, η επαρκής γεωγραφική κάλυψη των επιλεγμένων προς εξυπηρέτηση περιοχών, το χαμηλό κόστος εγκατάστασης και η επεκτασιμότητα του δικτύου επικοινωνιών [27]. Σύμφωνα με τη Διακήρυξη, η μετάδοση δεδομένων θα γίνεται με χρήση είτε ενσύρματης PLC τεχνολογίας είτε ασύρματης GPRS/3G τεχνολογίας.

Στον Πίνακα 4.1 εμφανίζεται η επιδιωκόμενη κατανομή των ανωτέρω τεχνολογιών στις διάφορες περιοχές εξυπηρέτησης [29].

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

Πίνακας 4.1: Ποσοστά μετρητών που χρησιμοποιούν τις δύο επιλεγμένες τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες πρόσβασης [29]

Το πιλοτικό πρόγραμμα του ΔΕΔΔΗΕ περιλαμβάνει την εγκατάσταση τουλάχιστον 170.000 μετρητών (140.000 μονοφασικοί και 30.000 τριφασικοί) σε επιλεγμένες γεωγραφικές περιοχές του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η επιλογή των γεωγραφικών περιοχών έγινε με κριτήριο να αποκτηθεί εμπειρία και τεχνογνωσία στην υλοποίηση του SMP σε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα της ελληνικής επικράτειας. Η κατανομή των ευφύων μετρητών ανά επιλεγμένη περιοχή ακολουθεί τον Πίνακα 4.2. Από τον Πίνακα 4.2 φαίνεται ότι μόνο 10.000 μετρητές (5,9%) θα τοποθετηθούν στις δύο περιοχές μεγαλύτερης ενεργειακής κατανάλωσης της Ελλάδας (Αθήνα και Θεσσαλονίκη). Αυτό ενδέχεται να οδηγήσει σε λανθασμένη διαστασιολόγηση του SMP και, κατ' επέκταση, σε αδυναμία ή περιορισμένη δυνατότητα κλιμακωσιμότητας. Το μεγαλύτερο ποσοστό των μετρητών ζητείται να τοποθετηθεί σε νησιωτικές περιοχές που χαρακτηρίζονται από μεγάλα ποσοστά διακύμανσης της ενεργειακής ζήτησης λόγω έντονων πληθυσμιακών μεταβολών κατά τη διάρκεια εντός έτους. Η ενεργειακή ζήτηση είναι πολύ εντονότερη τους καλοκαιρινούς μήνες σε σχέση με αυτήν των χειμερινών περιόδων. Σφάλματα και αστοχίες στο δίκτυο συμβαίνουν σπάνια όταν το φορτίο του είναι μικρό, δηλαδή κατά το μεγαλύτερο ποσοστό

του χρόνου, και οφείλονται κυρίως σε βλάβες λόγω δυσμενών καιρικών φαινομένων. Η μελέτη και η διαστασιολόγηση του δικτύου με κριτήριο τους μετρητές που είναι τοποθετημένοι σε τέτοιες περιοχές μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένη εκτίμηση των απαιτούμενων τηλεπικοινωνιακών πόρων.

| Γεωγραφική περιοχή | Περιφέρεια ή Νομός | Πιλοτικοί μετρητές Χαμηλής Τάσης | Ποσοστό επί του συνόλου των μετρητών |
|-------------------------------|---|----------------------------------|--------------------------------------|
| Ανατολική Μακεδονία και Θράκη | Νομός Ξάνθης | 60.000 | 35,3% |
| Βόρειο Αιγαίο | Νομός Λέσβου (Νήσοι Λέσβου, Λήμνου και Αγίου Ευστατίου) | 80.000 | 47,1% |
| Αθήνα | Αττική | 7.000 | 4,1% |
| Θεσσαλονίκη | Κεντρική Μακεδονία | 3.000 | 1,8% |
| Νησιά Ιονίου | Νομός Λευκάδας | 20.000 | 11,8% |

Πίνακας 4.2: Ποσοστό μετρητών ανά περιοχή [28]

Επιπλέον, ο ΔΕΔΔΗΕ εισάγει προδιαγραφές που σχετίζονται με την αρχιτεκτονική του συστήματος προηγμένων μετρητών (AMI). Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι επιτρεπόμενες τεχνολογίες επικοινωνιών είναι:

- Ενσύρματη τεχνολογία PLC: ως μέσο μετάδοσης χρησιμοποιούνται οι γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι συγκεντρωτές είναι εγκατεστημένοι σε υποσταθμούς 20/0.4kV
- Ασύρματη τεχνολογία GPRS: χρησιμοποιεί τα υπάρχοντα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και τεχνολογίες 2G/3G

Η Διακήρυξη προδιαγράφει κάθε τεχνολογία να εφαρμοστεί σε ένα ελάχιστο ποσοστό 20% του συνολικού πλήθους των μετρητών (τουλάχιστον 20% PLC και τουλάχιστον 20% GRPS/3G ανά γεωγραφική περιοχή). Το υπόλοιπο 60% των μετρητών μπορεί να λειτουργήσει με PLC ή GPRS, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της προς εξυπηρέτηση γεωγραφικής περιοχής. Το ποσοστά αυτά είναι ορισμένα κατά αυθαίρετο τρόπο και εισάγουν περιορισμό στην υλοποίηση του πιλοτικού SM συστήματος. Η τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί για την από-άκρο-σε-άκρο επικοινωνία SM και MDMS με επιβεβλημένα τα ανωτέρω ποσοστά ενδέχεται να μην είναι η καταλληλότερη για κάθε περίπτωση. Για παράδειγμα, επειδή οι σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας είναι κατάλληλα διασπαρμένοι, εξασφαλίζεται πολύ υψηλό ποσοστό κάλυψης και επιλεξιμότητα της ασύρματης τεχνολογίας σε πολλές περιοχές. Ωστόσο, η ανάγκη ικανοποίησης του ποσοστού του 20% μπορεί να μην επιτρέπει τη χρήση της ασύρματης τεχνολογίας.

Ένας πρόσθετος περιορισμός τον οποίο επιβάλλει η Διακήρυξη είναι η αναγκαστική εγκατάσταση του συγκεντρωτή στον πλησιέστερο υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ. Περιοχές εκτός κάλυψης των δικτύων κινητών επικοινωνιών θεωρούνται κατάλληλες για χρήση PLC. Ωστόσο, μπορεί να βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τον πλησιέστερο υποσταθμό. Η μετάδοση πληροφορίας μέσω PLC σε μεγάλες αποστάσεις απαιτεί τη χρήση επαναληπτών λόγω του δυσμενούς ενσύρματου διαύλου επικοινωνίας. Συνεπώς, η επιβαλλόμενη

εγκατάσταση των συγκεντρωτών σε υποσταθμούς MT/XT σε συνδυασμό με τα εγγενή χαρακτηριστικά της PLC τεχνολογίας μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στη μετάδοση πληροφορίας.

Επίσης, στη Διακήρυξη αναφέρονται προδιαγραφές που αφορούν τα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Αυτά πρέπει να είναι σύμφωνα με τα πρότυπα της CENELEC/TC13, ενώ κάθε μέθοδος μετάδοσης δεδομένων πρέπει να υποστηρίζει το πρωτόκολλο IP. Σύμφωνα με τη Διακήρυξη, ο ρυθμός μετάδοσης των SM που επικοινωνούν μέσω PLC δεν πρέπει να είναι μικρότερος των 4.8kbps [28], ενώ μετρητές που χρησιμοποιούν ασύρματη τεχνολογία πρέπει να επιλέγουν τη βέλτιστη διαθέσιμη τεχνολογία εκ των 2G/3G. Όσον αφορά στο δίκτυο κορμού, η τεχνολογία επικοινωνιών δεν προσδιορίζεται κατά αποκλειστικό τρόπο.

Επίσης, η Διακήρυξη θέτει προδιαγραφές που σχετίζονται με την ποιότητα και τα συμβόλαια επιπέδου υπηρεσιών (QoS και SLA). Συνοπτικά, αναφέρονται τα εξής [29]:

- Μέσο ποσοστό επιτυχούς επικοινωνίας των ευφών μετρητών υψηλότερο του 99.0%
- Μέσο ποσοστό επιτυχούς επικοινωνίας ευφών μετρητών στην προκαθορισμένη συχνότητα δειγματοληψίας υψηλότερο του 98.6%
- Μέγιστη καθυστέρηση ενός λεπτού για λήψη δεδομένων από μετρητή
- Ολοκλήρωση απομακρυσμένων εντολών σύνδεσης – αποσύνδεσης εντός τριών λεπτών

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

Οι υπόλοιπες προδιαγραφές που εισάγει η Διακήρυξη δεν αφορούν τεχνικά χαρακτηριστικά αλλά τον προγραμματισμό των εργασιών, την κατάσταση των μετρητών και τις εργασίες στις εγκαταστάσεις των πελατών κτλ.

4.2 Αντιστοιχία των προδιαγραφών με τη διεθνή πρακτική και βιβλιογραφία

Η Διακήρυξη του ΔΕΔΔΗΕ [29] περιγράφει πλήρως τις λειτουργικές απαιτήσεις του πιλοτικού SM συστήματος. Αυτές σχετίζονται με περιοδική τηλεμέτρηση, απομακρυσμένη σύνδεση και αποσύνδεση, οικιακές οθόνες για ενημέρωση των καταναλωτών, ρύθμιση ισχύος, ειδοποίηση απώλειας παροχής και ειδοποιήσεις παραβίασης. Υπάρχει αντιστοιχία των λειτουργιών αυτών με τη διεθνή πρακτική και βιβλιογραφία καθώς πρόκειται για

λειτουργίες που υλοποιούνται από αντίστοιχα πιλοτικά ή ολοκληρωμένα SMP. Διαδικασίες τηλεμέτρησης στοιχείων ενεργειακής κατανάλωσης, απομακρυσμένης διαχείρισης και ελέγχου, παροχής πληροφοριών στους καταναλωτές μέσω οικιακών οθονών, προπληρωμής και χρονοχρέωσης αποτελούν θεμελιώδεις λειτουργίες των Smart Grids. Από το ελληνικό πιλοτικό πρόγραμμα απουσιάζει η απομακρυσμένη διαχείριση οικιακού εξοπλισμού για εξισορρόπηση φορτίου, λειτουργία που κρίνεται σημαντική για την εξασφάλιση της ευστάθειας του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ).

Αντιστοιχία των προδιαγραφών υφίσταται επίσης και στο καθαρά τηλεπικοινωνιακό τμήμα της Διακήρυξης. Έγινε σαφές ότι οι προτιμώμενες τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες είναι η PLC και η χρήση του δικτύου κινητών επικοινωνιών μέσω 2G/3G. Ιταλία, Γαλλία, Νορβηγία, Σουηδία και Ολλανδία έχουν χρησιμοποιήσει κυρίως PLC τεχνολογία για τα πιλοτικά και τα ολοκληρωμένα συστήματα τηλεμέτρησης. Η μετάδοση μετρητικών δεδομένων από τους SM μέσω του ηλεκτρικού δικτύου διανομής φθάνει συνήθως μέχρι τον πλησιέστερο υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ και, στη συνέχεια, τα δεδομένα προωθούνται μέσω του δικτύου κινητών επικοινωνιών στο MDMS [26]. Η Γαλλία και η Ιταλία έχουν επίσης υλοποιήσει σύστημα τηλεμέτρησης φυσικού αερίου, βασισμένο στην ασύρματη τεχνολογία. Το δίκτυο χωρίζεται σε περιοχές ακτίνας 1 – 2km, έκαστη των οποίων διαθέτει ένα συγκεντρωτή που συλλέγει κατά ασύρματο τρόπο τα δεδομένα των SM. Στη συνέχεια, η πληροφορία μεταδίδεται προς το MDMS μέσω της υπάρχουσας τηλεπικοινωνιακής υποδομής [26]. Η μεγάλη διαφορά που έχει η Διακήρυξη του ΔΕΔΔΗΕ σε σχέση με τις υλοποιήσεις άλλων ευρωπαϊκών χωρών είναι ο αυστηρός προσδιορισμός του ποσοστού χρήσης κάθε τεχνολογίας.

4.3 Οφέλη του SMP και μελέτη κόστους – οφέλους

Η υλοποίηση του SMP του ΔΕΔΔΗΕ θα ωφελήσει σημαντικά τόσο τους πελάτες και τους παρόχους/προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας όσο και τον ίδιο το ΔΕΔΔΗΕ ως διαχειριστή του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένα τα οφέλη της ευφυούς μέτρησης για τους πελάτες, τους προμηθευτές και τους φορείς διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας.

| Κατηγορία ενδιαφερομένων | Οφέλη έξυπνης μέτρησης |
|--|---|
| Πελάτες | Ενημέρωση πελατών και εξοικονόμηση ενέργειας Ακριβής μέτρηση κατανάλωσης και τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας Καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών Αποφυγή ανθρώπινης παρέμβασης για καταμέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας Υλοποίηση εφαρμογών έξυπνης κατοικίας με σύνδεση οικιακών συσκευών στον έξυπνο μετρητή |
| Προμηθευτές | Βελτιστοποίηση κόστους με μετατόπιση αιχμών ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας Δυνατότητα εξισορρόπησης παραγόμενης και καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω καλύτερων προβλέψεων ζήτησης ΗΕ Νέες υπηρεσίες για ειδικές απαιτήσεις (π.χ. προπληρωμή) Πρόσβαση εξουσιοδοτημένων χρηστών σε μετρητικά δεδομένα |
| Διαχειριστής Δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) | Βελτίωση ελέγχου και εποπτείας του δικτύου Μείωση κόστους λόγω αυτοματοποίησης διαδικασιών Ευκολότερος εντοπισμός σφαλμάτων δικτύου και ρευματοκλοπών Ενσωμάτωση διασπαρμένης παραγωγής |

Πίνακας 4.3: Οφέλη έξυπνης μέτρησης [27]

Τα οφέλη του SMP προκύπτουν από την ευφυΐα και τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας των κόμβων και τερματικών διατάξεων του ηλεκτρικού δικτύου που επιτρέπουν [27]:

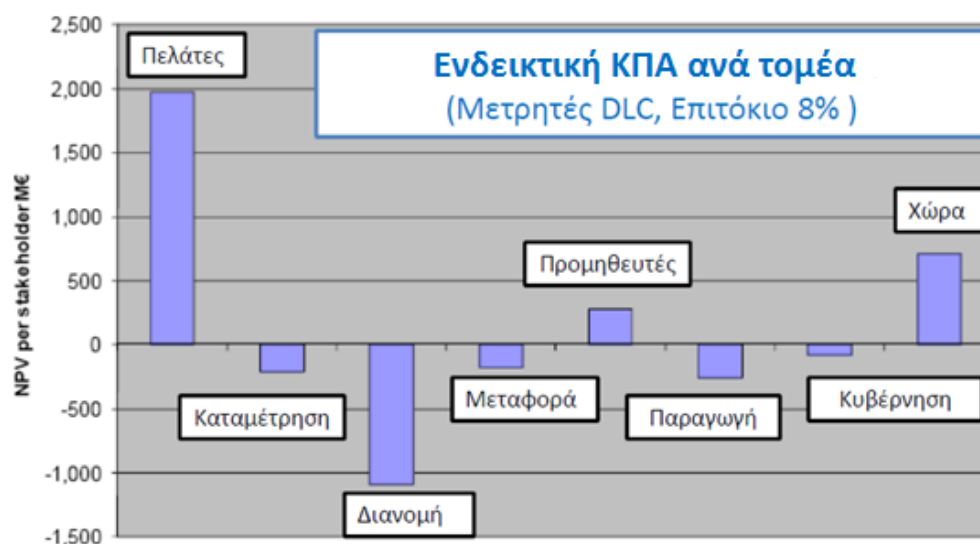
- Την απομακρυσμένη ανάγνωση των μετρητών
- Την υποστήριξη προηγμένων συστημάτων τιμολόγησης
- Την ανίχνευση και την πρόληψη ρευματοκλοπών
- Τη δυνατότητα πληροφόρησης του καταναλωτή για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μέσω οικιακών οθονών, διαδικτυακών εφαρμογών κτλ.

Με την ολοκλήρωση του πιλοτικού προγράμματος τηλεμέτρησης θα καταστεί δυνατός ο τιμολογιακός έλεγχος στο 11% της διανεμόμενης ενέργειας, ενώ η αναμενόμενη εξοικονόμηση ενέργειας θα οδηγήσει σε μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων. Η εγκατάσταση των SM θα αυξήσει, επίσης, την αξιοπιστία του συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και θα βελτιώσει την ποιότητα υπηρεσιών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το SMP συνοδεύεται και από μελέτη κόστους – οφέλους (Cost – Benefit Analysis – CBA) που έγινε με τις εξής παραδοχές [27]:

- Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας: 5%
- Διάρκεια αξιολόγησης επένδυσης: 25 έτη
- Πρόγραμμα ταχείας εγκατάστασης μετρητών και κέντρου διαχείρισης 7 ετών
- Κόστος μετρητών PLC: 80€
- Κόστος οικιακής οθόνης: 40€
- Διάρκεια ζωής μετρητών: 16 έτη
- Επιτόκιο: 8%

Το Σχήμα 4.1 απεικονίζει την CBA ανά τομέα για το πιλοτικό SMP του ΔΕΔΔΗΕ.



Σχήμα 4.1: CBA του SMP του ΔΕΔΔΗΕ [27]

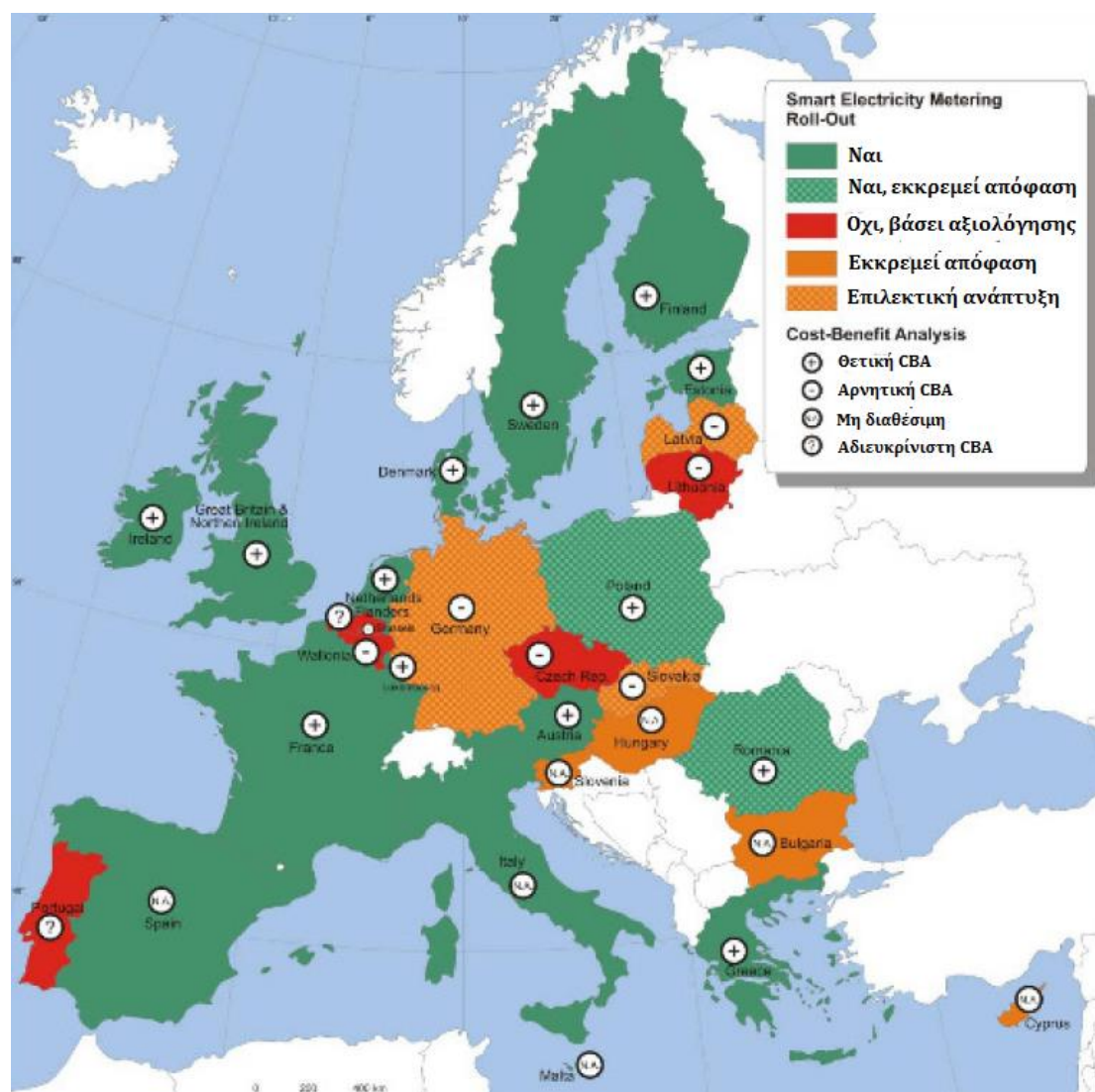
Η συνολική Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) του πιλοτικού SMP κυμαίνεται περί τα 1.440 εκατομμύρια ευρώ, ενώ η ΚΠΑ του τελικού SMP στο σύνολο της ελληνικής επικράτειας

αναμένεται να είναι αρκετά μεγαλύτερη. Η ανάλυση κόστους – οφέλους του πιλοτικού SMP του ΔΕΔΔΗΕ για κάθε εμπλεκόμενο τομέα χωριστά παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.4.

| Οφέλη (εκατομμύρια €) | | Κόστος (εκατομμύρια €) | |
|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
| Πελάτες | 2.000 | Καταμέτρηση | 150 |
| Προμηθευτές | 250 | Διανομή | 1.050 |
| Χώρα | 750 | Μεταφορά | 100 |
| | | Παραγωγή | 220 |
| | | Κυβέρνηση | 40 |
| Συνολικό όφελος: | | Συνολικό κόστος: | |
| 3.000€ | | 1.560€ | |

Πίνακας 4.4: CBA του ελληνικού SMP

Το Σχήμα 4.2 απεικονίζει την ανάλυση κόστους – οφέλους σε ευρωπαϊκές χώρες που έχουν εφαρμόσει SMP καθώς και εκδηλώσει πρόθεση για επέκταση της υλοποιημένης SM υποδομής.

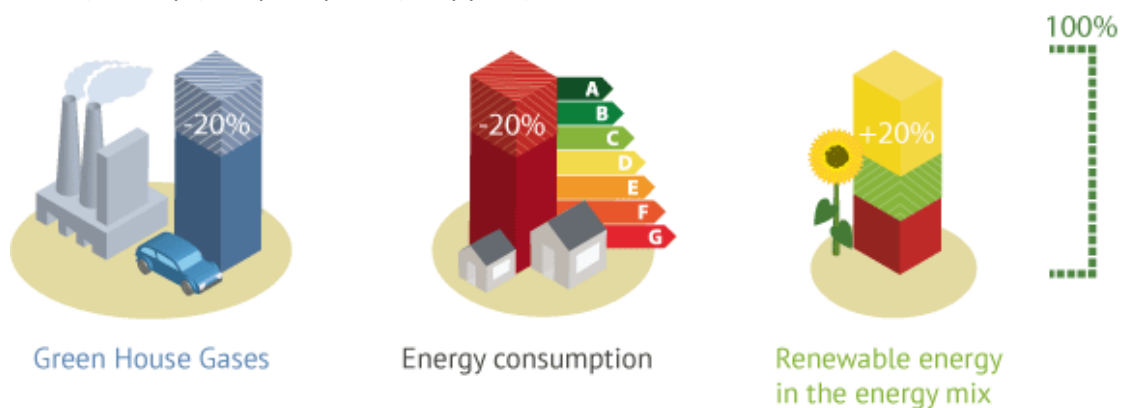


Σχήμα 4.2: CBA σε ευρωπαϊκές χώρες [27]

4.4 Πρόγραμμα τηλεμέτρησης και ευρωπαϊκός στόχος «20-20-20»

Το SMP του ΔΕΔΔΗΕ αναμένεται να συμβάλει στον εκσυγχρονισμό και την οικονομικότερη και αποδοτικότερη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου, προσφέροντας οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη για τους καταναλωτές, τους παρόχους και τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, η υλοποίηση του SMP θα συμβάλει στην επίτευξη του ευρωπαϊκού στόχου «20-20-20», ο οποίος για το σύνολο των κρατών – μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέχρι το 2020 προβλέπει τα ακόλουθα:

- 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990
- 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
- 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας



Σχήμα 4.3: Ευρωπαϊκός σχεδιασμός «20-20-20»

Η επίτευξη των ανωτέρω στόχων επιτάσσει την αναβάθμιση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος με βάση τους ακόλουθους βασικούς άξονες κατεύθυνσης:

- ✓ Τη διασφάλιση της καλής λειτουργίας της εσωτερικής αγοράς ενέργειας
- ✓ Τη βέλτιστη αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας
- ✓ Την προώθηση και εφαρμογή τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ
- ✓ Την υιοθέτηση τεχνολογικών καινοτομιών προς εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας
- ✓ Την αποτελεσματική διαχείριση της ζήτησης
- ✓ Τη δραστική μείωση των ρύπων από ανθρωπογενείς καταναλώσεις ενέργειας

Η συμβολή του ελληνικού SMP αναμένεται να είναι καθοριστική για την επίτευξη των στόχων του ελληνικού ενεργειακού συστήματος [30]. Μέσω της αμφίδρομης επικοινωνίας των SM – MDMS και της άμεσης πληροφόρησης των καταναλωτών για το ενεργειακό προφίλ τους, οι ανωτέρω στόχοι θα καταστούν εφικτοί. Μέσω της δυνατότητας καταγραφής δεδομένων πραγματικού χρόνου από επιλεγμένους αντιπροσωπευτικούς κόμβους του ηλεκτρικού δικτύου, η αποδοτικότερη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου, η άμεση ένταξη των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η συνεχής εξισορρόπηση προσφοράς – ζήτησης και η βέλτιστη αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας καθίστανται υλοποιήσιμοι στόχοι. Επιπλέον, οι καταναλωτές μπορούν να μειώσουν την

ενεργειακή κατανάλωση και κατ' επέκταση τους ρύπους λόγω της δυνατότητας συνεχούς παρακολούθησης του ενεργειακού τους προφίλ.

4.5 Κριτική της Διακήρυξης από τηλεπικοινωνιακή σκοπιά

Στις προηγούμενες παραγράφους έγινε σύντομη παρουσίαση και ανάλυση των προδιαγραφών της Διακήρυξης του ΔΕΔΔΗΕ για το SMP, ενώ έγινε και αντιστοιχία αυτών με τη διεθνή πρακτική και βιβλιογραφία. Η κριτική που ακολουθεί εστιάζει μόνο στα τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά της Διακήρυξης.

Υπάρχει επιβολή συγκεκριμένων τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών για το δίκτυο πρόσβασης, δηλαδή για την επικοινωνία των μετρητών με τον αντίστοιχο συγκεντρωτή. Οι μετρητές θα υποστηρίζουν μόνο PLC ή σύνδεση μέσω του δικτύου κινητών επικοινωνιών (2G/3G). Τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύο ανωτέρω τεχνολογιών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5.

| | PLC | GPRS |
|----------------------|--|---|
| Πλεονεκτήματα | Χρήση της υπάρχουσας υποδομής ΧΤ Χαμηλό κόστος επικοινωνίας Συμφέρουσα λύση για περιοχές υψηλής πυκνότητας | Χαμηλό κόστος υλοποίησης Υψηλές ταχύτητες μετάδοσης |
| Μειονεκτήματα | Δυναμικά μεταβαλλόμενος δίαυλος με δυσμενή χαρακτηριστικά μετάδοσης Χαμηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων | Υψηλό κόστος επικοινωνίας Μη εξασφαλισμένη διαθεσιμότητα Εξάρτηση από τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο |

Πίνακας 4.5: Υπέρ και κατά της PLC και GPRS τεχνολογίας [27]

Αν και οι ανωτέρω τεχνολογίες είναι μεταξύ αυτών που προτείνονται από τη διεθνή πρακτική και βιβλιογραφία, η χρήση τους δεν έπρεπε να είναι αναγκαστική και αποκλειστική. Κατά την υλοποίηση του SMP ενδέχεται να υπάρξουν περιοχές που εξυπηρετούνται καλύτερα με χρήση διαφορετικών τεχνολογιών, όπως ασύρματα mesh δίκτυα με πρωτόκολλα βασισμένα στο IEEE 802.15.4, δίκτυα WiFi ή WiMAX, τεχνολογίες DSL κτλ. Οι τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες έπρεπε να προκύπτουν μετά από μελέτη προς κάλυψη των περιοχών και να μην επιβάλλονται εξαρχής κατά αυθαίρετο τρόπο. Η Διακήρυξη όχι μόνο υπαγορεύει την αποκλειστική χρήση PLC και GPRS αλλά και δεν αιτιολογεί την αποκλειστική επιλογή των δύο αυτών τεχνολογιών.

Στην παράγραφο 4.1 αναφέρθηκε ότι το ελάχιστο ποσοστό εκάστης των δύο τεχνολογιών είναι 20% ενώ η τηλεπικοινωνιακή δυνατότητα των υπολοίπων μετρητών (60%) επιλέγεται ανάλογα με την καταλληλότητα για την εκάστοτε περιοχή εξυπηρέτησης. Η μελέτη κάθε SMP πρέπει να αποσκοπεί στον προσδιορισμό του βέλτιστου τηλεπικοινωνιακού συνδυασμού προς επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος που υποστηρίζει επιτυχώς το εκάστοτε πιλοτικό πρόγραμμα αλλά κυρίως τη μελλοντική επέκτασή του. Ο βέλτιστος συνδυασμός δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένος και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που σχετίζονται κυρίως με το περιβάλλον διάδοσης, την πυκνότητα των μετρητών και τη μέση απόσταση από τους μετρητές στην οποία μπορεί να τοποθετηθεί ο

συγκεντρωτής. Ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες κάθε περιοχής επιλέγεται η καταλληλότερη τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία. Ως εκ τούτου, το ποσοστό κάθε τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας προκύπτει κατόπιν τηλεπικοινωνιακής μελέτης και δεν αποτελεί αρχικό περιορισμό αυτής. Η χρήση συγκεκριμένων τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών και η προσπάθεια τήρησης των ποσοστών που επιβάλλει ο ΔΕΔΔΗΕ θα οδηγήσουν σε απόκλιση από τη βέλτιστη λύση.

Επίσης, τα κριτήρια επιλογής της κατάλληλης τεχνολογίας δεν έχουν καταστεί σαφή. Συνεπώς, η τελική αναλογία χρήσης τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών ενδέχεται να διαφοροποιείται από τα ποσοστά αναλογίας που προτείνει ο ΔΕΔΔΗΕ. Η κατάσταση χειροτερεύει από την απροσδιοριστία του πλήθους και της θέσης των υποσταθμών 20/0.4kV στους οποίους θα εγκατασταθούν οι συγκεντρωτές PLC. Η γνώση των ανωτέρω είναι σημαντική ώστε να είναι γνωστό το πλήθος των SM κόμβων ανά συγκεντρωτή, μέγεθος που απαιτείται για την ορθή διαστασιολόγηση του δικτύου και του χρονοπρογραμματισμού της αποστολής δεδομένων, τη χωρητικότητα της ζεύξης του δικτύου κορμού κτλ.

Ως προς τους μετρητές που χρησιμοποιούν PLC τεχνολογία, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μεταξύ SM – συγκεντρωτή, σύμφωνα με τη Διακήρυξη, πρέπει να είναι μεγαλύτερος των 4.8kbps. Η τιμή αυτή 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. Συνεπώς, ο ρυθμός μετάδοσης κάθε μετρητή αποτελεί μέγεθος που προκύπτει βάσει των ανωτέρω παραμέτρων και καθορίζεται από το είδος SM που θα τοποθετηθεί σε κάθε σημείο μέτρησης. Στον Πίνακα 4.6 παρουσιάζονται ορισμένα πρωτόκολλα για PLC επικοινωνίες, καθώς και οι φορείς που τα χρησιμοποιούν.

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

Πίνακας 4.6: PLC τεχνολογίες [27]

Συμπερασματικά, ο ρυθμός μετάδοσης είναι μέγεθος που προκύπτει μετά από ορθό τηλεπικοινωνιακό σχεδιασμό και επιλογή PLC τεχνολογιών και δεν πρέπει να καθορίζεται εξ αρχής. Στους Πίνακες 4.7 και 4.8 παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων PLC πρωτοκόλλων.

Επίσης, σύμφωνα με τη Διακήρυξη, μετρητές που χρησιμοποιούν ασύρματη τεχνολογία πρέπει να αποστέλλουν δεδομένα μέσω της διαθέσιμης τεχνολογίας που εξασφαλίζει τον υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης. Βάσει των ανωτέρω, η Διακήρυξη επιβάλλει εξ αρχής ρυθμούς μετάδοσης που μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένη διαστασιολόγηση του δικτύου και σε μη ορθή αξιοποίηση πόρων, τόσο σε εύρος ζώνης όσο και σε ισχύ μετάδοσης. Η λανθασμένη διαστασιολόγηση μπορεί να οφείλεται σε λανθασμένο

προσδιορισμό του πλήθους των τερματικών διατάξεων που μπορεί να υποστηρίξει το δίκτυο πρόσβασης ή του μέγιστου όγκου πληροφορίας που πρέπει να αποστείλει κάθε SM. Τέλος, ενδέχεται να υπολογιστεί εσφαλμένα ο συνολικός χρόνος (ή ο ρυθμός μετάδοσης) που απαιτείται για την αποστολή δεδομένων από όλους τους μετρητές προς το συγκεντρωτή. Σε περίπτωση υποτίμησης του συνολικού χρόνου αποστολής (ή του ρυθμού μετάδοσης) ένα ποσοστό των μετρητών θα αδυνατεί να μεταδώσει δεδομένα, ενώ σε περίπτωση υπερτίμησης του συνολικού χρόνου αποστολής (ή του ρυθμού μετάδοσης) η μετάδοση δεδομένων θα ολοκληρώνεται πολύ σύντομα και το SM δίκτυο πρόσβασης θα υποχρησιμοποιείται.

| | Χαμηλός ρυθμός μετάδοσης | Μέτριος ρυθμός μετάδοσης | Υψηλός ρυθμός μετάδοσης |
|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------|--|
| Ρυθμός Μετάδοσης | έως 10 kbps | 10kbps – 1Mbps | > 1Mbps |
| Τεχνική Διαμόρφωσης | BPSK, FSK, SFSK, QAM | PSK και OFDM | PSK και OFDM |
| Πρότυπα | IEC 61334, ANSI/EIA 709.1, 709.2, UPB | PRIME, G3, P1901.2 | G.hn, IEEE 1901 |
| Εύρος συχνοτήτων | Μέχρι 500kHz | Μέχρι 500kHz | Έως 100 MHz |
| Εφαρμογές | Έλεγχος και Εντολές | Έλεγχος και Εντολές, Φωνή | Υπηρεσίες ευρείας ζώνης, οικιακή διαδικτύωση |

Πίνακας 4.7: Κατηγοριοποίηση PLC τεχνολογιών βάσει του ρυθμού μετάδοσης [31]

| Πρότυπο | Τεχνική Διαμόρφωσης | Ζώνη συχνοτήτων | Ρυθμός μετάδοσης (kbps) |
|-----------------------|---------------------|-----------------|-------------------------|
| G3 – PLC | OFDM | 36 – 90.6kHz | 5.6 – 45 |
| PRIME | OFDM | 42 – 89kHz | 21.4 – 128.6 |
| IEEE P1901.2 | OFDM | 9 – 500kHz | επικείμενος |
| ANSI/EIA 709.1, 709.2 | BPSK | 86 – 131kHz | 3.6 – 5.4 |
| KNX | S-FSK | 125 – 140kHz | 1.2 |
| IEC61334 | S-FSK | CENELEC - A | 2.4 |

Πίνακας 4.8: Χαρακτηριστικά NB – PLC προτύπων [31]

Η επιβολή χρήσης συγκεκριμένων τεχνολογιών που υπαγορεύεται από τη Διακήρυξη για το δίκτυο πρόσβασης αίρεται για το δίκτυο κορμού διευκολύνοντας τη σχεδίαση και παρέχοντας αντίστοιχα τη δυνατότητα επιλογής της βέλτιστης διαθέσιμης τεχνολογίας.

Επίσης, οι προδιαγραφές που σχετίζονται με την ποιότητα υπηρεσίας και το επίπεδο εξυπηρέτησης που αναφέρει η Διακήρυξη προδιαγράφονται μόνο για τους μετρητές και όχι για τους συγκεντρωτές, οπότε αφορούν μόνο δίκτυο πρόσβασης. Η γνώση των αντίστοιχων προδιαγραφών για το δίκτυο κορμού είναι απαραίτητη για την ορθή υλοποίηση του ελληνικού SMP. Η ποιότητα υπηρεσίας της από-άκρο-σε-άκρο επικοινωνίας (δίκτυο πρόσβασης και δίκτυο κορμού) των σημαντικότερων εφαρμογών SG περιγράφονται στον Πίνακα 3.1

Τέλος, δεν αναφέρονται καθόλου χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη συχνότητα καταγραφής ηλεκτρικών μεγεθών. Ωστόσο, η γνώση της συχνότητας καταγραφής είναι καθοριστική για τη διαστασιολόγηση του τηλεπικοινωνιακού δικτύου, καθώς καθορίζει τον

όγκο της παραγόμενης πληροφορίας από κάθε SM και, κατ' επέκταση, το συνολικό μέγεθος της κίνησης.

4.6 Αποτελέσματα διαβούλευσης και διαμόρφωση της τελικής Διακήρυξης

Το Δεκέμβριο του 2013 τέθηκε υπό διαβούλευση η αρχική Διακήρυξη του ΔΕΔΔΗΕ για το πιλοτικό πρόγραμμα τηλεμέτρησης [29]. Τα αποτελέσματα της διαβούλευσης οδήγησαν στη διαμόρφωση της τελικής Διακήρυξης [28] που διαφοροποιείται σημαντικά από την αρχική Διακήρυξη. Η έντονη διαφοροποίηση οφείλεται στους πολυάριθμους και αυθαίρετους περιορισμούς, κυρίως από τηλεπικοινωνιακής σκοπιάς, που υπαγόρευε η αρχική Διακήρυξη για την υλοποίηση του ελληνικού SMP. Η τελική Διακήρυξη παρουσιάζεται εμφανώς βελτιωμένη ως προς τις τηλεπικοινωνιακές προδιαγραφές που θέτει, αν και εξακολουθεί να εμφανίζει αδυναμίες. Στον Πίνακα 4.9 παρουσιάζεται η σύγκριση μεγεθών μεταξύ αρχικής και τελικής Διακήρυξης.

| Μεγέθη | Αρχική Διακήρυξη | Τελική Διακήρυξη |
|--|--|-------------------------------------|
| Πλήθος μετρητών | 160.000 | 170.000 |
| Τεχνολογίες δικτύου πρόσβασης | Ενσύρματη: PLC Ασύρματη: GPRS/3G/4G | Ενσύρματη: PLC Ασύρματη: GPRS/3G |
| Ελάχιστο ποσοστό μετρητών ενσύρματης τεχνολογίας | 50% ($\pm 5\%$) | 20% |
| Ελάχιστο ποσοστό μετρητών ασύρματης τεχνολογίας | 50% ($\pm 5\%$) | 20% |
| Ελάχιστος ρυθμός μετάδοσης PLC μετρητών | 19.2kbps | 4.8kbps |
| Δυνατότητα επέκτασης πιλοτικού προγράμματος | 250.000 | 300.000 |
| Οικιακές οθόνες (In Home Display – IHD) | 42.000 | 30.000 |

Πίνακας 4.9: Σύγκριση μεγεθών αρχικής και τελικής Διακήρυξης

Οι αλλαγές στο πλήθος των μετρητών και των IHDs και στη δυνατότητα επέκτασης του πιλοτικού προγράμματος δεν επηρεάζουν σημαντικά την υλοποίηση του ελληνικού SMP. Η ασύρματη τεχνολογία 4G αφαιρέθηκε από τις πιθανές τεχνολογίες επικοινωνίας στο δίκτυο πρόσβασης καθώς η ανάπτυξη του 4G δικτύου των παρόχων κινητών επικοινωνιών δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμα. Επίσης, εκτός του ότι το κόστος μίσθωσης 4G υπηρεσιών είναι υψηλό και η υψηλή ταχύτητα των 4G δικτύων (> 5Mbps) δεν είναι απαραίτητη για τη διακίνηση του μικρού όγκου δεδομένων που παράγουν οι μετρητές. Το ελάχιστο ποσοστό χρήσης των δύο τεχνολογιών μειώθηκε στο 20%. Το αρχικό ποσοστό (50%) εισήγαγε μεγάλους περιορισμούς στην υλοποίηση του ελληνικού SMP καθώς η επιλογή των τεχνολογιών έπρεπε να γίνει βάσει της ικανοποίησης του ελάχιστου ποσοστού και όχι βάσει της καταλληλότητας των τεχνολογιών στο σημείο εγκατάστασης των μετρητών. Επίσης, μειώθηκε σημαντικά ο απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης των PLC μετρητών. Η μείωση αυτή είναι δικαιολογημένη καθώς το μέγεθος πακέτου είναι πολύ μικρό. Η μείωση του ρυθμού μετάδοσης οδηγεί σε περισσότερο εύρωστες συνθήκες μετάδοσης (μειωμένο BER) αυξάνοντας την αξιοπιστία της επικοινωνίας μέσω ενός θορυβώδους διαύλου.

Η τελική Διακήρυξη καταργεί τον περιορισμό του επιβεβλημένου ποσοστού μετρητών ανά είδος περιοχής που χρησιμοποιούν τις δύο επιλεγμένες τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες πρόσβασης (Πίνακας 4.1) ενώ εισάγει την προαιρετική εγκατάσταση 60.000 μετρητών στις Κυκλάδες. Επίσης στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζεται το τελικό πλήθος μετρητών για κάθε γεωγραφική περιοχή που είναι ελαφρώς τροποποιημένο σε σχέση με την αρχική Διακήρυξη.

Τέλος, στην τελική Διακήρυξη αποτυπώνονται σαφώς οι λειτουργικές απαιτήσεις του πιλοτικού συστήματος τηλεμέτρησης. Μεταξύ άλλων, περιλαμβάνονται τα ακόλουθα χαρακτηριστικά [28]:

- Καθημερινή λήψη μετρητικών δεδομένων (καταχωρητές/καμπύλες φορτίου ανά 15 λεπτά)
- Ειδικές λήψεις μετρητικών δεδομένων
- Απομακρυσμένη αποσύνδεση και επανασύνδεση
- Δυνατότητα περιορισμού ισχύος
- Ειδοποίηση παραβίασης και σχετικών συμβάντων στο μετρητή

4.7 Αδυναμίες της Διακήρυξης

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

1. Περιορισμός στις τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες του δικτύου πρόσβασης:
Η Διακήρυξη ορίζει τις PLC και GPRS/3G τεχνολογίες ως τις μοναδικές υποψήφιες για την επικοινωνία των μετρητών στο δίκτυο πρόσβασης. Οι τεχνολογίες PLC και GPRS ενδέχεται να είναι καταλληλότερες για μεγάλο ποσοστό των μετρητών αλλά ο περιορισμός στην αποκλειστική χρήση μιας εκ των δύο είναι αυθαίρετος και περιορίζει σημαντικά τη μελέτη, σχεδίαση και υλοποίηση του ελληνικού SMP. Οι τεχνολογίες WiFi→DSL και WiMAX αποτελούν παραδείγματα εναλλακτικών τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών.
2. Ελάχιστο ποσοστό PLC και GPRS μετρητών:
Το ελάχιστο ποσοστό μετρητών τροποποιήθηκε στην τελική Διακήρυξη και ορίστηκε στο 20% ανά περιοχή/νομό εγκατάστασης για κάθε τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία. Αν και μειώθηκε το αρχικό υποχρεωτικό ποσοστό, η τήρηση του 20% εισάγει περιορισμούς στην τηλεπικοινωνιακή μελέτη του δικτύου πρόσβασης και οδηγεί σε ενδεχόμενη απόκλιση από τη βέλτιστη λύση. Το ποσοστό PLC και GPRS μετρητών θα έπρεπε να προκύπτει μετά από μελέτη και να μην αποτελεί αρχικό περιορισμό.
3. Θέση μετρητών:
Ο ΔΕΔΔΗΕ προδιαγράφει την εγκατάσταση των νέων μετρητών στα σημεία που βρίσκονται οι παραδοσιακοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, οι παραδοσιακοί μετρητές βρίσκονται συνήθως σε σημεία όπου δεν υπάρχει κάλυψη από δίκτυα κινητών επικοινωνιών μειώνοντας έτσι τους βαθμούς ελευθερίας κατά τη σχεδίαση του δικτύου πρόσβασης. Επίσης, η αναγκαστική εγκατάσταση των SM στα σημεία των παραδοσιακών μετρητών εισάγει την ανάγκη για εγκατάσταση

IHDs, αυξάνοντας το κόστος υλοποίησης του SMP. Λύση στα ανωτέρω προβλήματα αποτελεί η δυνατότητα εγκατάστασης εντός της ηλεκτροδοτούμενης εγκατάστασης (π.χ. στον πίνακα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας). Έτσι καταργείται η ανάγκη για IHD, καθώς ο καταναλωτής έχει άμεση πρόσβαση στις μετρητικές ενδείξεις ενώ είναι ευκολότερη η επικοινωνία SM – MDMS μέσω GPRS/3G. Επίσης, η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ SM – MDMS μπορεί να γίνεται μέσω του οικιακού δικτύου WiFi→DSL, χρησιμοποιώντας το υπάρχον τηλεφωνικό δίκτυο.

4. Υποχρεωτική εγκατάσταση των συγκεντρωτών στους υποσταθμούς MT/XT:
Η Διακήρυξη προδιαγράφει τον πλησιέστερο υποσταθμό MT/XT ως μοναδικό σημείο εγκατάστασης του συγκεντρωτή. Η επιλογή αυτή είναι ορθή αφού ο μετασχηματιστής MT/XT αποτελεί το σημείο συγκέντρωσης όλης της πληροφορίας των μετρητών που επικοινωνούν μέσω PLC, καθώς εκεί καταλήγουν όλες οι γραμμές μεταφοράς XT των οικιακών καταναλώσεων. Ωστόσο, η Διακήρυξη θα μπορούσε να αφήσει ανοικτή την επιλογή διαφορετικού σημείου εγκατάστασης των συγκεντρωτών, αν αυτό κρίνεται απαραίτητο μετά από μελέτη του δικτύου πρόσβασης.
5. Χαμηλό ποσοστό μετρητών στα μεγαλύτερα αστικά κέντρα:
Σημαντική αδυναμία της τελικής Διακήρυξης είναι η υπο – αντιπροσώπευση των αστικών περιοχών. Μόλις το 5.9% των μετρητών πρόκειται να εγκατασταθεί σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη, δηλαδή στα δύο μεγαλύτερα κέντρα ενεργειακής κατανάλωσης. Οι αρνητικές επιπτώσεις αυτής της επιλογής αναλύονται στην παράγραφο 4.1.
6. Αναγκαστική εγκατάσταση δύο MDMS:
Η διαθεσιμότητα κύριου και εφεδρικού κέντρου διαχείρισης δεδομένων εξασφαλίζει την επιτυχή συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από τους μετρητές σε περίπτωση αποτυχίας του πρώτου, ωστόσο αυξάνει σημαντικά το κόστος υλοποίησης του SMP. Εναλλακτική λύση στην ανωτέρω προσέγγιση δόθηκε στην παράγραφο 4.1.

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ SM PROJECT ΤΟΥ ΔΕΔΔΗΕ

Το Κεφάλαιο 5 μελετά τον τρόπο υλοποίησης του SMP του ΔΕΔΔΗΕ. Καταγράφονται και αναλύονται οι περιπτώσεις εφαρμογής του SMP και δίδεται αντιστοιχία των περιπτώσεων αυτών με τις κατάλληλες διαθέσιμες τηλεπικοινωνιακές λύσεις. Για τον προσδιορισμό της κατά περίπτωση καταλληλότερης τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας λαμβάνονται υπόψη η πληθυσμιακή πυκνότητα, η πολεοδομική κατάσταση, το ανάγλυφο του εδάφους, καθώς και τα χαρακτηριστικά του τοπικού ηλεκτρικού δικτύου.

5.1 Ανάλυση των περιπτώσεων εφαρμογής του συστημάτων τηλεμέτρησης

Με κριτήριο την πληθυσμιακή πυκνότητα, οι προς εξυπηρέτηση περιοχές 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 5.1 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 5.1: Χαρακτηρισμός περιοχής βάσει πυκνότητας μετρητών [32]

Ακολουθεί η ανάλυση των τριών περιπτώσεων εφαρμογής του SMP του ΔΕΔΔΗΕ.

Αστικές περιοχές

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 πολυόροφα κτίρια. Η πολεοδομική δραστηριότητα είναι κορεσμένη στις περισσότερες περιπτώσεις διατηρώντας αμετάβλητα τα χαρακτηριστικά της περιοχής.
- *Περιοχές αστικών κέντρων μέτριας πληθυσμιακής πυκνότητας:* Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται τα προάστια των αστικών κέντρων. Η πληθυσμιακή πυκνότητα κυμαίνεται μεταξύ 2.500 και 8.000 κατοίκων/km². Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από πολεοδομική ανομοιομορφία, αφού υπάρχουν τόσο ολιγόωρες 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.

Ημιαστικές περιοχές

Οι ημιαστικές περιοχές αναπτύσσονται σε λεκανοπέδια ή πεδιάδες μικρότερης έκτασης με ομοιομορφία ως προς το γεωγραφικό ανάγλυφο. Εμφανίζουν συγκεκριμένα πολεοδομικά χαρακτηριστικά με πολυόροφα κτίρια στο κέντρο της πόλης και μονοκατοικίες στην περιφέρεια. Η πληθυσμιακή πυκνότητα ανέρχεται σε μερικές εκατοντάδες κατοίκους/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 πολυόροφα κτίρια είτε μονοκατοικίες. Η πολεοδομική δραστηριότητα είναι πολύ περιορισμένη.

Αγροτικές περιοχές

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.

5.2 Αντιστοιχία περιπτώσεων με τηλεπικοινωνιακές λύσεις

Στην προηγούμενη παράγραφο έγινε ταξινόμηση των περιπτώσεων εφαρμογής του SMP βάσει πληθυσμιακών χαρακτηριστικών. Ωστόσο, σημαντικό παράγοντα στην κατηγοριοποίηση των περιπτώσεων αυτών έχει και η κατά περίπτωση διαθεσιμότητα – καταλληλότητα τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών. Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι κατά περίπτωση διαθέσιμες τηλεπικοινωνιακές υποδομές:

| Περιοχή εφαρμογής | Εσύρματες τεχνολογίες | Ασύρματες τεχνολογίες |
|---------------------------|------------------------------------|--|
| Αστική | PLC xDSL/οπτικές ίνες | ZigBee/6LoWPAN WiFi→DSL ¹ GPRS/3G |
| Ημιαστική (ή Βιομηχανική) | PLC xDSL (οπτικές ίνες σπανίως) | WiFi GPRS/3G (4G σπανίως) |
| Αγροτική | PLC | GPRS/3G (4G σπανίως) |

Πίνακας 5.2: Αντιστοιχία τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών με περιοχές ανάπτυξης SM συστημάτων

¹ Με τον όρο WiFi→DSL 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.

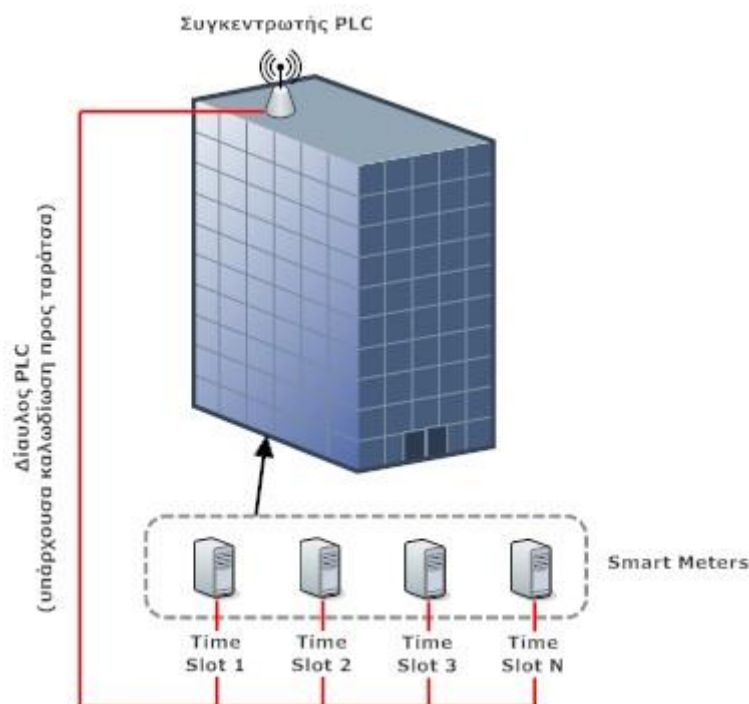
5.2.1 Περιοχές υψηλής πυκνότητας δόμησης

Τα πολύροφα 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.

Χρήση PLC τεχνολογίας

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:

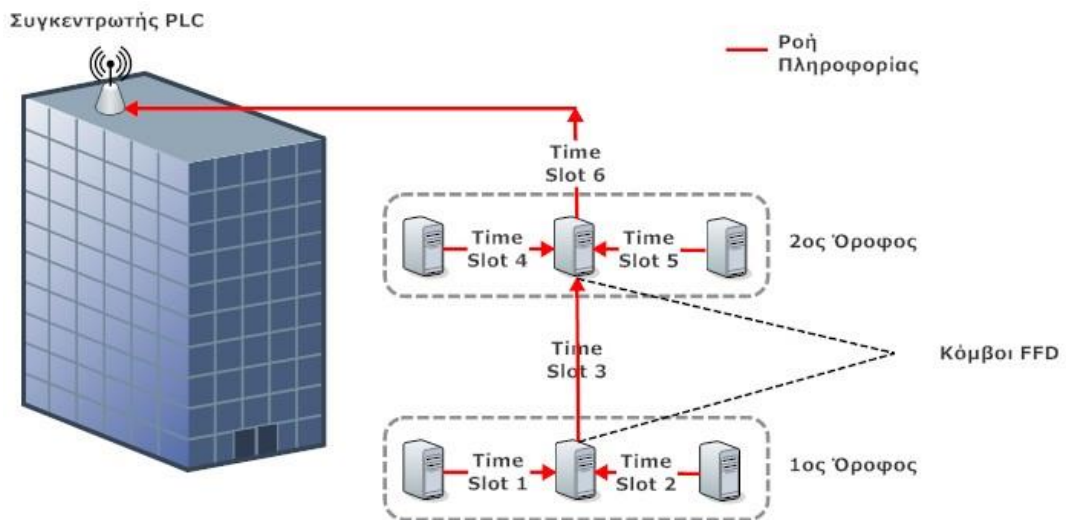
1. Οι SM λειτουργούν ανεξάρτητα και επικοινωνούν απευθείας με το συγκεντρωτή. Στην περίπτωση αυτή, κάθε τερματική διάταξη είναι ένας RFD κόμβος και το δίκτυο SM που προκύπτει χαρακτηρίζεται από τοπολογία αστέρα. Η πρόσβαση στο κοινό μέσο μετάδοσης γίνεται με TDMA (ή CSMA/CD) προς αποφυγή συγκρούσεων.



Σχήμα 5.1: Επικοινωνία SM – συγκεντρωτή με TDMA τοπολογίας διαύλου

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.

2. Οι SM εγκαθίστανται σε κάθε καταπόληση κατανεμόμενοι στους ορόφους πολυόροφων 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 5.2 απεικονίζεται η λειτουργία της δενδρικής τοπολογίας που περιγράφηκε μέσω TDMA.

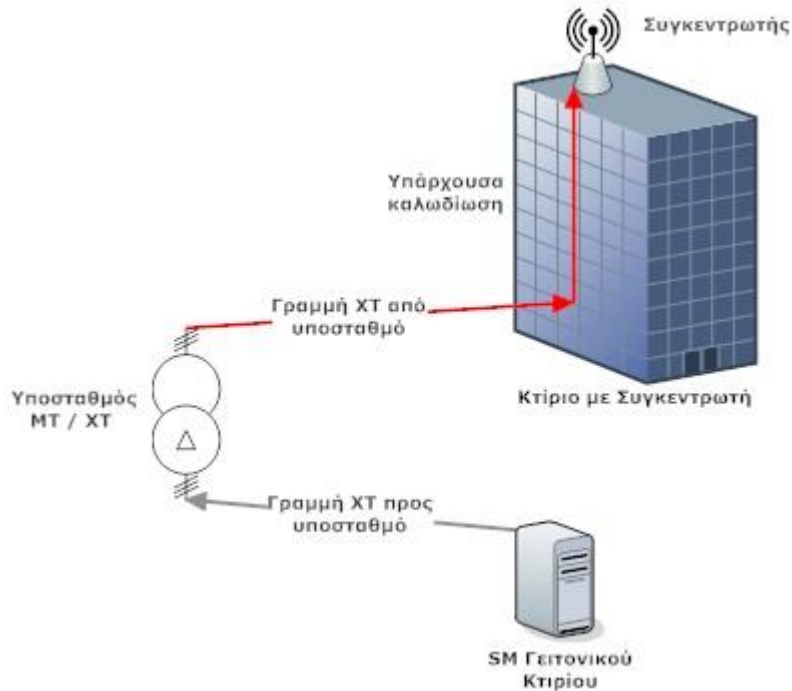


Σχήμα 5.2: Επικοινωνία SM – συγκεντρωτή με TDMA τοπολογίας δένδρου

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. Στο Σχήμα 5.3 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.

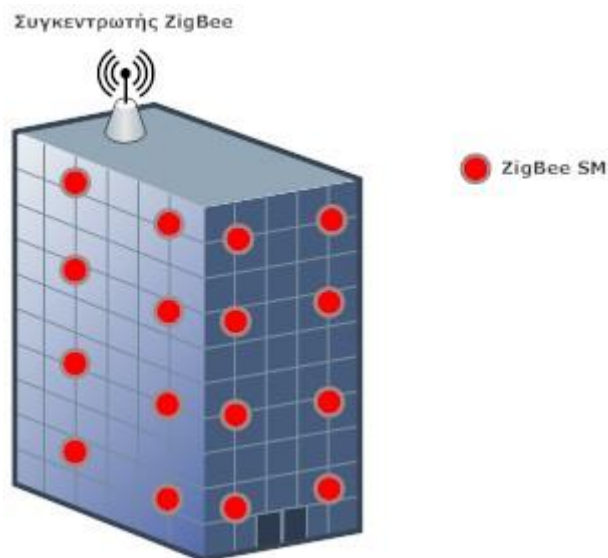
Μια άλλη περίπτωση χρήσης της PLC τεχνολογίας προκύπτει μέσω της τοποθέτησης του συγκεντρωτή στον πλησιέστερο υπαίθριο καταναμητή (Kabelverteiler – KV) του τηλεφωνικού δικτύου. Η τοποθέτηση του συγκεντρωτή στο KV είναι καταλληλότερη όταν, για την επικοινωνία συγκεντρωτή – MDMS, χρησιμοποιείται DSL τεχνολογία.



Σχήμα 5.3: Επικοινωνία συγκεντρωτή – γειτονικού SM

Χρήση ZigBee ή 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 5.4: 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.

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.

5.2.2 Περιοχές μέτριας πυκνότητας δόμησης

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.

Ασύρματη μετάδοση πληροφορίας

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/3G, 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/3G.

- *Σταθμοί βάσης WiFi:* 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).
- *Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας:* 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/3G. Οι πραγματικοί ρυθμοί μετάδοσης εξαρτώνται από την τεχνολογία κινητών επικοινωνιών (GPRS/3G) 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.

Ενσύρματη μετάδοση πληροφορίας

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:

1. 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/3G).
2. 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.

5.2.3 Περιοχές μικρής πυκνότητας δόμησης

Οι περιοχές μικρής πυκνότητας δόμησης υποστηρίζονται επιτυχώς μόνο μέσω PLC και GPRS/3G τεχνολογιών λόγω έλλειψης DSL τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Η χρήση GPRS/3G 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/3G 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/3G).

Στον Πίνακα 5.3 συνοψίζονται οι κατάλληλες τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες ανά περιοχή.

| 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/3G | Τοπολογία αστέρα | PLC (συγκεντρωτής σε υποσταθμό ΧΤ/ΜΤ ή ΚV) | Συνδυασμός τοπολογίας αστέρα – διαύλου |
| | WiFi (εξωτερικού χώρου) | Τοπολογία αστέρα | DSL | Τοπολογία αστέρα |
| Μικρής Πυκνότητας Δόμησης | GPRS/3G | Τοπολογία αστέρα | PLC (συγκεντρωτής σε υποσταθμό ΧΤ/ΜΤ) | Συνδυασμός τοπολογίας αστέρα – διαύλου |

Πίνακας 5.3: Κατάλληλες τεχνολογίες πρόσβασης για το δίκτυο SM κατά κατηγορία πυκνότητας δόμησης

5.3 Διαστασιολόγηση των προς εξυπηρέτηση περιπτώσεων

Η τηλεπικοινωνιακή διαστασιολόγηση του δικτύου πρόσβασης εξαρτάται από τα τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά των ευφύων 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.

5.3.1 Σημεία εγκατάστασης μετρητών και συγκεντρωτών

Με βάση τη Διακήρυξη, τα σημεία εγκατάστασης των ευφύων 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 GPRS/3G τεχνολογίας. Στην περίπτωση που επιλεγεί η GPRS/3G τεχνολογία η επικοινωνία SM – MDMS είναι άμεση ενώ στην περίπτωση που επιλεγεί η PLC τεχνολογία μεσολαβεί συγκεντρωτής. Ο συγκεντρωτής εγκαθίσταται στον πλησιέστερο υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ, συγκεντρώνει τα δεδομένα των SM τερματικών και τα αποστέλλει στο κέντρο διαχείρισης.

5.3.2 Προσδιορισμός του όγκου διακινούμενης πληροφορίας

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

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

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

Η αποστολή δεδομένων από τους SM πραγματοποιείται περιοδικά ανά 15 λεπτά. Τα ηλεκτρικά μεγέθη δειγματοληπτούνται συνεχώς και οι μετρήσεις αποθηκεύονται στους μετρητές μέχρι να αποσταλούν στον αρμόδιο συγκεντρωτή. Στην περίπτωση επικοινωνίας μέσω GPRS/3G, οι μετρητές αποστέλλουν τα δεδομένα τους μια φορά ανά 24 ώρες απευθείας στο MDMS μέσω του δικτύου κινητών επικοινωνιών. Ο όγκος της πληροφορίας κυμαίνεται από μερικές δεκάδες ως εκατοντάδες bytes [25].

Η περιγραφή κάθε μετρούμενου ηλεκτρικού μεγέθους απαιτεί 4 bytes [33]. Ο Πίνακας 5.4 παρουσιάζει τον κατά περίπτωση συνολικό όγκο πληροφορίας:

| 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 5.4: Bytes ανά ηλεκτρικό μέγεθος [33]

Η επικεφαλίδα κάθε πακέτου είναι 50 bytes [33] και χρησιμοποιούνται επιπλέον 22 bytes για προστασία των πακέτων μέσω DES (Data Encryption Standard) και AES (Advanced Encryption Standard) [33]. 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:

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

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

Στα 128 bytes έχει συμπεριληφθεί και ένα μικρό περιθώριο (padding) 16 bytes για ενδεχόμενη πλεονάζουσα πληροφορία επικεφαλίδας και ασφάλειας. Μηνύματα λαθών και απομακρυσμένων εντολών σύνδεσης/αποσύνδεσης έχουν μικρότερο όγκο πληροφορίας και πλαισιώνονται σε μικρότερα πακέτα. Το μέγιστο μέγεθος πακέτου των 128 bytes και ο ελάχιστος ρυθμός μετάδοσης των 4.8kbps που επιβάλλει η Διακήρυξη υποστηρίζονται επιτυχώς από όλα τα PLC πρωτόκολλα του Πίνακα 4.6 [34].

- 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:

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

$$P_{GPRS} = \text{Επικεφαλίδα} + 40 \cdot 96 + \text{Κωδικοποίηση} \approx 4kB$$

υποθέτοντας πως η επικεφαλίδα και η κωδικοποίηση προσθέτουν 160 bytes² 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.

5.3.3 SM δίκτυα πρόσβασης ενσύρματης τεχνολογίας

Η PLC τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για μετρητές εσωτερικού χώρου (συνήθως σε υπόγειους χώρους), όσο και μετρητές εξωτερικού χώρου. Οι μετρητές που επικοινωνούν με PLC τεχνολογία αποστέλλουν δεδομένα στο συγκεντρωτή που βρίσκεται στον πλησιέστερο υποσταθμό 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 υποστηρίξουν 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

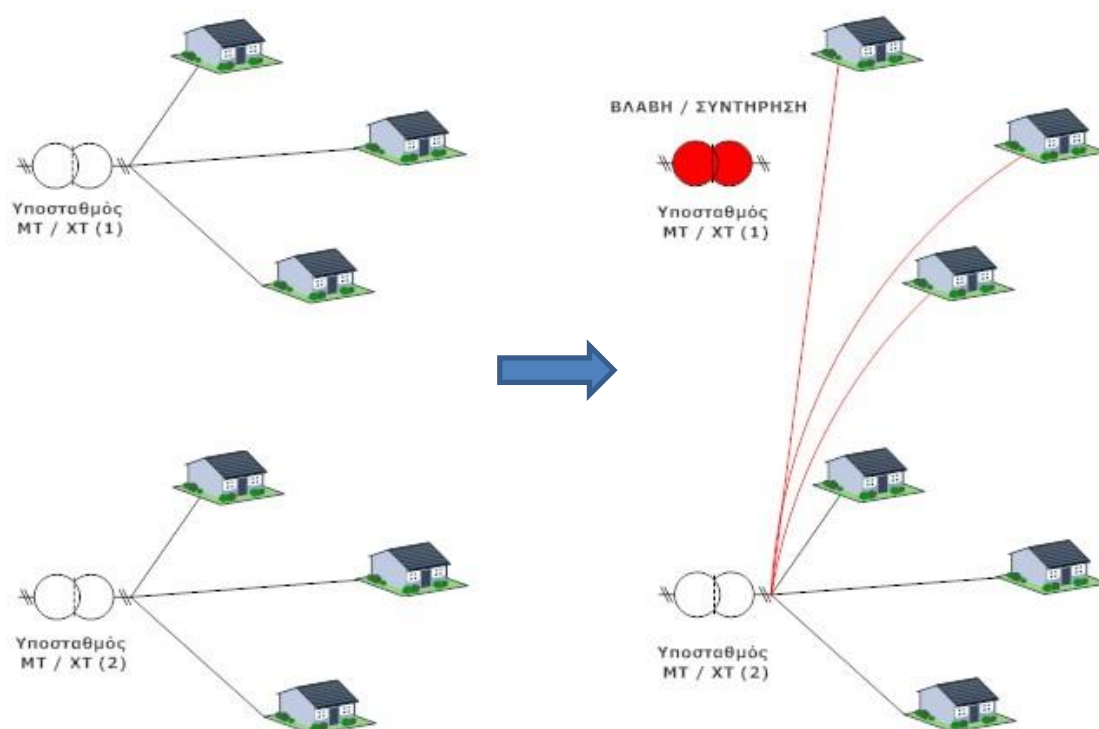
² Στην παράγραφο 5.3.5 θα δειχθεί ότι η ολοκλήρωση αποστολής SM δεδομένων εξαρτάται σημαντικά από τη διάρκεια της GPRS/3G συνεδρίας και όχι τον όγκο πληροφορίας. Συνεπώς, δεν απαιτείται ακριβής προσδιορισμός του μεγέθους επικεφαλίδας και κωδικοποίησης.

μέγεθος των ενταμιευτών σε σχέση με το πλήθος των μετρητών και τον όγκο πληροφορίας που αποστέλλει κάθε μετρητής. Η αποστολή των συνολικών δεδομένων από τους συγκεντρωτές στο MDMS πραγματοποιείται μια φορά ανά ημέρα μέσω GPRS τεχνολογίας.

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

Πίνακας 5.5: 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. Οι ενεργειακοί πόροι του μετασχηματιστή και οι τηλεπικοινωνιακοί πόροι του συγκεντρωτή διαμοιράζονται σε όλες τις νέες παροχές που καλείται να εξυπηρετήσει ο γειτονικός υποσταθμός. Ο συγκεντρωτής του γειτονικού υποσταθμού συντονίζει πλέον όλους τους μετρητές. Το αυξημένο πλήθος μετρητών που καλείται να υποστηρίξει προσωρινά ένας υποσταθμός πρέπει να είναι μικρότερο της δυναμικότητας του συγκεντρωτή που είναι συνήθως 1.000 μετρητές. Στο Σχήμα 5.5 απεικονίζεται το σενάριο που μόλις περιγράφηκε.



Σχήμα 5.5: Λειτουργία σε περίπτωση βλάβης – συντήρησης υποσταθμού

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.

5.3.4 Διαστασιολόγηση SM δικτύων πρόσβασης ενσύρματης τεχνολογίας

Στην παράγραφο αυτή αναλύεται η διαστασιολόγηση του δικτύου πρόσβασης με PLC τεχνολογία και εξετάζεται η πλέον επιβαρυσμένη περίπτωση από πλευράς τηλεπικοινωνιακού φορτίου (worst case scenario analysis). Στον Πίνακα 5.6 συνοψίζονται τα τηλεπικοινωνιακά μεγέθη που εμφανίζονται στην ανάλυση που ακολουθεί.

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

Πίνακας 5.6: Αντιστοιχία συμβόλων και τηλεπικοινωνιακών μεγεθών

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

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

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

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

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

$$R_{SM} = 4.8\text{kbps} \quad (5.3)$$

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

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

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

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

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

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

Η σχέση (5.6) 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.

Πρόσβαση στο κοινό μέσο μετάδοσης μέσω TDMA

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

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

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

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

Προκειμένου να είναι επιτυχής η μετάδοση δεδομένων πρέπει να ισχύει

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

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

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

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

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

Επειδή πρέπει

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

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

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

Πρόσβαση στο κοινό μέσο μετάδοσης μέσω CSMA/CD

Το CSMA/CD είναι ένα πρωτόκολλο τυχαίας πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης και η λειτουργία του αναλύθηκε στην παράγραφο 2.2.7. Η ανάγκη ταχείας ανίχνευσης των συγκρούσεων προς ελαχιστοποίηση του μέσου χρόνου μετάδοσης πακέτων και μεγιστοποίηση της διέλευσης [24] 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 ($\approx 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ για γραμμές μεταφοράς ΧΤ) και ορίζεται μέσω της σχέσης [24]

$$P_{min}(\text{bits}) = 2 \cdot t_{prop} \cdot R = 2 \cdot \frac{L_{max}}{c_{wired}} \cdot R_{SM} = 2 \cdot \frac{1000}{2 \cdot 10^8} \cdot 4.8 \cdot 10^3 \ll 1 \quad (5.13)$$

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 (5.13) το P_{min} προκύπτει πολύ μικρότερο του 1 bit ($P_{min} \ll 1$), 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 [35]:

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

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

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

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

$$e \cdot 2 \cdot \frac{L_i}{c_{wired}}$$

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

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

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

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

Στην παράγραφο 5.3.2, ο συνολικός όγκος πληροφορίας που μεταδίδεται μεταξύ SM και συγκεντρωτή ανά 15 λεπτά βρέθηκε ίσος με 128 bytes. Τα πρωτόκολλα PLC G3 και PRIME

χρησιμοποιούν μέγιστο μήκος πακέτου ίσο με 235 και 377 bytes αντίστοιχα [34]. Συνεπώς, κατά περίπτωση αρκεί μόνο ένα πακέτο των 128 bytes για τη μετάδοση της πληροφορίας.

Προκύπτουν κατά σειρά:

$$t_{d,TDMA} = \frac{P}{R_{SM}} = \frac{128 \cdot 8}{4.8 \cdot 10^3} \approx 0.22 \text{ sec} \quad (5.16)$$

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

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

$$e \cdot 2 \cdot \frac{L_i}{c_{wired}} \approx 10^{-5} \rightarrow 0 \quad (5.18)$$

προκύπτει

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

Η σχέση (5.19) 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 (5.9). Ωστόσο, ο συνολικός χρόνος μετάδοσης δεδομένων είναι μεγαλύτερος, καθώς προστίθεται ο χρόνος εγκατάστασης/τερματισμού των συνδέσεων και επεξεργασίας των μηνυμάτων σηματοδότησης μεταξύ μετρητών και συγκεντρωτή. Σε κάθε περίπτωση, ο συνολικός χρόνος μετάδοσης παραμένει μικρός καθώς οι πρόσθετες αυτές καθυστερήσεις είναι μικρές και δεν επιβαρύνουν σημαντικά το PLC δίκτυο. Η μετάδοση δεδομένων ολοκληρώνεται σε χρονικό διάστημα πολύ μικρότερο των 15 λεπτών, επιτρέποντας, όταν αυτό χρειάζεται ή ζητείται, την ενδιάμεση ανταλλαγή μηνυμάτων ελέγχου από το MDMS, μηνυμάτων ασφαλείας κτλ.

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

5.3.5 SM δίκτυα πρόσβασης ασύρματης τεχνολογίας

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

1. *Υπάρχει διαθεσιμότητα GPRS/3G τεχνολογίας στο σημείο εγκατάστασης των SM:*
Οι ανωτέρω ασύρματες τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας από τους SM άμεσα. Κάθε μετρητής λειτουργεί ανεξάρτητα και αποστέλλει στο MDMS μια φορά ανά 24 ώρες τα δεδομένα που καταγράφει. Κάθε μετρητής μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά τόσο με GPRS όσο και με 3G, επιλέγοντας τη βέλτιστη διαθέσιμη εκ των δύο.
2. *Δεν υπάρχει διαθεσιμότητα GPRS/3G τεχνολογίας στο σημείο εγκατάστασης των SM:*
Προκειμένου να καταστεί δυνατή η επικοινωνία SM - MDMS ακολουθείται η εξής τεχνική:
 - Οι συνδεδεμένοι μετρητές εκτός GPRS/3G κάλυψης ονομάζονται εξαρτημένοι μετρητές (slaves). Οι θύρες επικοινωνίας (π.χ. RS485) των μετρητών αυτών συνδέονται ενσύρματα μεταξύ τους.
 - Ένας εκ των εκτός κάλυψης μετρητών τοποθετείται σε σημείο που καλύπτεται από GPRS/3G και καλείται κύριος μετρητής (master). Ο κύριος μετρητής διαθέτει ασύρματη διεπαφή για την επικοινωνία με το MDMS με χρήση τεχνολογίας GPRS/3G ενώ επικοινωνεί ενσύρματα με τους υπόλοιπους εξαρτημένους μετρητές.
 - Οι εξαρτημένοι μετρητές αποστέλλουν τα δεδομένα τους ενσύρματα στον αντίστοιχο κύριο μετρητή, ο οποίος συντονίζει την επικοινωνία. Η αποστολή δεδομένων από κάθε SM γίνεται με διαφανή προς τους υπόλοιπους μετρητές τρόπο.
 - Ο κύριος μετρητής συγκεντρώνει τόσο τα δικά του δεδομένα όσο και τα δεδομένα των εξαρτημένων από αυτόν μετρητών και αποστέλλει τη συνολική πληροφορία στο MDMS μέσω GPRS/3G. Λόγω του μεγάλου όγκου της συνολικής πληροφορίας, η αποστολή δεδομένων στο MDMS απαιτεί τηλεπικοινωνιακή ζεύξη υψηλής χωρητικότητας. Συνεπώς, προτιμάται η 3G τεχνολογία για την επικοινωνία κύριου SM – MDMS, εφόσον αυτό είναι δυνατό.

5.3.6 Διαστασιολόγηση SM δικτύων πρόσβασης ασύρματης τεχνολογίας

Η διαστασιολόγηση του δικτύου πρόσβασης όταν χρησιμοποιείται ασύρματη τεχνολογία διαφέρει από την αντίστοιχη διαστασιολόγηση όταν χρησιμοποιείται η PLC τεχνολογία. Η σημαντικότερη διαφορά εντοπίζεται στο ότι στην περίπτωση ασύρματης τεχνολογίας η αποστολή δεδομένων τηλεμέτρησης μεταξύ SM – MDMS γίνεται μια φορά ανά 24 ώρες. Συνεπώς, για την αποθήκευση των ημερήσιων μετρήσεων, κάθε μετρητής που επικοινωνεί μέσω GPRS/3G απαιτεί μεγαλύτερο μέγεθος ενταμιευτή σε σχέση με τους μετρητές που επικοινωνούν μέσω PLC. Λόγω της διαφοροποίησης που αναφέρθηκε στην παράγραφο 5.3.5, ο όγκος της προς 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 5.3.5 με όγκους πληροφορίας:

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

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

5.3.6.1 Αποστολή δεδομένων μέσω GPRS

Η GPRS τεχνολογία χαρακτηρίζεται από μεγάλο ποσοστό κάλυψης. Κάθε ραδιοδιάυλος εύρους ζώνης 200kHz [16] 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 [36]. Ωστόσο, στην πράξη, οι ρυθμοί μετάδοσης για uplink και downlink ζεύξεις περιορίζονται σε $R = 40kbps$ καταλαμβάνοντας 2 χρονοσχισμές ενός ραδιοδιαύλου προκειμένου να αυξηθεί το πλήθος των χρηστών ανά κυψέλη [37] [36]. Η συνολική χωρητικότητα ενός GPRS δικτύου μετάδοσης SM δεδομένων εξαρτάται από το πλήθος των χρονοσχισμών που θα δεσμευτούν για αποκλειστική αποστολή δεδομένων μέσω GPRS. Υπάρχει εκτενής ανάλυση της GPRS τεχνολογίας στην διεθνή βιβλιογραφία [16] [37] [36].

Η απομάστευση της πληροφορίας των GPRS μετρητών γίνεται μεταξύ 00:00 – 08:00 [28], 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 χρονοσχισμές προς αύξηση του ρυθμού μετάδοσης. Σημαντικός είναι ο χρόνος ολοκλήρωσης της αποστολής δεδομένων

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

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

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

Προσδιορισμός ζητούμενης χωρητικότητας για επικοινωνία μέσω GPRS

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

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

Ωστόσο, ο χρόνος εγκατάστασης/τερματισμού μιας GPRS σύνδεσης αυξάνει σημαντικά τη συνολική διάρκεια αποστολής δεδομένων τηλεμέτρησης που κυμαίνεται μεταξύ 25 – 50 sec και, μάλιστα, όταν ο χρόνος μετάδοσης δεδομένων είναι μόλις 0.8 sec [38].

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

$$T_{collection} = 8 \cdot 60 \cdot 60 = 28800 \text{ s} \quad (5.22)$$

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

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

$$N_{SM} = \frac{T_{collection}}{T_{GPRS}} \cdot N_{syn} \quad (5.23)$$

όπου T_{GPRS} η συνολική διάρκεια μιας GPRS συνεδρίας³ και $N_{syn} = 3$ το πλήθος των ταυτοχρόνως υποστηριζόμενων τερματικών ανά ραδιοδιάυλο σε μια GPRS κυψέλη. Συνεπώς

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

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

Λαμβάνοντας υπόψη τον Πίνακα 5.1 και τα αποτελέσματα της σχέσης (5.24) προκύπτει ότι μια GPRS κυψέλη μπορεί να υποστηρίξει όλα τα είδη των υποψήφιων αντιπροσωπευτικών περιοχών εξυπηρέτησης. Η εξυπηρέτηση είναι οριακή για αστικές περιοχές που χαρακτηρίζονται από μεγάλη διάρκεια GPRS συνεδρίας. Η διάρκεια αυτή δεν μπορεί να προσδιοριστεί μονοσήμαντα, καθώς ποικίλλει και εξαρτάται από το τηλεπικοινωνιακό φορτίο του δικτύου κινητών επικοινωνιών, ενώ αποτελεί καθοριστικό παράγοντα περιορισμού του πλήθους των υποστηριζόμενων τερματικών σε μία GPRS κυψέλη βάσει της (5.24). Η περίπτωση των ανεξάρτητων GPRS μετρητών είναι η πλέον επιβαρυνόμενη χρονικά εκ των δύο περιπτώσεων της παραγράφου 5.3.5, 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,

³ Διάρκεια GPRS συνεδρίας: Χρονική διάρκεια εγκατάσταση/τερματισμού GPRS σύνδεσης και διάρκεια αποστολής δεδομένων

η ανάλυση που προηγήθηκε αποτελεί το χειρότερο δυνατό σενάριο και τα αποτελέσματα καλύπτουν και τις δύο περιπτώσεις της παραγράφου 5.3.5.

5.3.6.2 Αποστολή δεδομένων μέσω 3G

Η τεχνολογία 3G χαρακτηρίζεται από μικρότερες περιοχές κάλυψης, προσφέρει, όμως, υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Οι πραγματικοί ρυθμοί μετάδοσης κυμαίνονται περί τα $R_u = 350\text{kbps}$ στη ζεύξη uplink και $R_d = 1.2\text{Mbps}$ στη ζεύξη downlink. Ως πρωτόκολλο πρόσβασης χρησιμοποιείται συνήθως το WCDMA [37]. Κάθε SM τερματικό διαθέτει τη δική του ψηφιακή ταυτότητα προς κωδικοποίηση της πληροφορίας του για πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης. Το πλήθος των ταυτοχρόνως υποστηριζόμενων τερματικών διατάξεων εξαρτάται από το πλήθος των διαφορετικών δυαδικών ταυτοτήτων. Η ταυτόχρονη υποστήριξη μεγάλου πλήθους τερματικών διατάξεων επιφέρει μείωση του ρυθμού μετάδοσης. Στον Πίνακα 5.8 παρουσιάζεται η αναλογία μεταξύ ταυτοχρόνως υποστηριζόμενων τερματικών και ρυθμού μετάδοσης.

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

Πίνακας 5.7: Ρυθμός μετάδοσης συναρτήσει του πλήθους ταυτοχρόνως υποστηριζόμενων τερματικών διατάξεων [37]

Στο WCDMA FDD (Frequency – Division Duplexing) χρησιμοποιούνται έως και 256 κώδικες για το uplink, ενώ στο WCDMA TDD (Time – Division Duplexing) χρησιμοποιούνται έως και 16 κώδικες για το uplink [37].

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

- Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης.
- Μικρός χρόνος μετάδοσης δεδομένων.
- Μεγαλύτερο πλήθος των SM τερματικών που υποστηρίζονται ταυτόχρονα σε σχέση με τη χρήση GPRS.
- Μείωση κατά 50% της διάρκειας συνεδρίας σε σχέση με το απλό GPRS [38].

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

Προσδιορισμός ζητούμενης χωρητικότητας για επικοινωνία μέσω 3G

Στην ανάλυση που ακολουθεί αλλάζει μόνο το είδος της ασύρματης τεχνολογίας. Ο ημερήσιος όγκος πληροφορίας παραμένει ίσος με 4kB. Για την πρόσβαση χρησιμοποιείται WCDMA με 16 διαθέσιμες ψηφιακές ταυτότητες, ώστε να λαμβάνεται υπόψη τόσο η FDD

όσο και η TDD επιλογή. Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 5.7, ο ρυθμός μετάδοσης είναι ίσος με 240kbrps, οπότε

$$t_{SM,3G} = \frac{P_{SM}}{R_{3G}} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 8}{240 \cdot 10^3} = 0.14 \text{ s} \quad (5.25)$$

Δεδομένου ότι ο χρόνος εγκατάστασης/τερματισμού μιας σύνδεσης 3G είναι μειωμένη κατά 50% σε σχέση με το GPRS, η συνολική διάρκεια μιας 3G συνεδρίας κυμαίνεται μεταξύ 13 – 25 sec [38].

Το διάστημα απομάστευσης των δεδομένων τηλεμέτρησης παραμένει ίσο με

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

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

$$N_{SM} = \begin{cases} \frac{28800}{13} \cdot 16 \approx 35400 \text{ για } T_{3G} = 13 \text{ s} \\ \frac{28800}{25} \cdot 16 \approx 18400 \text{ για } T_{3G} = 25 \text{ s} \end{cases} \quad (5.26)$$

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

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

5.3.7 Αποστολή δεδομένων από τους συγκεντρωτές στο MDMS

Ο μέγιστος όγκος δεδομένων που συγκεντρώνει ένας συγκεντρωτής ανά ημέρα είναι

$$D_t = N_t \cdot P \cdot 96 = 350 \cdot 128 \cdot 96 = 4.3MB \quad (5.27)$$

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

Η θέση των συγκεντρωτών πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η διαθεσιμότητα 3G τεχνολογίας προκειμένου να ελαχιστοποιείται ο χρόνος αποστολής δεδομένων προς το

MDMS. Δεδομένου ότι μια τυπική 3G σύνδεση εξασφαλίζει ρυθμό μετάδοσης ίσο με 350kbps στη ζεύξη uplink, η διάρκεια αποστολής των δεδομένων του συγκεντρωτή είναι

$$t_{concentrator} = \frac{4.3 \cdot 10^6 \cdot 8}{350 \cdot 10^3} \simeq 100 \text{ s} \quad (5.28)$$

6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ SMP

Στόχος του Κεφαλαίου 6 είναι η εναλλακτική προσέγγιση του ελληνικού SMP τόσο ως προς τα σημεία εγκατάστασης των μετρητών όσο και ως προς την τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία που χρησιμοποιούν οι SM. Η ανάγκη εναλλακτικής προσέγγισης προκύπτει από τις αδυναμίες της Διακήρυξης του ΔΕΔΔΗΕ και τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση της WiFi→DSL τεχνολογίας. Η εναλλακτική προσέγγιση μπορεί να εφαρμοστεί μόνο στις περιπτώσεις όπου η υπάρχουσα τηλεπικοινωνιακή υποδομή το επιτρέπει και προσφέρει οικονομικά και λειτουργικά πλεονεκτήματα. Η προσέγγιση αυτή δεν αφορά αποκλειστικά το ελληνικό SMP.

6.1 Θέση εγκατάστασης και τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία SM

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

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

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

Η επικοινωνία των μετρητών με το MDMS μπορεί να γίνει μέσω του οικιακού δικτύου WiFi→DSL. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι τεχνολογίες GPRS/3G. Η χρήση των εναλλακτικών τεχνολογιών προτείνεται μόνο σε περίπτωση αδυναμίας επικοινωνίας της SM διάταξης μέσω του δικτύου WiFi→DSL (π.χ. λόγω βλάβης ή συντήρησης της DSL γραμμής).

Στο Σχήμα 6.1 απεικονίζεται η επικοινωνία SM – MDMS κατά την υλοποίηση της εναλλακτικής προσέγγισης.



Σχήμα 6.1: Επικοινωνία SM – MDMS κατά την εναλλακτική προσέγγιση

Η εγκατάσταση των μετρητών εντός της ηλεκτροδοτούμενης εγκατάστασης (π.χ. στον ηλεκτρολογικό πίνακα) και η επικοινωνία μέσω WiFi→DSL ή GPRS/3G προσφέρουν τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζονται στην επόμενη παράγραφο.

6.2 Πλεονεκτήματα εναλλακτικής προσέγγισης

Η εγκατάσταση των SM διατάξεων εντός της ηλεκτροδοτούμενης εγκατάστασης και η χρήση της WiFi τεχνολογίας του οικιακού δικτύου σε συνδυασμό με DSL μετάδοση προσφέρει πλεονεκτήματα οικονομικά και λειτουργικά. Τα οικονομικά πλεονεκτήματα αφορούν τόσο τη φάση μελέτης και υλοποίησης του SMP όσο και τη φάση λειτουργίας του, ενώ τα λειτουργικά πλεονεκτήματα σχετίζονται κυρίως με τη δυνατότητα υποστήριξης πρόσθετων υπηρεσιών μέσω το SMP.

Οικονομικά Οφέλη

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

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

Λειτουργικά Οφέλη

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

1. Μετάδοση δεδομένων τηλεμέτρησης μεταξύ SM – MDMS μέσω WiFi→DSL που αποτελεί ώριμη και αποτελεσματική τεχνολογία με υψηλή διαθεσιμότητα και αξιοπιστία.
2. Δυνατότητα παροχής πρόσθετων υπηρεσιών πραγματικού χρόνου. Η μετάδοση της πληροφορίας μέσω DSL έχει ελάχιστη καθυστέρηση παρέχοντας τη δυνατότητα για παρακολούθηση προσφοράς – ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Αντίθετα, αν και το ελληνικό SMP προσφέρει πραγματική τιμολόγηση, υστερεί σε

παροχή υπηρεσιών πραγματικού χρόνου καθώς και η συλλογή των δεδομένων από το MDMS γίνεται μια φορά την ημέρα.

3. Δυνατότητα σύνδεσης του μετρητή με άλλες οικιακές συσκευές μέσω οικιακού WLAN. Εισάγεται η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου του οικιακού εξοπλισμού και η ρύθμιση του φορτίου για εξίσωση προσφοράς και ζήτησης, μειώνοντας έτσι το κόστος ανά μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας. Η απομακρυσμένη διαχείριση του οικιακού εξοπλισμού έχει εφαρμοστεί ήδη σε ευρωπαϊκά SMP με οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη για τους καταναλωτές και τους προμηθευτές/παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας [26].
4. Δυνατότητα των καταναλωτών για άμεση πρόσβαση και ανάγνωση των μετρητικών ενδείξεων. Συνεπώς, η εγκατάσταση και η χρηματική επιβάρυνση των IHDs αφορά μόνο καταναλωτές που επιθυμούν αναλυτική απεικόνιση της ενεργειακής κατανάλωσης και την πρόσβαση στο ενεργειακό προφίλ τους.
5. Δεν απαιτείται η υιοθέτηση νέων πρωτοκόλλων για τη μετάδοση δεδομένων, όπως τα PLC PRIME και G3. Τα μετρητικά δεδομένα μεταδίδονται μέσω των αξιόπιστων και ώριμων πρωτοκόλλων IEEE 802.3 και IEEE 802.11.
6. Η διαδικασία προτυποποίησης της PLC τεχνολογίας είναι ακόμα σε εξέλιξη, ενώ δεν έχει λυθεί πλήρως το ζήτημα της ασφάλειας δεδομένων. Ωστόσο, μέσω της εναλλακτικής προσέγγισης, η ασφάλεια δεδομένων εξασφαλίζεται με αξιοποίηση της ώριμης και πλέον αξιόπιστης DSL τεχνολογίας.
7. Μέσω των πρωτοκόλλων IEEE 802.3 και IEEE 802.11 εξασφαλίζεται η άμεση συμβατότητα με το πρωτόκολλο IP σε επίπεδο δικτύου και τα TCP/UDP σε επίπεδο εφαρμογής χωρίς να απαιτείται η χρήση διεπαφών.

Βιβλιογραφία

- [1] T. E. P. Company, «Basic Specifications for Smart Meter Communications,» 2012.
- [2] V. C. Güngör, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergüt, C. Buccella, C. Cecati και G. P. Hancke, «Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards,» IEEE, 2011.
- [3] F. L. V.C. Gungor, «A survey on communication networks for electric system automation,» Elsevier, 2006.
- [4] Libelium, «50 Sensor Applications for a Smarter World,» Libelium.
- [5] Q. Zhang, L. Cheng και R. Boutaba, «Cloud computing: state-of-the-art and research challenges,» 2010.
- [6] S. K. Tan, M. Sooriyabandara και Z. Fan, «M2M Communications in the Smart Grid: Applications, Standards, Enabling Technologies, and Research Challenges,» Hindawi Publishing Corporation, 2011.
- [7] Q. Zhang, Y. Sun και Z. Cui, «Application and Analysis of ZigBee Technology for Smart Grid,» IEEE, 2010.
- [8] J.-S. Lee, Y. Su και C.-C. Shen, «A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee and Wi-Fi,» IEEE, 2007.
- [9] «6LoWPAN: <http://en.wikipedia.org/wiki/6LoWPAN>,» Wikipedia.
- [10] Michael Starsinic, «System Architecture Challenges in the Home M2M Network,» IEEE, 2010.
- [11] «Bluetooth: <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>,» Wikipedia.
- [12] Z. M. Fadlullah, M. M. Fouda, N. Kato, A. Takeuchi, N. Iwasaki και Y. Nozaki, «Toward Intelligent Machine-to-Machine Communications in Smart Grid,» IEEE, 2011.
- [13] «Wi-Fi: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>,» Wikipedia.
- [14] M. Dohler, D. Boswarthick και J. Alonso-Zárate, «Machine-to-Machine in Smart Grids & Smart Cities (Technologies, Standards, and Applications),» 2012.
- [15] A. Lo, Y. W. Law και M. Jacobsson, «A Cellular-Centric Service Architecture For Machine-To-Machine (M2M) Communications,» IEEE, 2013.
- [16] M. Theologou, Mobile and Personal Communication Networks.

- [17] Y. Yan, Y. Qian, H. Sharif και D. Tipper, «A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements and Challenges,» IEEE, 2013.
- [18] P. Cottis και P. Arapoglou, Wireless Communications, 2011.
- [19] WiMAX: <http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>, Wikipedia.
- [20] Agrawal, Optical Fiber Communication Systems.
- [21] «LTE Networks: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_LTE_networks,» Wikipedia.
- [22] J.-J. Lee, Y.-J. Park, S.-W. Kwon, H.-M. Oh, H.-s. Park, K.-H. Kim, D.-Y. Lee και Y.-H. Jeong, «High Data Rate Internet Service over Medium Voltage Power Lines,» IEEE, 2005.
- [23] «IEEE 802.15.4.,» Wikipedia.
- [24] A. S. Tanenbaum, Computer Networks, 2011.
- [25] M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn και S. Rahman, «Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN,» Elsevier, 2014.
- [26] G. Cervigni και P. Larouche, «Regulating Smart Metering in Europe: Technological, Economic and Legal Challenges,» CERRE, 2014.
- [27] Κ. Ανδρεάδης, «Ευφυή Συστήματα Μέτρησης και Διαχείρισης Ηλεκτρικής Ενέργειας,» ΔΕΔΔΗΕ, 2014.
- [28] ΔΕΔΔΗΕ, «ΕΡΓΟ: Πιλοτικό Σύστημα Τηλεμέτρησης και Διαχείρισης της Ζήτησης Παροχών Ηλεκτρικής Ενέργειας Οικιακών και Μικρών Εμπορικών Καταναλωτών και Εφαρμογής Έξυπνων Δικτύων,» 2014.
- [29] ΔΕΔΔΗΕ, «Πιλοτικό Σύστημα Τηλεμέτρησης: Τεχνική Περιγραφή του Έργου (Κείμενο προς Διαβούλευση),» ΔΕΔΔΗΕ.
- [30] «Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας,» ΥΠΕΚΑ, 2010.
- [31] A. D. L. Fernandes και P. Dave, «Power Line Communication in Energy Markets,» 2011.
- [32] «3G Cellular Technology for Smart Grid Communications,» Qualcomm, 2011.
- [33] E. C. Limited, «High-level Smart Meter Data Traffic Analysis,» 2010.
- [34] M. Hoch, «Comparison of PLC G3 and PRIME,» IEEE, 2011.
- [35] N. Vlajic, http://www.eecs.yorku.ca/course_archive/2010-11/F/3213/CSE3213_13_RandomAccess_2_F2010.pdf, Lassonde School of Engineering.

[36] «GPRS: <http://www.activexperts.com/mmsserver/cellular/gprsintro/>».

[37] A. Canatas, F. Constantinou και G. Pantos, Mobile Communication Systems, 2008.

[38] Enexis, «G3-PLC at Enexis: Description of G3-PLC technology and pilot results at Enexis,»
Enexis, 2013.