



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΛΟΣΗΣ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΥΛΙΚΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗ ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ  
ΔΙΚΤΥΟ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ**

**ΚΑΛΑΜΠΑΛΙΚΗ ΦΙΛΟΘΕΗ**

**Επιβλέπων: Παναγιώτης Γ. Κωττής**

**Καθηγητής Ε.Μ.Π**

**Αθήνα, Μάρτιος 2023**





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΛΟΣΗΣ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΥΛΙΚΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗ ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ  
ΔΙΚΤΥΟ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ**

**ΚΑΛΑΜΠΑΛΙΚΗ ΦΙΛΟΘΕΗ**

**Επιβλέπων: Παναγιώτης Γ. Κωττής**

**Καθηγητής Ε.Μ.Π**

**Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14<sup>η</sup>  
Μαρτίου 2023**

.....

.....

.....

**Π. Κωττής**

**Χ. Καψάλης**

**Γ. Φικιώρης**

**Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

**Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

**Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

**Αθήνα, Μάρτιος 2023**



.....

Φιλοθέη Καλαμπαλίκη

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Καλαμπαλίκη Φιλοθέη 2023. 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 το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε προσπάθεια να μελετηθεί η ανάπτυξη ενός δικτύου έξυπνων μετρητών στο δίκτυο παροχής φυσικού αερίου. Αρχικά, στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά και τα οφέλη που παρέχουν οι έξυπνοι μετρητές. Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται εκτενής αναφορά στις τεχνολογίες των έξυπνων μετρητών καθώς και βιβλιογραφική ανασκόπηση στις σπουδαιότερες τοπολογίες δικτύου.

Παράλληλα, στο Κεφάλαιο 3 εκτίθενται τα χαρακτηριστικά της φέρουσας συχνότητας των 169MHz, μιας συχνότητας που ευνοεί με τα πλεονεκτήματά της την ανάπτυξη ενός ασύρματου δικτύου έξυπνων μετρητών στο φυσικό αέριο.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η διαδικασία εξόρυξης του φυσικού αερίου, η μεταφορά του καθώς και η διανομή του μέχρι τον καταναλωτή. Μία σειρά από πλεονεκτήματα και περιορισμούς που εμφανίζουν οι ασύρματοι μετρητές ολοκληρώνουν την εικόνα που σχηματίζεται για το πόσο είναι εφικτή η χρήση τους σε δίκτυα φυσικού αερίου. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου μελετάται ένα σύστημα επικοινωνίας έξυπνων μετρητών με χρήση αγωγών αερίου.

Στο Κεφάλαιο 5 αναφέρεται η μελέτη περίπτωσης ενός συστήματος έξυπνων μετρητών και η εφαρμογή του σε δίκτυο φυσικού αερίου. Ειδικότερα, μελετάται το κομμάτι της διαχείρισης της ροής του φυσικού αερίου και το κομμάτι της επικοινωνίας των έξυπνων μετρητών.

## Λέξεις Κλειδιά

Έξυπνοι Μετρητές, Δίκτυο Φυσικού Αερίου, Έξυπνο Δίκτυο, Συχνότητα 169MHz

## **Abstract**

In this thesis an attempt was made to study the development of a smart meter network in the gas supply network. Initially, Chapter 1 presents the characteristics and benefits provided by smart meters. In Chapter 2, an extensive review of smart meter technologies is presented as well as a literature review on the most important network topologies.

At the same time, Chapter 3 exposes the characteristics of the 169MHz carrier frequency, a frequency whose advantages favour the development of a wireless smart meter network in natural gas.

Chapter 4 presents the process of natural gas extraction, its transportation as well as its distribution up to the consumer. A number of advantages and limitations that wireless meters present complete the picture that is formed of the feasibility of their use in natural gas networks. At the end of this chapter a smart meter communication system using gas pipelines is studied.

Chapter 5 presents a case study of a smart meter system and its application in a gas network. In particular, the gas flow management part and the smart meter communication part are studied.

## **Key-Words**

Smart Meters, Gas Network, Smart Grid, Frequency 169MHz

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Παναγιώτη Κωττή για τη σημαντική συμβολή του στην περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και για την ακαδημαϊκή του συνεισφορά σε όλα τα μαθήματα της κατεύθυνσης επικοινωνιών που τον είχα διδάσκοντα. Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που είχα δίπλα μου κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.



## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	8
Κατάλογος Σχημάτων-Πινάκων .....	10
Περίληψη .....	6
Λέξεις Κλειδιά .....	6
Abstract.....	7
Key-Words .....	7
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ .....	12
1.1 Χαρακτηριστικά έξυπνων μετρητών .....	12
1.2 Οφέλη έξυπνων μετρητών.....	12
1.3 Το έξυπνο δίκτυο φυσικού αερίου -Smart Grid και τα χαρακτηριστικά του.....	13
1.4 Προηγμένες υποδομές μέτρησης.....	15
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ.....	17
2.1 Τεχνολογίες δικτύων επικοινωνιών που υιοθετούν τα έξυπνα δίκτυα φυσικού αερίου .....	17
2.2 Τοπολογίες δικτύου.....	22
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ ΣΤΑ 169ΜΗΖ.....	25
3.1 Θεσμικό πλαίσιο-Οι ενέργειες των κρατών για την θεσμοθέτηση δικτύων έξυπνης μέτρησης .....	25
3.2 Ασύρματες και ενσύρματες λύσεις για τη διασύνδεση μετρητών .....	26
3.3 Θέματα τυποποίησης για ελεύθερες συχνότητες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από έξυπνους μετρητές.....	26
3.4 Εκτιμήσεις Κόστους-Οφέλους .....	27
3.5 Οικονομικά Αποδοτικές Αρχιτεκτονικές για Έξυπνα Ασύρματα Δίκτυα Μέτρησης.....	28
3.6 Επέκταση Κυψελών σε Ασύρματα Δίκτυα Μέτρησης.....	30
4 ΔΙΚΤΥΑ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ ΣΕ ΠΑΡΟΧΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ.....	31
4.1 Εισαγωγή-γενικά για το φυσικό αέριο .....	31
4.2 Η Δημόσια Επιχείρηση Αερίου (ΔΕΠΑ).....	31
4.3 Το δίκτυο φυσικού αερίου στην Ελλάδα.....	32
4.4 Ανάπτυξη smart-grid σε δίκτυο φυσικού αερίου .....	34
4.5 Πλεονεκτήματα χρήσης έξυπνων μετρητών σε δίκτυα φυσικού αερίου .....	36
4.6 Περιορισμοί-προβλήματα χρήσης έξυπνων μετρητών σε δίκτυα φυσικού αερίου ....	37
4.7 Σύστημα επικοινωνίας έξυπνων μετρητών με χρήση αγωγών αερίου .....	38
5 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΈΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ .....	44
5.1 Διαχείριση ροής.....	44

5.1.1 Κέντρο Ελέγχου Φυσικού Αερίου (GCC).....	44
5.1.2 Ηλεκτρονικός Πίνακας Συμβάντων.....	47
5.1.3 Το σύστημα έξυπνων μετρητών στο δίκτυο φυσικού αερίου .....	48
5.2 Επικοινωνίες έξυπνων μετρητών στο δίκτυο φυσικού αερίου .....	49
5.2.1 Συγκεντρωτής Δεδομένων (Data Concentrator-DC) .....	54
5.2.2 Κέντρο Συλλογής Δεδομένων (Central Acquisition System-SAC) .....	54
6. Συμπεράσματα-Μελλοντικές Επεκτάσεις .....	56
Βιβλιογραφία-Αναφορές.....	57

## Κατάλογος Σχημάτων-Πινάκων

Πίνακας 1.1: Συγκριτικός Πίνακας Υπάρχοντος Δικτύου και Έξυπνου Δικτύου.....	14
Πίνακας 2.1: Δίκτυα και Τεχνολογίες Επικοινωνίας για Έξυπνους Μετρητές.....	17
Σχήμα 2.1: Εμβέλεια συναρτήσει του ρυθμού μετάδοσης και του κόστους για διαφορετικές τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας.....	19
Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά των διαφορετικών εκδόσεων Bluetooth.....	20
Σχήμα 2.2: Τοπολογία Αστέρα.....	23
Σχήμα 2.3: Τοπολογία Mesh όπου με κόκκινο χρώμα φαίνεται η εναλλακτική δρομολόγηση .....	24
Πίνακας 3.1: Πίνακας Ανηγγμένων Απωλειών για Διάφορες Συχνότητες-Τεχνολογίες.....	26
Σχήμα 3.1: Ασύρματη Αρχιτεκτονική με σταθερούς κόμβους που εκμεταλλεύεται η το κυψελωτό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας ή το δίκτυο φωτισμού μιας πόλης.....	29
Σχήμα 4.1: Το δίκτυο τροφοδότησης φυσικού αερίου και η διασύνδεση του ελληνικού δικτύου με διεθνείς αγωγούς.....	32
Σχήμα 4.2: Η νήσος Ρεβυθούσα σε διαδικασία τροφοδοσίας από πλοίο με LNG.....	33
Σχήμα 4.3: Η αρχιτεκτονική μίας ολοκληρωμένης υλοποίησης ενός δικτύου έξυπνων μετρητών.....	35
Σχήμα 4.4: Σύστημα Ελέγχου Δυναμικού Φυσικού Αερίου μαζί με παροχή Ρεύματος.....	40
Σχήμα 4.5: Η μετρητική διάταξη του συστήματος που αποτελείται από τη γεννήτρια σημάτων στην αρχή του αγωγού φυσικού αερίου και τον αναλυτή φάσματος για τη λήψη και ανίχνευση του σήματος στο τέλος.....	42
Σχήμα 4.6: Η μετρητική διάταξη που έχει ως σκοπό τη μέτρηση της ανακλώμενης ισχύος στην αρχή του αγωγού φυσικού αερίου .....	42
Σχήμα 5.1 Σύστημα Ελέγχου Φυσικού Αερίου .....	46
Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτει το GCC.....	47

Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά Έξυπνων Μετρητών σε Δίκτυο Φυσικού Αερίου .....	49
Σχήμα 5.2: Μεθοδολογία Ανάπτυξης Συστήματος Επικοινωνιών σε Δίκτυο Φυσικού Αερίου .....	50
Σχήμα 5.3: Επικοινωνία Σημείου-προς-Σημείο Μετρητών με το Hub.....	52
Σχήμα 5.4: Επικοινωνία Πολλών Σημείων με το Κέντρο Συλλογής Δεδομένων.....	53

# 1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

## 1.1 Χαρακτηριστικά έξυπνων μετρητών

Οι έξυπνοι μετρητές (Smart Meters-SM) είναι οι μετρητικές συσκευές που διαθέτουν τη δυνατότητα καταγραφής μεγεθών που αφορούν την καθημερινότητά. Τέτοια μεγέθη είναι: η ηλεκτρική ενέργεια, το νερό, τα κυβικά μέτρα του φυσικού αερίου που παράγονται ή καταναλώνονται καθώς και η θερμοκρασία που μπορεί να εμφανίζουν οι συσκευές μας. Η παράλληλη-ταυτόχρονη λειτουργία των μετρητών απαιτεί την παρουσία ενός κέντρου διαχείρισης δεδομένων (Meter Data Management System–MDMS) στο οποίο συλλέγονται όλα τα δεδομένα από τους έξυπνους μετρητές. Το ίδιο το κέντρο έχει και τη δυνατότητα αποστολής εντολών που επιθυμεί ο χρήστης να στείλει στους μετρητές για να τους προγραμματίσει. Οι επικοινωνίες από το μετρητή στο δίκτυο μπορούν να είναι είτε ενσύρματες είτε ασύρματες. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά ενός δικτύου επικοινωνίας έξυπνων μετρητών είναι [1]:

1. Αξιόπιστη διακίνηση και συλλογή δεδομένων: Όλοι οι μετρητές που είναι τοποθετημένοι στο δίκτυο πρέπει να μπορούν να στείλουν και να λάβουν δεδομένα με ελάχιστη πιθανότητα σφάλματος.
2. Ασφάλεια των δεδομένων: Είναι αναγκαίο τα προσωπικά στοιχεία των χρηστών να είναι προστατευμένα από κακόβουλες ενέργειες και να μην είναι εφικτή η διαρροή τους.
3. Λειτουργία για μεγάλο χρονικό διάστημα: Η εγκατάσταση και η τοποθέτηση του δικτύου των μετρητών πρέπει να γίνεται με γνώμονα έναν μεγάλο χρονικό ορίζοντα λειτουργίας.
4. Κατασκευή και διατήρηση με χαμηλό κόστος: Τα κόστη αγοράς των μετρητών από τον πάροχο καθώς και τα κόστη συντήρησής τους πρέπει να είναι σχετικά μικρά έτσι ώστε αυτό το κόστος να μην μετακυλισθεί στους καταναλωτές.

Οι έξυπνοι μετρητές πρέπει να είναι σε θέση να καταγράφουν την κατανάλωση με βάση ωριαία χρονικά διαστήματα ή μικρότερης διάρκειας. Επιπλέον, ένας έξυπνος μετρητής διαθέτει αποθήκευση δεδομένων, δυνατότητα απομακρυσμένης σύνδεσης ή αποσύνδεσης, δυνατότητα ανίχνευσης παραβίασης και αμφίδρομη επικοινωνία. Επίσης, πρέπει οι μετρητές να είναι σε θέση να εκτελούν από απόσταση αναφορά των δεδομένων που συλλέγονται στον κεντρικό μετρητή. Αυτός ο κεντρικός μετρητής παρακολουθεί τη λειτουργικότητα των έξυπνων μετρητών.

## 1.2 Οφέλη έξυπνων μετρητών

Η χρήση των έξυπνων μετρητών έχει ως αποτέλεσμα μία σειρά από οφέλη για τους καταναλωτές, τους παρόχους και τις επιχειρήσεις διανομής φυσικού αερίου [2]:

1. Ταχύτερες συνδέσεις: Άμεση και απλή ενεργοποίηση και απενεργοποίηση συνδέσεων.
2. Αποδοτική λειτουργία δικτύου: Δυνατότητα απομακρυσμένης βελτιστοποίησης επισκευών και συντηρήσεων.

3. Διαθεσιμότητα δεδομένων σε πραγματικό χρόνο: Οι πάροχοι δεν χρειάζεται να έχουν υπαλλήλους που πηγαίνουν σε κάθε καταναλωτή για τις ενδείξεις κατανάλωσης, αλλά μπορούν να έχουν άμεσα διαθέσιμες τις μετρήσεις των καταναλωτών μέσω των έξυπνων μετρητών.
4. Βελτιωμένη ασφάλεια δικτύου διανομής φυσικού αερίου: Άμεση εφαρμογή μέτρων ασφάλειας και απομόνωσης παροχών σε έκτακτα περιστατικά (πχ. πυρκαγιά, σεισμός).
5. Ταχύτερη ανίχνευση διακοπών και βλαβών: Ο καταναλωτής δεν χρειάζεται να δηλώσει κάποια βλάβη ή κάποια διακοπή παροχής, αφού ο πάροχος είναι σε θέση να γνωρίζει σε πραγματικό χρόνο το σχετικό περιστατικό καθώς και την πηγή του προβλήματος.
6. Ευκολίες στην τιμολόγηση: Ενδεικτικά, κάθε καταναλωτής είναι σε θέση να ενταχθεί άμεσα και με τη θέλησή του σε ένα σταθερό (πάγια χρέωση) ή σε ένα κυμαινόμενο τιμολόγιο παροχής (διάκριση μεταξύ ημερήσιου και νυχτερινού τιμολογίου).

### **1.3 Το έξυπνο δίκτυο φυσικού αερίου-Smart Grid και τα χαρακτηριστικά του**

Το έξυπνο δίκτυο (Smart Grid-SG) φυσικού αερίου ή αλλιώς intelligrid, futuregrid, intergrid ή intragrid αποτελεί μια προηγμένη και εξελιγμένη εκδοχή του αντίστοιχου παραδοσιακού δικτύου. Πρόκειται για μία ευφυή υποδομή, που αξιοποιεί τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα των επικοινωνιών και εφαρμόζει νέες τεχνολογίες με σκοπό τη δημιουργία ενός αξιόπιστου και οικονομικά αποδοτικού δικτύου. Σε αντίθεση με τα υπάρχοντα δίκτυα, όπου η επικοινωνία είναι μονόπλευρη αφού η πληροφορία και οι εντολές μεταφέρονται από την παραγωγή φυσικού αερίου προς τα κέντρα κατανάλωσης, στο έξυπνο δίκτυο έχουμε αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ παραγωγής και καταναλωτή. Δηλαδή, ο παραγωγός θέλει να λαμβάνει μία ανατροφοδότηση που αφορά τις υπηρεσίες που παρέχει στον καταναλωτή. Επιπλέον, το SG χάρη στις εξελιγμένες τεχνολογίες που χρησιμοποιεί για τη μετάδοση της πληροφορίας διαθέτει την ικανότητα να ελέγχει απομακρυσμένα όλα τα στάδια από την παραγωγή στην κατανάλωση και είναι σε θέση να επέμβει άμεσα και αποτελεσματικά σε ένα σύνολο από καταστάσεις που προκύπτουν σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου. Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται οι διαφορές ανάμεσα στα υφιστάμενα μη-έξυπνα δίκτυα και στα smartgrid [3]:

Υπάρχον Δίκτυο	Έξυπνο Δίκτυο
Αναλογικό	Ψηφιακό
Single-Way επικοινωνία	Full Duplex επικοινωνία
Κεντροποιημένη παραγωγή πληροφορίας	Κατανεμημένη διανομή πληροφορίας
Ελάχιστοι έως καθόλου αισθητήρες	Ολοκληρωμένο σύστημα αισθητήρων
Έλεγχος με ανθρώπινη παρουσία	Απομακρυσμένος έλεγχος που εκμεταλλεύεται το δίκτυο των αισθητήρων
Χειροκίνητη επαναφορά του δικτύου σε περίπτωση βλάβης	Αυτόματη αποκατάσταση του δικτύου σε περίπτωση λάθους
Υψηλότερος ρυθμός βλαβών	Υψηλός βαθμός προσαρμογής
Περιορισμένος έλεγχος	Πολλαπλά σημεία και επίπεδα ελέγχου

Πίνακας 1.1: Συγκριτικός Πίνακας Υπάρχοντος Δικτύου και Έξυπνου Δικτύου

Πολλά από τα ανωτέρω προηγμένα χαρακτηριστικά υλοποιούνται με τη χρήση υπολογιστικής νοημοσύνης από ακρή σε άκρη του έξυπνου δικτύου. Για να επιτευχθεί, όμως, η βέλτιστη λύση για ένα τέτοιο δίκτυο πρέπει να ενσωματωθεί μία σειρά από συστατικά στοιχεία, υποσυστήματα, λειτουργίες και υπηρεσίες που επικοινωνούν μεταξύ τους. Παράλληλα, είναι σημαντική η δυνατότητα επεκτασιμότητας του δικτύου με νέες τεχνολογίες που προβλέπεται να εισαχθούν στο μέλλον.

Ο ιδανικός σχεδιασμός του έξυπνου δικτύου πρέπει να αντιμετωπίζει τις προκλήσεις για τη διαχείριση του φορτίου και την προσαρμογή στη ζήτηση, την ενσωμάτωση προηγμένων υπηρεσιών, την ευελιξία και τη βιωσιμότητα, την ικανότητα ελέγχου του δικτύου από άκρο σε άκρο, τη διευκόλυνση της λειτουργίας της αγοράς, την ποιότητα της ισχύος και των υπηρεσιών, την ελαχιστοποίηση του κόστους, την ασφάλεια, την απόδοση και την αποκατάσταση του δικτύου φυσικού αερίου [4].

Τα τρία βασικά συστήματα του SG φυσικού αερίου είναι: το ευφυές σύστημα υποδομών, το ευφυές σύστημα διαχείρισης και το ευφυές σύστημα προστασίας.

1. Ευφυές σύστημα υποδομών: Αποτελείται από τις πληροφορίες και τις επικοινωνιακές υποδομές στις οποίες στηρίζεται το έξυπνο δίκτυο φυσικού αερίου. Βασίζεται στην αμφίδρομη ροή πληροφοριών και όχι απλώς στη μονόδρομη μετάδοση. Συγκεκριμένα, πρέπει και οι ίδιοι οι καταναλωτές να είναι σε θέση να συμμετέχουν ενεργά στέλνοντας πληροφορίες-ανατροφοδότηση στα κέντρα ελέγχου του δικτύου. Παράλληλα, ένα σύστημα ευφυούς υποδομής πρέπει να υποστηρίζει άμεση παρακολούθηση του δικτύου φυσικού αερίου καθώς και μία κεντρική διασύνδεση-επικοινωνία μεταξύ των μετρητικών συσκευών-κέντρων διαχείρισης (hubs). Το Ευφυές Σύστημα Υποδομών με τη σειρά του αποτελείται από τρία υποσυστήματα [3]:
  - I. Το ευφυές σύστημα παροχής φυσικού αερίου: είναι υπεύθυνο για την παραγωγή φυσικού αερίου και την παράδοσή του
  - II. Το ευφυές σύστημα πληροφοριών: είναι το σύστημα που ειδικεύεται στις προηγμένες πληροφορίες μετρήσεων, ελέγχου και διαχείρισης των δεδομένων που διακινούνται κατά μήκος του δικτύου φυσικού αερίου.
  - III. Το ευφυές σύστημα επικοινωνίας: συνδέει τις διάφορες πηγές πληροφοριών μεταξύ τους παρέχοντας σε αυτές τη δυνατότητα επικοινωνίας με τους καταναλωτές, τους παραγωγούς, τα επιμέρους

συστήματα, τις συσκευές και τις εφαρμογές που έχουν εγκατασταθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου.

2. Ευφυές σύστημα διαχείρισης: Ουσιαστικά αποτελεί το κέντρο ελέγχου, το υπολογιστικό σύστημα που ενορχηστρώνει τα επιμέρους μετρητικά συστήματα επιτρέποντας την εύκολη διαχείριση του δικτύου. Με την ανάπτυξη νέων εφαρμογών διαχείρισης και νέων υπηρεσιών που μπορούν να αξιοποιήσουν τις νέες τεχνολογίες το ευφυές σύστημα διαχείρισης πρέπει να είναι σε θέση να ενσωματώνει όλες τις μελλοντικές αναβαθμίσεις που προκύπτουν. Το ευφυές σύστημα διαχείρισης έχει τη δυνατότητα να προγραμματίζεται από τον παραγωγό/πάροχο έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μία σειρά από στόχους κυρίως οικονομικούς σε επίπεδο πωλήσεων αλλά και τεχνικούς σε επίπεδο βελτίωσης παροχής υπηρεσιών.
3. Ευφυές σύστημα προστασίας: Είναι ένα υποσύστημα που ελέγχει το δίκτυο φυσικού αερίου για την ακεραιότητά του και σε συνεργασία με το σύστημα ευφυούς υποδομής οφείλει να παρέχει άμεση και αποτελεσματική προστασία από βλάβες και υποκλοπές, διατηρώντας την ασφάλεια των επικοινωνιών. Ταυτόχρονα, σε περίπτωση αποτυχίας-σφάλματος το συγκεκριμένο σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να επαναφέρει το δίκτυο στην πρώιμη εύρρυθμη κατάσταση λειτουργίας.

#### 1.4 Προηγμένες υποδομές μέτρησης

Ένα έξυπνο δίκτυο μπορεί να ενσωματώνει μία από τις ακόλουθες βασικές τεχνολογίες μέτρησης: τα συστήματα αυτόματης ανάγνωσης μετρητών (Automated Meter Reading-AMR) ή τα συστήματα προηγμένων μετρητικών υποδομών (Advanced Metering Infrastructure-AMI)

Τα συστήματα AMR είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη συλλογή δεδομένων από συσκευές μέτρησης και τη μετάδοσή τους σε κεντρικό σταθμό προκειμένου να αναλυθούν με σκοπό την τιμολόγηση ώστε αυτή να βασίζεται στην πραγματική κατανάλωση και όχι σε εκτίμηση βάσει προηγούμενης κατανάλωσης. Τα ανωτέρω συστήματα βοηθούν τον πελάτη-καταναλωτή και τον πάροχο φυσικού αερίου να έχουν πρόσβαση στα ακριβή και ενημερωμένα δεδομένα από τους μετρητές. Το σύστημα AMR μπορεί να αντλήσει την κατανάλωση του φυσικού αερίου σε ωριαία, μηνιαία, ετήσια βάση κατόπιν αιτήματος ή ακόμη και σε πραγματικό χρόνο. Μέσω της ανάλυσης των δεδομένων που συλλέγονται, ο πάροχος υπηρεσιών είναι σε θέση να αποστέλλει προτάσεις για τρόπους εξοικονόμησης στους καταναλωτές. Η συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο παρέχει σημαντική διευκόλυνση στους επιστήμονες, οι οποίοι χρησιμοποιούν τη μηχανική μάθηση και τα υπάρχοντα εργαλεία εξόρυξης για να δημιουργήσουν ένα προγνωστικό μοντέλο βασισμένο σε αυτά τα δεδομένα που προβλέπει τις μελλοντικές απαιτήσεις-ζητήσεις των αγαθών. Έτσι, οδηγούν σε εξελιγμένη και προγνωστική παραγωγή, εξοικονόμηση και διαχείριση [5].

Το AMR εμφανίζεται σε διάφορους τύπους ανάλογα με τον τύπο των μετρούμενων δεδομένων και τις τεχνολογίες μετάδοσης δεδομένων. Θεωρείται η καλύτερη λύση για τη μέτρηση, τη συλλογή και την ανάλυση δεδομένων για τα δίκτυα αγαθών μαζικής

κατανάλωσης. Παραδείγματα τέτοιων δικτύων είναι τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου και ύδρευσης.

Ταυτόχρονα, τα συστήματα AMR έχουν υλοποιηθεί με τη χρήση διαφορετικών τρόπων επικοινωνίας. Οι τεχνολογίες επικοινωνίας AMR μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κατηγορίες: την ενσύρματη επικοινωνία, μέσω του δικτύου μεταφοράς γραμμής ηλεκτρικής ενέργειας (PLC-Power Line Cable) ή μέσω δικτύου τηλεφωνικών γραμμών (οπτικό καλώδιο) και την ασύρματη επικοινωνία, μέσω ασύρματων τεχνολογιών όπως: WiFi, ZigBee, GSM (Global System for Mobile Communications), General Packet Radio Service (GPRS), WiMax, LTE, Bluetooth [6].

Τα συστήματα AMI είναι ολοκληρωμένα συστήματα που ενσωματώνουν διάφορες τεχνολογίες-υλοποιήσεις. Η υποδομή περιλαμβάνει έξυπνους μετρητές, δίκτυα επικοινωνίας σε διάφορα επίπεδα ιεραρχίας της υποδομής, συστήματα διαχείρισης δεδομένων μετρητών (Meter Data Management System-MDMS) και μέσα για την ενσωμάτωση των συλλεγόμενων δεδομένων σε πλατφόρμες και διεπαφές εφαρμογών λογισμικού. Ο καταναλωτής είναι εξοπλισμένος με έναν έξυπνο μετρητή που συλλέγει δεδομένα στο πεδίο του χρόνου. Οι έξυπνοι μετρητές μπορούν να μεταδώσουν τα δεδομένα που συλλέγονται μέσω κοινώς διαθέσιμων σταθερών δικτύων, όπως τα ευρυζωνικά δίκτυα BPL (Broadband over Power Line), PLC (Power Line Communications), Fixed Radio Frequency, τα σταθερά και κινητά δίκτυα τηλεφωνίας. Τα δεδομένα κατανάλωσης του μετρητή λαμβάνονται από το κεντρικό σύστημα AMI. Στη συνέχεια, αποστέλλονται σε ένα MDMS που διαχειρίζεται την αποθήκευση και την ανάλυση των δεδομένων και παρέχει τις πληροφορίες σε χρήσιμη μορφή στον πάροχο υπηρεσιών κοινής ωφέλειας. Στα συστήματα AMI σε αντίθεση με τα συστήματα AMR η επικοινωνία είναι αμφίδρομη. Επομένως, οι έξυπνες συσκευές μπορούν να δέχονται σήματα εντολών και να ενεργούν ανάλογα. Η συγκεκριμένη λειτουργία προσφέρει τον πλήρη έλεγχο του δικτύου στον πάροχο ενώ στον καταναλωτή μόνο του δικού του κόμβου και μάλιστα μερικώς [4].

Τα συστήματα διαχείρισης δεδομένων μετρητών (MDMS) αποτελούν υποσύστημα των AMI. Το MDMS θεωρείται η κεντρική μονάδα διαχείρισης με τα απαραίτητα εργαλεία για την επικοινωνία με άλλες οντότητες-υποσυστήματα που ενσωματώνονται σε αυτό. Εκτελεί μακροπρόθεσμη αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων για τις τεράστιες ποσότητες δεδομένων (της τάξης των terabytes που αναφέρονται ως "Big Data") που παρέχονται από τα έξυπνα συστήματα μέτρησης. Τα δεδομένα αυτά αποτελούνται κυρίως από δεδομένα χρήσης και συμβάντα που εισάγονται από τους κεντρικούς διακομιστές που διαχειρίζονται τη συλλογή δεδομένων σε προηγμένες υποδομές μέτρησης (AMI) ή συστήματα αυτόματης ανάγνωσης μετρητών (AMR). Το MDMS αποτελεί συστατικό στοιχείο της υποδομής του έξυπνου δικτύου που προωθείται από τις εταιρείες κοινής ωφέλειας. Πρακτικά, τα MDMS είναι μία ολοκληρωμένη πρόταση της τεχνολογίας διαχείρισης δεδομένων μετρητών (MDM). Η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει τη δυνατότητα μέσω ενός λογισμικού να διαχειρίζεται μεγάλο όγκο δεδομένων. Αυτός ο όγκος παράγεται σε καθημερινή βάση από ένα έξυπνο δίκτυο παροχής φυσικού αερίου από το σύνολο των μετρητικών οργάνων-αισθητήρων που βρίσκονται διασκορπισμένα κατά μήκος του δικτύου.



## 2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

### 2.1 Τεχνολογίες δικτύων επικοινωνιών που υιοθετούν τα έξυπνα δίκτυα φυσικού αερίου

Η αμφίδρομη επικοινωνία στο έξυπνο δίκτυο φυσικού αερίου μεταξύ επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας και πελατών γίνεται μέσω διαφόρων κατηγοριών δικτύων επικοινωνίας.

Οι τρεις βασικές κατηγορίες δικτύων που βρίσκουν εφαρμογή στην περίπτωση των έξυπνων δικτύων φυσικού αερίου είναι [7]:

1. Το HAN (Home Area Network) περιγράφεται ως ένα δίκτυο αισθητήρων που επικοινωνούν στο εσωτερικό μιας οικίας ή γενικότερα εγκατάστασης.
2. Το FAN (Field Area Network) ή NAN (Neighborhood Area Network) είναι μία κατηγορία δικτύου με κύρια χαρακτηριστικά την αμφίδρομη επικοινωνία και την μεγαλύτερη επιφάνεια κάλυψης. Για το λόγο αυτό εκτός από έξυπνους μετρητές περιλαμβάνει και μονάδες συγκέντρωσης δεδομένων (Data Concentrator Unit-DCU) ή πύλες-hubs. Αυτή η τεχνολογία δικτύου αποτελεί το συνδεδετικό κρίκο ανάμεσα στα πολλαπλά οικιακά HANs και στους τοπικούς ενταμιευτές δεδομένων που εκμεταλλεύονται το NAN για να επικοινωνήσουν μεταξύ τους.
3. Το WAN (Wide Area Network) λόγω της ακόμα μεγαλύτερης επιφάνειας κάλυψης είναι καταλληλότερο για απομακρυσμένες περιοχές όπου οι DCUs ή οι πύλες είναι μακριά από τα κέντρα ελέγχου των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας.

Οι ανωτέρω κατηγορίες δικτύων καθώς και οι τεχνολογίες επικοινωνίας που εξυπηρετούν συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Network	Technologies	
	Wired	Wireless
HAN	Ethernet, PLC, RS-232, RS-485	ZigBee, Wi-Fi, 6LoWPAN, Z-Wave, Bluetooth, NFC
FAN/ NAN	Ethernet, PLC, RS-232, RS-485, DSL	6LoWPAN, Wi-Fi, ZigBee
WAN	Optical Fiber, Ethernet	Cellular Communications, Satellite Communications

Πίνακας 2.1: Δίκτυα και Τεχνολογίες Επικοινωνίας για Έξυπνους Μετρητές

Υπάρχουν δύο τρόποι υλοποίησης των δικτύων επικοινωνίας:

- Ενσύρματο δίκτυο επικοινωνίας (Wired Communication Network).
- Ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας (Wireless Communication Network).

Οι πλέον συνήθεις υλοποιήσεις επικοινωνίας μέσω ενσύρματου δικτύου είναι η επικοινωνία μέσω των γραμμών μετάδοσης Η/Φ (Power line communication - PLC), η χρήση οπτικών ινών (Fiber - Optic) και η χρήση ψηφιακής συνδρομητικής γραμμής (Digital Subscriber Line - DSL).

Η τεχνολογία PLC επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ των έξυπνων μετρητών και των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας χρησιμοποιώντας τις υφιστάμενες γραμμές μεταφοράς

ηλεκτρικής ενέργειας. Τα PLC έχουν μεγάλες καθυστερήσεις στη μετάδοση δεδομένων, μικρότερο εύρος ζώνης και υψηλό κόστος στις πόλεις. Το εύρος ζώνης που προσφέρει η τεχνολογία PLC είναι 1-30MHz, η καθυστέρηση 5-7ms, ο ρυθμός μετάδοσης είναι 2-3Mbps και η εμβέλεια 1-5km.

Οι οπτικές ίνες παρέχουν υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων έως και 40Gbps, υψηλή αξιοπιστία, εύρος συχνοτήτων έως 353THz, εμβέλεια έως 100km και πολύ χαμηλή καθυστέρηση 3,34μs ανά km. Χρησιμοποιούνται συχνά για τη μετάδοση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο ή τεράστιων δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις και λειτουργούν ως σύστημα επικοινωνίας κορμού. Οι μηδενικές απώλειες δεδομένων καθώς και η άμεση κωδικοποίηση - αποκωδικοποίηση της ψηφιακής πληροφορίας καθιστούν την επιλογή οπτικών ινών ιδανική για ένα δίκτυο μετρητών. Ταυτόχρονα, η πληροφορία που μεταδίδεται μέσω των οπτικών ινών είναι λιγότερο ευάλωτη σε παρεμβολές γεγονός που ενισχύει την ασφάλεια και την ακεραιότητα των σημάτων μεταξύ των μετρητών. Ωστόσο, η εγκατάσταση και η συντήρηση ενός δικτύου οπτικών ινών μπορεί να είναι δαπανηρή. Αν, όμως, μια εταιρεία κοινής ωφέλειας διαθέτει ήδη μία υποδομή δικτύου όπου μπορεί να ενσωματωθεί και δίκτυο οπτικών ινών, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις επικοινωνίες του σχετικού SG μειώνοντας αισθητά το κόστος της επένδυσης σε σχέση με την εξαρχής εγκατάσταση από την αρχή ενός τέτοιου δικτύου.

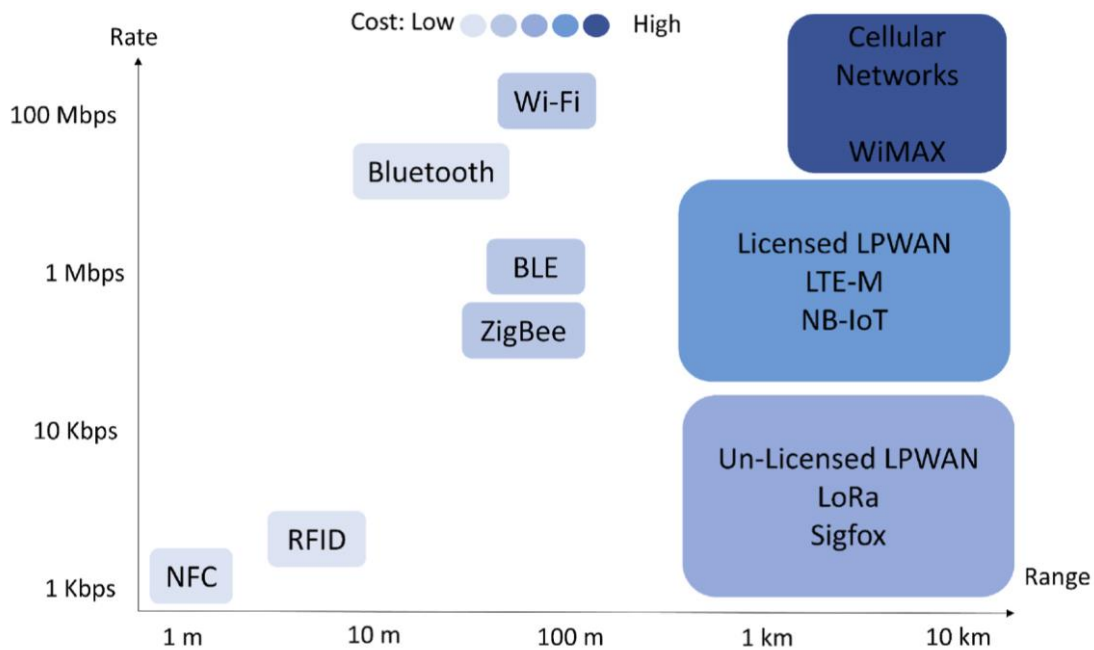
Η ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (DSL) είναι μια οικογένεια τεχνολογιών που επιτρέπει την ψηφιακή μετάδοση δεδομένων μέσω τηλεφωνικών γραμμών, η οποία αποφεύγει το αυξημένο κόστος εφαρμογής ξεχωριστού δικτύου επικοινωνίας των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων κοινής ωφέλειας. Οι τρεις διαθέσιμοι τύποι DSL είναι το VDSL, το HDSL και το ADSL. Το DSL έχει εύρος συχνοτήτων από 2kHz έως 1MHz και καθυστέρηση 10-70ms. Απόσταση και απόδοση για το DSL, από την άλλη πλευρά, είναι αντιστρόφως ανάλογες, καθώς οι τρεις τύποι DSL το αποδεικνύουν. Το VDSL έχει ρυθμό δεδομένων 15-100Mbps και εμβέλεια έως 1,2km. Το HDSL και το ADSL, από την άλλη έχουν μεγαλύτερη εμβέλεια έως 3,6km και 5km αντίστοιχα, αλλά και τα δύο έχουν χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων 2Mbps και 1-8Mbps αντίστοιχα. Στον ελληνικό χώρο είναι ο πλέον διαδεδομένος εμπορικά τρόπος επικοινωνίας για οικιακούς και επιχειρησιακούς χρήστες με ένα σχετικά χαμηλό κόστος συνδρομής και εγκατάστασης. Η συγκεκριμένη τεχνολογία αποτελεί μία αρκετά καλή λύση για την επικοινωνία των μετρητών - αισθητήρων που είναι εγκατεστημένοι στους καταναλωτές με τα κέντρα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (hubs).

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας πληροφοριών (ΤΠ) έχουν αναπτυχθεί πολλά συστήματα ασύρματης επικοινωνίας για διάφορες εφαρμογές. Τα δίκτυα αυτά κατηγοριοποιούνται συνήθως σε τρεις κύριες κατηγορίες με βάση την απόσταση:

1. μικρά (<10m)
2. μεσαία (10-100m)
3. μεγάλα (>100m)

Στην εικόνα που ακολουθεί συγκρίνονται η κάλυψη και ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων για τις διαθέσιμες ασύρματες τεχνολογίες. Παράλληλα, στην ίδια εικόνα απεικονίζεται και το κατά περίπτωση κόστος. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν τεχνολογίες που παρέχουν μεγάλη εμβέλεια ταυτόχρονα με υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Ωστόσο, οι τεχνολογίες αυτές χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος. Σε κάθε περίπτωση, σε

έξυπνο ασύρματο δίκτυο μετρητών το επιθυμητό σενάριο είναι μεγάλη εμβέλεια σε συνδυασμό με έναν ικανοποιητικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.



Σχήμα 2.1: Εμβέλεια συναρτήσει του ρυθμού μετάδοσης και του κόστους για διαφορετικές τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας

Τεχνολογίες δικτύωσης μικρής εμβέλειας για ασύρματες εφαρμογές είναι οι τις τεχνολογίες RFID (Radio Frequency Identification), NFC (Near Field Communication), Bluetooth και BLE (Bluetooth Low Energy). Δύο πολύ διαδεδομένες τεχνολογίες μεσαίας εμβέλειας είναι το Wi-Fi και το ZigBee. Τέλος, οι κυψελωτές τεχνολογίες (2G/3G/4G/5G), το LPWAN (Low-Power WAN), το WiMAX και το Wireless Mesh αποτελούν μεγάλης εμβέλειας τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας.

Το RFID είναι μία ασύρματη τεχνολογία που λειτουργεί στα 433MHz και στα 860-960MHz με καθυστέρηση σχεδόν 36ms. Συνήθως λειτουργεί στη ζώνη υπερυψηλών συχνοτήτων και παρέχει εμβέλεια έως και 100m. Ωστόσο, το RFID επιτρέπει μόνο τη μονόδρομη επικοινωνία. Επίσης, λόγω της μικρής εμβέλειάς του δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε έξυπνους μετρητές δεδομένου ότι η χρήση του σε ένα ασύρματο δίκτυο έξυπνων μετρητών δεν είναι συμφέρουσα, αφού είναι αναγκαίο να εγκατασταθούν περισσότεροι σταθμοί συλλογής δεδομένων (hubs) και σε μικρότερες μεταξύ τους αποστάσεις.

Το NFC είναι ένα ασύρματο πρωτόκολλο όπως το RFID και το Bluetooth. Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις που πρέπει να αναφερθούν. Το NFC μπορεί να διαβάσει μοναδικές ετικέτες όπως το RFID με ρυθμό δεδομένων 424Kbps και χρόνο καθυστέρησης 100-250ms. Λειτουργεί με κεντρική συχνότητα τα 13.56MHz. Η εμβέλειά του είναι σχεδόν 10cm-20cm και λόγω αυτής της μικρής εμβέλειας, παρέχει ασφάλεια επιτρέποντας μόνο σε συσκευές να επικοινωνούν σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι χρήσιμη στην περίπτωση κάποιου τεχνικού προβλήματος όπου ο τεχνικός - συντηρητής της εταιρείας κοινής ωφέλειας σκανάρει τον έξυπνο μετρητή

για να συλλέξει μία σειρά από δεδομένα. Αυτό, βέβαια, προϋποθέτει ότι κάθε συσκευή που συμμετέχει στο δίκτυο έχει μία μοναδική αναγνωριστική ετικέτα.

Το Bluetooth είναι ένα ασύρματο πρότυπο που αναπτύχθηκε αρχικά για να αντικαταστήσει τα καλώδια δεδομένων. Πρόκειται για ασύρματη τεχνολογία μικρών αποστάσεων, η οποία μπορεί να μεταδώσει σήματα μέσω μικροκυμάτων σε ψηφιακές συσκευές. Διευκολύνει την αμφίδρομη επικοινωνία σε απόσταση από 10m έως 240m ανάλογα με την έκδοση. Απαιτεί λιγότερη ενέργεια από το Wi-Fi και πολύ λιγότερη από τις κυψελοειδείς τεχνολογίες, λόγω της συγκριτικά μικρότερης εμβέλειάς του. Λειτουργεί σε φάσμα 2.4GHz και παρέχει ρυθμό δεδομένων από 1Mbps έως 3Mbps με καθυστέρηση από 34ms έως 100-300ms. Πλέον, υπάρχουν διαθέσιμες διάφορες εκδόσεις του Bluetooth που παρέχουν μεγαλύτερη εμβέλεια από το κλασικό Bluetooth. Τα χαρακτηριστικά των διαφόρων εκδόσεων Bluetooth συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Features	Bluetooth 1.0	Bluetooth 2.0	Bluetooth 3.0	Bluetooth 4.0	Bluetooth 5.0
Release	1998	2005	2009	2010	2016
Range	Up to 10 m	Up to 30 m	Up to 30 m	Up to 60 m	Up to 240 m
Basic Rate (DR)	YES	YES	YES	YES	YES
Enhanced Data Rate (EDR)	NO	YES	YES	YES	YES
High Speed (HS)	NO	NO	YES	YES	YES
Low Energy (LE)	NO	NO	NO	YES	YES
Slot Availability Masking (SAM)	NO	NO	NO	NO	YES

**Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά των διαφορετικών εκδόσεων Bluetooth**

Λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας το Bluetooth είναι ένας οικονομικός τρόπος επικοινωνίας των μετρητών, ωστόσο λόγω της μικρής εμβέλειας δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε έξυπνους μετρητές. Παρόλα αυτά, να αποτελεί μία πολύ καλή λύση για τον έλεγχο - παρακολούθηση των μετρητών από τον οικιακό χρήστη.

Το BLE είναι κάτι περισσότερο από μια έκδοση του Bluetooth με χαμηλές απαιτήσεις ενέργειας. Στην πραγματικότητα, οι υλοποιήσεις του είναι διαμετρικά αντίθετες από τις τυπικές εφαρμογές Bluetooth. Το BLE αποτελεί διαδεδομένη μορφή ασύρματης τεχνολογίας για την αποστολή και λήψη μικρών όγκων δεδομένων με πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας. Λειτουργεί σε φάσμα συχνοτήτων 2.4GHz με καθυστέρηση 6ms. Μπορεί να εξυπηρετήσει ρυθμούς μετάδοσης έως 1Mbps, ενώ το παραδοσιακό Bluetooth έως και 3Mbps. Οι συσκευές BLE τροφοδοτούνται συχνά από μια μικρή μπαταρία, καθιστώντας τις ενεργειακά αποδοτικότερες από το ZigBee, το κλασικό Bluetooth και το Wi-Fi. Υποστηρίζει τη δικτύωση πλέγματος και επιτρέπει δίκτυα πλέγματος με χωρητικότητα 32.767 κόμβων. Λόγω του χαμηλού ρυθμού μετάδοσης που προσφέρει και της περιορισμένης εμβέλειας (συνήθως 30m-100m) δεν αποτελεί μία οικονομική λύση για ένα ασύρματο δίκτυο μετρητών.

Το Wi-Fi είναι μία ασύρματη τεχνολογία που ορίζεται από τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δικτύωσης 802.11, τα οποία αποτελούν οικογένεια προτύπων του IEEE

(Institute of Electrical and Electronics Engineers). Χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για τη μετάδοση δεδομένων σε ένα δίκτυο, τα οποία μεταδίδονται στις συχνότητες 2.4GHz ή 5GHz. Προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως και 2Gbps ενώ η εμβέλεια του κυμαίνεται από τα 30m έως τα 100m. Ωστόσο, η απόδοση του συγκεκριμένου δικτύου παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα όταν παρεμβάλλονται τοίχοι, δέντρα και εμπόδια.

Το ZigBee είναι ένα ασύρματο δίκτυο πλέγματος που βασίζεται στο IEEE 802.15.4. Χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές SG λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και κόστους υλοποίησης. Λειτουργεί σε μη αδειοδοτημένες ISM (Industrial, Scientific, and Medical) ζώνες συχνοτήτων. Η κατά προσέγγιση ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων για ένα κανάλι στη ζώνη 2.4GHz είναι 250kbps, 40kbps για ένα κανάλι στη ζώνη 915MHz και 20kbps στη ζώνη 868MHz. Το ZigBee είναι μια καλή επιλογή για οικιακό αυτοματισμό και εφαρμογές οικιακών συσκευών. Χαρακτηρίζεται από περιορισμένη επεξεργαστική ισχύ, μικρό χώρο μνήμης, χαμηλό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων και μικρή εμβέλεια (30m έως 50m). Καθώς χρησιμοποιεί μη αδειοδοτημένο φάσμα, μπορεί να αντιμετωπίσει παρεμβολές από άλλες συσκευές που χρησιμοποιούν το ίδιο μη αδειοδοτημένο φάσμα.

Οι κυψελωτές τεχνολογίες (2G/3G/4G/5G) χρησιμοποιούν αδειοδοτημένο φάσμα για τη μεταφορά δεδομένων μέσω ραδιοσυχνοτήτων. Κατά συνέπεια, είναι δαπανηρές και καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια από άλλες τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας. Για μεγάλο χρονικό διάστημα, μία ευρέως χρησιμοποιούμενη κυψελωτή τεχνολογία για υπηρεσίες που δεν χρειάζονται τεράστιες ποσότητες μετάδοσης δεδομένων ήταν το GSM (Global System for Mobile Communication) σε συνδυασμό με το GPRS (General Packet Radio Service). Οι λόγοι που συνέβαινε αυτό ήταν η ευρεία διαθεσιμότητα και το χαμηλό κόστος του GSM/GPRS υλικού. Έτσι, οι κυψελωτές τεχνολογίες δεν είναι κατάλληλες για την έξυπνη μέτρηση λόγω του υψηλού κόστους και της μεγάλης κατανάλωσης ενέργειας. Επιπλέον, οι περισσότεροι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων παγκοσμίως έχουν καταργήσει το GSM, ώστε τα smartphones 4G και 5G με μεγάλες ποσότητες μετάδοσης δεδομένων να απελευθερώσουν περισσότερο εύρος ζώνης. Επιπλέον, τα κυψελωτά δίκτυα έχουν καθυστέρηση που κυμαίνεται από 1 έως 1000 ms και ρυθμούς δεδομένων που κυμαίνονται από 100 έως 10 Gbps.

Το LPWAN είναι ένας τύπος ασύρματου τηλεπικοινωνιακού δικτύου ευρείας περιοχής που έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει επικοινωνίες μεγάλης εμβέλειας με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Η χαμηλή ισχύς σε συνδυασμό με το χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων διακρίνουν αυτόν τον τύπο δικτύου από ένα ασύρματο WAN που έχει σχεδιαστεί για να συνδέει χρήστες ή επιχειρήσεις και να μεταφέρει περισσότερα δεδομένα, χρησιμοποιώντας υψηλότερη ισχύ. Ο ρυθμός δεδομένων του LPWAN κυμαίνεται από 0.3kbps έως 50kbps ανά κανάλι και αποτελεί ιδανική πρόταση για ένα δίκτυο έξυπνων μετρητών που απαιτεί χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Ένα έξυπνο δίκτυο μετρητών μπορεί να υλοποιηθεί με χρήση της τεχνολογίας LPWAN, αφού προσφέρει σχετικά μεγάλη εμβέλεια. Μία χαρακτηριστική περίπτωση LPWAN είναι η τεχνολογία LoRaWAN που προσφέρει ακτίνα κάλυψης 30km σε ανοικτό ή ελεύθερο χώρο και 8km σε αστικό χώρο μετάδοσης. Μέσω αυτής της τεχνολογίας θα μπορούσαν να επικοινωνούν μεταξύ τους οι συσκευές συλλογής δεδομένων (hubs) καθώς και κάποιοι απομακρυσμένοι αισθητήρες - μετρητές σε αγροτικές - ορεινές - νησιωτικές περιοχές [7].

Το WiMAX βασίζεται στο σύνολο προτύπων IEEE 802.16 και είναι μια τεχνολογία τύπου 4G. Μπορεί να μεταδώσει δεδομένα με ταχύτητα έως 75Mbps και καθυστέρηση 10-

50ms. Έχει εμβέλεια οπτικής επαφής (LOS) 10-50km και μη οπτικής επαφής (NLOS) 1-5km. Σχεδιάστηκε για να καταστήσει δυνατές τις αμφίδρομες ευρυζωνικές μεταδόσεις με υψηλό ρυθμό δεδομένων, όπως για τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο και απομακρυσμένη παρακολούθηση. Ωστόσο, δεδομένου ότι οι σταθμοί βάσης WiMAX αποτελούν δαπανηρά ραδιοσυστήματα, η υλοποίησή τους δεν είναι οικονομικά προσιτή. Το WiMAX λειτουργεί στις ζώνες συχνοτήτων 2.5GHz, 3.5GHz και 5.8GHz καθώς συχνότητες υψηλότερες από τα 10GHz καθιστούν δύσκολη την υπέρβαση των εμποδίων. Επίσης, οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση του WiMAX. Λόγω των περιορισμών που αναφέρθηκαν παραπάνω, το WiMAX δεν αποτελεί κατάλληλη επιλογή για έξυπνους μετρητές.

Τέλος, το Wireless Mesh είναι ένα κλιμακούμενο δίκτυο που αποτελείται από μια κατηγορία κόμβων στην οποία μπορούν να ενταχθούν νέοι κόμβοι και κάθε κόμβος μπορεί να είναι ένας δρομολογητής. Αυτή η τοπολογική επιλογή βελτιώνει σημαντικά τη σταθερότητα του δικτύου μέσω της αυτοοργάνωσης και των ιδιοτήτων αυτό-επιδιόρθωσης του δικτύου. Το δίκτυο πλέγματος μπορεί να επιτύχει μεγάλη επιφάνεια κάλυψης λόγω της ικανότητάς του να κάνει δρομολόγηση πολλαπλών βημάτων. Τα δίκτυα πλέγματος μπορούν να υλοποιηθούν χρησιμοποιώντας διάφορες ασύρματες τεχνολογίες, όπως οι 802.11, 802.15 και 802.16. Η επιφάνεια κάλυψης, η καθυστέρηση και ο ρυθμός δεδομένων των δικτύων πλέγματος εξαρτώνται από τα χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα. Στο Wireless Mesh οι κόμβοι επικοινωνούν διαρκώς μεταξύ τους και επιτηρούνται από το κέντρο του δικτύου. Η συνεχής επιτήρηση των κόμβων ενός Wireless Mesh δικτύου απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Το γεγονός αυτό καθιστά οικονομικά απρόσιτη τη συγκεκριμένη τεχνολογία και μη συμφέρουσα τη διατήρηση αυτής της τοπολογίας.

## 2.2 Τοπολογίες δικτύου

Η τοπολογία είναι σχετική με τον τρόπο που διατάσσονται οι ευφυείς μετρητές και ταυτόχρονα με τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούν μεταξύ τους. Το βασικό κριτήριο κατηγοριοποίησης των κόμβων είναι η υπολογιστική ικανότητα.

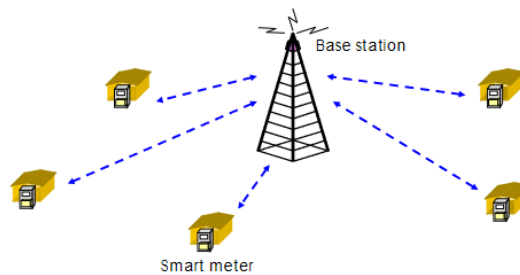
1. Full-Function Device (FFD): οι κόμβοι λειτουργούν σε αυτήν την περίπτωση είτε ως συντονιστικοί κόμβοι είτε ως απλοί κόμβοι. Μέσω των κόμβων αυτών διακινούνται μηνύματα διαχείρισης και ελέγχου. Αυτό το είδος των κόμβων είναι ευφύεστερο από αυτούς της επόμενης κατηγορίας με ταυτόχρονη δυνατότητα καταγραφής τους.
2. Reduced-Function Device (RFD): σε αυτήν την περίπτωση υλοποιούνται μόνο λειτουργίες καταγραφής και επικοινωνίας με τους κόμβους της προηγούμενης κατηγορίας. Οι RFD κόμβοι είναι απλούστεροι των FFD κόμβων και με λιγότερες δυνατότητες.

Σε ένα έξυπνο δίκτυο μετρητών συνυπάρχουν οι εξής πέντε κατηγορίες τοπολογιών [8]:

1. Τοπολογία Αστέρα (Star Topology)

Η τοπολογία αστέρα αποτελείται από έναν FFD κόμβο και ένα μεγάλο πλήθος RFD κόμβων. Χρησιμοποιεί την τεχνολογία σημείου προς σημείο (point-to-point), διότι όλοι οι

κόμβοι πρέπει να επικοινωνούν απευθείας με τον FFD κόμβο. Ο συγκεκριμένος κόμβος συγκεντρώνει τις πληροφορίες για τη λειτουργία του δικτύου και τις προωθεί στους RFD κόμβους. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτής της τοπολογίας είναι η απευθείας δρομολόγηση. Στο σχήμα που ακολουθεί ο BS αντιστοιχεί σε έναν FFD κόμβο, ενώ ο Smart meter σε έναν RFD κόμβο.



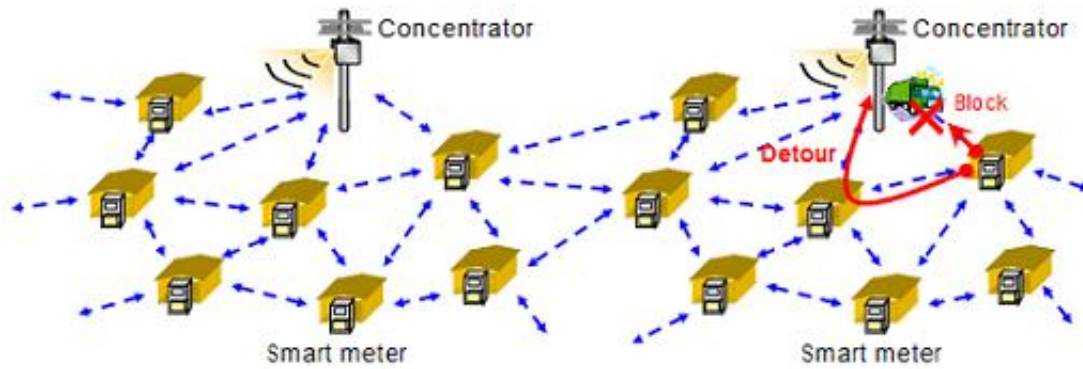
Σχήμα 2.2: Τοπολογία Αστέρα

## 2. Τοπολογία δένδρου (Tree Topology)

Στην τοπολογία δένδρου όλοι οι τελικοί κόμβοι που είναι σε μεγάλη απόσταση συγκεντρώνουν τα δεδομένα τους σε έναν τοπικό συγκεντρωτή. Πρόκειται για μία υβριδική τοπολογία που πλεονεκτεί σε περίπτωση όπου υπάρχει μεγάλη πυκνότητα κόμβων. Για κάθε ομάδα απομακρυσμένων κόμβων η επικοινωνία γίνεται με ένα επαναλήπτη που είναι κόμβος FFD για να μπορεί να λαμβάνει, να καταγράφει και να προωθεί τα πακέτα από και προς στους κόμβους RFD για τους οποίους είναι υπεύθυνος. Παράλληλα, η τοπολογία δένδρου υποστηρίζει ένα είδος ιεραρχικής δομής αφού κάθε κλάδος του δένδρου είναι ανώτερη τοπολογικά από τα φύλλα της. Το μόνο πρόβλημα είναι η πιθανότητα δημιουργίας συμφόρησης δεδομένων στους κόμβους FFD που υποστηρίζουν πολλούς κόμβους RFD.

## 3. Τοπολογία καταναμημένου δικτύου (Mesh Network)

Είναι ένα είδος τοπολογίας που παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με την τοπολογία δένδρου. Ωστόσο, δεν έχει τόσο μεγάλη πυκνότητα κόμβων και ταυτόχρονα οι RFD κόμβοι δεν είναι ομοιόμορφα καταναμημένοι στο δίκτυο. Το κυριότερο πλεονέκτημα αυτής της τοπολογίας είναι η διαθεσιμότητα εναλλακτικών διαδρομών. Αυτή η multi-hop δρομολόγηση στηρίζεται στη δυνατότητα κάποιων γειτονικών κόμβων να μπορούν να μεταδώσουν δεδομένα. Έτσι, αν ένας κόμβος τεθεί εκτός λειτουργίας τότε υπάρχει εναλλακτική διαδρομή για τη δρομολόγηση των δεδομένων.



Σχήμα 2.3: Τοπολογία Mesh όπου με κόκκινο χρώμα φαίνεται η εναλλακτική δρομολόγηση

#### 4. Τοπολογία διαύλου (Bus)

Η τοπολογία διαύλου είναι μία παραδοσιακή τοπολογία δικτύου όπου όλοι οι κόμβοι συνδέονται σε ένα κοινό δίαυλο. Σε αυτήν την περίπτωση η διαχείριση είναι αρκετά δύσκολη αφού υπάρχει μόνο ένα φυσικό μέσο που διεκδικούν όλοι οι κόμβοι για την επικοινωνία. Εντούτοις, το κόστος σε αυτή τη μορφή τοπολογίας είναι χαμηλό.

#### 5. Τοπολογία Βρόχου (Ring)

Στην τοπολογία βρόχου οι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι σε μία κυκλική διαδρομή. Προσφέρεται ημιαμφίδρομη μετάδοση δεδομένων που μπορούν να διέρχονται από όλους τους κόμβους του δικτύου. Αυτή η ημιαμφίδρομη μετάδοση δίνει τη δυνατότητα αν η μία διαδρομή είναι κατελιμμένη να χρησιμοποιηθεί η εναλλακτική διαδρομή. Αν, λοιπόν, ένας κόμβος προσπαθήσει να μεταδώσει προς τη μία κατεύθυνση και το κανάλι είναι κατελιμμένο τότε του δίνεται μία δεύτερη δυνατότητα να μεταδώσει προς την άλλη κατεύθυνση.



### **3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ ΣΤΑ 169ΜΗΖ**

Τα ευφυή συστήματα μέτρησης αναπτύσσονται σε μεγάλη κλίμακα παγκοσμίως, επιτρέποντας στους καταναλωτές να κάνουν στοχευμένες επιλογές σχετικά με τις συνήθειες κατανάλωσης και την εξοικονόμηση ενέργειας, ενώ παράλληλα τα ευφυή συστήματα μέτρησης υποστηρίζουν την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών και προϊόντων λιανικής πώλησης. Δυστυχώς, η έλλειψη καθιερωμένων κοινών διεθνών προτύπων αποτελεί σοβαρό εμπόδιο που πρέπει να αντιμετωπιστεί για την πλήρη ανάπτυξη των μιας βιώσιμης αγοράς. Ο προσδιορισμός κατάλληλων πρωτοκόλλων επικοινωνίας και οικονομικά αποδοτικών δικτύων αποτελούν μια δύσκολη προσπάθεια.

Σε αυτό το πλαίσιο, διάφορες λύσεις σχεδιασμού δικτύων για ασύρματα συστήματα έξυπνων μετρητών που θα λειτουργούν στα 169MHz εξετάζονται και διερευνώνται στην παρούσα εργασία, με στόχο την αποδοτική ανάπτυξη και την επαναχρησιμοποίηση υφιστάμενων υποδομών όπως είναι τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών καθώς και τα δίκτυα φυσικού αερίου. Ειδικότερα, είναι επιθυμητός ένας παράγοντας χωρικής επαναχρησιμοποίησης μεγαλύτερος από το συνολικό αριθμό των διαθέσιμων καναλιών. Αυτό σημαίνει ότι οι φασματικοί πόροι κατανέμονται σύμφωνα με έναν σύστημα διαίρεσης χρόνου, όπου οι κόμβοι απενεργοποιούνται ο ένας μετά τον άλλον όταν η χρήση τους δεν είναι αναγκαία [9].

#### **3.1 Θεσμικό πλαίσιο-Οι ενέργειες των κρατών για την θεσμοθέτηση δικτύων έξυπνης μέτρησης**

Σε παγκόσμιο επίπεδο, αρκετές χώρες έχουν θεσπίσει νομοθεσία που επιβάλλει την θεσμοθέτηση δικτύων έξυπνης μέτρησης ως μέρος της ευρύτερων πρωτοβουλιών για καθαρή ενέργεια. Στο πλαίσιο του 3<sup>ου</sup> ενεργειακού πακέτου με στόχο τη δημιουργία μιας ενιαίας ευρωπαϊκής αγοράς φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας, τα κράτη μέλη της ΕΕ έχουν δεσμευτεί να αναπτύξουν 200 εκατομμύρια έξυπνους μετρητές για την ηλεκτρική ενέργεια και 45 εκατομμύρια για το φυσικό αέριο με συνολική δυνητική επένδυση 45 δισ. ευρώ.

Στις ΗΠΑ, όπως προωθείται από το Smart Grid Investment Grant στο πλαίσιο του προγράμματος American Recovery and Reinvestment Act, οι επιχειρήσεις ηλεκτρισμού έχουν περίπου 70 εκατομμύρια εγκατεστημένους έξυπνους μετρητές από τους οποίους περίπου το 88% είναι εγκατεστημένοι σε οικιακούς πελάτες.

Παράλληλα, η εγκατεστημένη βάση των έξυπνων μετρητών στην Κίνα προβλέπεται να αυξηθεί σε 377 εκατομμύρια έξυπνους μετρητές τα επόμενα χρόνια, όπως προωθείται από το 12<sup>ο</sup> πενταετές σχέδιο για την ενεργειακή ανάπτυξη. Επιπλέον, η ιαπωνική TEPCO (Tokyo Electric Power Company) ανακοίνωσε ότι σχεδιάζει την ανάπτυξη 80 εκατομμυρίων έξυπνων μετρητών κατά την επόμενη δεκαετία, ενώ πιλοτικά έργα λαμβάνουν χώρα στην Ινδία για να δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις για εκτεταμένη ανάπτυξη έξυπνων μετρητών που αναμένεται τελικά να είναι περισσότερες από 150 εκατομμύρια νέες μονάδες.

### 3.2 Ασύρματες και ενσύρματες λύσεις για τη διασύνδεση μετρητών

Οι ασύρματες υπηρεσίες μέτρησης και εφαρμογές μπορούν να υλοποιηθούν τόσο σε αδειοδοτημένες όσο και σε μη αδειοδοτημένες ζώνες. Ωστόσο, λόγω των καλύτερων χαρακτηριστικών διάδοσης, των απαιτήσεων χαμηλής ισχύος και της μικρότερης συμφόρησης στις μη αδειοδοτημένες ζώνες, η επιλογή ζωνών κάτω των GHz για την ώρα φαίνεται να προτιμάται ευρέως μεταξύ των ασύρματων επιλογών: 915MHz στις ΗΠΑ, 169MHz, 433MHz και 868MHz στην ΕΕ, 490MHz στην Κίνα και 920MHz στην Ιαπωνία. Όλα τα παραπάνω πλεονεκτήματα των μη αδειοδοτημένων ζωνών είναι χρήσιμα σε δίκτυα έξυπνων μετρητών που όντως χρειάζονται χαμηλή ισχύ και όσο το δυνατόν λιγότερη συμφόρηση για την ομαλή λειτουργία τους. Στην ΕΕ, η ζώνη των 169MHz χρησιμοποιείται για ειδικές εφαρμογές μέτρησης. Πρωτοποριακές δραστηριότητες διεξάγονται στην Ιταλία, όπου πραγματοποιείται εκσυγχρονισμός του δικτύου διανομής φυσικού αερίου και τουλάχιστον 60% των οικιακών χώρων προβλέπεται να εξοπλιστούν με προηγμένους μετρητές που λειτουργούν στη συχνότητα των 169MHz. Σε σύγκριση με άλλες περιοχές συχνοτήτων, η ζώνη 169MHz επιτρέπει καλές επιδόσεις όσον αφορά την κάλυψη και τη διείσδυση σε κτιριακές υποδομές και τις απώλειες λόγω εμποδίων (οι μετρητές αντιμετωπίζουν συχνά δυσμενείς συνθήκες διάδοσης, δεδομένου ότι μπορούν πιθανώς να τοποθετηθούν στο υπόγειο κτιρίων, μέσα σε μεταλλικά κιβώτια κ.λπ.) και την κατανάλωση ενέργειας, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα επαρκή ρυθμό μετάδοσης. Αυτές οι ευνοϊκές ιδιότητες διάδοσης επισημαίνονται στον Πιν. 3.1, όπου οι ανηγμένες απώλειες ελεύθερου χώρου (free space loss) αναφέρονται για διάφορες συχνότητες σε σχέση με τα 169 MHz, μαζί με τη σχετική μέση τιμή των απωλειών διείσδυσης (Building Propagation Loss-BPL).

Συχνότητα (MHz)	Διαθέσιμη Τεχνολογία	Απώλειες ελεύθερου χώρου [dB]	Απώλειες διείσδυσης (BPL) [dB]
169	W-MBUS	0	7.5
500	--	9.5	11
800/900	LTE, RFID, GSM, GPRS, NB-IoT	14.5	12
2400	Wi-fi, ZigBee, 802.15.4g/e	23.0	15
3500	WiMAX	26.3	17

Πίνακας 3.1: Πίνακας Ανηγμένων Απωλειών για Διάφορες Συχνότητες-Τεχνολογίες

Στον Πιν. 3.1 παρουσιάζονται αυξανόμενες απώλειες διάδοσης και διείσδυσης σε σχέση με τη συχνότητα, ενώ η συχνότητα που μελετάται (169MHz) έχει τις χαμηλότερες δυνατές.

### 3.3 Θέματα τυποποίησης για ελεύθερες συχνότητες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από έξυπνους μετρητές

Ειδικότερα για την ασύρματη επιλογή, η έλλειψη καθιερωμένων διεθνών προτύπων τόσο για την επικοινωνία πρωτοκόλλου όσο και για την αρχιτεκτονική του δικτύου φυσικού αερίου αντιπροσωπεύει ένα σοβαρό εμπόδιο που πρέπει να αντιμετωπιστεί για την πλήρη ανάπτυξη μιας βιώσιμης αγοράς. Τα πρότυπα είναι σημαντικά, διότι εξασφαλίζουν την αξιοπιστία και την αποτελεσματική επικοινωνία, τη διαλειτουργικότητα των συσκευών

έξυπνων μετρητών διαφορετικών προμηθευτών και προωθούν υγιείς αγορές, μειώνοντας τόσο το βραχυπρόθεσμο όσο και το μακροπρόθεσμο κόστος. Διαφορετικά ασύρματα πρότυπα όπως το GSM/GPRS, το ασύρματο M-Bus, το IEEE 802.15.4g/e (Wireless Smart Utility Networks Alliance, Wi-SUN), Wi-Fi, ZigBee, WiGRID (μια τεχνολογία WiMAX που βασίζεται στο IEEE 802.16e για επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και βιομηχανικές εφαρμογές) καθώς και το LTE και το Narrowband IoT (NB-IoT) βρίσκονται μέχρι στιγμής υπό διερεύνηση σε διάφορες χώρες και μπορεί να αποτελούν πολύτιμες επιλογές τυποποίησης για τις επικοινωνίες των συστημάτων έξυπνης μέτρησης.

Σε αυτό το πλαίσιο, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και η Ευρωπαϊκή Ένωση Ελεύθερων Συναλλαγών έδωσαν το 2009 εντολή στη CEN, CENELEC και ETSI (εντολή M/441) να αναπτύξουν μία ανοικτή αρχιτεκτονική για μετρητές κοινής ωφέλειας που περιλαμβάνει πρωτόκολλα επικοινωνίας που επιτρέπουν τη διαλειτουργικότητα. Αυτό οδήγησε σε μια τεχνική έκθεση, η οποία προσδιορίζει τις λειτουργικές οντότητες και τις διεπαφές επικοινωνίας για τα επερχόμενα πρότυπα επικοινωνίας. Επιπλέον, η προσοχή που αφιερώθηκε στο έξυπνο δίκτυο και τις προηγμένες εφαρμογές μέτρησης από δημόσιες και ιδιωτικές πρωτοβουλίες καθοδήγησης, όπως η πρωτοβουλία 5G Public Private Partnership (5GPPP) μπορεί επίσης να συμβάλει στην ανάπτυξη κοινών συμφωνιών και τεχνικών προτύπων για την αγορά και την τεχνολογία της έξυπνης μέτρησης.

Στις ΗΠΑ, το Αμερικανικό Ινστιτούτο Εθνικών Προτύπων δημοσίευσε τον κώδικα για τη μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας που περιγράφει αποδεκτά επίπεδα επιδόσεων κατά τη λειτουργία των μετρητών και συσκευές που χρησιμοποιούνται στη μέτρηση καταναλώσεων, και περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τα συνιστώμενα πρότυπα μέτρησης, τις απαιτήσεις εγκατάστασης, μεθόδους δοκιμής και χρονοδιαγράμματα δοκιμών. Επίσης, ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας για έξυπνα σπίτια (Echonet Lite), έχει εγκριθεί από το ιαπωνικό Υπουργείο Οικονομίας, Εμπορίου και Βιομηχανίας και, στη συνέχεια, έγινε διεθνές πρότυπο ISO/IEC πρότυπο.

### 3.4 Εκτιμήσεις Κόστους-Οφέλους

Η επιτυχία των έξυπνων μετρητών εξαρτάται φυσικά από τη θετική σχέση κόστους-οφέλους. Η αποδοτική λειτουργία των μετρητών και του σχετικού δικτύου τους αποτελεί κρίσιμη πτυχή για την πλήρη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων ενός ευφυούς δικτύου κοινής ωφέλειας. Αναβάθμιση των δικτύων διανομής αγαθών όπως η ηλεκτρική ενέργεια, το νερό ή το φυσικό αερίο σε ένα "έξυπνότερο επίπεδο" αναμένεται να προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα και εκτεταμένα οφέλη για όλους τους εμπλεκόμενους φορείς. Ξεκινώντας από τους τελικούς χρήστες, η έξυπνη μέτρηση μπορεί γενικά να αποτελέσει παράγοντα για αποτελεσματικότερη και οικονομικότερη χρήση των πόρων π.χ., οι καταναλωτές μπορούν να λαμβάνουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κατανάλωσή τους και τις αντίστοιχες δαπάνες, διαθέτοντας έτσι κίνητρα για τη μείωση της κατανάλωσης κατά τη διάρκεια των περιόδων αιχμής που είναι ακριβότερες τιμολογιακές περίοδοι. Στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, η δυνατότητα αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οδήγησε στο νέο παράδειγμα της κατανεμημένης παραγωγής, όπου οι έξυπνοι μετρητές παίζουν καθοριστικό ρόλο. Επιπλέον, μέρος της προηγμένης μέτρησης αποτελούν οι εκτιμώμενες μετρήσεις. Οι τελευταίες θα δώσουν τη δυνατότητα στους λογαριασμούς να λάβουν υπόψη τους τι πραγματικά καταναλώθηκε κατά τη διάρκεια της

περιόδου χρέωσης. Παράλληλα, μπορεί να επιδιωχθεί ταχύτερη αποκατάσταση σε περίπτωση διακοπής της υπηρεσίας, δεδομένου ότι οι προμηθευτές μπορούν ευκολότερα να εντοπίζουν τις απροσδόκητες βλάβες και διαρροές. Περισσότερα οφέλη για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας φυσικά προέρχονται από τη μείωση του εργατικού κόστους, καθώς καταργείται η συμβατική πρακτική της επιτόπιας ανάγνωσης των μετρητών. Η προηγμένη μέτρηση μπορεί επίσης να αποφέρει οφέλη σε παγκόσμια κλίμακα, δεδομένου ότι μπορεί να συμβάλει στη μείωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής μέσω της μείωσης των εκπομπών επιβλαβών αερίων και της αποδοτικής χρήσης των φυσικών πόρων. Τέλος, η έξυπνη μέτρηση μπορεί να υποστηρίξει τις κυβερνήσεις να εφαρμόσουν την απελευθέρωση των αγορών που σχετίζονται με τη διανομή ενέργειας/νερού/φυσικού αερίου. Από αυστηρά οικονομική άποψη, η αλλαγή της χρήσης ενέργειας, οι αυτόματες μετρήσεις και η ευκολότερη διαχείριση του ενεργειακού δικτύου μπορεί να αποφέρει μεγάλη εξοικονόμηση και να εγγυηθεί την απόδοση της σχετικής επένδυσης. Σύμφωνα με τον διευθυντή πολιτικής και επικοινωνίας στην Smart Energy GB (Μεγάλη Βρετανία), η κεφαλαιουχική δαπάνη στην εθνική εκστρατεία για τους έξυπνους μετρητές αντισταθμίζεται κατά πολύ από την εξοικονόμηση - άνω των 17 δισ. ευρώ - που αποφέρουν οι έξυπνοι μετρητές σε όλο το ενεργειακό σύστημα. Η προσδοκία αυτή υποστηρίζεται από τον ιταλικό τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η απόσβεση της επένδυσης πραγματοποιήθηκε εντός 5 μόνο ετών.

### **3.5 Οικονομικά Αποδοτικές Αρχιτεκτονικές για Έξυπνα Ασύρματα Δίκτυα Μέτρησης**

Ενώ αναμένονται εύχρηστες αρχιτεκτονικές δικτύων π.χ. που υποστηρίζονται από τεχνολογίες και εφαρμογές IoT, ένα ασύρματο σύστημα μέτρησης αποτελείται από ένα πλήθος μετρητών διασκορπισμένων σε συγκεκριμένη περιοχή, οι οποίοι μεταδίδουν ασύρματα δεδομένα (π.χ. που σχετίζονται με την κατανάλωση αγαθών όπως νερό, φυσικό αέριο κ.λπ.) προς έναν κόμβο (ή συλλέκτη δεδομένων). Στη συνέχεια, ο κόμβος μέτρησης δρομολογεί τα δεδομένα στους κόμβους του δικτύου που είναι υπεύθυνοι για τη διαχείριση και την επεξεργασία των πληροφοριών μέσω ενσύρματων ή ασύρματων συνδέσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μετάδοση δεδομένων κατανάλωσης από τους μετρητές πιθανότατα πραγματοποιείται κατόπιν συγκεκριμένων αιτημάτων που τίθενται στον κόμβο. Τα αιτήματα αυτά αποθηκεύονται σε μία ουρά αναμονής στον κόμβο και μπορούν να διεκπεραιωθούν προγραμματισμένα. Επιπλέον, οι κόμβοι ενδέχεται να αποστέλλουν περιστασιακά εντολές ασφαλείας για να χειριστούν πιθανές καταστάσεις έκτακτης ανάγκης (π.χ. να ενεργοποιήσουν το κλείσιμο ορισμένων βαλβίδων ασφαλείας για να αποφευχθεί επικίνδυνη διαρροή νερού ή αερίου). Φυσικά, τόσο τα αιτήματα όσο και οι εντολές μεταδίδονται από το συλλέκτη δεδομένων στο μετρητή, γεγονός που προϋποθέτει αμφίδρομη επικοινωνία. Οι κόμβοι μπορούν να είναι κινητοί, δηλαδή να τοποθετούνται στην κορυφή των οχημάτων που κινούνται, ή σταθεροί, δηλαδή τοποθετημένοι σε κατάλληλες θέσεις εντός της περιοχής εξυπηρέτησης.



**Σχήμα 3.1:** Ασύρματη Αρχιτεκτονική με σταθερούς κόμβους που εκμεταλλεύεται η το κυψελωτό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας ή το δίκτυο φωτισμού μιας πόλης

Προκειμένου να διερευνηθεί η δυνατότητα αξιοποίησης από το έξυπνο δίκτυο φυσικού αερίου των υφιστάμενων υποδομών, αναλύονται οι ακόλουθες δύο κύριες αρχιτεκτονικές:

- Διάταξη που βασίζεται στο κυψελωτό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, όπου οι κόμβοι είναι τοποθετημένοι μαζί με τους Σταθμούς Βάσης (Base Stations) του κυψελωτού ασύρματου δικτύου για κινητές, προσωπικές επικοινωνίες.
- Διάταξη βασισμένη στο δίκτυο φωτισμού, όπου οι κόμβοι είναι εξοπλισμένοι με μια πανκατευθυντική κεραία και τοποθετούνται στους στύλους του δημόσιου δικτύου φωτισμού.

Οι προτεινόμενες αρχιτεκτονικές που αναλύονται υποθέτουν ότι οι μετρητές βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους και οι ασύρματες επικοινωνίες πραγματοποιούνται στη ζώνη των 169MHz, η οποία επιτρέπει περισσότερο ευνοϊκές συνθήκες διάδοσης των ασύρματων σημάτων, όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι η προτεινόμενη ανάλυση μπορεί να επεκταθεί σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων. Επιπλέον, διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων (π.χ. 169MHz και 868MHz) μπορούν να συνδυάσουν στην ίδια αρχιτεκτονική για να αντιμετωπιστούν ζητήματα παρεμβολών σε μη αδειοδοτημένες ζώνες, ιδίως σε μια μελλοντική υλοποίηση πολλαπλών υπηρεσιών της έξυπνης πόλης. Αυτός ο συνδυασμός δίνει τη δυνατότητα επιλογής εναλλακτικών καναλιών επικοινωνίας μεταξύ των μετρητών και μείωση της συμφόρησης. Οι εξεταζόμενες λύσεις είναι ανεξάρτητες από τον τύπο του αισθητήρα (μετρητή), αντιπροσωπεύοντας έτσι μια πολυ-υπηρεσιακή προσέγγιση που εγγυάται οικονομίες κλίμακας και κοινό κόστος επένδυσης και διαχείρισης του δικτύου μεταξύ διαφορετικών υπηρεσιών ή/και φορέων εκμετάλλευσης (αέριο, νερό, θερμοκρασία, απόβλητα, κ.λπ.)

### 3.6 Επέκταση Κυψελών σε Ασύρματα Δίκτυα Μέτρησης

Τα κυψελωτά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν την τεχνική της επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων για να εκμεταλλευτούν βέλτιστα το διαθέσιμο εύρος ζώνης συχνοτήτων. Δηλαδή, γίνεται ομαδοποίηση κυψελών που χρησιμοποιούν το εύρος ζώνης που έχει αποδοθεί στη συγκεκριμένη υπηρεσία και η συγκεκριμένη ομάδα επαναλαμβάνεται για να καλύψει όλη την έκταση όπου θέλουμε να είναι διαθέσιμη η υπηρεσία.

Προκειμένου να επιτευχθεί εκτεταμένη επαναχρησιμοποίηση του φάσματος, η απαιτούμενη μέση διάσταση της κυψέλης γύρω από κάθε κόμβο πρέπει να ικανοποιεί μία συνθήκη σταθερής απόστασης μεταξύ των χώρων σε μία κυψέλη (διάταξη με βάση την κυψέλη) ή με τη συνήθη απόσταση μεταξύ στύλων (διάταξη με βάση τους στύλους). Σε ένα ασύρματο σύστημα έξυπνων μετρήσεων, η έκταση της κυψέλης μπορεί να περιοριστεί τόσο από την κάλυψη που εξαρτάται από τον απαιτούμενο σηματοθορυβικό λόγο σε όλη την περιοχή όσο και από το πλήθος έξυπνων μετρητών που πρέπει να εξυπηρετηθεί στην απαιτούμενη περίοδο ανάγνωσης. Η περιοχή κάλυψης καθορίζεται βασικά από το ισοζύγιο ισχύος, για τον προσδιορισμό του οποίου μαζί με τις απώλειες διάδοσης λαμβάνονται υπόψη παράμετροι του συστήματος και της ζεύξης όπως η ευαισθησία του δέκτη, η μεταδιδόμενη ισχύς, οι κεραίες, το κέρδος και η πόλωση. Ο περιορισμός της έκτασης μιας κυψέλης σχετίζεται με την απαίτηση στο χρόνο ανίχνευσης και εξαρτάται φυσικά από τη μέγιστη διάρκεια της περιόδου ανάγνωσης, αλλά και από το μέσο χρόνο για απόκτηση δεδομένων από μεμονωμένο μετρητή, τη χωρική απόσταση και στην πυκνότητα των μετρητών. Δηλαδή, το μέγεθος της κυψέλης είναι αντιστρόφως ανάλογο του πλήθους και της πυκνότητας των μετρητών στο σύστημα.

## 4 ΔΙΚΤΥΑ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ ΣΕ ΠΑΡΟΧΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

### 4.1 Εισαγωγή-γενικά για το φυσικό αέριο

Στις περισσότερες περιπτώσεις το φυσικό αέριο βρίσκεται σε υπόγειες λεκάνες σε βάθος 1500m που δημιουργήθηκαν από το θάνατο ζωντανών οργανισμών και καλύφθηκαν με την πάροδο των χρόνων από στρώματα λάσπης και άμμου. Η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών οδηγεί σε αύξηση της θερμότητας και της πίεσης, διαδικασίες που με τη σειρά τους δημιουργούν κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου. Λόγω του μεγάλου βάθους των κοιτασμάτων η εξόρυξη του φυσικού αερίου είναι διαδικασία με τεράστιες δυσκολίες αφού η εξαγωγή του γίνεται με γεώτρηση σε πηγάδι [10]. Αυτά τα πηγάδια διανοίγονται μεν ειδικά για φυσικό αέριο, αλλά επειδή βρίσκεται συχνά στις ίδιες αποθέσεις με το πετρέλαιο, ενίοτε η εξαγωγή του είναι μια παράπλευρη λειτουργία της εξόρυξης πετρελαίου. Το φυσικό αέριο συσσωρεύεται και αντλείται αντίστοιχα με την κατάσταση του. Διακρίνονται οι περιπτώσεις:

1. Μη συνδυασμένο φυσικό αέριο, όταν συσσωρεύεται σε καθαρή αέρια μορφή
2. Συμπυκνωμένο απόθεμα φυσικού αερίου όταν υπάρχει ανάμειξη φυσικού αερίου με υδρογονάνθρακες
3. Συνδυασμένο απόθεμα φυσικού αερίου όταν το φυσικό αέριο είναι υπό πίεση διαλυμένο και αναμειγμένο με φυσικό αργό πετρέλαιο.

Η σημαντικότητα του φυσικού αερίου πηγάζει από την υψηλή θερμογόνο δύναμή του που κυμαίνεται από 8500 έως 9500kcal/m<sup>3</sup> καθώς και από την υψηλή καθαρότητά του σε σχέση με άλλα ορυκτά καύσιμα, σε συνδυασμό με την εύκολη καύση του και την εύκολη μεταφορά του με αγωγούς. Παράλληλα, ρυπαίνει ελάχιστα την ατμόσφαιρα. Το βασικό πλεονέκτημα των παροχών φυσικού αερίου κυρίως στη θέρμανση είναι η ατομική χρήση λέβητα από κάθε καταναλωτή, γεγονός που καθιστά εφικτή την ανάπτυξη ενός ενιαίου δικτύου αισθητήρων. Παράλληλα, δεν είναι αναγκαία η εγκατάσταση δεξαμενής πετρελαίου και έτσι γίνεται εξοικονόμηση χώρου στις οικοδομές. Επίσης, οι συσκευές που λειτουργούν με φυσικό αέριο δεν χρειάζονται τόσο συχνή συντήρηση όπως οι συσκευές που λειτουργούν με πετρέλαιο. Τέλος, για φυσικό αέριο δεν χρειάζεται να γίνει παραγγελία, αφού τιμολογείται άμεσα κατά την κατανάλωση.

### 4.2 Η Δημόσια Επιχείρηση Αερίου (ΔΕΠΑ)

Το 1987 ξεκίνησε ο εφοδιασμός της χώρα με φυσικό αέριο από τη Σοβιετική Ένωση μέσω του προγόνου της Δημόσιας Επιχείρησης Αερίου(ΔΕΠΑ), την Δημόσια Επιχείρηση Πετρελαίου (ΔΕΠ). Ένα χρόνο αργότερα (1988) ιδρύεται η Δημόσια Επιχείρηση Αερίου (ΔΕΠΑ) ως θυγατρική της Δημόσιας Επιχείρησης Πετρελαίου. Ωστόσο, ο πρώτος νόμος για την εισαγωγή, μεταφορά, εμπορία και διανομή φυσικού αερίου ψηφίστηκε το 1995 μαζί με τη δημιουργία τοπικών παραρτημάτων της ΔΕΠΑ στην Αττική, στη Θεσσαλία και στη Θεσσαλονίκη. Ο πρώτος καταναλωτής φυσικού αερίου συνδέθηκε στο δίκτυο το 1996 και ήταν η Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης στη Λάρισα [11].

Η απελευθέρωση της αγοράς του φυσικού αερίου στην Ελλάδα έγινε το 2005 με τη δημιουργία της θυγατρικής εταιρείας της ΔΕΠΑ, του Διαχειριστή Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου (ΔΕΣΦΑ ΑΕ). Το 2010 ο σταθμός της ΔΕΠΑ στην Ανθούσα Αττικής αρχίζει να πουλάει φυσικό αέριο σε επαγγελματικά και ιδιωτικά οχήματα που διαθέτουν κινητήρα φυσικού αερίου.



Σχήμα 4.1: Το δίκτυο τροφοδότησης φυσικού αερίου και η διασύνδεση του ελληνικού δικτύου με διεθνείς αγωγούς

#### 4.3 Το δίκτυο φυσικού αερίου στην Ελλάδα

Το ελληνικό σύστημα μεταφοράς φυσικού αερίου αποτελείται από δύο βασικές πύλες εισόδου του φυσικού αερίου στη χώρα μας.

- Μέσω των ελληνοβουλγαρικών συνόρων και την εταιρεία BULGARYTANS GAS
- Μέσω των ελληνοτουρκικών συνόρων και την εταιρεία BOTAS

Τα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος μεταφοράς και διανομής φυσικού αερίου στην Ελλάδα είναι [12]:

1. Ένας κεντρικός αγωγός μεταφοράς φυσικού αερίου που έχει σκοπό να μεταφέρει το φυσικό αέριο από τα ελληνοβουλγαρικά σύνορα και φθάνει ως την Αττική. Τα όρια πίεσης στα οποία μπορεί να ανταποκριθεί αυτός ο αγωγός φτάνουν τα 70bar και το μήκος του είναι 512km. Πέρα από τον κεντρικό αγωγό υπάρχουν αρκετοί άλλοι κλάδοι μεταφοράς φυσικού αερίου συνολικού μήκους 952km.



2. Ρυθμιστικοί και μετρητικοί συνοριακοί σταθμοί στο Σιδηρόκαστρο Σερρών και στους Κήπους Έβρου. Οι συγκεκριμένοι σταθμοί ελέγχουν την πίεση στους αγωγούς καθώς και την ποσότητα και την ποιότητα του φυσικού αερίου που εισέρχεται στο δίκτυο.
3. Κέντρα λειτουργίας και συντήρησης μετρητικών και ρυθμιστικών σταθμών μη συνοριακά, σε άλλες περιοχές (πχ σε εισόδους μεγάλων αστικών κέντρων).
4. Ο σταθμός συμπίεσης στη Θεσσαλονίκη όπου αλλάζει η διάμετρος του κεντρικού αγωγού από 36 ίντσες σε 30 ίντσες, γεγονός που συμπιέζει ακόμα περισσότερο το φυσικό αέριο καθιστώντας το επαρκές για την ελληνική αγορά.
5. Κέντρα ελέγχου και κατανομής φορτίου για τη διαρκή παρακολούθηση των παραμέτρων λειτουργίας του δικτύου φυσικού αερίου.
6. Σύστημα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων που συγκεντρώνει και διαχειρίζεται όλα τα δεδομένα που προκύπτουν σε πραγματικό χρόνο στο δίκτυο.
7. Εφεδρικό κέντρο σε περίπτωση σφάλματος στο κύριο κέντρο ελέγχου.
8. Το σύστημα τηλεελέγχου και τηλεπικοινωνιών για την αδιάλειπτη επικοινωνία μεταξύ σταθμών και κέντρων και σε περιπτώσεις ομαλής λειτουργίας και σε περιπτώσεις σφάλματος, έτσι ώστε να είναι ελάχιστος ο χρόνος διακοπής της παροχής προς τους καταναλωτές.

Για την εύρυθμη λειτουργία ενός δικτύου φυσικού αερίου είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός σταθμού αποθήκευσης του φυσικού αερίου. Στην περίπτωση του ελληνικού συστήματος και ειδικότερα στην Αττική σταθμός αποθήκευσης είναι ο τερματικός σταθμός της Ρεβυθούσας. Ο συγκεκριμένος σταθμός μπορεί να ανταποκριθεί σε περιπτώσεις μη επαρκούς τροφοδοσίας με τον αποθηκευτικό του χώρο και παρέχει ικανοποιητική επάρκεια σε περιπτώσεις αυξημένης ζήτησης. Ταυτόχρονα, στο σταθμό της Ρεβυθούσας πραγματοποιούνται δραστηριότητες όπως εκφορτώσεις πλοίων LNG, επανυγραποίηση του φυσικού αερίου λόγω εξάτμισης κατά την αποθήκευσή του, αεροποίηση φυσικού αερίου με σκοπό την εισαγωγή του στο δίκτυο [13].



Σχήμα 4.2: Η νήσος Ρεβυθούσα σε διαδικασία τροφοδοσίας από πλοίο με LNG

#### 4.4 Ανάπτυξη smart-grid σε δίκτυο φυσικού αερίου

Η έξυπνη μέτρηση φυσικού αερίου δεν μπορεί να υλοποιηθεί χωρίς την κατάλληλη τεχνική υποδομή, όπου ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία είναι οι ίδιοι οι έξυπνοι μετρητές φυσικού αερίου. Είναι μάλλον διαφορετικοί τόσο ως προς την αρχή λειτουργίας όσο και ως προς τον τεχνολογικό σχεδιασμό. Η ακρίβεια των μετρήσεων μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία έξυπνων μετρητών και το εύρος μέτρησης του μεγέθους που καλούνται να μετρήσουν. Τέτοια μεγέθη στην περίπτωση του φυσικού αερίου είναι η πυκνότητα, η θερμοκρασία, η πίεση και ροή. Όταν εγκατασταθεί το έξυπνο σύστημα μέτρησης φυσικού αερίου, το βασικό κόστος λειτουργίας αποτελείται από:

- εφάπαξ κόστος κεφαλαίου (συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού, της ανάπτυξης και της δοκιμής του συστήματος),
- λειτουργικό κόστος (συμπεριλαμβανομένης της λειτουργίας του συστήματος και της παροχής μετάδοσης δεδομένων, για παράδειγμα, με τη χρήση κάρτας SIM και επικοινωνίας GSM). Επιπλέον, τα εφάπαξ κεφαλαιουχικά και λειτουργικά έξοδα μπορούν να υποδιαιρεθούν στις ακόλουθες κατηγορίες εξόδων:
  1. τιμή ενός έξυπνου μετρητή,
  2. κόστος εγκατάστασης ενός έξυπνου μετρητή στις εγκαταστάσεις του καταναλωτή,
  3. το κόστος του συστήματος επικοινωνίας,
  4. κόστος συστήματος πληροφορικής,
  5. κόστος προσαρμογής του συστήματος,
  6. κόστος συντήρησης και λειτουργίας,
  7. κόστος μετάδοσης δεδομένων,
  8. διοικητικά έξοδα.

Σε σύγκριση με τους έξυπνους μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας, η ανάπτυξη των έξυπνων μετρητών φυσικού αερίου ήταν και εξακολουθεί να είναι πολύ αργή, αν και τα οφέλη του συστήματος έξυπνης μέτρησης στον τομέα του φυσικού αερίου είναι προφανή: όχι μόνο συμβάλλει στην αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας, αλλά βελτιστοποιεί επίσης σημαντικά τη διαχείριση του συστήματος παροχής φυσικού αερίου και τη συλλογή, ανάλυση και αρχειοθέτηση των δεδομένων. Το σύστημα επικοινωνίας του έξυπνου μετρητή για την ανταλλαγή δεδομένων αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

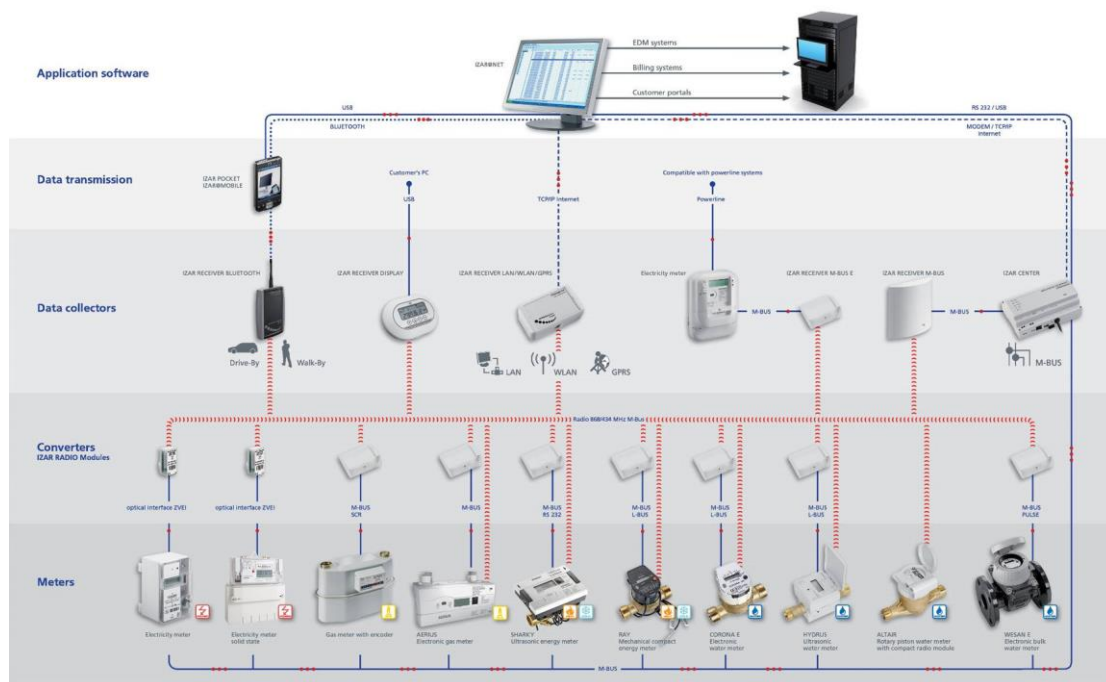
1. έναν έξυπνο μετρητή που εκτελεί τη λειτουργία καταγραφής και μετάδοσης δεδομένων,
2. έναν συλλέκτη δεδομένων που λαμβάνει και αποστέλλει πληροφορίες από/προς όλους τους μετρητές που είναι συνδεδεμένοι στο σύστημα και είναι εγκατεστημένοι σε συγκεκριμένη περιοχή,
3. συστήματα επικοινωνίας (GSM, GPRS κ.λπ.),
4. συστήματα διαχείρισης πληροφοριών.

Η ανάπτυξη ενός δικτύου έξυπνων μετρητών που προσαρμόζεται στο δίκτυο του φυσικού αερίου πρέπει [14]:

1. να διασφαλίζει ότι τα συστήματα μέτρησης παρέχουν στους τελικούς πελάτες πληροφορίες σχετικά με τον πραγματικό χρόνο χρήσης και ότι οι στόχοι της

ενεργειακής απόδοσης και τα οφέλη για τους τελικούς πελάτες λαμβάνονται πλήρως υπόψη κατά τον καθορισμό των ελάχιστων λειτουργιών των μετρητών και των υποχρεώσεων που επιβάλλονται στους συμμετέχοντες στην αγορά του φυσικού αερίου

2. να διασφαλίζει την ασφάλεια των έξυπνων μετρητών και της επικοινωνίας δεδομένων, καθώς και την προστασία της ιδιωτικής ζωής των τελικών πελατών, σύμφωνα με τη σχετική νομοθεσία της ΕΕ για την προστασία των δεδομένων και της ιδιωτικής ζωής,
3. να παρέχει κατάλληλες συμβουλές και πληροφορίες στους πελάτες κατά την εγκατάσταση των έξυπνων μετρητών, ιδίως σχετικά με τις πλήρεις δυνατότητές τους όσον αφορά τη διαχείριση της ανάγνωσης του μετρητή και την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας.



Σχήμα 4.3: Η αρχιτεκτονική μίας ολοκληρωμένης υλοποίησης ενός δικτύου έξυπνων μετρητών

Η ύπαρξη διαφορετικών συστημάτων ανάγνωσης δεδομένων με διαφορετική σύνθεση και λειτουργικότητα εμποδίζει σε κάποιο βαθμό την αποτελεσματική και ολοκληρωμένη ανάπτυξη της έξυπνης μέτρησης φυσικού αερίου. Επίσης, δεν έχουν καθοριστεί απαιτήσεις για την ηλεκτρική τροφοδότηση των συσκευών έξυπνης μέτρησης σε εγκαταστάσεις υψηλής κατανάλωσης φυσικού αερίου, όπου πρέπει να διαβαστούν και να μεταδοθούν μεγάλες ποσότητες δεδομένων αρκετές φορές την ημέρα.

Ο μετρητής φυσικού αερίου μετρά τις παραμέτρους ροής φυσικού αερίου υπό ιδανικές συνθήκες. Όμως, η ποσότητα του φυσικού αερίου μπορεί να προσδιοριστεί ακριβέστερα μόνο σε συγκεκριμένο καθεστώς θερμοκρασίας και πίεσης. Ένας αντισταθμιστής θερμοκρασίας και πίεσης που προσαρμόζει τα δεδομένα μέτρησης σύμφωνα με τις τυπικές συνθήκες (συνθήκες σε πίεση φυσικού αερίου 101.325kPa και θερμοκρασία 20°C) μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τρεις τρόπους:

1. προσδιορισμός του όγκου υπό ορισμένες πρότυπες συνθήκες σύμφωνα με το νόμο του Charles,
2. σύμφωνα με το νόμο των ιδανικών αερίων, προσδιορίζοντας τον όγκο σε ορισμένη τυπική θερμοκρασία και πίεση,
3. με βάση γνωστές πραγματικές παραμέτρους φυσικού αερίου, προσδιορίζοντας τον όγκο υπό κανονικές συνθήκες.

Το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα του μετρητή φυσικού αερίου αυξάνεται όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα της μετατροπής, δεδομένου ότι στην πρώτη περίπτωση η λειτουργία είναι απλούστερη και στη δεύτερη πολυπλοκότερη. Στην τρίτη περίπτωση έχουμε ακόμα μεγαλύτερο επιτρεπόμενο σφάλμα αφού είναι ακόμα πιο σύνθετη η μέτρηση των πραγματικών παραμέτρων του φυσικού αερίου. Έτσι, προσδιορίζεται ένας διορθωτικός συντελεστής που προσαρμόζει τον αναγραφόμενο όγκο φυσικού αερίου. Για παράδειγμα, εάν σε θερμοκρασία 18°C ο συντελεστής διόρθωσης είναι 0.99308 και ο μετρούμενος όγκος του φυσικού αερίου είναι 1000m<sup>3</sup>, τότε ο υπολογιζόμενος όγκος είναι 993.08m<sup>3</sup>. Από την άλλη πλευρά, καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται στους 22°C, ο συντελεστής αυξάνεται σε 1.00692 και, κατά συνέπεια, για τον ίδιο μετρούμενο όγκο, ο υπολογισμένος όγκος του φυσικού αερίου ανέρχεται σε 1006.92m<sup>3</sup>. Έτσι, μια μεταβολή της θερμοκρασίας κατά 1°C επηρεάζει τον μετρούμενο όγκο κατά 0.346%. Μετρητές με ενσωματωμένο στοιχείο αντιστάθμισης της θερμοκρασίας μειώνουν σημαντικά την πιθανότητα σφαλμάτων μέτρησης. Τέτοιοι μετρητές πρέπει επίσης να χρησιμοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους, καθώς η θερμοκρασία και η πίεση στη θέση του μετρητή φυσικού αερίου συχνά διαφέρουν από την πραγματική θερμοκρασία και πίεση. Επιπλέον, μπορεί να προκύψουν προβλήματα με το βάθος εγκατάστασης του κελύφους του αισθητήρα θερμοκρασίας και ενδεικτικά σε μια κατανάλωση σχεδόν 8000m<sup>3</sup>, η διαφορά μεταξύ του βάθους εγκατάστασης του κελύφους και του πραγματικού βάθους του αγωγού φυσικού αερίου μπορεί να προκαλέσει οικονομικές απώλειες που εξαρτώνται από την τιμή του φυσικού αερίου τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ωστόσο, η επιλογή ενός νέου μετρητή φυσικού αερίου υπερήχων ή μικροθερμικού μετρητή φυσικού αερίου με ενσωματωμένη μονάδα επικοινωνίας, διορθωτή θερμοκρασίας και βαλβίδα διακοπής λύνει το πρόβλημα των πιθανών χειρισμών του βάθους εγκατάστασης του κελύφους.

#### 4.5 Πλεονεκτήματα χρήσης έξυπνων μετρητών σε δίκτυα φυσικού αερίου

Τα οφέλη των έξυπνων μετρητών φυσικού αερίου μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής [14]:

1. Με βάση τις τεχνικές παραμέτρους του εξοπλισμού:
  - I. ακριβέστερη, δυναμικότερη και ασφαλέστερη μέτρηση του φυσικού αερίου,
  - II. αποτελεσματική διαχείριση του μετρητή με τη λήψη σήματος συναγερμού του συστήματος (θερμοκρασία, χειρισμός, μπαταρία, αέρας σε σωλήνα),
  - III. απομακρυσμένη ανάγνωση του μετρητή,

- IV. δυνατότητα επιλογής διαφορετικών λύσεων επικοινωνίας για τη μεταφορά δεδομένων (κινητές, ραδιοφωνικές, οπτικές καλωδιακές ή ασύρματες τεχνολογίες).

2. Με βάση την αποδοτική χρήση στα συστήματα φυσικού αερίου:

- I. η απομακρυσμένη αυτόματη ανάγνωση των δεδομένων εξοικονομεί τους πόρους του διαχειριστή του συστήματος μειώνοντας την ανάγκη για φυσικό έλεγχο (ανάγνωση, διακοπές της παροχής φυσικού αερίου, επαλήθευση της φυσικής κατάστασης του εξοπλισμού κ.λπ.)
- II. αποτελεσματικός και γρήγορος εντοπισμός των διαρροών φυσικού αερίου ή άλλων τεχνικών προβλημάτων στους αγωγούς φυσικού αερίου,
- III. μείωση της παράνομης χρήσης φυσικού αερίου, η οποία είναι εύκολα αναγνωρίσιμη με την εξέταση των άτυπων φορτίων, τα οποία δεν αντιστοιχούν στο ιστορικό ή το πρόσφατο προφίλ κατανάλωσης,
- IV. βελτιωμένη εξυπηρέτηση πελατών (εφαρμογές, ανάλυση δεδομένων κατανάλωσης, άμεσος έλεγχος κατανάλωσης και ανάγνωση δεδομένων),
- V. τα λαμβανόμενα δεδομένα επιτρέπουν στο φορέα εκμετάλλευσης να τμηματοποιεί και να διαμορφώνει προφίλ πελατών ανάλογα με τις προδιαγραφές κατανάλωσής τους,
- VI. εγκατάσταση του συστήματος έξυπνης μέτρησης στα σημεία ελέγχου μέτρησης φυσικού αερίου.

3. Με βάση την ενεργειακή απόδοση και την άνεση των καταναλωτών φυσικού αερίου:

- I. βολικές και ακριβείς πληροφορίες σχετικά με το καταναλισκόμενο φυσικό αέριο, οι οποίες μπορούν να λαμβάνονται ηλεκτρονικά,
- II. οι μόνιμες πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση φυσικού αερίου επιτρέπουν στους καταναλωτές να επανεξετάζουν τις καταναλωτικές τους συνήθειες και να τις προσαρμόζουν ώστε να εξοικονομούν οικονομικούς και ενεργειακούς πόρους.

#### **4.6 Περιορισμοί-προβλήματα χρήσης έξυπνων μετρητών σε δίκτυα φυσικού αερίου**

Είναι απαραίτητο να επανεκτιμηθεί η σχέση μεταξύ της έξυπνης μέτρησης του φυσικού αερίου και του κατά πόσο είναι εφικτό με βάση την ισχύουσα νομοθεσία να τοποθετηθούν και να χρησιμοποιηθούν χωρίς παραβιάσεις των προσωπικών δεδομένων οι μετρητές φυσικού αερίου. Επιβάλλεται να μειωθούν τα γραφειοκρατικά και νομικά εμπόδια που εμποδίζουν την πλήρη εφαρμογή και χρήση της έξυπνης μέτρησης φυσικού αερίου. Διαφορετικοί τύποι μετρητών φυσικού αερίου (συμπεριλαμβανομένων εκείνων που μπορούν να εξοπλιστούν με τηλεμετρία) έχουν διαφορετικά ελάχιστα και μέγιστα όρια ροής και τα όρια αυτά επικαλύπτονται. Επιπλέον, η ακρίβεια της μέτρησης του φυσικού αερίου μπορεί να επηρεάζεται από άλλους παράγοντες, όπως οι απώλειες πίεσης και οι διακυμάνσεις της ροής του φυσικού αερίου.

Κατά τη σύγκριση διαφόρων τύπων έξυπνων μετρητών σύμφωνα με τις τεχνικές παραμέτρους μέτρησης της ροής, τα καλύτερα αποτελέσματα επιδεικνύουν οι ατομικοί

μετρητές φυσικού αερίου υπερήχων και μικροθερμικού φυσικού αερίου με ευρύτερο εύρος μέτρησης, καθώς και τη δυνατότητα ενίσχυσης πολύ χαμηλών ελάχιστων ροών. Οι μετρητές με ενσωματωμένο στοιχείο αντιστάθμισης της θερμοκρασίας μειώνουν σημαντικά την πιθανότητα σφαλμάτων μέτρησης. Οι μετρητές αυτοί πρέπει επίσης να χρησιμοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους, καθώς η θερμοκρασία και η πίεση στη θέση του μετρητή φυσικού αερίου συχνά διαφέρουν από τη θερμοκρασία πραγματικής λειτουργίας της εγκατάστασης.

Σε αρκετές περιοχές η διάρκεια της περιόδου επιθεώρησης των μετρητών πρέπει να προστατεύει τα συμφέροντα των καταναλωτών. Ωστόσο, λόγω σφαλμάτων μέτρησης, οι απώλειες φυσικού αερίου ενδέχεται να αυξηθούν μεταξύ των περιστατικών επαλήθευσης. Δηλαδή, δεν είναι αξιόπιστη η μέτρηση των απωλειών μεταξύ διαφορετικών χρονικών στιγμών και μεταξύ διαφορετικών καταναλώσεων. Για να αποφευχθεί αυτή η κατάσταση στον τομέα της οικιακής κατανάλωσης και να προστατευθούν τιμολογιακά οι καταναλωτές, είναι επιθυμητό να εκτιμηθεί:

1. η μελλοντική αντικατάσταση των παλαιότερων μετρητών φυσικού αερίου με διάφραγμα,
2. η δυνατότητα διενέργειας εκτενέστερης καταγραφής της χρήσης φυσικού αερίου στις πολυκατοικίες, ώστε να εντοπιστεί η διαφορά μεταξύ της πραγματικής και της δηλωθείσας κατανάλωσης φυσικού αερίου,
3. η δυνατότητα αντικατάστασης πολλαπλών μετρητών φυσικού αερίου (ένας σε κάθε διαμέρισμα) με έναν ενιαίο έξυπνο μετρητή για όλα τα διαμερίσματα στις πολυκατοικίες.

#### **4.7 Σύστημα επικοινωνίας έξυπνων μετρητών με χρήση αγωγών αερίου**

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση των δικτύων αισθητήρων για εφαρμογές παρακολούθησης και ελέγχου εξαπλώνεται ταχύτατα. Έχουν αναπτυχθεί διάφορα πρότυπα και τεχνολογίες για την επικοινωνία δεδομένων μεταξύ των συσκευών που περιλαμβάνονται στα δίκτυα. Ειδικότερα, τα περισσότερα δίκτυα αισθητήρων βασίζονται σε ασύρματη επικοινωνία που εκμεταλλεύεται διάφορες ζώνες συχνοτήτων και διαμορφώσεις. Μια διαφορετική προσέγγιση έχει μελετηθεί σε εφαρμογές που σχετίζονται με την παρακολούθηση έξυπνων μετρητών σε αγωγούς νερού και φυσικού αερίου, στις οποίες χρησιμοποιείται ο ίδιος ο σωλήνας ως μέσο για τη μετάδοση δεδομένων.

Εστιάζοντας στην επικοινωνία δεδομένων, η οποία διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο στα δίκτυα αισθητήρων, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα πρότυπα και τεχνολογίες προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις όσον αφορά την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, την εμβέλεια και την κατανάλωση ενέργειας. Μεταξύ των προτύπων, το IEEE 802.15.4 παρέχει ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας μικρής εμβέλειας και χαμηλής ισχύος για δίκτυα αισθητήρων. Λειτουργεί σε τρεις φασματικές ζώνες, που βρίσκονται στα 868MHz, 915MHz και 2.4GHz. Καθορίζει τα φυσικά (PHY) και τα επίπεδα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC) του μοντέλου OSI, ενώ τα ανώτερα επίπεδα ορίζονται από άλλες προδιαγραφές όπως ZigBee, 6LoWPAN, ISA100.11a. Μεγαλύτερο εύρος ζώνης μπορεί να

επιτευχθεί μέσω του προτύπου ασύρματου διαύλου M-Bus (wM-Bus). Έχει σχεδιαστεί ειδικά για τις εφαρμογές έξυπνης μέτρησης (π.χ. μέτρηση φυσικού αερίου και νερού) στα οικιακά δίκτυα (HAN). Το πρότυπο wM-Bus προβλέπει τη χρήση των ζωνών 868MHz, 433MHz και 169MHz. Ειδικότερα, η ζώνη συχνοτήτων 169MHz έχει εισαχθεί για να επιτευχθεί μεγαλύτερη εμβέλεια μετάδοσης με χαμηλότερο ρυθμό δεδομένων σε σχέση με τις υψηλότερες ζώνες συχνοτήτων. Για επικοινωνίες μεγάλης εμβέλειας χρησιμοποιείται η τεχνολογία GSM/GPRS, η οποία εγγυάται υψηλό εύρος ζώνης και στιβαρότητα.

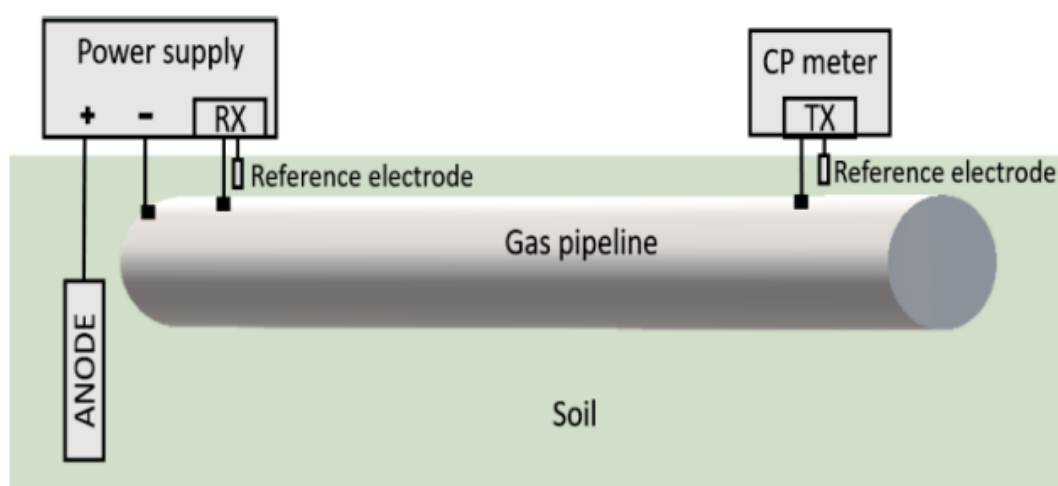
Λαμβάνοντας υπόψη τις εφαρμογές που σχετίζονται με την παρακολούθηση και τον έλεγχο των συστημάτων διανομής νερού και φυσικού αερίου, η παρουσία χαλύβδινων δικτύων αγωγών, οι οποίοι είναι ηλεκτρικοί αγωγοί, οδηγεί στη διερεύνηση της δυνατότητας αντικατάστασης των συνήθων ασύρματων τεχνικών με ένα σύστημα επικοινωνίας που βασίζεται στη μετάδοση δεδομένων μέσω τέτοιου τύπου αγωγών. Η προσέγγιση αυτή έχει μελετηθεί σε αρκετές ερευνητικές δραστηριότητες. Η χρήση ακουστικών κυμάτων έχει διερευνηθεί για υποβρύχια επικοινωνία σε αγωγούς πετρελαιοπηγών και για την επικοινωνία δεδομένων μεταξύ μιας συσκευής επιθεώρησης τοποθετημένης στο εσωτερικό του αγωγού και μιας εξωτερικής καταβόθρας. Πραγματοποιήθηκε μετάδοση δεδομένων σε έναν αγωγό διανομής νερού σε ένα τμήμα αγωγού 70m και 40m, με συχνότητα σήματος περίπου 500Hz. Μικροί αγωγοί φυσικού αερίου μήκους 100cm και 200cm χρησιμοποιήθηκαν για τη δοκιμή μιας μικροκυματικής επικοινωνίας στα 2.4 GHz και 5.8 GHz, αναλύοντας την απώλεια μετάδοσης και το RSSI. Η χρήση μικροκυμάτων έχει επίσης διερευνηθεί, συγκρίνοντας τη συμπεριφορά του αγωγού τόσο ως κυματοδηγού όσο και ως αγωγού [15].

Τα συστήματα καθοδικής προστασίας (Cathodic Protection, CP) του δικτύου διανομής αερίου βασίζονται σε εθνικούς κανονισμούς. Οι κανονισμοί αυτοί περιγράφουν τις κύριες απαιτήσεις ενός συστήματος CP (Cathodic Protection), υποδεικνύοντας τις γενικές αρχές, τους κανόνες και τις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθούνται και δίνοντας τις πρακτικές απαιτήσεις για μια ηλεκτρονική συσκευή μέτρησης. Προκειμένου να αποφευχθεί η διάβρωση της μεταλλικής επιφάνειας του αγωγού, αξιολογείται η διαφορά δυναμικού μεταξύ του αγωγού και ενός ανοδικού ηλεκτροδίου αναφοράς. Ως ηλεκτρόδιο αναφοράς χρησιμοποιείται γενικά ένα κορεσμένο διάλυμα θειικού χαλκού, το οποίο τοποθετείται στο έδαφος πάνω από τον αγωγό. Ο κανονισμός καθορίζει διάφορα όρια για αυτήν τη διαφορά δυναμικού ( $V < V_p$ ) και τις διαδικασίες μέτρησης και αξιολόγησης αυτού του μεγέθους. Ειδικότερα, το κατώφλι που επιβάλλει  $V_p = -0.85$  V ως όριο προστασίας είναι ένα από αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο. Η τιμή αυτή πρέπει να επαληθεύεται περιοδικά από τον διαχειριστή της υποδομής, ώστε να ελέγχεται η καθοδική προστασία. Στην πραγματικότητα, οι επιβλέποντες μηχανικοί μετρούν χειροκίνητα την κατάσταση προστασίας σε διάφορα σημεία του αγωγού και ρυθμίζουν χειροκίνητα τις παραμέτρους του συστήματος CP.

Στα συστήματα μεγάλης κλίμακας χρησιμοποιούνται συνήθως συστήματα καθοδικής προστασίας με εντυπωμένο αγωγό ρεύματος (ICCP). Αυτά αποτελούνται από μια παροχή ρεύματος που παρέχει ρεύμα πόλωσης για να διατηρεί τους σωλήνες σε συνθήκες προστασίας. Το τροφοδοτικό μπορεί να έχει δύο τρόπους λειτουργίας: Σταθερό ηλεκτρικό ρεύμα (Constant Current, CC) και σταθερή τάση (Constant Voltage, CV). Στην πρώτη

περίπτωση, το ρεύμα ρυθμίζεται σε μια σταθερή τιμή που πρέπει να εγγυάται την κατάσταση καθοδικής προστασίας σε όλο το δίκτυο. Αυτό απαιτεί καλή γνώση της κατανομής του δυναμικού κατά μήκος του δικτύου CP. Αντίθετα, στη λειτουργία CV, το τροφοδοτικό διανέμει ηλεκτρικό ρεύμα βάσει αυτόματου ελέγχου: λαμβάνει το δυναμικό μεταξύ του αγωγού και ενός ηλεκτροδίου αναφοράς και ρυθμίζει το ηλεκτρικό ρεύμα. Ο περιορισμός αυτής της προσέγγισης είναι ότι το δυναμικό μετράται κοντά στο σημείο παραγωγής (στην αρχή του αγωγού). Ωστόσο, το εντυπωμένο ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει να επιλέγεται με γνώμονα το δυναμικό του δικτύου μακριά από την πηγή ισχύος δεδομένο που δεν είναι συνήθως διαθέσιμο. Για αυτό το λόγο, πρέπει να γίνει εκτίμηση αυτού του δυναμικού. Αυτή η εκτίμηση συνεπάγεται μεταβολή του εμφυτεύσιμου ρεύματος σε μόνιμη βάση, που σημαίνει αύξηση του κόστους, ανάλογα με το μήκος του δικτύου διανομής.

Επίσης οι κανονισμοί εξετάζουν τα τηλεχειριζόμενα συστήματα: οι συσκευές μέτρησης φυσικού αερίου πρέπει να είναι σε θέση να αποκτούν, να επεξεργάζονται, να αποθηκεύουν και να μεταδίδουν τα δεδομένα που σχετίζονται με το δυναμικό στο σημείο μέτρησης, αλλά δεν υπάρχουν προδιαγραφές σχετικά με τα φυσικά μέσα ή τα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Σήμερα, τα διαθέσιμα τηλεχειριζόμενα συστήματα βασίζονται στην επικοινωνία GSM/GPRS μέσω SMS και είναι ακριβά. Ένα καταναλωμένο σύστημα παρακολούθησης, βασισμένο σε συσκευή χαμηλού κόστους, μπορεί να βελτιώσει τη συνολική αποδοτικότητα, τόσο όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας όσο και το κόστος.



Σχήμα 4.4: Σύστημα Ελέγχου Δυναμικού Φυσικού Αερίου μαζί με παροχή Ρεύματος

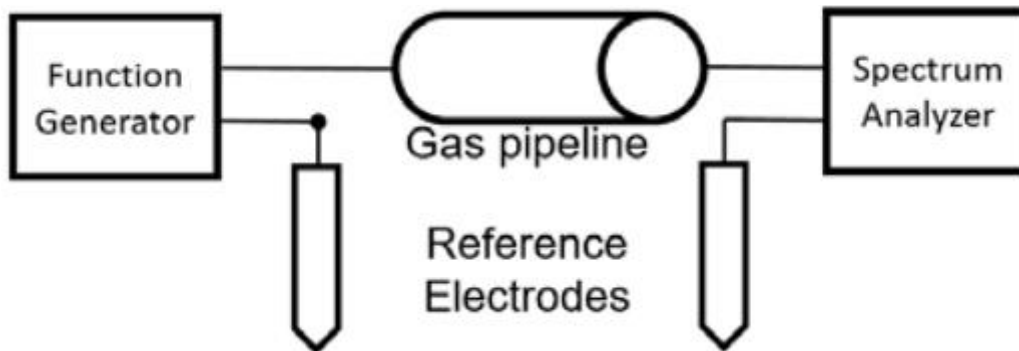
Έχουν διεξαχθεί μελέτες της κατανομής του δυναμικού σε ένα πραγματικό σύστημα ICCP, προκειμένου να προτείνουν ένα μοντέλο, βασισμένο σε τεχνικές αναγνώρισης του συστήματος, ενός γενικού σημείου μέτρησης, για να επαληθεύσουν τη σχέση μεταξύ του δυναμικού κατά μήκος του αγωγού και του εισερχόμενου ηλεκτρικού ρεύματος. Οι μελέτες αυτές έδειξαν ότι το δυναμικό εξαρτάται έντονα από εξωτερικούς παράγοντες όπως η κατάσταση του εδάφους. Επιπλέον, στο υφιστάμενο σύστημα CP, το δυναμικό του αγωγού μετρείται κοντά στην παροχή ρεύματος, ενώ το δυναμικό μεταβάλλεται κατά μήκος του δικτύου, μειώνοντας γενικά το επίπεδο προστασίας όσο απομακρύνεται από την παροχή ρεύματος. Επομένως, είναι απαραίτητο η μέτρηση του καθοδικού δυναμικού να γίνεται



μακριά από την παροχή ρεύματος. Γι' αυτό το λόγο έχει προταθεί μια ειδική συσκευή για την παρακολούθηση του καθοδικού δυναμικού και την επικοινωνία μέσω του wM-Bus που εκμεταλλεύεται το σύστημα προηγμένης μετρητικής υποδομής (AMI) για επικοινωνίες σε έξυπνες πόλεις. Στόχος του συστήματος είναι η παρακολούθηση του δυναμικού των σωλήνων σε απομακρυσμένο σημείο.

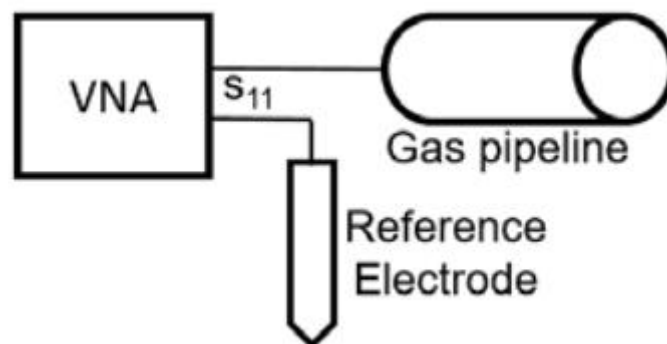
Η βασική ιδέα είναι να αξιοποιηθεί ο ίδιος ο αγωγός φυσικού αερίου ως κανάλι επικοινωνίας για μια έξυπνη συσκευή καθοδικής προστασίας. Πιο αναλυτικά, ο μετρητής CP που τοποθετείται μακριά από την παροχή ρεύματος παρακολουθεί το καθοδικό δυναμικό στο σημείο με το χειρότερο προφίλ δυναμικού στο σύστημα ICCP. Η παροχή ρεύματος πρέπει να είναι σε θέση να ελέγχει το ρεύμα προκειμένου να διατηρείται ολόκληρο το σύστημα σε κατάσταση προστασίας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί ελέγχοντας το ρεύμα με βάση την τιμή του δυναμικού που σχετίζεται με το χειρότερο σημείο στο σύστημα CP. Για το λόγο αυτό, ο μετρητής CP είναι εξοπλισμένος με πομπό που στέλνει τα δεδομένα ελέγχου σε δέκτη τοποθετημένο στο εσωτερικό του τροφοδοτικού. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας απαιτεί μονόδρομη μεταφορά δεδομένων από τον μετρητή CP στον δέκτη με τυχαία περιοδικότητα, ανάλογα με την κατάσταση καθοδικής προστασίας, και ένα σύνολο δεδομένων τεσσάρων bytes που αποτελείται από ένα αναγνωριστικό μετρητή (1 byte), δεδομένα ελέγχου (2 bytes) και έναν κυκλικό έλεγχο πλεονασμού CRC (1 byte). Για να καταστεί αυτό το σύστημα ανεξάρτητο από τη διαθεσιμότητα του δικτύου μεταφοράς, οι αγωγοί αερίου χρησιμοποιούνται ως γραμμή μεταφοράς μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Σκοπός είναι να χρησιμοποιηθούν μονάδες επικοινωνίας γραμμής ισχύος (PLC), ενσωματωμένες στους μετρητές CP, που επιτρέπουν αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ των συσκευών. Το PLC υπόκειται σε διάφορες ρυθμιστικές αρχές προκειμένου να επιτραπεί η συνύπαρξη με άλλα συστήματα που λειτουργούν στις ίδιες ζώνες συχνοτήτων. Για τα συστήματα PLC χρησιμοποιούνται δύο φάσματα συχνοτήτων: στενής ζώνης (Narrow Band) και ευρείας ζώνης (Broad Band). Τα πρότυπα που σχετίζονται με το φάσμα συχνοτήτων NB καθορίζουν διάφορες ζώνες συχνοτήτων σε ένα εύρος 3-500kHz, ανάλογα με το είδος της εφαρμογής και την περιοχή, ενώ το BB PLC λειτουργεί πάνω από τα 1.8MHz, έως τα 86MHz. Με στόχο την επαλήθευση της ορθότητας αυτής της προσέγγισης, δοκιμάστηκε η επικοινωνία μέσω ενός αγωγού φυσικού αερίου σε λειτουργία μεταξύ δύο σημείων σε απόσταση 200m, εστιάζοντας σε δύο κύριες πτυχές: τον προσδιορισμό της καταλληλότερης ζώνης συχνοτήτων και την αξιολόγηση της χαρακτηριστικής αντίστασης του αγωγού.

Η απόκριση συχνότητας του αγωγού αξιολογήθηκε προκειμένου να καθοριστεί το καταλληλότερο εύρος συχνοτήτων για τη μετάδοση δεδομένων. Η γεννήτρια συναρτήσεων (function generator) συνδέθηκε στον αγωγό στο σημείο μέτρησης του πομπού, δημιουργώντας μια ημιτονοειδή κυματομορφή σε διάφορες συχνότητες, ενώ ο αναλυτής φάσματος (spectrum analyzer) συνδέθηκε στον αγωγό στο σημείο μέτρησης του δέκτη για την αξιολόγηση του φάσματος του λαμβανόμενου σήματος. Ο αγωγός λειτουργεί ως βαθυπερατό (Lowpass) φίλτρο στη συχνότητα των 100kHz όπου η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος είναι στο ίδιο επίπεδο με την ισχύ του θορύβου. Το τελευταίο σημαίνει ότι ο αγωγός φυσικού αερίου σαν γραμμή επικοινωνίας δεν προσδίδει επιπλέον θόρυβο στο σήμα και δεν χειροτερεύει το σηματοθρομβικό λόγο που αποτελεί δείκτη ποιότητας του σήματος.



Σχήμα 4.5: Η μετρητική διάταξη του συστήματος που αποτελείται από τη γεννήτρια σημάτων στην αρχή του αγωγού φυσικού αερίου και τον αναλυτή φάσματος για τη λήψη και ανίχνευση του σήματος στο τέλος

Μετά την αξιολόγηση του καταλληλότερου εύρους συχνοτήτων για τη μετάδοση σήματος μέσω του αγωγού πραγματοποιήθηκε μια ανάλυση των χαρακτηριστικών της σύνθετης αντίστασης του αγωγού προκειμένου να αξιολογηθεί η δυνατότητα μεταφοράς της μεταδιδόμενης ισχύος κατά μήκος του αγωγού. Πρόκειται για ένα σημαντικό ζήτημα, διότι μια ακατάλληλη γραμμή προκαλεί απώλεια μεταφοράς ισχύος λόγω της ανάκλασης μέρους του κύματος που ταξιδεύει από τον πομπό στον δέκτη. Η παράμετρος σκέδασης ( $S_{11}$ : συντελεστής ανάκλασης στην είσοδο του αγωγού φυσικού αερίου) εκτιμήθηκε προκειμένου να ληφθούν πληροφορίες σχετικά με τη χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση της γραμμής στην επιλεγμένη συχνότητα και στη συνέχεια την ικανότητα του αγωγού να μεταφέρει την ισχύ κατά μήκος της γραμμής. Στα πλαίσια αυτής της μελέτης χρησιμοποιήθηκε ένας Διανυσματικός Αναλυτής Δικτύου (Vector Network Analyzer, VNA) όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 4.6: Η μετρητική διάταξη που έχει ως σκοπό τη μέτρηση της ανακλώμενης ισχύος στην αρχή του αγωγού φυσικού αερίου

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο συντελεστής ανάκλασης είναι σχεδόν σταθερός στο επιλεγμένο εύρος με τιμή γύρω στα  $-1.6\text{dB}$ . Δεδομένου ότι μελετήθηκε ο συντελεστής ανάκλασης της γραμμής στην πλευρά μετάδοσης, το αποτέλεσμα είναι ότι το σύστημα δεν είναι σε θέση να μεταφέρει το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος εκπομπής κατά μήκος του αγωγού. Στην πραγματικότητα, η τιμή που λαμβάνεται αντιστοιχεί σε συντελεστή ανάκλασης  $0.83$  ή  $83\%$ , οπότε το σύστημα είναι σε θέση να μεταφέρει μόνο το  $17\%$  της ισχύος εκπομπής. Αυτό οφείλεται στην αναντιστοιχία φορτίου μεταξύ της γεννήτριας

λειτουργίας, η οποία έχει αντίσταση εξόδου  $50\Omega$ , και της γραμμής μεταφοράς. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περιοχή συχνοτήτων 10-100kHz, ο αγωγός παρουσιάζει ωμικο-επαγωγική συμπεριφορά με μέτρο αντίστασης περίπου  $5\Omega$ , τιμή που απέχει αρκετά από τη χαρακτηριστική αντίσταση της γεννήτριας με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται προσαρμογή.

Η χρήση ενός αγωγού φυσικού αερίου ως γραμμής μεταφοράς για την επικοινωνία έξυπνων συσκευών που προορίζονται για την παρακολούθηση και τον έλεγχο ενός συστήματος καθοδικής προστασίας μπορεί να αποτελέσει μία πρόταση υπό συνθήκες. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο ασύρματο δίκτυο, εξαλείφοντας το κόστος που σχετίζεται με την εγκατάσταση νέας υποδομής επικοινωνίας. Επιπλέον, η χρήση της δεν περιορίζεται στα συστήματα καθοδικής προστασίας, αλλά μπορεί να επεκταθεί και σε άλλες εφαρμογές που χρησιμοποιούν δίκτυα αγωγών και απαιτούν μετάδοση δεδομένων. Παρόλα αυτά, οι υψηλές απώλειες κατά μήκος του αγωγού λόγω έλλειψης προσαρμογής καθιστούν το συγκεκριμένο μοντέλο μη αποδοτικό. Στην περίπτωση που η αντίσταση του αγωγού μπορούσε να έχει τιμή κοντά στην αντίσταση της γεννήτριας ( $50\Omega$ ) τότε θα ήταν μία συμφέρουσα οικονομικά πρόταση.

## 5 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΎΕΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

### 5.1 Διαχείριση ροής

Ο έλεγχος της ροής είναι πρωτίστως ένα σημαντικό ζήτημα για την ασφαλή προμήθεια των καταναλωτών στο σύστημα διανομής του φυσικού αερίου. Μια κοινή αδυναμία των περισσότερων συστημάτων διανομής είναι η ελλιπής καταγραφή των δεδομένων που αφορούν τους τύπους υλικών και τις συνθήκες εγκατάστασης. Η κατάσταση αυτή φαίνεται να είναι διαδεδομένη μεταξύ όλων των φορέων εκμετάλλευσης, λόγω της έλλειψης ενός ολοκληρωμένου υπολογιστικού δικτύου αποθήκευσης δεδομένων.

Στη βιομηχανία φυσικού αερίου, η ακριβής μέτρηση της ποσότητας αερίου που διέρχεται από μια διατομή σωλήνα ανά μονάδα χρόνου (ογκομετρικός ρυθμός ή ρυθμός μάζας) έχει ύψιστη σημασία. Επιπλέον, η μέτρηση και ο έλεγχος της διανομής φυσικού αερίου χρειάζεται κατά κύριο λόγο σύστημα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA-Supervisory Control and Data Acquisition) και άλλα συστήματα μέτρησης για την ασφαλή διαχείριση της ροής. Δηλαδή, η παρακολούθηση και ο έλεγχος όλων των στοιχείων διανομής είναι σημαντικά για την ασφαλή παροχή φυσικού αερίου [16].

Γενικά, το σύστημα διανομής αποτελείται από εγκαταστάσεις μείωσης της πίεσης, σταθμούς ρύθμισης και μέτρησης (RMS), γραμμές παροχής υπηρεσιών, ρυθμιστή περιοχής, κιβώτιο παροχής υπηρεσιών και μετρητές. Τα συστήματα διανομής λειτουργούν γενικά σε διάφορα επίπεδα πίεσης και διάφορες σωληνώσεις με μεταβλητή διάμετρο. Λειτουργικά, η διανομή φυσικού αερίου απαιτεί πολλά συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου. Το σύστημα SCADA είναι υπεύθυνο για τις λειτουργίες του κέντρου ελέγχου φυσικού αερίου. Το έξυπνο δίκτυο φαίνεται ότι ανταποκρίνεται στην πρόκληση της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης ενέργειας, από τη μία πλευρά, και της αυξανόμενης σπανιότητας των ενεργειακών πόρων από την άλλη. Στη συνέχεια θα αναλυθούν το κέντρο ελέγχου φυσικού αερίου (GCC-Gas Control Center), το σύστημα ηλεκτρονικού πίνακα ανακοινώσεων-συμβάντων και το σύστημα έξυπνων μετρητών.

#### 5.1.1 Κέντρο Ελέγχου Φυσικού Αερίου (GCC)

Το Κέντρο Ελέγχου Φυσικού Αερίου (GCC) συλλέγει διάφορα στοιχεία από το σύστημα διανομής. Ωστόσο, η αξιοπιστία αυτών των στοιχείων σχετίζεται με την ακρίβεια, τη συχνότητα και την ποικιλία των εισαγόμενων δεδομένων. Τα χαρακτηριστικά των δεδομένων, τα οποία συλλέγονται από τους σταθμούς GCC, μπορεί να διαφέρουν μεταξύ των εταιρειών φυσικού αερίου.

Σήμερα, η ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτοματισμού και η ευρεία χρήση των υπολογιστών αντανάκλαται και στο σύστημα SCADA που αποτελείται από συστήματα παρατήρησης, συλλογής δεδομένων και ελέγχου. Οι εφαρμογές SCADA που χρησιμοποιούνται στον τομέα της ενέργειας έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η κεντρική παρακολούθηση και ο έλεγχος των οργάνων πεδίου, τα οποία είναι

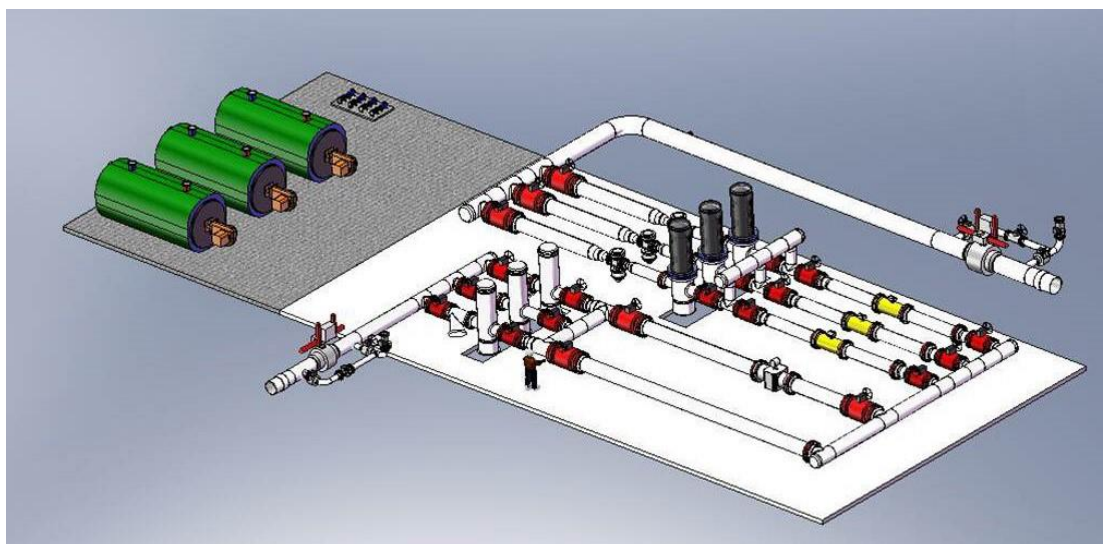
διασκορπισμένα, σε μια ευρεία γεωγραφική περιοχή, μειώνοντας το κόστος λειτουργίας και τα ατυχήματα και αυξάνοντας την παραγωγικότητα και την ασφάλεια. Επιπλέον, οι εφαρμογές SCADA περιλαμβάνουν τη διαδικασία διαχείρισης της διανομής αερίου με προληπτική συντήρηση σε όλα τα όργανα διανομής αερίου. Αυτή η προληπτική συντήρηση επηρεάζει πλήρως την αποδοτικότητα. Το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) αναφέρει ότι οι σύγχρονοι σταθμοί SCADA συνδυάζουν κατάλληλο λογισμικό με το αντίστοιχο τεχνολογικό υλικό σε ένα δίκτυο διανομής. Η επεξεργαστική ισχύς κατανέμεται μεταξύ πολλών υπολογιστών και διακομιστών που επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ενός συνδεδεμένου σε πραγματικό χρόνο τοπικού δικτύου (LAN-Local Area Network) με το κέντρο παρακολούθησης. Τα συστήματα SCADA και αυτοματισμού μπορούν να ενισχύσουν λειτουργίες όπως:

1. Υπολογισμοί έμμεσων αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις μετρήσεις (π.χ. μέσοι όροι, στατιστικά στοιχεία)
2. Παρακολούθηση κατάστασης δικτύου φυσικού αερίου
3. Έλεγχος εύρους λειτουργίας του δικτύου φυσικού αερίου από τον πάροχο
4. Επικουρικές υπηρεσίες (τιμολόγηση, διακοπές, συμβάντα)
5. Χρονικός συγχρονισμός ροής φυσικού αερίου μέχρι τον καταναλωτή
6. Προγραμματισμένες λογικές λειτουργίες

Για την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος πρέπει να ορίζονται οι απαραίτητες λειτουργίες. Πρέπει να πραγματοποιηθεί αξιολόγηση με βάση αυτές για να διαπιστωθεί η απαραίτητη απόδοση του συστήματος. Τυπικές απαιτήσεις επιδόσεων είναι οι ακόλουθες [17]:

1. Περιοδικότητα σε απευθείας σύνδεση (δευτερόλεπτα) – Online Periodicity
2. Ακρίβεια (%) – Accuracy
3. Μη διαθεσιμότητα (ώρες/μήνα) - Unavailability
4. Καθυστέρηση ανταπόκρισης συστήματος (δευτερόλεπτα) - Delay
5. Ανάλυση μέτρησης (%) - Resolution
6. Καθυστέρηση ρολογιού (δευτερόλεπτα) – Clock Skew.

Όλες οι ανωτέρω τεχνικές παράμετροι επηρεάζουν την αποδοτικότητα. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η μέτρηση και η αξιολόγησή τους από τον εγκαταστάτη του συστήματος. Στο Σχήμα 5.1 που ακολουθεί απεικονίζεται ένα μέρος του κέντρου ελέγχου του φυσικού αερίου [18]. Τα κόκκινα και κίτρινα χρώματα υποδηλώνουν βαλβίδες ροής που μπορούν να ελεγχθούν απομακρυσμένα και να ρυθμίσουν τη ροή μέχρι τον τελικό καταναλωτή.



Σχήμα 5.1 Σύστημα Ελέγχου Φυσικού Αερίου

Επιπλέον, το GCC μπορεί να διαχειριστεί μεγάλο όγκο φυσικού αερίου, περίπου 2 εκατομμύρια κυβικά μέτρα ετησίως. Το φυσικό αέριο κρυώνει κατά τη διανομή του οπότε πρέπει να θερμανθεί για να γίνει έλεγχος της θερμοκρασίας του σε συγκεκριμένο εύρος τιμών. Παράλληλα, η αποτελεσματικότητα στη διανομή φυσικού αερίου εξετάζεται σε τρία σημεία:

1. Αποδοτικότητα στην εγχώρια διανομή – τελικό καταναλωτή
2. Αποδοτικότητα στη ρυθμιστική μονάδα – βαλβίδα που καθορίζει τη ροή του αερίου
3. Αποδοτικότητα στο GCC.

Η τέλεια καύση του φυσικού αερίου είναι το άλλο σημαντικό θέμα σε αυτόν τον τομέα εκτός από τη θερμοκρασία του. Το σύστημα αυτοματισμού GCC οδηγεί άμεσα στη βέλτιστη καύση του φυσικού αερίου καθώς και στη σωστή θέρμανσή του. Η διαδικασία μέτρησης στη ρυθμιστική μονάδα πρέπει να είναι πλήρως καθορισμένη αφού πρέπει να λαμβάνει υπόψη διάφορα μεγέθη, όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η διάμετρος του σωλήνα και ο ρυθμός ροής. Το περιεχόμενο του φυσικού αερίου είναι ακόμα ένα ζήτημα που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Ο χρωματογράφος προσδιορίζει το περιεχόμενο του φυσικού αερίου και παρέχει τα σχετικά δεδομένα. Μέσω του χρωματογράφου παρατηρείται ο βαθμός φιλτραρίσματος του φυσικού αερίου. Η επιλογή βαθμού φιλτραρίσματος και η πυκνότητα του φίλτρου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί παρακολουθούνται από το σύστημα αυτοματισμού GCC.

Το GCC είναι σε θέση να ελέγξει και την προληπτική συντήρηση των εξαρτημάτων που συμμετέχουν στην επεξεργασία και στη διανομή του φυσικού αερίου. Αυτή η συντήρηση επηρεάζει πλήρως την αποδοτικότητα. Επιπλέον, η ορθή λειτουργία και η συχνή συντήρηση συνδέονται μεταξύ τους. Μία άλλη προδιαγραφή που μπορεί να καθοριστεί από το GCC είναι η ασφάλεια λειτουργίας του συστήματος. Η ορθή λειτουργία, η συχνή συντήρηση και η ασφάλεια σχετίζονται με την αποδοτικότητα έμμεσα. Τέλος, δίνεται σημασία στην παροχή ενέργειας και στις εναλλακτικές πηγές της. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται κάποια χαρακτηριστικά που μπορεί να ενσωματώνει ένα GCC σύστημα:

	Χαρακτηριστικά του GCC	Περιγραφή
1	Διαδικασίες Βελτίωσης	Βελτίωση του Συστήματος με επίκεντρο τον καταναλωτή
2	Παροχή Υπηρεσιών Παρακολούθησης	Δυνατότητα των καταναλωτών να παρακολουθούν δωρεάν από απόσταση τις καταναλώσεις τους
3	Ασφάλεια-Πιστοποίηση-Αυθεντικοποίηση Δεδομένων	Δυνατότητα Χρήσης του Συστήματος με ασφαλή σύνδεση στο διαδίκτυο και χρήση αποδεκτών πιστοποιητικών
4	Ενσωμάτωση Υπηρεσιών Γεωπληροφοριακών Συστημάτων	Γεωγραφικές Πληροφορίες για τη θέση των εξαρτημάτων που αποτελούν το σύστημα να είναι προσβάσιμες
5	Έλεγχος Βαλβίδων	Απομακρυσμένος Έλεγχος των Βαλβίδων που αφορούν έναν καταναλωτή
6	Αποθήκευση Μετρήσεων	Αποθήκευση αρχείου με την πίεση, τη θερμοκρασία, τη θέση των ρυθμιστών και αντίστοιχες χρονικές στιγμές
7	Αντίγραφα Ασφαλείας Δεδομένων	Χρήση Διακομιστών Αρχείων (Servers) όπου αποθηκεύονται αντίγραφα όλων των κρίσιμων δεδομένων
8	Εναλλακτική Λύση Παροχής Ενέργειας	Σε περίπτωση διακοπής ρεύματος στο χώρο του GCC πρέπει να υπάρχει εναλλακτική τροφοδοσία με γεννήτρια
9	Καταστάσεις Συναγερμού	Ακραίες τιμές έξω από τις οποίες το σύστημα πρέπει να δίνει σήματα συναγερμού
10	Διαμοιρασμός Δεδομένων	Κοινή Χρήση όλων των δεδομένων και των πληροφοριών που έχουν στη διάθεσή τους οι πάροχοι και οι εταιρείες Φυσικού Αερίου

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτει το GCC

### 5.1.2 Ηλεκτρονικός Πίνακας Συμβάντων

Ένα άλλο σύστημα που απαιτείται για την υπαγωγή των δικτύων διανομής φυσικού αερίου στην έννοια του έξυπνου δικτύου είναι ο ηλεκτρονικός πίνακας συμβάντων (Electronic Bulletin Board). Ο ηλεκτρονικός πίνακας συμβάντων είναι ένα σύστημα που λειτουργεί από την εταιρεία παραγωγής και διανομής φυσικού αερίου και έχει δημιουργηθεί για να παρακολουθεί τις κινήσεις των εμπλεκόμενων που δραστηριοποιούνται στην αγορά.

Ο κύριος σκοπός του συστήματος EBB είναι να εξασφαλίσει τη βέλτιστη χρήση των αγωγών. Για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια και η επάρκεια του εφοδιασμού κατά τις περιόδους αιχμής του χειμώνα παρακολουθείται συνεχώς η κατανάλωση φυσικού αερίου. Τα σχετικά δεδομένα αυτά αναφέρονται στο GCC μέσω του EBB και χρησιμοποιούνται ως αποθήκη δεδομένων για τη δημιουργία σεναρίων κρίσης. Με κατάλληλη αξιοποίηση των δεδομένων αυτών καθίσταται δυνατή η ακριβής πρόβλεψη της κατανάλωσης και η τροποποίηση των συμβάσεων με τους καταναλωτές.

Προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια του εφοδιασμού και η ετήσια ποσότητα φυσικού αερίου που θα καταναλωθεί, τα στατιστικά στοιχεία παρελθόντων ετών για την κατανάλωση φυσικού αερίου έχουν ύψιστη σημασία για το τρέχον έτος. Ομοίως, η ακρίβεια των πληροφοριών που διακινούνται στο σύστημα EBB θα επηρεάσει τις

εκτιμήσεις που παράγει το ίδιο το σύστημα. Επομένως, η παροχή δεδομένων στο EBB με άμεσο, ακριβή και συγκεκριμένο τρόπο ενισχύει την αξιοπιστία του συστήματος [19].

### 5.1.3 Το σύστημα έξυπνων μετρητών στο δίκτυο φυσικού αερίου

Οι έξυπνοι μετρητές είναι βασικά εργαλεία για την υλοποίηση του έξυπνου δικτύου. Οι έξυπνοι μετρητές είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία που διευκολύνουν τη διαχείριση της διανομής φυσικού αερίου. Ο κύριος σκοπός των έξυπνων μετρητών είναι η ανάγνωση των δεδομένων κατανάλωσης των τελικών χρηστών από απόσταση και ο εντοπισμός των απωλειών στο δίκτυο. Ταυτόχρονα, οι έξυπνοι μετρητές επιτρέπουν τον προσδιορισμό των συνολικών περιφερειακών απωλειών χάρη στη δυνατότητα άμεσης γνωστοποίησης των δεδομένων κατανάλωσης των τελικών χρηστών στο σύστημα.

Υπάρχουν δύο τύποι έξυπνων μετρητών. Από τη μία υπάρχουν οι πλήρως ηλεκτρονικοί μετρητές αερίου που εκτελούν μετρήσεις και επικοινωνούν με τα hubs του δικτύου. Για παράδειγμα, οι μετρητές τύπου στροβίλου και υπερήχων είναι πλήρως ηλεκτρονικοί μετρητές αερίου και μπορούν να εκτελούν έξυπνες λειτουργίες. Από την άλλη είναι οι μετρητές που συνδέονται με τους ήδη υπάρχοντες μετρητές και τους μετατρέπουν σε έξυπνους. Ένα παράδειγμα είναι οι μετρητές περιστροφικού τύπου που εκτελούν μέτρηση όγκου και συμπεριλαμβάνονται στο πεδίο εφαρμογής των έξυπνων μετρητών με προσαρτημένη μονάδα.

Οι μετρητές ανήκουν στις εταιρείες διανομής, παρέχονται χωρίς κανένα τέλος εκτός από το τέλος συνδρομής και εντάσσονται στο σύστημα διανομής και κατανάλωσης φυσικού αερίου. Επίσης, οι έξυπνοι μετρητές δεν χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία λόγω του υψηλού κόστους αντικατάστασης και συντήρησης της μπαταρίας. Αυτό καθιστά την πρόοδο της εφαρμογής τους στο δίκτυο προς το παρόν αργή. Η αύξηση της διάρκειας ζωής των μπαταριών για τους έξυπνους μετρητές, η οποία είναι περίπου 4-5 έτη, αναμένεται να εξαλείψει το εμπόδιο αυτό. Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά και οι προδιαγραφές των έξυπνων μετρητών που ενσωματώνονται στο δίκτυο [20]:

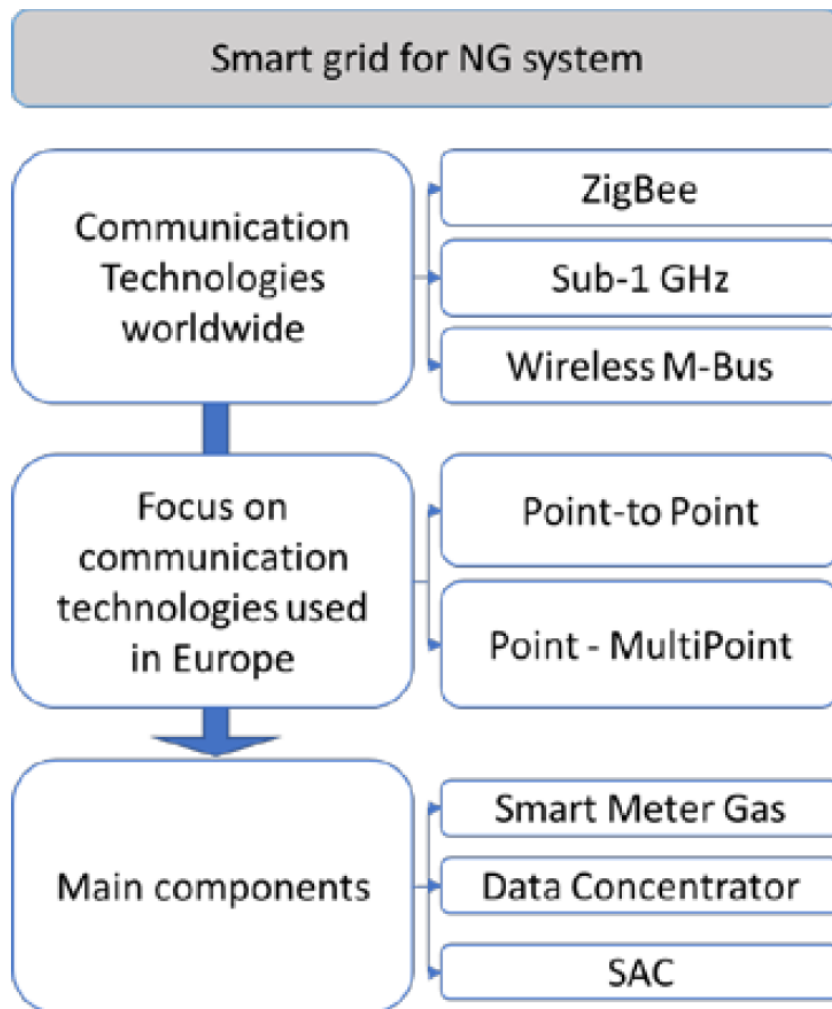


	<b>Χαρακτηριστικά Έξυπνων Μετρητών</b>	<b>Περιγραφή</b>
1	Διεργασίες Βελτίωσης Δικτύου	Βελτίωση του συστήματος με επίκεντρο τους καταναλωτές
2	Κυβερνοασφάλεια	Προστασία των Έξυπνων Μετρητών από Κυβερνοεπιθέσεις
3	Πρωτόκολλα Επικοινωνίας	Χρήση των γνωστών πρωτοκόλλων IP (Internet Protocol IP55) των δικτύων υπολογιστών
4	Έλεγχος Διαρροής	Η διαρκής ροή χαμηλών τιμών αερίου που περνάει από τους έξυπνους μετρητές μπορεί να θεωρηθεί διαρροή αερίου
5	Διάρκεια Ζωής Συσκευής και Ρυθμίσεων	Ο έξυπνος μετρητής έχει τουλάχιστον 5 χρόνια διάρκεια ζωής και οι ρυθμίσεις του εξαρτώνται από τον κατασκευαστή
6	Μετάδοση Δεδομένων Απομακρυσμένα	Οι έξυπνοι μετρητές μπορούν να μεταφέρουν δεδομένα μέσω WiMax, Wifi, Gprs, Bluetooth
7	Αντοχή στην Πίεση	Οι έξυπνοι μετρητές πρέπει να αντέχουν στις πιέσεις λειτουργίας του δικτύου
8	Θερμοκρασία Λειτουργίας	Η θερμοκρασία λειτουργίας κυμαίνεται από $-20^{\circ}C$ έως $+60^{\circ}C$
9	Αντοχή στην Υγρασία	Η αντοχή στην υγρασία ενός έξυπνου μετρητή μπορεί να φθάνει και το 95% σχετικής υγρασίας
10	Δυνατότητα Διακοπής	Βασική λειτουργία είναι το να μπορεί ο έξυπνος μετρητής να διακόψει την παροχή του δικτύου
11	Γεννήτρια Παλμών	Δυνατότητα δημιουργίας παλμών από τους έξυπνους μετρητές ως πηγών πληροφορίας

Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά Έξυπνων Μετρητών σε Δίκτυο Φυσικού Αερίου

## 5.2 Επικοινωνίες έξυπνων μετρητών στο δίκτυο φυσικού αερίου

Σε αυτό το σημείο της εργασίας, θα γίνει προσπάθεια να παρουσιαστεί το τμήμα του συστήματος επικοινωνιών για ένα έξυπνο δίκτυο μετρητών που έχει εφαρμογή στο δίκτυο φυσικού αερίου. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεθοδολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ενός 'έξυπνου πλέγματος' με χρήση δοκιμασμένων τεχνολογιών επικοινωνιών. Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στις τεχνολογίες που βρίσκονται ήδη σε χρήση στην Ευρωπαϊκή Ένωση και έχουν ήδη εφαρμοστεί σε δίκτυα όπως το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 5.2: Μεθοδολογία Ανάπτυξης Συστήματος Επικοινωνιών σε Δίκτυο Φυσικού Αερίου

Η εφαρμογή της προηγμένης υποδομής μέτρησης (Advanced Metering Infrastructure-AMI) είναι ο βασικός παράγοντας για την ανάπτυξη ενός έξυπνου δικτύου μέτρησης πολλαπλών υπηρεσιών. Η AMI επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία με το μετρητή, ο οποίος μπορεί να συλλέγει δεδομένα για απομακρυσμένες αναφορές. Οι έξυπνοι μετρητές περιλαμβάνουν συνήθως αισθητήρες και συναγερμούς κατανάλωσης όγκου αερίου σε πραγματικό ή σχεδόν πραγματικό χρόνο. Το AMI είναι η τεχνολογία που συλλέγει αυτόματα δεδομένα κατανάλωσης, διάγνωσης και κατάστασης από τις συσκευές μέτρησης, μεταφέροντας αργότερα τα δεδομένα αυτά σε μια κεντρική βάση δεδομένων για την τιμολόγηση, την αντιμετώπιση προβλημάτων και την ανάλυση. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει στις εταιρείες παροχής αερίου να εκδίδουν τιμολόγηση που δεν βασίζεται σε εκτιμώμενα δεδομένα αλλά σε πραγματικές καταναλώσεις, χωρίς να απαιτείται ο έλεγχος των επιμέρους ενδείξεων από κάποιο χειριστή. Αυτή η έγκαιρη πληροφόρηση, σε συνδυασμό με την ανάλυση της ζήτησης, μπορεί να βοηθήσει τόσο τους προμηθευτές όσο και τους πελάτες να ελέγχουν καλύτερα την παραγωγή και τη χρήση του φυσικού αερίου, με τρόπο που χρησιμοποιείται ήδη για την ηλεκτρική ενέργεια. Οι τεχνολογίες AMI περιλαμβάνουν διάφορες φορητές, κινητές και δικτυακές τεχνολογίες που βασίζονται σε πλατφόρμες τηλεφωνίας (ενσύρματες και ασύρματες) και ραδιοσυχνότητες.

Το σύστημα δικτύου έξυπνων μετρητών φυσικού αερίου μπορεί να περιλαμβάνει τις ακόλουθες τεχνολογίες επικοινωνιών [21]:

1. Το ZigBee είναι μία πρώτη περίπτωση, καθώς και οι ασύρματες επικοινωνίες που λειτουργούν κατώ από το 1GHz, όπως για παράδειγμα έχουν υιοθετηθεί από το Ηνωμένο Βασίλειο προκειμένου να συνδεθούν 30 εκατομμύρια ιδιοκτησίες με το έξυπνο δίκτυο. Το ZigBee αποδεικνύεται ότι είναι μια καλή λύση ως τεχνολογία επικοινωνίας για την εφαρμογή συστήματος δικτύου AMI. Η χρήση των ασύρματων αισθητήρων ZigBee έχει ως αποτέλεσμα τη διαμόρφωση ενός δικτύου ελέγχου χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος με ανοικτά πρότυπα και πρωτόκολλα διαλειτουργικότητας.
2. Κάποιες συχνότητες κάτω του 1GHz, όπως τα 902-928MHz αποτελούν μία πρόταση για την επικοινωνία μεταξύ των μετρητών και από το μετρητή σε έναν συλλέκτη ή συγκεντρωτή δεδομένων. Μία σειρά από πιλοτικά έργα έχουν αποδείξει ότι το φάσμα κάτω από το 1GHz έχει υψηλότερη απόδοση όσον αφορά τα χαρακτηριστικά διάδοσης και το ποσοστό διείσδυσης από ό,τι οι ζώνες υψηλότερων συχνοτήτων. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι είναι κατάλληλο για τη διαμόρφωση αξιόπιστων και ασφαλών δικτύων επικοινωνίας, με λιγότερη συμφόρηση από το σύστημα ZigBee.
3. Το διεθνές πρότυπο Wireless M-Bus 169MHz (169.40 έως 169.81) μπορεί να συμπεριληφθεί, σύμφωνα με το EN 13757-4 και οι κάτω του 1GHz ασύρματες επικοινωνίες όπως χρησιμοποιούνται σήμερα στην Ευρώπη. Όπως το ZigBee, έτσι και το Wireless M-Bus είναι μια αποδοτική ως προς την ισχύ, ασύρματη λύση επικοινωνίας μεγάλης εμβέλειας που έχει αποδειχθεί ότι προσφέρει κατάλληλα αποτελέσματα ως τεχνολογία επικοινωνίας ενσωματωμένη σε σύστημα δικτύου AMI. Το πρότυπο Wireless M-Bus επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία από τη διεπαφή ιστού και τους μετρητές ή τους αισθητήρες με χαμηλό κόστος και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Όπως γίνεται αντιληπτό, τα συστήματα έξυπνου δικτύου για οικιακές εφαρμογές χρησιμοποιούν γενικά φάσμα κάτω του 1GHz. Η ανάλυση που διενεργήθηκε σκιαγραφεί ότι οι διάφορες χώρες χρησιμοποιούν διαφορετικό φάσμα και αναδεικνύει ένα από τα πρώτα εμπόδια στη διαλειτουργικότητα του έξυπνου συστήματος φυσικού αερίου: την έλλειψη συντονισμού μεταξύ των διαφόρων εθνών και των διαχειριστών συστημάτων διανομής και ως προς την εναρμονισμένη κατανομή των κοινών ζωνών. Τα προβλήματα αυτά επηρεάζουν εξίσου τις αδειοδοτημένες ζώνες και τις μη αδειοδοτημένες ζώνες.

Στις ευρωπαϊκές χώρες, η κατανομή των συχνοτήτων και η διαχείριση του ραδιοφάσματος αποτελεί ευθύνη των εθνικών ρυθμιστικών αρχών. Οι αρχές αυτές συνεργάζονται εντός ενός εναρμονισμένου πλαισίου που καθορίζεται από διεθνείς και ευρωπαϊκές πολιτικές πρωτοβουλίες. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, η εφαρμογή έξυπνων μετρητών πρέπει να χρησιμοποιεί για τη μετάδοση δεδομένων τις ζώνες ISM (Industrial, Scientific and Medical) και, ειδικότερα, τις ακόλουθες ζώνες SRD (Short-Range Device):

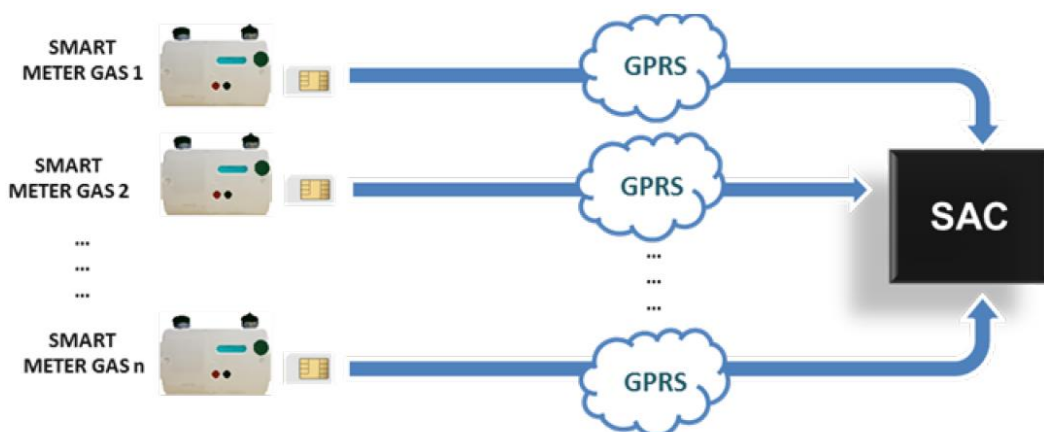
- 868 MHz (863-870 MHz) που υποστηρίζεται από το διεθνές πρότυπο Wireless M-Bus EN 13757-4, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για έξυπνους μετρητές νερού.

- 169 MHz (169.40 έως 169.81) που διατέθηκε ως συχνότητα για εφαρμογές έξυπνων μετρητών στην Ευρώπη το 2008.

Η χρήση των δύο ζωνών σημαίνει ότι η ενδοεπικοινωνία μεταξύ διαφορετικών τύπων έξυπνων μετρητών δεν είναι πλέον δυνατή, καθώς λειτουργούν σε διαφορετική συχνότητα. Για το λόγο αυτό, πρέπει να εφαρμοστεί μια κατάλληλη ραδιομονάδα στα 169MHz για να καταστεί δυνατή η επικοινωνία μεταξύ των έξυπνων μετρητών αερίου, των μετρητών νερού και όλων των άλλων μετρητών κοινής ωφέλειας, ώστε να συμβάλει στη διαλειτουργικότητα πολλαπλών υπηρεσιών. Μεταξύ των ευρωπαϊκών κρατών, η Ιταλία ήταν μία από τις πρώτες χώρες που ξεκίνησαν τη μαζική ανάπτυξη των έξυπνων μετρητών φυσικού αερίου. Στην Ιταλία, που είναι πρωτοπόρος στην υιοθέτηση συστημάτων έξυπνης μέτρησης φυσικού αερίου, μια υποδομή έξυπνης μέτρησης παρέχει ήδη τη δυνατότητα ενός μοντέλου αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ της παροχής κοινής ωφέλειας και του πελάτη με τη χρήση Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών. Για την ώρα, οι υποδομές επικοινωνίας για τη μέτρηση φυσικού αερίου βασίζονται σε δύο διαμορφώσεις:

- Point to Point (PTP) (GPRS)
- Point-to-Multipoint (PMP) (στη συχνότητα των 169MHz)

Η επικοινωνία PMP 169MHz είναι η φθηνότερη εναλλακτική λύση από επιχειρησιακή άποψη, ενώ το GPRS είναι η περισσότερο ώριμη τεχνολογία αφού χρησιμοποιείται εδώ και δύο δεκαετίες και σε άλλες εφαρμογές. Αυτό το σκεπτικό οδηγεί συνήθως αρκετές εταιρείες φυσικού αερίου να προτιμούν το GPRS από το 169 MHz. Ωστόσο, η επικοινωνία PMP είναι η κυρίαρχη επιλογή για το μέλλον, ιδίως σε περιοχές με μεσαία έως υψηλή πυκνότητα μετρητών. Σε γενικές γραμμές, η αρχιτεκτονική του δικτύου επικοινωνίας ενός τεχνικού προτύπου PTP/GPRS αποτελείται από τον έξυπνο μετρητή με μια μονάδα/κεραία GPRS και μια κάρτα SIM ικανή να επικοινωνεί με το SAC, όπως απεικονίζεται στο Σχ. 5.3 ακολουθεί:

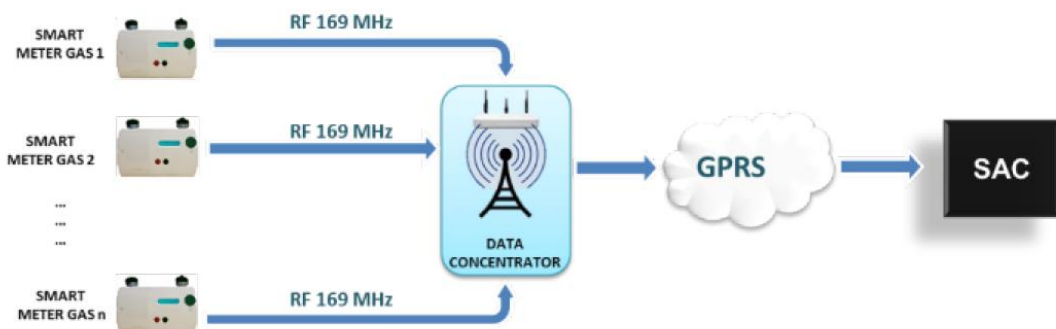


Σχήμα 5.3: Επικοινωνία Σημείου-προς-Σημείο Μετρητών με το Hub

Το κύριο πλεονέκτημα ενός δικτύου επικοινωνίας GPRS είναι η αποδοτικότητα με βάση τις ακόλουθες παραμέτρους:

1. Απόσταση από το σταθμό βάσης. Η ταχύτητα μειώνεται με την απόσταση από το σταθμό βάσης. Οι κοντινοί σταθμοί στο κέντρο ελέγχου μπορούν να επικοινωνούν με μεγαλύτερες ταχύτητες σε σχέση με τους μακρινούς σταθμούς.
2. Ο αριθμός των συνδεδεμένων χρηστών ανά κυψέλη. Όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο αριθμός, τόσο αργότερη είναι η σύνδεση.
3. Τέλος, το κόστος της επικοινωνίας GPRS. Σε αυτό το σημείο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο το αν η χρέωση γίνεται με βάση τα kilobytes που μεταδίδονται και όχι με βάση το χρόνο σύνδεσης όπως για το PMP.

Από την άλλη πλευρά, τα κύρια στοιχεία μιας υποδομής PMP, σύμφωνα με το πρότυπο UNI TS 11291, είναι ο έξυπνος μετρητής φυσικού αερίου, ο συγκεντρωτής δεδομένων (Data Collector-DC) ή η πύλη (Gateway-GW) και το κεντρικό σύστημα πρόσβασης (Central Acquisition System-SAC). Στην περίπτωση αυτή, όπως φαίνεται στο Σχ.5.4, πολλαπλοί έξυπνοι μετρητές επικοινωνούν με τον DC που διαχειρίζεται τη μεταφορά των συλλεγόμενων δεδομένων στο SAC.



Σχήμα 5.4: Επικοινωνία Πολλών Σημείων με το Κέντρο Συλλογής Δεδομένων

Ένα δευτερεύον στοιχείο είναι η φορητή μονάδα (Handheld Unit-HHU) που χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση και τη διαχείριση στο πεδίο. Το DC/GW διαχειρίζεται τη μεταφορά των δεδομένων του έξυπνου μετρητή στο σύστημα SAC. Επικοινωνεί, επίσης, με τους μετρητές για εφαρμογές ελέγχου και λειτουργεί ως δρομολογητής για κάθε δίκτυο PMP.

Όσον αφορά την απόδοση, η αναλογία συγκέντρωσης (αριθμός μετρητών που μπορούν να συνδεθούν με τον ίδιο DC) στην αρχιτεκτονική PMP τείνει να ποικίλλει ευρέως, με μέγιστη βιώσιμη απόδοση που κυμαίνεται από 500 έως 4000 μετρητές ανά συγκεντρωτή. Ωστόσο, η βέλτιστη ισορροπία μεταξύ πυκνότητας μετρητών, απόδοσης και πλεονασμού επιτυγχάνεται στην περιοχή 800 έως 1000 μέτρων ανά συγκεντρωτή ή λιγότερο (γενικά 500 μέτρα ανά DC). Η φορητή μονάδα επικοινωνεί με τους μετρητές και άλλα συστήματα για τη διαχείριση της εγκατάστασης και τη συντήρηση στο πεδίο και χρησιμοποιείται για τη συλλογή δεδομένων από το μετρητή όταν η σύνδεση μεταξύ του DC/GW και των μετρητών δεν είναι διαθέσιμη. Η HHU επικοινωνεί, επίσης, με το SAC για τη μετάδοση των δεδομένων που συλλέγονται. Τα κύρια πλεονεκτήματα ενός συστήματος που χρησιμοποιεί το δίκτυο PMP είναι η εύκολη εγκατάσταση, ο αξιόπιστος έλεγχος της

συλλογής δεδομένων, η μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και τα χαρακτηριστικά της παροχής ενός ευέλικτου και επεκτάσιμου τηλεπικοινωνιακού πρωτοκόλλου.

Και για τις δύο τεχνολογίες (PMP και PTP), απαιτείται ένα καθολικό πρότυπο επικοινωνίας για τη μετάδοση των πληροφοριών μεταξύ του εξοπλισμού μέτρησης και του συστήματος συλλογής δεδομένων. Τα πρωτόκολλα DLMS/COSEM (Device Language Message specification/Companion Specification for Energy Metering) είναι η κοινή γλώσσα και το σύστημα αναγνώρισης για όλα τα δεδομένα μέτρησης, τα οποία χρησιμοποιούνται πλέον στην Ιταλία για τους οικιακούς και εμπορικούς μετρητές. Το πρωτόκολλο αυτό επιτρέπει την επικοινωνία με το μετρητή καθώς και τη μετάφραση των δεδομένων σε μια σειρά από bytes, έτσι ώστε οι εταίροι να μπορούν να κατανοούν αλλήλους. Οι βασικές συσκευές επικοινωνίας θα περιγραφούν στα επόμενα εδάφια.

### 5.2.1 Συγκεντρωτής Δεδομένων (Data Concentrator-DC)

Ο συγκεντρωτής δεδομένων (DC) είναι μια συσκευή συλλογής και ελέγχου δεδομένων για διάφορους τύπους ασύρματων περιφερειακών συσκευών και με διαφορετικά λειτουργικά πρότυπα. Γενικά, είναι εξοπλισμένος με μια αρθρωτή αρχιτεκτονική υλικού που του παρέχει μεγάλη ευελιξία για την ταυτόχρονη διαχείριση πολλαπλών υπηρεσιών κοινής ωφέλειας και πολλαπλών υπηρεσιών (φυσικό αέριο, νερό κ.λπ.).

Οι κύριες λειτουργίες που επιτελεί το DC είναι οι εξής:

1. Παρέχει στο SAC την πρόσβαση σε όλες τις λειτουργίες των έξυπνων μετρητών.
2. Θέτει στη διάθεση του SAC, περιοδικά ή κατόπιν αιτήματος, τα δεδομένα που συλλέγονται από τους μετρητές.
3. Επιτρέπει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των διασυνδεδεμένων συσκευών του και των SAC διαφορετικών φορέων εκμετάλλευσης.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος έξυπνων μετρητών, μπορεί να ενσωματώσει πρόσθετες μονάδες επικοινωνίας σε διαφορετικούς συνδυασμούς, ακόμη και για διαφορετικές ζώνες συχνότητας και διαφορετικά πρωτόκολλα για συγκεκριμένη υπηρεσία δεδομένων. Έτσι, τόσο τα εύρη ζώνης όσο και τα πρωτόκολλα λειτουργίας είναι διαμορφώσιμα. Τα δεδομένα που συλλέγονται από το DC μεταφέρονται στο διακομιστή SAC μέσω ενσύρματων συνδέσεων (LAN) ή ασύρματων (GSM-GPRS). Από την άλλη πλευρά, η συσκευή είναι εξοπλισμένη με μια διεπαφή απομακρυσμένης επικοινωνίας που λειτουργεί στα 169MHz WM-bus για επικοινωνίες σημείου προς πολλαπλά σημεία με έξυπνους μετρητές. Ο συγκεντρωτής δεδομένων αποτελεί βασικό στοιχείο του δικτύου έξυπνων μετρητών και είναι σε θέση να μειώσει την επιβάρυνση του δικτύου και να πραγματοποιήσει την αξιόπιστη εφεδρική υποστήριξη του συστήματος μέτρησης.

### 5.2.2 Κέντρο Συλλογής Δεδομένων (Central Acquisition System-SAC)

Το SAC είναι το κεντρικό σύστημα διαχείρισης δεδομένων των έξυπνων μετρητών. Πρέπει να εγγυάται τη διαλειτουργικότητα μεταξύ ενός πλήθους έξυπνων μετρητών φυσικού αερίου και έξυπνων μετρητών για άλλες υπηρεσίες (νερό, ηλεκτρική ενέργεια, θερμότητα) με υψηλό επίπεδο κυβερνοασφάλειας χρησιμοποιώντας πιστοποιητικά SSL σε

επίπεδο εφαρμογής και εξελιγμένη κρυπτογράφηση δεδομένων. Γενικά, μπορεί να είναι εξοπλισμένο με διάφορες μονάδες διαχείρισης, όπως οι ακόλουθες:

1. Μονάδα συλλογής δεδομένων, η οποία επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων που παράγουν οι έξυπνοι μετρητές αερίου. Τα δεδομένα που συλλέγονται τα επεξεργάζονται εξελιγμένοι αλγόριθμοι που πιστοποιούν την εγκυρότητά τους, ανιχνεύουν και διορθώνουν πιθανά λάθη. Στη συνέχεια, τα δεδομένα αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων και διατίθενται μέσω αρχείων εξαγωγής στους χρήστες.
2. Μονάδα επεξεργασίας δεδομένων, η οποία επιτρέπει τη λήψη συγκεντρωτικών δεδομένων, χρήσιμων για απλούστερη και άμεση ερμηνεία.
3. Ενότητα ανάλυσης δεδομένων, η οποία παρέχει εξελιγμένα αναλυτικά εργαλεία για τη διαχείριση της διαδικασίας ανάπτυξης.
4. Μονάδα παρουσίασης δεδομένων, η οποία παρουσιάζει τα επεξεργασμένα δεδομένα στο χειριστή μέσω του Διαδικτύου και με τη χρήση κανονικών προγραμμάτων περιήγησης. Τα διαρκώς ενημερωμένα συστήματα εξασφαλίζουν την ασφάλεια από εξωτερικές προσβολές, ενώ ένα αρθρωτό σύστημα διαχείρισης πρόσβασης επιτρέπει στο χειριστή να προσαρμόζει τη μνήμη και τη λειτουργικότητα στα ατομικά προνόμια των χρηστών.
5. Εξαγωγή δεδομένων που συλλέγονται. Εκτός από την παρουσίαση στο Διαδίκτυο και τις αναφορές σε φύλλα επεξεργασίας, τα δεδομένα μπορούν να εξαχθούν από αυτοματοποιημένα συστήματα.

Η πρόσβαση στη βάση δεδομένων του κέντρου υπηρεσιών διέπεται, επιπλέον, από αποτελεσματικές διαδικασίες ασφαλείας που εξασφαλίζουν υψηλό επίπεδο εμπιστευτικότητας.

Το SAC μπορεί να διαδραματίσει θεμελιώδη ρόλο στη διαχείριση των πόρων φυσικού αερίου (π.χ. προγράμματα απόκρισης ζήτησης) και στην εφαρμογή του έξυπνου δικτύου πολλαπλών υπηρεσιών. Επιτρέπει την παρακολούθηση του δικτύου μέσω σημάτων συναγερμού που αποστέλλονται απευθείας στους εξουσιοδοτημένους χειριστές μέσω φαξ, ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, μηνυμάτων SMS κ.ο.κ.

Σήμερα, κάθε διανομέας και κατασκευαστής έχει το δικό του SAC. Ως εκ τούτου, η τυποποίηση αυτής της συσκευής αποτελεί απαραίτητο προκαταρκτικό βήμα για την εφαρμογή των πρωτοβουλιών διαχείρισης του φυσικού αερίου, ώστε να είναι δυνατή η επικοινωνία και η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των διαφόρων SAC.

## 6. Συμπεράσματα-Μελλοντικές Επεκτάσεις

Οι έξυπνοι μετρητές έχουν εισβάλλει στην καθημερινότητα και βοηθούν σε πολλές πτυχές της ανθρώπινης ζωής. Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε η χρησιμότητά τους και η δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ τους στο υφιστάμενο δίκτυο φυσικού αερίου. Ενώ στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας έχει επεκταθεί η έννοια της έξυπνης μέτρησης, στο δίκτυο του φυσικού αερίου ειδικά στον ελληνικό χώρο οι προσπάθειες είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο.

Αρχικά, πρέπει να αποφασιστεί η φέρουσα συχνότητα καθώς και το εύρος ζώνης συχνοτήτων που θα αξιοποιούν οι έξυπνοι μετρητές για την επικοινωνία τους. Στην παρούσα μελέτη η συχνότητα των 169MHz παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Η ζώνη συχνοτήτων που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι αδειοδοτημένη και να έχει ένα προφίλ χαμηλών απωλειών ισχύος. Παράλληλα, επιβάλλεται η μελέτη και ο σχεδιασμός της αρχιτεκτονικής του δικτύου. Η αρχιτεκτονική του δικτύου των έξυπνων μετρητών πρέπει να είναι εναρμονισμένη με την υπάρχουσα δομή του δικτύου φυσικού αερίου. Κρίσιμη είναι και η απόφαση για το αν το δίκτυο των έξυπνων μετρητών θα αξιοποιήσει υπάρχουσες τηλεπικοινωνιακές υποδομές όπως είναι τα ενεργά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

Ένα σημαντικό ζήτημα είναι το ποιος θα έχει πρόσβαση στα δεδομένα και στις πληροφορίες που συλλέγουν οι έξυπνοι μετρητές. Επομένως, είναι αναγκαία η δημιουργία προφίλ χρηστών που διαφοροποιούν τον τελικό καταναλωτή από το διαχειριστή ή τον τεχνικό συντήρησης του δικτύου.

Ένα άλλο κρίσιμο σημείο για την υλοποίηση ενός δικτύου έξυπνων μετρητών για το δίκτυο φυσικού αερίου είναι η ακρίβεια των μετρήσεων. Ακόμη και ένα πολύ μικρό σφάλμα στις μετρήσεις μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία του δικτύου, την κατανάλωση και την τιμολόγηση.

Τέλος, για λόγους οικονομίας και άμεσης εφαρμογής, το δίκτυο έξυπνων μετρητών μπορεί να βασιστεί σε δοκιμασμένες τεχνολογίες όπως είναι η προηγμένη υποδομή μέτρησης (Advanced Metering Infrastructure-AMI) και το σύστημα SCADA που αποτελείται από συστήματα παρατήρησης, συλλογής δεδομένων και ελέγχου.



## Βιβλιογραφία-Αναφορές

- [1] T. E. P. Company, "Basic Specifications for Smart Meter Communications", 2012.
- [2][https://www.energy.vic.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0020/491420/101430-Greek\\_p7-smart-meters\\_a11y.pdf](https://www.energy.vic.gov.au/__data/assets/pdf_file/0020/491420/101430-Greek_p7-smart-meters_a11y.pdf)
- [3] Bhatt, Jignesh. (2014). Smart Grid - An Evolutionary Version of Energy Infrastructure.
- [4] Rashed Mohassel, R., Fung, A., Mohammadi, F., & Raahemifar, K. (2014). A survey on Advanced Metering Infrastructure. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 63, 473–484. <https://doi.org/10.1016/J.IJEPES.2014.06.025>
- [5] Palaniappan, Satish & Asokan, Raghul & Bharathwaj, Srinivas & Sujaudeen, N.. (2015). Automated Meter Reading System - A Study. *International Journal of Computer Applications*. 116. 39-46. 10.5120/20440-2783.
- [6] Crainic, Monica. (2016). A SHORT OVERVIEW OF ADVANCED METERING READING SYSTEMS FOR ELECTRICITY METERS PART I SMART METER READING SYSTEMS.
- [7] Hassan, A., Afrouzi, H. N., Siang, C. H., Ahmed, J., Mehrazamir, K., & Wooi, C. L. (2022). A survey and bibliometric analysis of different communication technologies available for smart meters. *Cleaner Engineering and Technology*, 7, 100424. <https://doi.org/10.1016/J.CLET.2022.100424>
- [8] Διπλωματική Εργασία: «Μελέτη τηλεπικοινωνιακών δικτύων συλλογής δεδομένων από δίκτυα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και νερού», Γιάννης Μαργαρίτης
- [9] M. Barbiroli, F. Fuschini, G. Tartarini and G. E. Corazza, "Smart Metering Wireless Networks at 169 MHz," in *IEEE Access*, vol. 5, pp. 8357-8368, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2694853.
- [10] Καραπάνος, Α. (2008), Τεχνολογία Φυσικού Αερίου. Εκδόσεις Ίων, Αθήνα
- [11] <https://www.depa.gr/history/>
- [12] <https://www.desfa.gr/national-natural-gas-system/transmission>
- [13] <https://www.desfa.gr/national-natural-gas-system/lng-facility>
- [14] Savickis, J., Zemite, L., Bode, I. and Jansons, L.. "Natural Gas Metering and its Accuracy in the Smart Gas Supply Systems" *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol.57, no.5, 2020, pp.39-50. <https://doi.org/10.2478/lpts-2020-0026>
- [15] F. Abate, D. D. Caro, G. D. Leo, A. Pietrosanto and V. Paciello, "Smart meters communication using Gas pipelines as channel: feasibility study," 2019 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/I2MTC.2019.8826929.
- [16] W. Muhlbauer. Pipeline risk management manual: ideas, techniques, and resources. Gulf Professional Publishing, 2004.

- [17] IEEE Ieee standard for scada and automation systems. IEEE Std C37.1-2007 (Revision of IEEE Std C37.1-1994), pages 1\_143, May 2008. doi: 10.1109/IEEESTD. 2008.4518930.
- [18] IGDAS. IGDAS, RMS Operating Manuel, 2012. IGDAS, 2012.
- [19] P. Roberts. Gas sales and gas transportation agreements: principles and practice. Sweet & Maxwell, 2011.
- [20] British-Standard-Institution. Communication systems for and remote reading of meters. dedicated application layer. General principles and application for communications system, pages 1\_156, 2013.
- [21] L. Montuori, M. Alcázar-Ortega, I. Mansó-Borràs and C. Vargas-Salgado, "Communication technologies in smart grids of natural gas: new challenges," 2020 Global Congress on Electrical Engineering (GC-ElecEng), 2020, pp. 101-105, doi: 10.23919/GC-ElecEng48342.2020.9286281.