



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Μελέτη συστήματος συλλογής μετρήσεων από το δίκτυο ύδρευσης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αθανασία Μπαλακέρα

Επιβλέπων : Παναγιώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Μελέτη συστήματος συλλογής μετρήσεων από το δίκτυο ύδρευσης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αθανασία Μπαλακέρα

Επιβλέπων : Παναγιώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 26^η Σεπτεμβρίου 2022

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

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

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

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2022

.....

Αθανασία Μπαλακέρα

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

Copyright © Αθανασία Μπαλακέρα, 2022

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

Καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται, αυξάνεται και η ζήτηση για νερό και η αυξανόμενη λειψυδρία αποτελεί πρόκληση για τον παγκόσμιο τομέα του νερού. Είναι επιτακτική ανάγκη να ληφθούν μέτρα μεγάλης κλίμακας προκειμένου να καταστεί περισσότερο βιώσιμη η κατανάλωση νερού και οι τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών, όπως οι έξυπνοι μετρητές και τα έξυπνα δίκτυα, έχουν δείξει μεγάλες δυνατότητες. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη ενός πιλοτικού έργου της ΕΥΔΑΠ. Κατά το έργο αυτό θα γίνει μετατροπή του υπάρχοντος δικτύου ύδρευσης σε έξυπνο ώστε οι μετρήσεις που συλλέγονται από τα φρεάτια να αποστέλλονται απευθείας στους κεντρικούς υπολογιστές της ΕΥΔΑΠ από απόσταση χωρίς την παρεμβολή ανθρώπινου παράγοντα.

Στο Κεφάλαιο 1 αναλύονται τα είδη δικτύου διανομής νερού και περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας των δικτύων ύδρευσης ενδεικτικά στις Η.Π.Α. και στη Σουηδία. Τέλος, εξηγείται πώς λειτουργεί το δίκτυο ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ και παραθέτονται τα προβλήματα που έχουν προκύψει από αυτόν τον τρόπο λειτουργίας.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται κάποια γενικά χαρακτηριστικά των ευφυών μετρητών τα οποία στη συνέχεια εστιάζουν στους ευφυείς μετρητές στο δίκτυο ύδρευσης. Τέλος, αναλύονται οι προδιαγραφές των ευφυών μετρητών που έχουν επιλεγεί να χρησιμοποιηθούν στο πιλοτικό έργο.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται ανάλυση των δικτύων LPWA και των πρωτοκόλλων που θα χρησιμοποιηθούν στο πιλοτικό έργο. Τα πρωτόκολλα αυτά είναι το M-Bus, το LoRa/LoRaWAN και το NB-IoT.

Στο Κεφάλαιο 4 αναλύεται το πιλοτικό έργο, δηλαδή η αρχιτεκτονική του, ενώ παράλληλα περιγράφεται η δομή και η λειτουργία των φρεατίων του πιλοτικού έργου. Τέλος, παρουσιάζονται κάποια προβλήματα και συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Λέξεις κλειδιά: Δίκτυα ύδρευσης, Ευφυείς μετρητές, Ευφυή δίκτυα, LPWAN, M-Bus, LoRa/LoRaWAN, NB-IoT, IoT

Abstract

As the world's population grows, so does the demand for water, and increasing water scarcity poses a challenge to the global water sector. Large-scale action is imperative to make water consumption more sustainable, and information and communication technologies such as smart meters and smart grids have shown great potential. The purpose of this thesis is to study a pilot project of EYDAP. During this project, the existing water supply network will be converted into a smart one so that the measurements collected from the wells can be sent directly to the main computers of EYDAP remotely without the intervention of a human factor.

In Chapter 1, the types of water distribution network are analyzed and the mode of operation of water supply networks is described, indicatively in the USA and in Sweden. Finally, it explains how the EYDAP water supply network works and lists the problems that have arisen from this mode of operation.

Chapter 2 presents some general features of smart meters and then focuses on smart meters in the water network. Finally, the specifications of the smart meters chosen to be used in the pilot project are analyzed.

Chapter 3 analyzes the LPWA networks and the protocols chosen to be used in the pilot project. These protocols are M-Bus, LoRa/LoRaWAN and NB-IoT.

In Chapter 4, the pilot project is analyzed, i.e. its architecture, while at the same time the structure and operation of the wells of the pilot project are described. Finally, some problems and conclusions arising from the study of this thesis are presented.

Key words: Water distribution network, Smart meters, Smart grid, LPWAN, M-Bus, LoRa/LoRaWAN, NB-IoT, IoT

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Παναγιώτη Κωττή, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τον ευχαριστώ, επίσης, για τις ευκαιρίες και τις συμβουλές που μου προσέφερε, οι οποίες θα με συνοδεύουν στην πορεία μου ως μηχανικός. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, που με στήριξε τόσο κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου όσο και κατά τη συγγραφή της εργασίας μου, αλλά και τους φίλους και συμφοιτητές μου που μου προσέφεραν αξέχαστες εμπειρίες στα φοιτητικά μου χρόνια.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	5
Abstract.....	6
Ευχαριστίες	7
Πίνακας περιεχομένων	9
Ευρετήριο Σχημάτων	11
Ευρετήριο Πινάκων	13
Κατάλογος Συντμήσεων.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Δίκτυα Ύδρευσης.....	16
1.1 Εισαγωγή.....	16
1.2 Δίκτυο Διανομής Νερού	16
1.2.1 Σύστημα Διανομής Αδιέξοδου ή Δένδρου	16
1.2.2 Σύστημα Διανομής Gridiron	17
1.2.3 Σύστημα Διανομής Κυκλικό ή Δακτυλίου	18
1.2.4 Σύστημα Διανομής Ακτινικό	19
1.3 Παγκόσμιο.....	19
1.3.1 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	19
1.4 Ευρώπη.....	24
1.4.1 Σουηδία	24
1.5 Δίκτυο ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ.....	25
1.5.1 Τρόπος Λειτουργίας	25
1.5.2 Προβλήματα	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Δίκτυο ευφύων μετρητών	30
2.1 Εισαγωγή.....	30
2.2 Χαρακτηριστικά των Ευφύων Μετρητών	30
2.3 Ευφυείς Μετρητές στο δίκτυο ύδρευσης.....	35
2.4 Χαρακτηριστικά και προδιαγραφές των Ευφύων Μετρητών στο πιλοτικό έργο	37
2.4.1 Sensus iPERL	37
2.4.2 Kamstrup MULTICAL® 21/flowIQ® 2101	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Τεχνολογίες Δικτύου Ευφύων Μετρητών	46
3.1 Εισαγωγή.....	46

3.2	Δίκτυα LPWA	46
3.3	M - Bus.....	47
3.4	LoRa/LoRaWAN	51
3.5	NB-IoT.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Πιλοτικό Έργο		60
4.1	Εισαγωγή.....	60
4.2	Αρχιτεκτονική του Έργου	60
4.3	Δομή και Λειτουργία Φρεατίων.....	65
4.4	Προβλήματα και Συμπεράσματα	68
Βιβλιογραφία και Αναφορές		69

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1.1 Δίκτυο διανομής Αδιέξοδου (dead end) ή Δέντρου	17
Σχήμα 1.2 Δίκτυο διανομής Gridiron	18
Σχήμα 1.3 Δίκτυο διανομής κυκλικό ή Δακτυλίου	19
Σχήμα 1.4 Δίκτυο διανομής Ακτινικό	19
Σχήμα 1.5 Τυπικός αστικός κύκλος νερού	20
Σχήμα 1.6 Εκτιμώμενη χρήση νερού στις ΗΠΑ το 2015	22
Σχήμα 1.7 Αποτελέσματα ερευνών για κοστολόγηση νερού	23
Σχήμα 1.8 Αποτελέσματα ερευνών για απώλειες νερού	23
Σχήμα 1.9 Αποτελέσματα ερευνών για Smart Metering	24
Σχήμα 1.10 Ένα σύστημα SCADA	28
Σχήμα 2.1 Έξυπνο δίκτυο σε τοπολογία πλέγματος	31
Σχήμα 2.2 Έξυπνο δίκτυο σε τοπολογία αστέρα	31
Σχήμα 2.3 Έξυπνο δίκτυο τοπολογίας δέντρου	32
Σχήμα 2.4 Τρόπος λειτουργίας ενός AMI συστήματος	34
Σχήμα 2.5 Αρχιτεκτονική Smart Water από τη SWAN	36
Σχήμα 2.6 Τρόπος λειτουργίας των SWM	37
Σχήμα 2.7 Μετρητής Sensus iPERL	38
Σχήμα 2.8 Διάγραμμα διαστάσεων μετρητή iPERL	39
Σχήμα 2.9 Η λειτουργία της μαγνητικής τεχνολογίας του iPERL	40
Σχήμα 2.10 Μετρητής Kamstrup MULTICAL 21/flowIQ 2101	41
Σχήμα 2.11 Διαφορετικοί τύποι του μετρητή MULTICAL 21/flowIQ 2101	43
Σχήμα 2.12 Επιλογές πακέτων δεδομένων που θα εμφανίζει ο μετρητής	44
Σχήμα 2.13 Εφαρμογή READyτης Kamstrup	45
Σχήμα 3.1 Θέση LPWAN συγκριτικά με άλλες κατηγορίες δικτύων	46
Σχήμα 3.2 Δυνατότητες LPWAN	47
Σχήμα 3.3 Μοντέλο OSI για Wireless M-Bus	48
Σχήμα 3.4 Μοντέλο εγκατάστασης M-Bus συστήματος σε νοικοκυριό	50
Σχήμα 3.5 Μοντέλο OSI για το δίκτυο LoRaWAN	53
Σχήμα 3.6 Αρχιτεκτονική ενός δικτύου τεχνολογίας LoRa	53
Σχήμα 3.7 Λειτουργίες TAU και PSM	56
Σχήμα 3.8 Επίπεδα Εσωτερικής κάλυψης	56
Σχήμα 3.9 Μετάδοση δεδομένων σε ένα NB-IoT δίκτυο	59
Σχήμα 3.10 Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου αναφοράς OSI για το δίκτυο IoT	59
Σχήμα 4.1 Αρχιτεκτονική δομή δικτύου ΕΥΔΑΠ για αραιοκατοικημένες περιοχές (1-level clustering)	61
Σχήμα 4.2 Αρχιτεκτονική δομή δικτύου ΕΥΔΑΠ για πυκνοκατοικημένες περιοχές (2-level clustering)	63
Σχήμα 4.3 Αρχιτεκτονική δομή δικτύου ΕΥΔΑΠ για εξαρχής σχεδίαση και κατασκευή των ευφυών μετρητών	64
Σχήμα 4.4 Αναβάθμιση φρεατίου οικιακού μετρητή σε dummy φρεάτιο εγκατάστασης LA/LG	65
Σχήμα 4.5 Υλοποίηση νέου dummy φρεατίου εγκατάστασης LA/LG	65

Σχήμα 4.6 Διαστάσεις και Μορφολογία της γεννήτριας επαναφορτιζόμενης γεννήτριας μικροϋδροτροβίλου WTG3T100 με LiFePO4 1500mAh και έξοδο 6Vdc της KINETRON.....	66
Σχήμα 4.7 Η συσκευή για την εφαρμογή παρακολούθησης μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης σε φρεάτια	67
Σχήμα 4.8 Σχηματικό διάγραμμα επικοινωνίας συστήματος	67
Σχήμα 4.9 Εικόνα από την εγκατάσταση των αισθητήρων παραβίασης φρεατίων στο Πόρτο Ράφτη.....	67
Σχήμα 4.10 Κατάσταση αισθητήρα «κλειστού» καπακιού φρεατίου	68

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1 Πίνακας διαστάσεων μετρητή.....	38
Πίνακας 2.2 Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών μετρητή	40
Πίνακας 2.3 Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών μετρητή MULTICAL 21/flowIQ 2101	42
Πίνακας 3.1 Πίνακας λειτουργιών του M-Bus με βάση το μοντέλο αναφοράς ISO-OSI	49
Πίνακας 3.2 Πίνακας λειτουργιών και συχνοτήτων του M-Bus	51
Πίνακας 3.3 Πίνακας σύγκρισης προτύπων LoRa και NB-IoT.....	57

Κατάλογος Συντμήσεων

2G/3G/4G/5G – 2nd/3rd/4th/5th Generation
3GPP – 3rd Generation Partnership Project
ABP – Activation By Personalization
ADR – adaptive Data Rate
AES – Advanced Encryption Standard
AI – Artificial Intelligence
AMI – Advanced Metering Infrastructure
AMR – Automated Meter Reading
BPL – Broadband over Power Line
CE – Coverage Enhancement
CSS – Chirp Spread Spectrum
eDRX – Extended Discontinuous Reception
ERP – Effective Radio Power
ETSI – European Telecommunications Standards Institute
FEC – Forward Error Correction
FFD – Full Function Device
GIS – Geographic Information System
GSM – Global System for Mobile communication
HTTP – Hypertext Transfer Protocol
HTTPS – Hypertext Transfer Protocol Secure
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT – Internet of Things
IP – Internet Protocol
IPv4, IPv6 – Internet Protocol versus 4, 6
ISM – Industrial, Scientific and Medical radio bands
IT – Information Technology
LA/LG – Local Aggregator / Local Gateway
LAN – Local Area Network
LoRa – Long Range
LoRaWAN – Long Range Wide Area Network
LPWAN – Low Power Wide Area Network
LTE – Long Term Evolution
LTE-M (LTE-MTC) – Long Term Evolution for Machine Type Communication
LWM2M – Light Weight Machine-to-Machine protocol
M2M – Machine to Machine
MAC – Media Access Control
M-Bus – Meter Bus
MDMS – Meter Data Management System
MID – Molded Interconnected Device / Measuring Instruments Directive
MQTT – Message Queue Telemetry Transport
MTC – Machine Type Communication
NB-IoT – Narrow Band Internet of Things
NFC – Near Field Communication
NRW – Non-Revenue Water
OSI – Open Systems Interconnections
OTAA – Over The Air Activation

PLC – Power Line Communications
PSM – Power Saving Mode
RF – Radio Frequency
RFD – Reduced Function Device
SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition
SG – Smart Grid
SIM – Subscriber Identity Module
SWAN – Smart Water Networks Forum
SWM – Smart Water Meters
TAU – Tracking Area Update
TCP – Transmission Control Protocol
UDP – User Datagram Protocol
UE – User Equipment
USGS – U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey
Wi-Fi – Wireless Fidelity
XMPP – Extensible Messaging and Presence Protocol
ΔΔΕ – Δημόσια Δίκτυα Επικοινωνιών
ΔΕΔΔΗΕ – Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΔΕΥΑ – Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης
ΔΥ/ΕΥΔΑΠ – Δίκτυο Ύδρευσης / Εταιρία Υδρεύσεως και Αποχετεύσεως Πρωτεύουσας
ΕΕΥ – Ελληνική Εταιρία Υδάτων των Πόλεων Αθηνών – Πειραιώς και περιχώρων
ΗΕ – Ηλεκτρική Ενέργεια
ΜΕΝ – Μονάδες Επεξεργασίας Νερού
ΟΠΑ – Οργανισμός Αποχετεύσεως Πρωτεύουσας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Δίκτυα Ύδρευσης

1.1 Εισαγωγή

Η βιομηχανία ύδρευσης κατά μεγάλο ποσοστό παγκοσμίως, ανήκει στον παραδοσιακό τρόπο λειτουργίας, αλλά τείνει να υιοθετήσει έξυπνες λύσεις και να προσαρμοστεί ταχέως στη νέα αναγκαιότητα της έξυπνης μέτρησης.

1.2 Δίκτυο Διανομής Νερού

Τα δίκτυα είναι ένα σύστημα σωλήνων και χαρακωμάτων, τα οποία παρέχουν την κατάλληλη ποιότητα και ποσότητα του νερού σε μια κοινότητα. Η κατασκευή και η διάταξη του δικτύου πρέπει να προετοιμαστούν προσεκτικά προκειμένου να εξασφαλιστεί τόσο η επαρκής πίεση όσο και η υγειονομική ασφάλεια του νερού. Με την κατασκευή του δικτύου πρέπει να διασφαλιστεί και η συντήρηση αυτού συμπεριλαμβανομένης της επισκευής, του ελέγχου ενδεχόμενων διαρροών και της αποφυγής επαναμόλυνσης του νερού.

Για να θεωρείται ένα δίκτυο διανομής νερού επαρκές, πρέπει να πληροί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

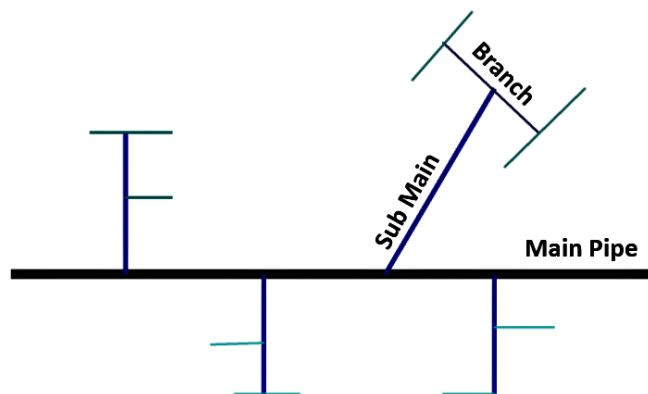
- Η ποιότητα του νερού δεν πρέπει να υποβαθμίζεται όσο αυτό βρίσκεται στους σωλήνες διανομής.
- Το σύστημα πρέπει να είναι ικανό να παρέχει νερό σε όλα τα προβλεπόμενα σημεία με επαρκή ποσότητα πίεσης κεφαλής.
- Πρέπει να είναι ικανό να παρέχει την απαιτούμενη ποσότητα νερού κατά τη διάρκεια της πυρόσβεσης.
- Η διάταξη πρέπει να είναι τέτοια ώστε κανένας καταναλωτής να μην μένει χωρίς παροχή νερού κατά την επισκευή οποιουδήποτε τμήματος του συστήματος.
- Όλοι οι σωλήνες διανομής πρέπει κατά προτίμηση να τοποθετούνται ένα μέτρο από ή πάνω από τις γραμμές αποχέτευσης.
- Πρέπει να είναι αρκετά στεγανό για να περιορίζονται στο ελάχιστο οι απώλειες - π.χ. λόγω διαρροής.

Υπάρχουν τέσσερις κύριες μέθοδοι για το σχεδιασμό ενός συστήματος διανομής:

- αδιέξοδο (dead end) ή σύστημα δέντρων
- σύστημα Gridiron
- σύστημα κυκλικό ή δακτυλίου
- ακτινικό σύστημα

1.2.1 Σύστημα Διανομής Αδιέξοδου ή Δένδρου

Στο αδιέξοδο σύστημα, ή αλλιώς σύστημα δέντρων, ένας κύριος αγωγός διασχίζει το κέντρο της κατοικημένης περιοχής και οι βοηθητικοί αγωγοί διακλαδίζονται από αυτόν και από τις δύο πλευρές. Τα υποδίκτυα χωρίζονται σε πολλές γραμμές-διακλαδώσεις από τις οποίες παρέχονται συνδέσεις υπηρεσιών.



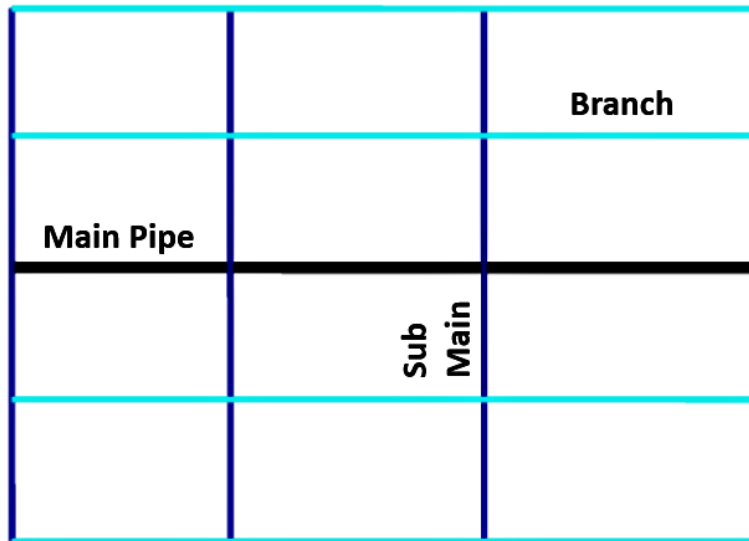
Σχήμα 1.1: Δίκτυο διανομής Αδιέξοδου (dead end) ή Δέντρου

Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος διανομής είναι καταρχάς ο απλός και εύκολος υπολογισμός του σχεδιασμού του σε συνδυασμό με την απλή τοποθέτηση των σωλήνων. Παράλληλα, απαιτεί μικρό αριθμό βαλβίδων αποκοπής και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι χαμηλό.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα του συστήματος αυτού, είναι λιγότερο επιτυχημένο στη διατήρηση ικανοποιητικής πίεσης σε απομακρυσμένες περιοχές και ως εκ τούτου δεν ευνοεί τη σύγχρονη πρακτική των υδάτινων έργων. Επίσης, είναι αρκετά επίφοβο το γεγονός ότι ολόκληρη η πόλη στηρίζει την παροχή της σε νερό από ένα μόνο κεντρικό αγωγό. Η απώλεια κεφαλής είναι σχετικά υψηλή, απαιτώντας μεγαλύτερη διάμετρο σωλήνα ή/και μεγαλύτερες χωρητικότητες για μονάδες άντλησης. Συγχρόνως, τα αδιέξοδα στα τερματικά γραμμής ενδέχεται να επηρεάσουν την ποιότητα του νερού επιτρέποντας την καθίζηση και ενθαρρύνοντας την ανάπτυξη βακτηρίων λόγω στασιμότητας. Έτσι, απαιτείται μεγάλος αριθμός βαλβίδων καθαρισμού στα αδιέξοδα αυτά, οι οποίες πρέπει να ανοίγονται περιοδικά για την απομάκρυνση του παλαιότερου νερού και των ιζημάτων. Τέλος, η διαθέσιμη παροχή για την πυρόσβεση στους δρόμους είναι περιορισμένη λόγω της μεγάλης απώλειας κεφαλής σε περιοχές με ασθενή πίεση.

1.2.2 Σύστημα Διανομής Gridiron

Σε αυτό το σύστημα η κύρια γραμμή τροφοδοσίας διατρέχει το κέντρο της περιοχής και οι βοηθητικές γραμμές διακλαδίζονται σε κάθετες κατευθύνσεις. Οι γραμμές διακλάδωσης διασυνδέουν τα υποδίκτυα. Αυτό το σύστημα είναι ιδανικό για πόλεις οι οποίες βρίσκονται σε ορθογώνια κάτοψη που μοιάζει με πλέγμα. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτού του συστήματος είναι ότι όλοι οι σωλήνες είναι διασυνδεδεμένοι και δεν υπάρχουν αδιέξοδα. Το νερό μπορεί να φτάσει σε ένα δεδομένο σημείο απόσυρσης από διάφορες κατευθύνσεις, γεγονός που καθιστά τη λειτουργία του περισσότερο ευέλικτη, ιδιαίτερα όταν απαιτούνται επισκευές.



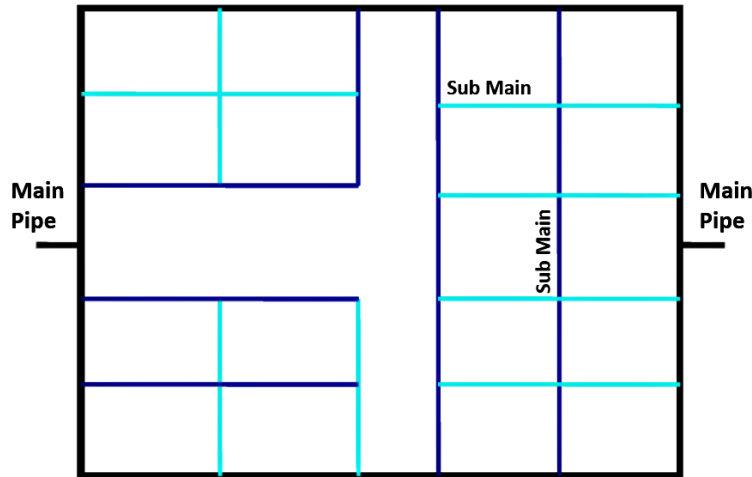
Σχήμα 1.2: Δίκτυο διανομής Gridiron

Τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους δικτύου είναι η ελεύθερη κυκλοφορία του νερού χωρίς καμία στασιμότητα ή απόθεση ιζημάτων και η οποία ελαχιστοποιεί τις πιθανότητες μόλυνσης. Επίσης, λόγω των διασυνδέσεων, το νερό είναι διαθέσιμο σε κάθε σημείο με ελάχιστη απώλεια κεφαλής και συνεπώς υπάρχει αρκετό νερό στους πυροσβεστικούς κρουνούς του δρόμου, καθώς ο κρουός αντλεί νερό από τις διάφορες γραμμές διακλάδωσης. Παράλληλα, κατά τη διάρκεια των επισκευών, επηρεάζεται μόνο μια μικρή περιοχή διανομής.

Τα μειονεκτήματα του συστήματος Gridiron είναι η απαίτηση όχι μόνο μεγάλου αριθμού βαλβίδων αποκοπής, αλλά και μεγαλύτερων μηκών σωλήνων με μεγαλύτερες διαμέτρους. Τέλος, η ανάλυση της εκκένωσης, της πίεσης και των ταχυτήτων στους σωλήνες είναι δύσκολη και επίπονη, ενώ το κόστος τοποθέτησης σωλήνων αρκετά υψηλό.

1.2.3 Σύστημα Διανομής Κυκλικό ή Δακτυλίου

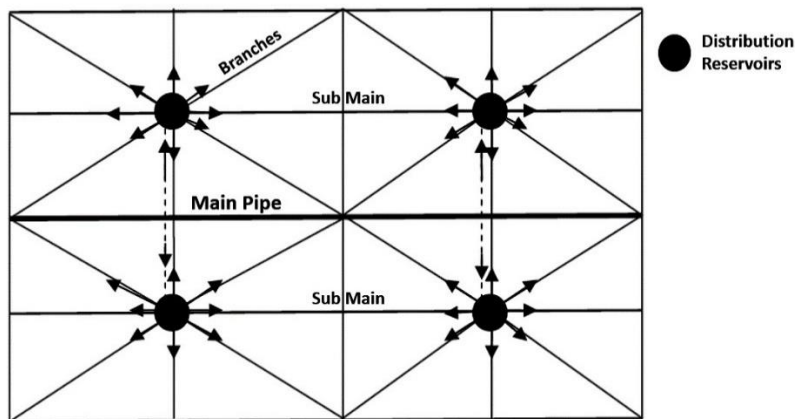
Σε ένα κυκλικό ή δακτυλιοειδές σύστημα, η κύρια παροχή σχηματίζει ένα δακτύλιο γύρω από την περιοχή διανομής. Οι κλάδοι συνδέονται σταυρωτά με το δίκτυο αλλά και μεταξύ τους. Αυτό το σύστημα είναι περισσότερο αξιόπιστο για μια πόλη με καλά σχεδιασμένους δρόμους. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι τα ίδια με αυτά του συστήματος Gridiron. Ωστόσο, σε περίπτωση πυρκαγιάς, υπάρχει μεγαλύτερη ποσότητα νερού και το μήκος του δικτύου διανομής είναι πολύ μεγαλύτερο.



Σχήμα 1.3: Δίκτυο διανομής Κυκλικό ή Δακτυλίου

1.2.4 Σύστημα Διανομής Ακτινικό

Σε αυτό το σύστημα, ολόκληρη η περιοχή χωρίζεται σε έναν αριθμό περιοχών διανομής. Κάθε περιοχή έχει μια κεντρική δεξαμενή διανομής (υπερυψωμένη) από όπου οι σωλήνες διανομής εκτείνονται ακτινικά προς την περιφέρεια της περιοχής διανομής. Αυτό το σύστημα παρέχει γρήγορη εξυπηρέτηση, χωρίς μεγάλη απώλεια κεφαλής, ενώ οι υπολογισμοί σχεδιασμού είναι πολύ απλούστεροι [1].



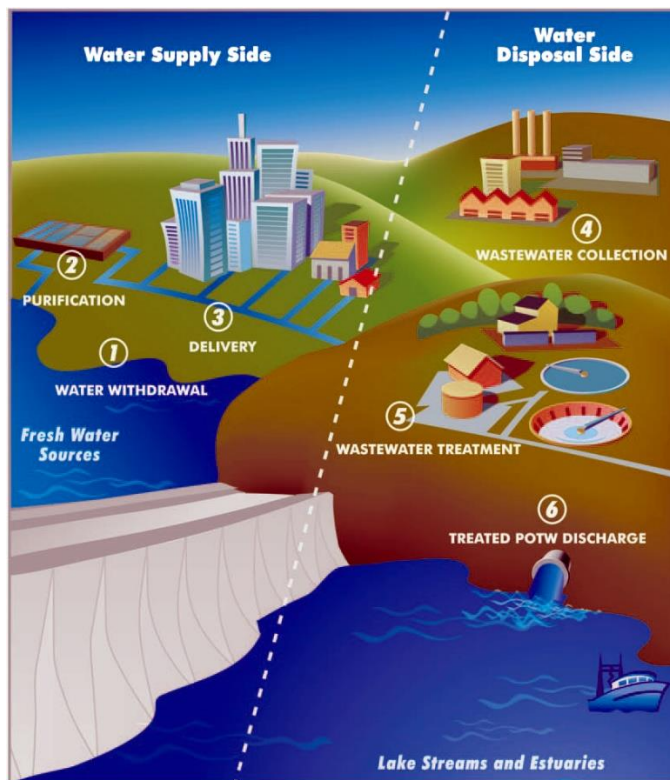
Σχήμα 1.4: Δίκτυο διανομής Ακτινικό

1.3 Παγκόσμιο

1.3.1 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Η κεντρική υποδομή παροχής πόσιμου νερού στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής αποτελείται από φράγματα και δεξαμενές, κοιτάσματα πηγαδιών, αντλιοστάσια, υδραγωγεία για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων νερού σε μεγάλες αποστάσεις, εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού, δεξαμενές στο σύστημα διανομής νερού (συμπεριλαμβανομένων των πύργων νερού) και 1,8 εκατομμύρια μίλια γραμμών διανομής [2]. Αυτά τα στοιχεία μπορεί να υπάρχουν σε ένα συγκεκριμένο σύστημα παροχής νερού είτε όλα είτε ορισμένα αντίστοιχα με τη θέση και την ποιότητα της πηγής νερού. Παράλληλα, περισσότερα από 13 εκατομμύρια νοικοκυριά βασίζονται

και σε δικές τους πηγές νερού, συνήθως πηγάδια, πέρα από την κεντρική υποδομή διανομής νερού [3], [4].



Σχήμα 1.5: Τυπικός αστικός κύκλος νερού

Όσον αφορά τις πηγές νερού, περίπου το 66% του πληθυσμού των ΗΠΑ εξυπηρετούνται από συστήματα επιφανειακών υδάτων και το 34% εξυπηρετούνται από συστήματα τα οποία τροφοδοτούνται από υπόγεια ύδατα από το 2009. Από τη μία τα περισσότερα συστήματα υπόγειων υδάτων βρίσκονται σε μικρές κοινότητες και αποτελούν το 90% του συνολικού πληθυσμού των δημόσιων υδάτινων συστημάτων [5]. Από την άλλη για να λειτουργεί ένα σύστημα επιφανειακών υδάτων χωρίς διήθηση, πρέπει να πληροί ορισμένα κριτήρια που ορίζονται από την EPA (Environmental Protection Agency) σύμφωνα με τον Κανόνα Επεξεργασίας Επιφανειακών Υδάτων του 2006, συμπεριλαμβανομένης της εφαρμογής ενός προγράμματος ελέγχου λεκάνης απορροής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το σύστημα ύδρευσης της Νέας Υόρκης, το οποίο έχει εκπληρώσει επανειλημμένα τα προαναφερθέντα κριτήρια για το μεγαλύτερο μέρος του νερού που επεξεργάζεται μέσω των εγκαταστάσεων του.

Οι τρόποι με τους οποίους τροφοδοτείται κάθε πόλη στις ΗΠΑ είναι οι ακόλουθοι:

- από επιφανειακά ύδατα χωρίς διήθηση:

Αξίζει να σημειωθεί ότι η Βοστώνη, η πόλη της Νέας Υόρκης, το Σαν Φρανσίσκο, το Ντένβερ και το Πόρτλαντ του Όρεγκον είναι από τις μεγάλες πόλεις στις ΗΠΑ όπου δεν χρειάζεται να επεξεργάζονται τις περισσότερες από τις πηγές επιφανειακών υδάτων τους πέρα από απολύμανση, καθώς οι πηγές νερού τους βρίσκονται στα ανώτερα όρια των προστατευόμενων λεκανών απορροής και επομένως είναι από τη φύση τους πολύ καθαρές. Σε αυτόν τον τρόπο τροφοδοσίας εντάσσεται και η λήψη πόσιμου νερού εξολοκλήρου ή σε μεγάλο ποσοστό από το λιώσιμο του χιονιού.

- από επιφανειακά ύδατα με επεξεργασία νερού:

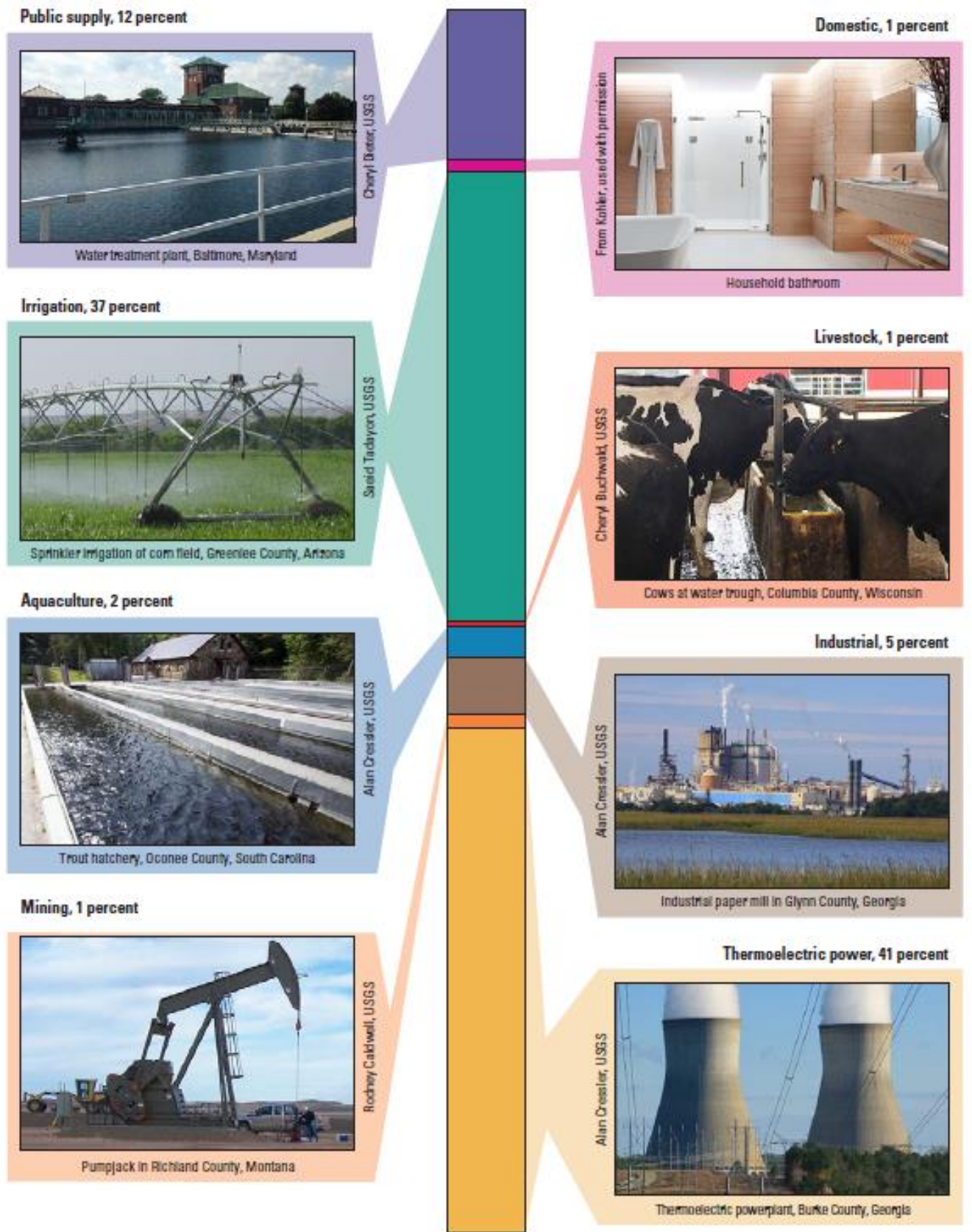
Οι πόλεις, οι οποίες βασίζονται σε περισσότερο ή λιγότερο μολυσμένα επιφανειακά ύδατα από τις χαμηλότερες ροές των ποταμών, πρέπει να στηριχτούν σε εκτεταμένες και δαπανηρές εγκαταστάσεις καθαρισμού νερού.

- από υπόγεια ύδατα
- από ένα μίγμα υπόγειων και επιφανειακών υδάτων
- από περισυλλογή βρόχινου νερού:

Στο Κολοράντο από το 2009 και ύστερα οι ιδιοκτήτες οικιστικών αγαθών οι οποίοι πληρούν ορισμένα κριτήρια μπορούν να λάβουν άδεια εγκατάστασης συστήματος συλλογής βροχοπτώσεων στον τελευταίο όροφο [6]. Ο κύριος παράγοντας που επηρέασε το νομοθετικό σώμα του Κολοράντο για τη θέσπιση αυτού του νόμου ήταν μια μελέτη του 2007 στην οποία διαπιστώθηκε ότι σε ένα μέσο χρόνο, το 97% της ποσότητας του νερού των βροχοπτώσεων που έπεφταν στην κομητεία Ντάγκλας δεν κατέληγε σε κάποιο ρέμα, αλλά καταναλωνόταν από φυτά ή εξατμιζόταν από το έδαφος. Επίσης, σε κάποιες πολιτείες η συλλογή όμβριων υδάτων είναι υποχρεωτική, ενώ σε άλλες προσφέρεται απαλλαγή από το φόρο επί των πωλήσεων για την αγορά εξοπλισμού συλλογής βρόχινου νερού.

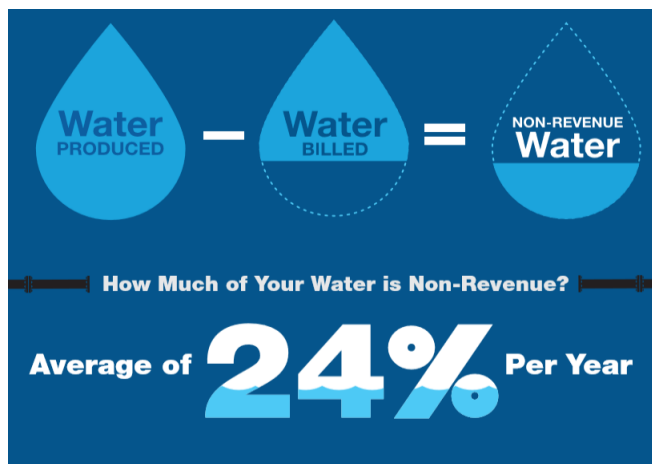
Όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα 1.6, σύμφωνα με την έκθεση του USGS (U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey) οι συνολικές αναλήψεις νερού στις ΗΠΑ για το 2015 υπολογίστηκαν για οκτώ κατηγορίες χρήσης:

- δημόσια προμήθεια 12%
- οικιακή αυτοπρομήθεια 1%
- άρδευση 37%
- κτηνοτροφία 1%
- υδατοκαλλιέργεια 2%
- βιομηχανία 5%
- εξόρυξη 1%
- θερμοηλεκτρική ενέργεια 41% [7]

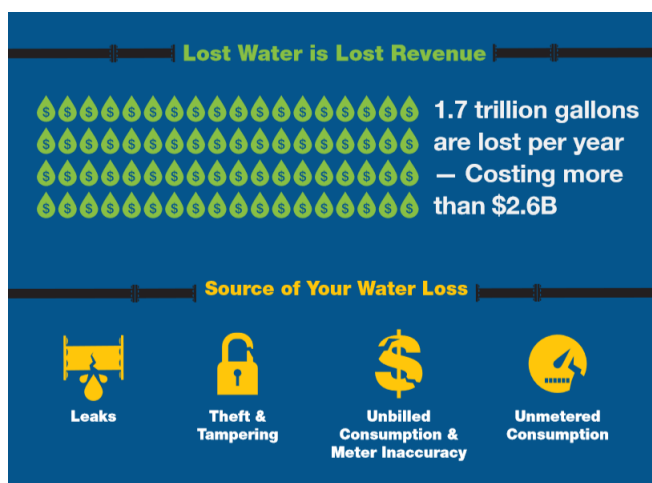


Σχήμα 1.6: Εκτιμώμενη χρήση νερού στις ΗΠΑ το 2015

Παράλληλα, σύμφωνα με μελέτες, το 24% του ετήσιου νερού στην Αμερική δεν κοστολογείται, καθώς χάνεται είτε λόγω διαρροών στο δίκτυο ύδρευσης, είτε λόγω κλοπών νερού και δημιουργία ανωνύμων συνδέσεων, είτε λόγω ανακριβών μετρήσεων. Το χρηματικό αντίκτυπο αυτής της απώλειας νερού ανέρχεται στα 2,6 δισεκατομμύρια δολάρια.

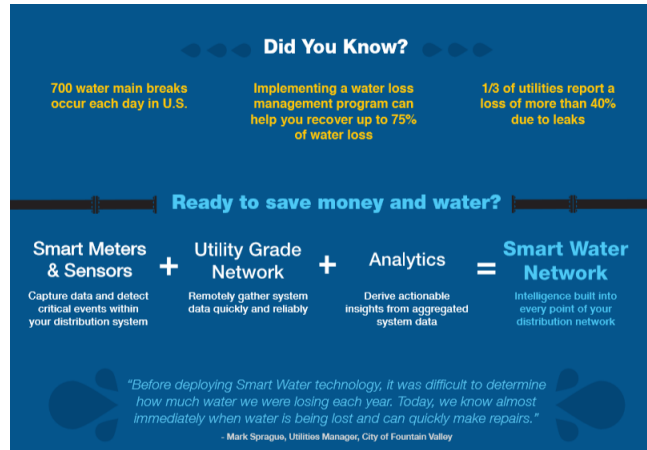


Σχήμα 1.7: Αποτελέσματα ερευνών για κοστολόγηση νερού



Σχήμα 1.8: Αποτελέσματα ερευνών για απώλειες νερού

Όπως είναι, λοιπόν, φυσικό ένα δίκτυο ύδρευσης με τέτοια πολυπλοκότητα και έκταση απαιτεί συνεχώς έλεγχο προκειμένου να αντιμετωπίζονται έγκαιρα ενδεχόμενες δυσλειτουργίες και βλάβες. Έτσι, εξελίχθηκε το ήδη υπάρχον δίκτυο σε έξυπνο, αφού πλέον αποτελείται από έξυπνους μετρητές και αισθητήρες και ένα σύστημα ανάλυσης των δεδομένων που προέρχονται από τους μετρητές αυτούς.



Σχήμα 1.9: Αποτελέσματα ερευνών για Smart Metering

1.4 Ευρώπη

1.4.1 Σουηδία

Η Σουηδία είναι μια χώρα η οποία γενικά δεν αντιμετωπίζει λειψυδρία και όπου η έρευνα για την έξυπνη μέτρηση νερού βρίσκεται σε εξέλιξη. Τα ευρήματα δείχνουν ότι οι δυνατότητες για μεγάλης κλίμακας εφαρμογή έξυπνων μετρητών νερού στα σουηδικά νοικοκυριά είναι πολύ καλές. Οι σημαντικότεροι παράγοντες είναι ότι ο σουηδικός τομέας νερού είναι ένα ανοιχτό και ευνοϊκό περιβάλλον, ενώ συγχρόνως οι έξυπνοι μετρητές νερού παρέχουν περισσότερες τεχνολογικές ευκαιρίες σε σύγκριση με τους μηχανικούς μετρητές. Δεν είναι τυχαίο εξάλλου το γεγονός ότι θεωρούνται η βέλτιστη λύση για τη μέτρηση του νερού στο μέλλον [8].

Η δημοτική παροχή νερού αποτελεί την κύρια πηγή πόσιμου νερού στη Σουηδία. Το Svenskt Vatten είναι ο κεντρικός οργανισμός για όλες τις εργασίες ύδρευσης και αποχέτευσης στη Σουηδία που διασφαλίζει ότι όλοι έχουν καθαρό νερό στη βρύση και ότι τα λύματα επεξεργάζονται πριν απελευθερωθούν ξανά στον κύκλο του νερού [9]. Το 2015, 8 εκατομμύρια άνθρωποι, ή περίπου το 88% του πληθυσμού της Σουηδίας, λάμβαναν το πόσιμο νερό τους από τη δημοτική παροχή νερού. Το νερό λαμβάνεται τόσο από υπόγειες πηγές, όσο και από επιφανειακά ύδατα όπως λίμνες. Το 2015, τα επιφανειακά ύδατα αντιπροσώπευαν περίπου το 75% του πόσιμου νερού ενώ τα υπόγεια ύδατα ήταν περίπου το 25%. Στη συνέχεια, το νερό καθαρίζεται σε ειδικές μονάδες επεξεργασίας νερού και στους χρήστες μέσω του δικτύου ύδρευσης. Το δημοτικό δίκτυο ύδρευσης στη Σουηδία αποτελείται από περίπου 3.300 έργα και εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού, 20.000 μεγάλα αντλιοστάσια και 200.000km σωλήνες.

Παρ' όλα αυτά, ένα αρκετά σημαντικό ποσοστό του νερού δεν φτάνει στον τελικό προορισμό του, στο χρήστη. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2015, το 76% του παραγόμενου νερού έφτασε στον τελικό χρήστη, ενώ το υπόλοιπο 24% χάθηκε είτε λόγω κάποιας διαρροής, είτε λόγω κλοπής. Ωστόσο, οι απώλειες νερού μειώνονται όσο περνάνε τα χρόνια με αποτέλεσμα σε αντίστοιχη έρευνα το 2019 οι απώλειες να είναι στο 19%. Έτσι, λοιπόν, οι απώλειες νερού σε συνδυασμό με την ανάγκη για εκσυγχρονισμό των εγκαταστάσεων ύδρευσης, την αύξηση του πληθυσμού και την αισθητή πια κλιματική αλλαγή αποτελούν μία πρόκληση για το Svenskt Vatten.

Η λύση για τα προβλήματα αυτά τα έδωσε η «ψηφιοποίηση». Στη Σουηδία η ψηφιοποίηση αυξάνεται συνεχώς, καθώς τα οφέλη γίνονται όλο και περισσότερο εμφανή και γι' αυτό γίνεται προσπάθεια και για τη ψηφιοποίηση του δικτύου ύδρευσης. Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται

η δυνατότητα αποτελεσματικότερης αντιμετώπισης των διαρροών στο δίκτυο και συγχρόνως γίνεται λεπτομερέστερη λήψη δεδομένων σχετικά με την κατανάλωση του νερού από τους τελικούς χρήστες. Αυτές οι πληροφορίες, κατ' επέκταση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις φάσεις και της λειτουργίας, αλλά και του σχεδιασμού του δικτύου. Επίσης, η χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας συμβάλλει στη διαδικασία διερεύνησης των αναγκών χωρητικότητας του σουηδικού δικτύου, βοηθώντας στον εντοπισμό περιοχών με τη μεγαλύτερη ανάγκη επανεπενδύσεων και αυξάνοντας την αποδοτικότητα και την εξοικονόμηση πόρων. Συνεπώς, για όλους αυτούς τους λόγους ο σουηδικός τομέας ύδρευσης επένδυσε αρκετά χρήματα στην εκσυγχρόνιση και ψηφιοποίησή του.

Στα πλαίσια αυτά της ψηφιοποίησης του δικτύου ύδρευσης χρησιμοποιήθηκαν έξυπνοι μετρητές, δηλαδή μία τεχνολογία η οποία μετρά τον όγκο του νερού που καταναλώνεται με την πάροδο του χρόνου και που μπορεί να μεταφέρει δεδομένα χωρίς να χρειάζεται χειροκίνητη παρέμβαση. Βέβαια, ένας έξυπνος μετρητής νερού έχει και άλλες, περισσότερο προηγμένες λειτουργίες, όπως τη δυνατότητα συλλογής και αποστολής δεδομένων και ειδοποιήσεων σε περίπτωση διαρροής. Το έξυπνο σύστημα αυτό αποτελείται από τρεις τύπους τεχνολογιών: συλλογή δεδομένων, μεταφορά δεδομένων και ανάλυση δεδομένων. Η πρώτη κατηγορία, οι τεχνολογίες σύλληψης δεδομένων, αποτελείται από το μετρητή νερού, ο οποίος μετρά τη ροή του νερού και τους καταγραφείς δεδομένων, που αποθηκεύουν τα μετρούμενα. Η δεύτερη κατηγορία, οι τεχνολογίες μεταφοράς δεδομένων, αποτελείται από τεχνολογία που μεταδίδει τα μετρούμενα δεδομένα από το μετρητή νερού και τον καταγραφέα. Η τρίτη κατηγορία, οι τεχνολογίες ανάλυσης δεδομένων, αναφέρεται σε εργαλεία που διευκολύνουν την επεξεργασία και ανάλυση των συλλεγόμενων ακατέργαστων δεδομένων σε χρήσιμες και πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση νερού. Αυτό μπορεί να γίνει με το χέρι ή με τη χρήση διαφορετικών λογισμικών. Τέλος, οι έξυπνοι μετρητές νερού δεν χρησιμοποιούνται μόνο για τον προσδιορισμό της κατανάλωσης νερού μέσω της μέτρησης της ροής του νερού. Ορισμένοι από αυτούς μπορούν να έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος ή/και του νερού, γεγονός που καθιστά δυνατή την πρόβλεψη του κινδύνου ρωγμών στους σωλήνες λόγω, για παράδειγμα, χαμηλών θερμοκρασιών [8].

1.5 Δίκτυο ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ

1.5.1 Τρόπος Λειτουργίας

Η ΕΥΔΑΠ (Εταιρία Υδρεύσεως και Αποχετεύσεως Πρωτευούσης) είναι η μεγαλύτερη εταιρία στην Ελλάδα που δραστηριοποιείται στην αγορά του νερού και ιδρύθηκε το 1980 έπειτα από συγχώνευση της Ανωλύμου Ελληνικής Εταιρίας Υδάτων των Πόλεων Αθηνών – Πειραιώς και περιχώρων (Ε.Ε.Υ.) και του Οργανισμού Αποχετεύσεως Πρωτευούσης (Ο.Π.Α.).

Η ΕΥΔΑΠ προμηθεύεται ακατέργαστο νερό κυρίως από επιφανειακούς υδατικούς πόρους (Μαραθώνας, Υλίκη, Μόρνος, Εύηνος). Από αυτούς τους ταμιευτήρες μόνο εκείνος της Υλίκης είναι φυσικός, ενώ οι υπόλοιποι προήλθαν από την κατασκευή φραγμάτων σε κατάλληλα σημεία στην κοίτη των αντίστοιχων ποταμών Ευήνου, Μόρνου και Χαράδρου (φράγμα Μαραθώνα). Παράλληλα, γίνεται χρήση και υπόγειων υδάτινων πόρων, οι οποίοι αξιοποιούνται με τη λειτουργία 100 γεωτρήσεων συνολικής αντλητικής ικανότητας 70-125 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού περίπου ανά έτος. Με βάση τις σημερινές συνθήκες λειτουργίας, οι πηγές υδροληψίας της ΕΥΔΑΠ μπορούν να διαχωριστούν στους κύριους υδροδότες (Μόρνος, Εύηνος), στους βοηθητικούς (Υλίκη, Μαραθώνας) και στους εφεδρικούς (υπόγειοι υδάτινοι πόροι).

Η μεταφορά του ακατέργαστου νερού από τους ταμιευτήρες και τις γεωτρήσεις στις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού (MEN) γίνεται μέσω ενός εκτενούς δικτύου εξωτερικών υδραγωγείων συνολικού μήκους 495χλμ. Τα υδραγωγεία αυτά μπορούν να χωριστούν στα κύρια (Μόρνου, Υλίκης) συνολικού μήκους 310χλμ., στα ενωτικά (Μόρνου-Υλίκης, Μαραθώνα-Γαλατσίου, Διστόμου) συνολικού μήκους 105χλμ. και στα βοηθητικά συνολικού μήκους 80χλμ. Η ύπαρξη των ενωτικών υδραγωγείων επιτρέπει τον έλεγχο, τη συντήρηση και την επισκευή των δύο κύριων υδραγωγείων με τη δυνατότητα παύσης της λειτουργίας του ενός από τα δύο. Επιπλέον, παρέχουν τη δυνατότητα εναλλακτικών τρόπων εκμετάλλευσης των πηγών υδροληψίας, αντίστοιχα προς τις υδρολογικές συνθήκες και τις ανάγκες κατανάλωσης.

Όσον αφορά τώρα τις MEN, είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς σε αυτές το ακατέργαστο νερό υποβάλλεται σε επεξεργασία που το καθιστά πόσιμο και απαλλαγμένο από μικρόβια, μικροοργανισμούς αλλά και διάφορα στερεά που παρασύρει κατά το πέρασμά του. Για το Λεκανοπέδιο της Αττικής λειτουργούν τέσσερις MEN στο Γαλάτσι, που τροφοδοτεί το κέντρο της Αθήνας και το δήμο του Πειραιά, στο Πολυδένδρι, που τροφοδοτεί τα ανατολικά και βόρεια προάστια της Αθήνας, στις Αχαρνές, που τροφοδοτεί το 60% των περιοχών του Λεκανοπεδίου και ειδικότερα τις περιοχές σε μεγάλο υψόμετρο, και στη Μάνδρα Ασπροπύργου, που τροφοδοτεί το Θριάσιο Πεδίο, τη Σαλαμίνα και τα δυτικά προάστια της Αθήνας. Η αθροιστική διυλιστική ικανότητα των MEN αυτών είναι 1.900.000κ.μ. νερού ημερησίως.

Η μεταφορά του διυλισμένου νερού από τις MEN στους υδρομετρητές των καταναλωτών γίνεται μέσω του δικτύου διανομής πόσιμου νερού. Αυτό το δίκτυο έχει μήκος 9.500χλμ. – κατά αντιστοιχία είναι όσο η απόσταση της Αθήνας από το Τόκιο της Ιαπωνίας – και αποτελείται από αγωγούς, αντλιοστάσια και δεξαμενές πίεσης. Η ΕΥΔΑΠ παρέχει νερό σε περιοχές με υψόμετρο εδάφους από 0 έως και 600 μέτρα από το επίπεδο της θάλασσας, ενώ ο συνολικός αριθμός των υδρομετρητών ανέρχεται σε 2.030.000 περίπου [10].

Η χορήγηση νερού γίνεται με τεχνική εγκατάσταση που συνδέεται σε αγωγό ύδρευσης. Η εγκατάσταση αυτή, στην οποία συμπεριλαμβάνεται και ο υδρομετρητής, ονομάζεται παροχή. Η παροχή συνδέεται μόνιμα με το ακίνητο για την υδροδότηση του οποίου τοποθετήθηκε εξ αρχής, έστω κι αν αυτό αλλάξει κυριότητα και δεν μεταφέρεται για να υδρεύσει άλλο ακίνητο, ακόμη κι αν αυτό ανήκει στον ίδιο ιδιοκτήτη. Οι παροχές με βάση τη χρήση τους διακρίνονται σε:

- Ύδρευσης
- Πυροσβεστικές
- Κοινόχρηστων χώρων ακινήτων
- Κοινόχρηστες υδροδότησης εγκαταστάσεων θέρμανσης νερού (boiler) ακινήτων
- Άρδευσης Δημόσιων ή Δημοτικών χώρων Ακατέργαστου νερού
- Προσωρινές ορισμένου χρόνου για εργοταξιακή ή άλλη χρήση.

Οι παροχές τοποθετούνται κάθετα προς τον αγωγό που τις τροφοδοτεί και καταλήγουν είτε σε φρεάτιο, είτε εντός ειδικής κατασκευής που τοποθετούνται οι υδρομετρητές. Στην περίπτωση φρεατίου αυτό τοποθετείται στο πεζοδρόμιο μπροστά από το ακίνητο.

Όσον αφορά τους αγωγούς ύδρευσης, αυτοί χωρίζονται σε τροφοδοτικούς και αγωγούς διανομής. Τροφοδοτικοί αγωγοί θεωρούνται εκείνοι που τροφοδοτούν δεξαμενές αναρρύθμισης ή αποθήκευσης νερού, καθώς και όσοι έχουν ονομαστική διάμετρο τουλάχιστον 300 χλστ. Οι αγωγοί διανομής τοποθετούνται μόνο σε εγκεκριμένους δρόμους και έχουν ελάχιστη εσωτερική

διάμετρο 100 χλστ. ή την πλησιέστερη προς αυτή διάμετρο αντίστοιχα με το υλικό κατασκευής.

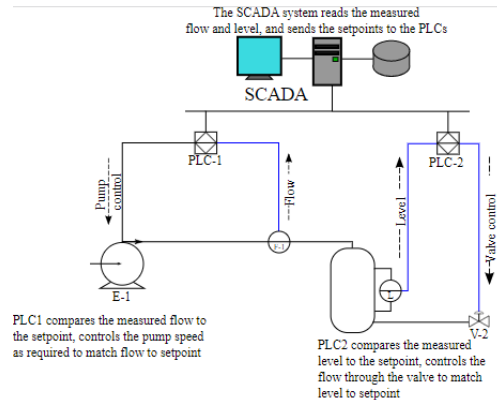
Επιπρόσθετα, οι υδρομετρητές είναι συσκευές μέτρησης της κατανάλωσης του νερού και εγκαθίστανται στον αγωγό της παροχής. Οι υδρομετρητές είναι κατασκευασμένοι σύμφωνα με τις εκάστοτε ισχύουσες επίσημες προδιαγραφές. Οι υφιστάμενοι σήμερα υδρομετρητές χωρίζονται ως προς το μηχανισμό καταμέτρησης σε δύο κατηγορίες, τους ογκομετρικούς και τους ταχυμετρικούς. Στην κατηγορία των ταχυμετρικών υδρομετρητών περιλαμβάνονται οι υδρομετρητές τύπου πολλαπλής ριπής και οι τύπου Woltman. Σε περιπτώσεις μεγάλης διακύμανσης της καταναλισκόμενης ποσότητας νερού, χρησιμοποιούνται σύνθετοι υδρομετρητές, αποτελούμενοι από συνδυασμό δύο ταχυμετρικών υδρομετρητών διαφορετικής διαμέτρου.

Η ΕΥΔΑΠ δύναται κατόπιν ειδοποίησής της από υδρευόμενο ή τρίτο πρόσωπο, να διακόψει προσωρινά την υδροδότηση ακινήτου, στο οποίο έχει σημειωθεί απώλεια νερού, με απομόνωση του κρουνού διακοπής. Σε περίπτωση απώλειας νερού στο φρεάτιο ελέγχου ή διαπίστωσης απώλειας νερού στον εσωτερικό αγωγό υδροληψίας, η προσωρινή διακοπή της υδροδότησης γίνεται με απομόνωση από τη δικλείδα του φρεατίου ελέγχου.

Σε περίπτωση κατάργησης μίας παροχής απομονώνεται η παροχή από τον κρουνό συνένωσης και διαγράφεται από το μητρώο πελατών. Η απομόνωση αυτή επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ειδικού εξαρτήματος (τάπας) στην ενσωματωμένη αναμονή (μούφα) του αγωγού του συστήματος ή του αγωγού πολλαπλού διανομέα. Έπειτα, γίνεται αποξήλωση του φρεατίου και του καλύμματός του και αποκαθίσταται το οδόστρωμα και το πεζοδρόμιο στην πρότερη κατάσταση [11].

Τέλος, το δίκτυο ύδρευσης παρακολουθείται σε 24ωρη βάση από το σύστημα τηλεελέγχου και τηλεχειρισμού SCADA προκειμένου να ελέγχεται η λειτουργία των ΜΕΝ, του δικτύου ύδρευσης, των δεξαμενών ρύθμισης και αποχέτευσης, των αντλιοστασίων και των σημαντικών κομβικών σημείων του δικτύου. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει 100 θέσεις συνεχούς παρακολούθησης και καταγραφής της λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος [10].

Ο όρος SCADA (supervisory control and data acquisition) περιγράφει μια κατηγορία συστημάτων βιομηχανικού αυτομάτου ελέγχου και τηλεμετρίας. Το χαρακτηριστικό των συστημάτων SCADA είναι ότι αποτελούνται από τοπικούς ελεγκτές, οι οποίοι ελέγχουν επί μέρους στοιχεία και μονάδες μιας εγκατάστασης και είναι συνδεδεμένοι σε έναν κεντρικό σταθμό εργασίας. Ο κεντρικός σταθμός εργασίας μπορεί να επικοινωνεί τα δεδομένα που συλλέγει από την εγκατάσταση σε ένα πλήθος από σταθμούς εργασίας σε τοπικό δίκτυο LAN ή και να μεταδίδει τα δεδομένα της εγκατάστασης σε μακρινά σημεία μέσω κάποιου τηλεπικοινωνιακού συστήματος, π.χ. μέσω του ενσύρματου τηλεφωνικού δικτύου ή μέσω κάποιου ασύρματου δικτύου. Επίσης, είναι δυνατό κάθε ένας τοπικός ελεγκτής να βρίσκεται σε απομακρυσμένη τοποθεσία και να μεταδίδει τα δεδομένα προς τον κεντρικό σταθμό μέσω απλού καλωδίου ή μέσω ασύρματου πομποδέκτη, αλλά πάντα το σύνολο των τοπικών ελεγκτών έχει συνδεσμολογία αστέρα ως προς τον κεντρικό σταθμό εργασίας [12].



Σχήμα 1.10: Ένα σύστημα SCADA

1.5.2 Προβλήματα

Τα προβλήματα της λειψυδρίας και της υποβάθμισης της ποιότητας των υδάτινων πόρων στην Ελλάδα, όπως και στις περισσότερες χώρες, οφείλονται στη μη αποτελεσματική χρήση του νερού. Στη γεωργία, όπου παρουσιάζεται η μεγαλύτερη κατανάλωση νερού, η επιφανειακή άρδευση και η άρδευση με τεχνητή βροχή, ευθύνονται για απώλειες που φτάνουν το 50 με 60%. Η βιομηχανία με ελάχιστες εξαιρέσεις, δε χρησιμοποιεί συστήματα και διεργασίες εξοικονόμησης και ανακύκλωσης νερού, ενώ στις πόλεις οι απώλειες των αρδευτικών δικτύων κυμαίνονται από 10% έως 30%. Αν και η ύδρευση αποτελεί μικρό μόνο μέρος της συνολικής κατανάλωσης νερού, οι μεγαλύτερες ανάγκες ύδρευσης παρουσιάζονται στις πόλεις, όπου συχνά δεν υπάρχουν επαρκή αποθέματα κατάλληλου νερού σε κοντινή απόσταση. Στη χώρα μας, η αστική κατανάλωση κυμαίνεται περίπου στα 120 λίτρα ανά άτομο την ημέρα. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτιμά πως με κατάλληλα μέτρα εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης, η μέση κατανάλωση νερού ανά άτομο, μπορεί να πέσει σε 80 λίτρα ανά άτομο τη μέρα, που σημαίνει μείωση άνω του 35%.

Οι Δήμοι και οι ΔΕΥΑ πολλές φορές δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στην ανάγκη της μειωμένης απόδοσης των δικτύων διανομής νερού, του αυξημένου κόστους συντήρησης και ενεργειακής κατανάλωσης και των μειωμένων εσόδων που αυτή συνεπάγεται.

Έτσι προκύπτουν τα εξής προβλήματα:

- αυξημένο ποσοστό ατιμολόγητου νερού που φτάνει το 60% για την Ελλάδα
- υψηλή κατανάλωση ενέργειας
- υψηλό ποσοστό διαρροών
- διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων
- μη αποδοτική διαχείριση υποδομών
- ανεπαρκής παρακολούθηση ποιότητας νερού
- μη ορθολογική διαχείριση πόρων
- ανακριβείς μετρήσεις
- παράνομες συνδέσεις

Οι τρόποι αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών είναι:

- μείωση της πίεσης
- αποδοτικότερη λειτουργία γεωτρήσεων – αντλιοστασίων - δεξαμενών
- άμεσος εντοπισμός διαρροών
- προσδιορισμός υδατικού ισοζυγίου
- ακριβής προσδιορισμός οικιακής κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο

Συνεπώς, για να επιτευχθούν αυτοί οι τρόποι και να εφαρμοστούν στο μέγιστο δυνατό επίπεδο κρίνεται απαραίτητη η ανάγκη για μετατροπή του παραδοσιακού δικτύου ύδρευσης και συστήματος μέτρησης σε έξυπνα [13].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Δίκτυο ευφυών μετρητών

2.1 Εισαγωγή

Ο όρος «έξυπνη μέτρηση» αναφέρεται στη ψηφιοποίηση και αυτοματοποίηση των μετρήσεων διαφόρων τύπων κατανάλωσης, καθώς γίνεται χρήση έξυπνων μετρητών για τη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας, του φυσικού αερίου, της θερμότητας, του νερού. Όσον αφορά το δίκτυο ύδρευσης, δεδομένου ότι υπάρχουν αρκετοί ορισμοί για τους έξυπνους μετρητές νερού, είναι σημαντικό να διευκρινιστεί σε τι αναφέρονται οι έξυπνοι μετρητές νερού σε αυτή τη διπλωματική εργασία. Ο ορισμός που χρησιμοποιείται είναι ότι ένας έξυπνος μετρητής νερού είναι μια τεχνολογία που μετρά τουλάχιστον τον όγκο του νερού που καταναλώνεται με την πάροδο του χρόνου και που μπορεί να συλλέξει και να μεταφέρει δεδομένα χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό, ένας έξυπνος μετρητής νερού μπορεί να έχει και άλλες, περισσότερο προηγμένες λειτουργίες, όπως τη δυνατότητα αποστολής ειδοποιήσεων σε περίπτωση εντοπισμού κάποιας διαρροής ή βλάβης του δικτύου. Βέβαια, ανεξάρτητα από τον ακριβή ορισμό, ένας έξυπνος μετρητής είναι η ψηφιοποιημένη έκδοση ενός συμβατικού, μηχανικού μετρητή.

2.2 Χαρακτηριστικά των Ευφυών Μετρητών

Η λειτουργία του έξυπνου δικτύου (Smart Grid - SG), όπως έχει αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο, μπορεί να χωριστεί σε τρία στάδια: τη συλλογή δεδομένων, τη μεταφορά δεδομένων και την ανάλυση δεδομένων. Συνεπώς, προκύπτουν οι ακόλουθες βασικές προδιαγραφές, που πρέπει να πληρεί ένα έξυπνο δίκτυο:

- Αξιόπιστη συλλογή και μετάδοση των δεδομένων
- Ασφάλεια των δεδομένων
- Εξασφάλιση της μακροχρόνιας χρήσης του δικτύου
- Χαμηλό κόστος δημιουργίας και συντήρησης του δικτύου

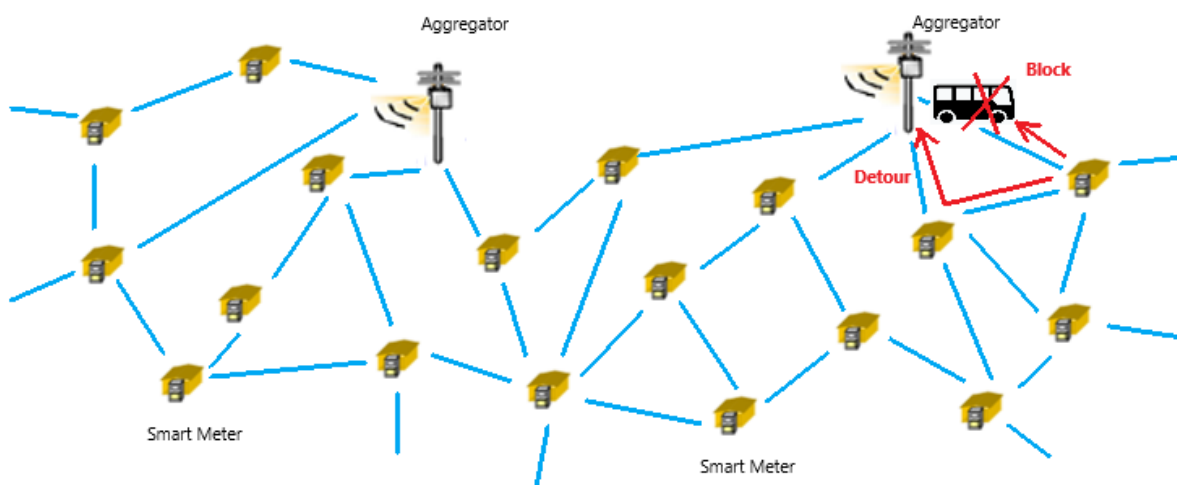
Προκειμένου να ικανοποιούνται οι παραπάνω προδιαγραφές λαμβάνεται υπόψη τόσο η τοπολογία του δικτύου όσο και η θέση των έξυπνων μετρητών σε αυτό. Όσον αφορά τον τρόπο επικοινωνίας των έξυπνων μετρητών – κόμβοι του δικτύου, υπάρχουν δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι οι μετρητές πλήρους λειτουργίας (Full Function Devices - FFD), οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν και ως συντονιστές του δικτύου, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να συλλέγουν δεδομένα από το περιβάλλον τους και να επικοινωνούν και με άλλες συσκευές. Η δεύτερη κατηγορία είναι οι μετρητές μειωμένης λειτουργίας (Reduced Function Device - RFD), οι οποίοι δεν μπορούν να λειτουργήσουν ως συντονιστές, αλλά συλλέγουν τα δεδομένα και επικοινωνούν μόνο με τους συντονιστές του δικτύου.

Όσον αφορά τις τοπολογίες του έξυπνου δικτύου, αυτές είναι τριών ειδών:

- Το δίκτυο τοπολογίας πλέγματος (mesh topology)

Σε αυτού του είδους δίκτυο, οι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους άμεσα, δυναμικά και χωρίς ιεραρχία. Έτσι, υπάρχει δυναμική οργάνωση του δικτύου, καθώς κάθε κόμβος αποφασίζει τη βέλτιστη διαδρομή μέσω της οποίας θα αποσταλούν τα δεδομένα στον κόμβο – συντονιστή. Σε περίπτωση, λοιπόν, όπου κάποιος κόμβος τεθεί εκτός λειτουργίας, το δίκτυο μπορεί να βρει τη νέα βέλτιστη διαδρομή μέχρις ο απομακρυσμένος κόμβος να επανέλθει σε λειτουργία. Το δίκτυο

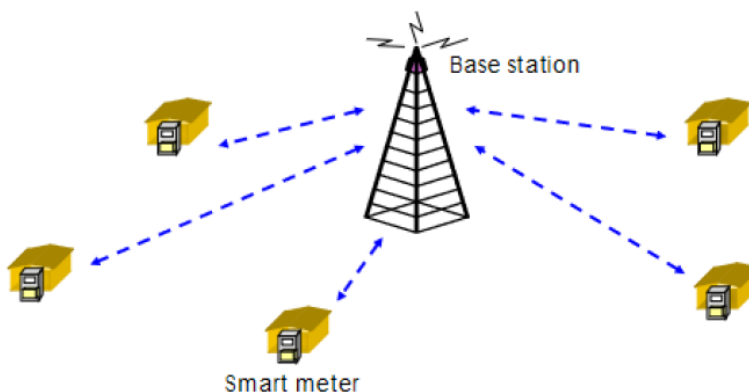
τοπολογίας πλέγματος χαρακτηρίζεται από χωρική ανομοιομορφία των κόμβων και συνεπώς η επικοινωνία κάθε κόμβου με το συντονιστή απαιτεί multi-hop δρομολόγηση.



Σχήμα 2.1: Έξυπνο δίκτυο σε τοπολογία πλέγματος

- Το δίκτυο τοπολογίας αστέρα (star topology)

Σε αυτό το είδος δικτύου, υπάρχει κεντρικός κόμβος πλήρους λειτουργίας ενώ οι υπόλοιποι κόμβοι είναι μειωμένης λειτουργίας. Έτσι, κάθε κόμβος αποστέλλει τα δεδομένα του στον κεντρικό κόμβο και αυτός με τη σειρά του τα συγκεντρώνει και τα προωθεί περαιτέρω. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνεται ο χρόνος μετάδοσης των δεδομένων και παράλληλα εξασφαλίζεται η ασφαλής λειτουργία του δικτύου, αφού σε περίπτωση βλάβης ενός απλού κόμβου, αυτός απομονώνεται και το υπόλοιπο δίκτυο συνεχίζει τη λειτουργία του.

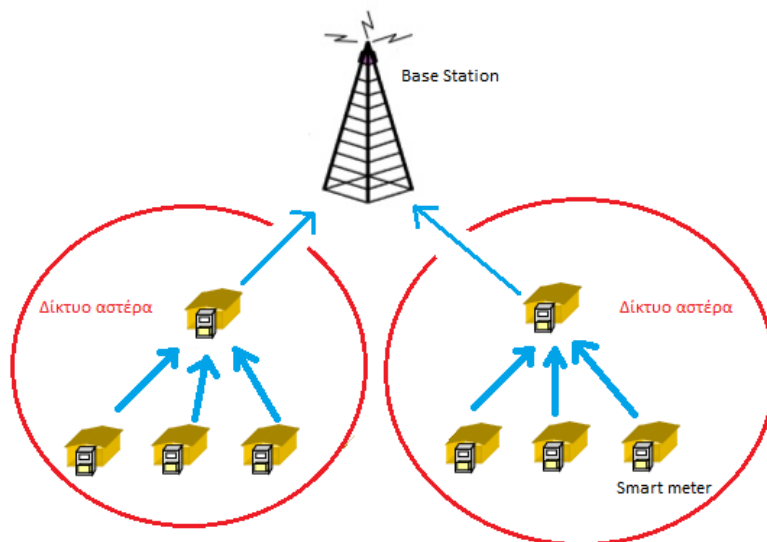


Σχήμα 2.2: Έξυπνο δίκτυο σε τοπολογία αστέρα

- Το δίκτυο τοπολογίας δένδρου (tree topology)

Το δίκτυο τοπολογίας δένδρου είναι ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων υποδικτύων τοπολογίας αστέρα. Τα επιμέρους αυτά υποδίκτυα συνδέονται σε ένα τοπικό συγκεντρωτή, ο οποίος προωθεί σε ανώτερες ιεραρχικά βαθμίδες τα δεδομένα που συγκεντρώνει από τα υποδίκτυα τοπολογίας αστέρα. Συνεπώς, σε αυτή τη μορφή δικτύου υπάρχουν τα φύλλα, που είναι οι απλοί κόμβοι μειωμένης λειτουργίας, τα οποία αποστέλλουν τα δεδομένα τους σε ένα κόμβο πλήρους λειτουργίας και αυτός με τη σειρά του αποστέλλει τα δεδομένα στον κεντρικό κόμβο πλήρους

λειτουργίας του συνολικού δικτύου. Αυτή η τοπολογία χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις μεγάλου πλήθους κόμβων και ταυτόχρονα μεγάλων αποστάσεων μεταξύ κόμβων, οπότε η ανάγκη για ομαδοποίηση των κόμβων είναι επιτακτική. Η δρομολόγηση είναι multi-hop, όπως και στην τοπολογία πλέγματος. Μεγάλο πλεονέκτημα αποτελεί η δυνατότητα διαχείρισης μεγάλου φόρτου δεδομένων με μοναδικό τρωτό σημείο την εξασφάλιση της ορθής λειτουργίας των «κεντρικών» κόμβων.



Σχήμα2.3: Έξυπνο δίκτυο τοπολογίας δέντρου

Όσον αφορά το περιβάλλον όπου λειτουργεί κάθε έξυπνος μετρητής, αυτό δεν είναι σταθερό, με αποτέλεσμα να προκύπτουν διάφορα προβλήματα μετάδοσης δεδομένων. Αυτό μπορεί να συμβεί: (i) είτε λόγω υπερφόρτωσης του δικτύου, (ii) είτε λόγω δυσλειτουργίας κάποιου έξυπνου μετρητή, (iii) είτε λόγω εμφάνισης κινούμενων σκεδαστών στο περιβάλλον της μετάδοσης. Προκειμένου, λοιπόν, να αντισταθμισθούν τα ανωτέρω προβλήματα, οι έξυπνοι μετρητές πρέπει να έχουν ορισμένες πρόσθετες λειτουργίες οι οποίες θα προσαρμόζονται κατάλληλα αντίστοιχα προς την τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία και την τοπολογία του δικτύου που χρησιμοποιείται. Αυτές οι πρόσθετες λειτουργίες είναι οι ακόλουθες:

- Έλεγχος δρομολόγησης κίνησης
- Καταμερισμός φορτίου
- Περιορισμός φορτίου
- Διασπορά χρόνων μετάδοσης
- Έλεγχος προτεραιότητας
- Λειτουργία πολλαπλών καναλιών
- Έλεγχος ποιότητας επικοινωνίας
- Διαχείριση σφαλμάτων

Αντίστοιχα προς την εφαρμογή, αλλάζουν οι προδιαγραφές και οι απαιτήσεις των χρησιμοποιούμενων έξυπνων μετρητών. Η ορθή επιλογή, λοιπόν, των τηλεπικοινωνιακών χαρακτηριστικών του έξυπνου δικτύου αντίστοιχα προς την εφαρμογή καθορίζεται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Καθυστέρηση

Είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε να μεταδοθούν τα δεδομένα από τον πομπό στο δέκτη και αντίστροφα. Αν η εφαρμογή απαιτεί μετάδοση σε πραγματικό χρόνο, τότε η τιμή της καθυστέρησης πρέπει να είναι πολύ μικρή, της τάξης των msec το πολύ. Διαφορετικά, αν η εφαρμογή δεν απαιτεί μετάδοση σε πραγματικό χρόνο, τότε οι καθυστερήσεις δεν αποτελούν πρόβλημα.

- Ρυθμός μετάδοσης

Είναι η ταχύτητα με την οποία μεταδίδονται τα δεδομένα από τον πομπό στο δέκτη. Αντίστοιχα με την εφαρμογή και την καλύτερη λειτουργία της προκύπτουν και οι απαιτήσεις στο ρυθμό μετάδοσης.

- Φάσμα συχνοτήτων

Οι απαιτήσεις στο φάσμα συχνοτήτων καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την επιλογή της τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας που θα χρησιμοποιηθεί, δεδομένου ότι υπάρχουν διαφορές στο εύρος ζώνης της κάθε μιας. Ορισμένες εφαρμογές απαιτούν συχνότητες μικρότερες των 2GHz για την καλύτερη ποιότητα επικοινωνίας.

- Αξιοπιστία

Αναφέρεται στο πόσο αξιόπιστη είναι η μετάδοση των δεδομένων από τον πομπό στο δέκτη. Σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου, απαιτείται μεγάλη αξιοπιστία στην μετάδοση δεδομένων, καθώς το δίκτυο δεν ανέχεται διακοπές κατά τη μετάδοση. Αντίθετα, άλλου είδους εφαρμογές είναι ελαστικότερες στο πεδίο αυτό.

- Ασφάλεια

Αυτό το πεδίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη ορθή λειτουργία του δικτύου. Κάθε εφαρμογή απαιτεί μεγάλη ασφάλεια κατά τη μετάδοση των δεδομένων τόσο για τη διατήρηση και προστασία της ιδιωτικότητας του καταναλωτή όσο και για την αντιμετώπιση ενδεχόμενων κακόβουλων εξωτερικών επιθέσεων [14].

Τέλος, δύο είναι οι βασικές τεχνολογίες μέτρησης που χρησιμοποιούν οι μετρητές κατανάλωσης, έξυπνοι ή μη:

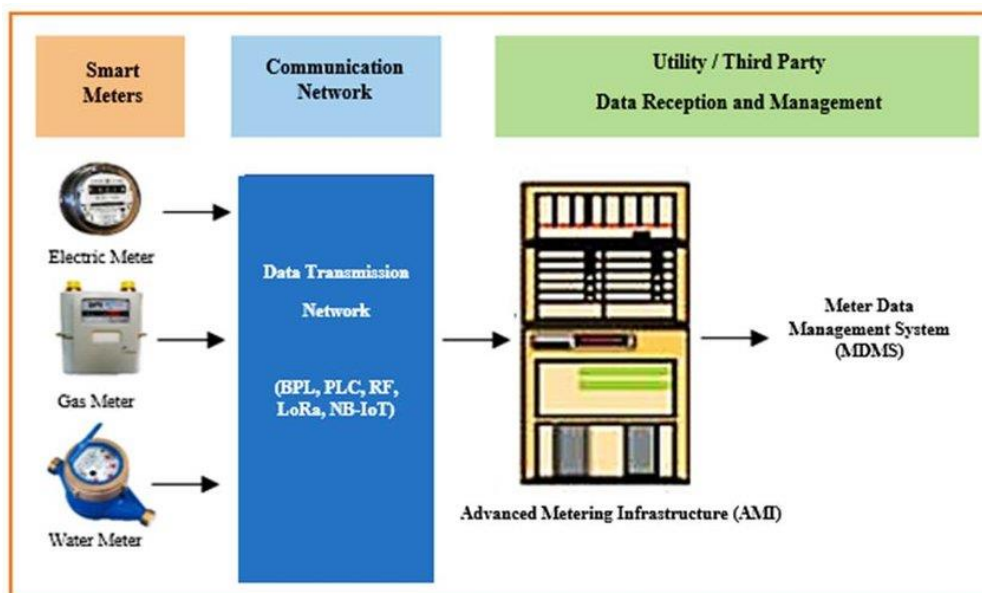
- Τα συστήματα μετρητών αυτόματης προσπέλασης (AMR – Automated Meter Reading)

Τα συστήματα AMR συλλέγουν δεδομένα κατανάλωσης του δικτύου και κατάστασης των διακοπών από τους ηλεκτρονικούς μετρητές και τα αποστέλλουν σε βάσεις δεδομένων του διαχειριστή της εταιρίας παροχής για την περαιτέρω ανάλυσή τους. Η επικοινωνία γίνεται με ενσύρματη ή ασύρματη μετάδοση. Τα δεδομένα συλλέγονται από το διακομιστή του διαχειριστή, είτε σε τακτά χρονικά διαστήματα είτε σε έκτακτα, έπειτα από σχετική αίτηση του διακομιστή του

διαχειριστή. Τα συστήματα AMR δεν είναι «έξυπνα» και αποτελούν τον παραδοσιακό τρόπο μέτρησης.

- Τα συστήματα προηγμένων μετρητικών υποδομών (AMI – Advanced Metering Infrastructure)

Τα συστήματα AMI αποτελούν δεύτερης γενιάς αυτοματισμό αποτελώντας πλατφόρμα μέτρησης δεδομένων, τηλεπικοινωνιών, λογισμικού επεξεργασίας δεδομένων και αυτοματισμών. Το σύστημα AMI είναι σύνθετο και δυναμικό και βασίζεται στην από κοινού λειτουργία βελτιωμένων ή μη, υπάρχουσών και νέων υποδομών σε υλικό και λογισμικό. Αυτό το είδος συστήματος υποστηρίζει όλες τις καταστάσεις από τις οποίες περνάει μια πληροφορία μέτρησης: από την ανάκτηση, την αποθήκευση και τη μετάδοσή της σε κέντρα διαχείρισης, ως την καταγραφή, την επεξεργασία και τη χρήση της για εκτέλεση βασικών λειτουργιών τιμολόγησης, εφαρμογών IT (Information Technology) και λειτουργιών απομακρυσμένου ελέγχου. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του AMI είναι η αμφίδρομη επικοινωνία, δηλαδή η δυνατότητα να αποστέλλονται εντολές στις συσκευές. Τέλος, ένα σύστημα AMI, εκτός από τη δυνατότητα αυτοματοποιημένης διαδικασίας μέτρησης και υπολογισμού των πόρων που καταναλώνονται από τους χρήστες, παρέχει ένα πλήθος ολοκληρωμένων υπηρεσιών. Υπάρχει, η δυνατότητα απεικόνισης της κατανάλωσης νερού σε πραγματικό χρόνο (real time) ή περίπου σε πραγματικό χρόνο (near real time) και, συνεπώς, η δυνατότητα κοστολόγησης άμεσα, αφού οι μετρήσεις λαμβάνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Έτσι, ο διαχειριστής αλλά και ο πελάτης μπορούν να ξέρουν με ακρίβεια την κατανάλωση και την τιμολόγησή της στο χρονικό διάστημα όπου αυτή συμβαίνει [13].



Σχήμα 2.4: Τρόπος λειτουργίας ενός AMI συστήματος

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4, στον χώρο του καταναλωτή έχουν τοποθετηθεί έξυπνοι μετρητές – οι οποίοι μπορεί να είναι για νερό, φυσικό αέριο, ηλεκτρική ενέργεια – που συλλέγουν τα δεδομένα. Οι μετρητές μπορούν να μεταδώσουν διαφόρων ειδών δεδομένα, σχετικά με την κατανάλωση του χρήστη, μέσω των διαθέσιμων τηλεπικοινωνιακών δικτύων, όπως ενδεικτικά η κυψελωτή υποδομή των δημόσιων δικτύων επικοινωνιών (ΔΔΕ). Εν συνεχεία, τα δεδομένα των μετρητών λαμβάνονται από το δέκτη του AMI και έπειτα αποστέλλονται στο MDMS (Meter Data

Management System), το οποίο διαχειρίζεται την αποθήκευση και την ανάλυσή τους προκειμένου να αποσταλούν στον πάροχο χρήσιμες πληροφορίες.

2.3 Ευφυείς Μετρητές στο δίκτυο ύδρευσης

Τα έξυπνα δίκτυα ύδρευσης είναι πολυεπίπεδα, όπως κάθε σύστημα Internet of Things (IoT), από τους αισθητήρες και τον τηλεχειρισμό των έξυπνων δικτύων μέχρι τη σύνταξη και ανάλυση των δεδομένων τους. Συνεπώς, όπως τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και τα συστήματα υπολογιστών μπορούν να περιγραφούν σε στρώματα με διαφορετικές λειτουργίες, έτσι μπορεί και το μοντέλο του έξυπνου δικτύου ύδρευσης. Τόσο κάθε στρώμα του μοντέλου αυτού όσο και το δίκτυο ως σύνολο μπορούν να καταστούν ευφυή υιοθετώντας τα κατάλληλα τεχνολογικά στοιχεία σε κάθε επίπεδο. Έτσι, το 2010, η SWAN (Smart Water Networks Forum) ανέπτυξε το «SWAN 5 Layer Model», το οποίο πλέον χρησιμοποιείται παγκοσμίως και το οποίο αποτελείται από τα ακόλουθα στρώματα:

- Φυσικό επίπεδο (physical layer)

Περιλαμβάνει σωλήνες, αντλίες, βαλβίδες, δεξαμενές και άλλα εξαρτήματα τελικού σημείου παράδοσης.

- Επίπεδο ανίχνευσης και ελέγχου (sensing and control layer)

Περιέχει τον εξοπλισμό και τα εξαρτήματα των μετρητών που μετρούν διαφορετικές παραμέτρους, όπως ροή, πίεση, θόρυβο και ποιότητα νερού, καθώς και τηλεκατευθυνόμενες διατάξεις, όπως τηλεχειριζόμενες αντλίες και βαλβίδες μείωσης πίεσης. Αυτό το επίπεδο συνδέει τη νοημοσύνη Smart Water Network με το φυσικό δίκτυο.

- Επίπεδο συλλογής πληροφορίας και επικοινωνίας (collection and communication layer)

Περιλαμβάνει τεχνολογίες κατάλληλες για την αποθήκευση και τη μετάδοση πληροφοριών. Κύριος στόχος αυτών των τεχνολογιών είναι να συλλέγουν πληροφορίες από απομακρυσμένες τοποθεσίες και να τις αποστέλλουν στα ανώτερα στρώματα όπου αναλύονται και υποβάλλονται σε επεξεργασία. Με τη χρήση των καναλιών αμφίδρομης επικοινωνίας, οι εντολές από τα ανώτερα στρώματα επιστρέφουν στα κατώτερα στρώματα για να καθοδηγήσουν τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές σχετικά με το ποια δεδομένα να συλλέξουν ή ποιες ενέργειες να εκτελέσουν. Για παράδειγμα, ένα σταθερό καλωδιακό δίκτυο, το κινητό, το Wi-Fi και άλλες τεχνολογίες επικοινωνίας που σχετίζονται με τη μεταφορά δεδομένων αποτελούν μέρος αυτού του επιπέδου.

- Επίπεδο διαχείρισης και εμφάνισης δεδομένων (data management and display layer)

Επιτρέπει στα βοηθητικά προγράμματα να συγκεντρώνουν και να επεξεργάζονται τα συλλεγμένα δεδομένα και στη συνέχεια να τα αποστέλλουν σε έναν ανθρώπινο χειριστή μέσω συστήματος εποπτικού ελέγχου και απόκτησης δεδομένων (SCADA), συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) ή άλλων εργαλείων οπτικοποίησης δικτύου. Αυτό το επίπεδο διασυνδέεται επίσης με συστήματα ασφάλειας στον κυβερνοχώρο και εργαλεία υποστήριξης επιχειρηματικών λειτουργιών, όπως η διαχείριση εργασιών και τα συστήματα πληροφοριών πελατών.

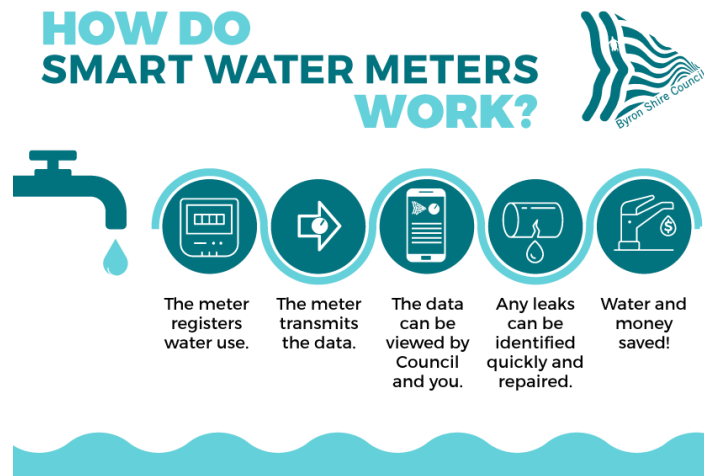
- Επίπεδο συγχώνευσης και ανάλυσης δεδομένων (data fusion and analysis layer)

Παρέχει εργαλεία που ενσωματώνουν λογισμικό ανάλυσης δεδομένων και μοντελοποίησης, αξιοποιώντας κανάλια επικοινωνίας και συσκευές ανίχνευσης εντός του δικτύου. Σε αυτό το στρώμα, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν να εκτελούν εργασίες διαχείρισης δικτύου από απόσταση και αυτόματα, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρονικής παρακολούθησης της ποιότητας του νερού, της αυτοματοποιημένης ανίχνευσης διαρροών, της βελτιστοποίησης της αντλίας και πολλά άλλα. Οι λύσεις σε αυτό το επίπεδο μπορούν ενισχυτικά να χρησιμοποιήσουν τις δυνατότητες της μηχανικής μάθησης, της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και του ψηφιακού διδύμου (Digital Twin) για να βοηθήσουν τους χειριστές να εκτιμήσουν τον ενδεχόμενο αντίκτυπο των αλλαγών του δικτύου, να ανταποκριθούν σε αυτές τις αλλαγές σε πραγματικό χρόνο και να εξετάσουν άλλα ενδεχόμενα σενάρια [15].



Σχήμα 2.5: Αρχιτεκτονική Smart Water από τη SWAN

Όσον αφορά τους έξυπνους μετρητές νερού (SWM – Smart Water Meters) διαφέρουν από τους άλλους μετρητές, καθώς η εγκατάστασή τους γίνεται μέσα σε φρεάτια, συνήθως κάτω από το πεζοδρόμιο. Ταυτόχρονα, οι τεχνολογίες, που χρησιμοποιούνται για τους SWM, διαφέρουν από εκείνες άλλου είδους μετρητών, αφού σε αυτή τη περίπτωση απαιτούνται τεχνολογίες μεγάλης εμβέλειας, χαμηλής κατανάλωσης ισχύος και χαμηλού ρυθμού μετάδοσης. Οι έξυπνοι μετρητές νερού μετρούν την κατανάλωση του νερού, αποθηκεύουν τα δεδομένα των μετρήσεων και τα αποστέλλουν στο κέντρο διαχείρισης, το οποίο επεξεργάζεται τα δεδομένα αυτά σε πραγματικό χρόνο. Από την πλευρά τους, οι καταναλωτές, μέσω κατάλληλης εφαρμογής, έχουν πρόσβαση στα δεδομένα της κατανάλωσής τους και της κοστολόγησής της. Συγχρόνως, οι έξυπνοι μετρητές νερού ελέγχουν την ποιότητα του νερού (pH, θερμοκρασία, αγωγιμότητα, κ.ά.) και εντοπίζουν ενδεχόμενες διαρροές του δικτύου ώστε να ειδοποιηθούν έγκαιρα πάροχος και καταναλωτές. Τα δεδομένα που σχετίζονται με βλάβες συλλέγονται και αποστέλλονται μία φορά την ημέρα με στόχο την ελαχιστοποίηση της σπατάλης του νερού. Η ώρα που ελέγχεται η ύπαρξη ή μη διαρροής είναι κατά τις ώρες 02:00 με 05:00, όπου υπό φυσιολογικές συνθήκες οι κατανάλωση νερού είναι αρκετά μικρή. Έτσι, στην περίπτωση όπου καταγραφεί εκείνη τη χρονική περίοδο μεγάλη κατανάλωση νερού, ο μετρητής αποστέλλει σήμα για ενδεχόμενη διαρροή [14].



Σχήμα 2.6: Τρόπος λειτουργίας των SWM

2.4 Χαρακτηριστικά και προδιαγραφές των Ευφύων Μετρητών στο πιλοτικό έργο

Το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ παρουσιάζει ιδιαιτερότητες όσον αφορά τη μετατροπή του υπάρχοντος δικτύου σε έξυπνο. Η διασύνδεση του συστήματος έξυπνων μετρητών με τα κυψελωτά ΔΔΕ (Δημόσια Δίκτυα Επικοινωνιών) με στόχο την υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου συστήματος έξυπνων μετρητών και παρακολούθησης του ΔΥ/ΕΥΔΑΠ αποτελεί ένα περίπλοκο και ιδιαίτερα απαιτητικό έργο. Αυτό οφείλεται τόσο στις δύσκολα προσβάσιμες τηλεπικοινωνιακά θέσεις εγκατάστασης των υδρομετρητών όσο και στη μεγάλη ρυμοτομική και πληθυσμιακή ποικιλομορφία των περιοχών τις οποίες εξυπηρετεί η ΕΥΔΑΠ. Επίσης, απαιτείται συνεννόηση και συνεργασία της ΕΥΔΑΠ με τη ΔΕΔΔΗΕ με σκοπό την αδιάλειπτη τροφοδότηση των τηλεπικοινωνιακών μονάδων των μετρητών με την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Παράλληλα, αφού η τοποθέτηση των έξυπνων μετρητών θα γίνει εντός των φρεατίων, πρέπει να εξασφαλιστεί η ενεργειακή αυτονομία και η συντήρηση της μπαταρίας και του έξυπνου συστήματος, καθώς και η τηλεπικοινωνιακή σύνδεση των έξυπνων μετρητών με το ΔΔΕ κάνοντας χρήση κατάλληλων πρωτοκόλλων. Τέλος, δημιουργώντας αυτό το έξυπνο δίκτυο στα φρεατία, υπάρχει περίπτωση ανάγκης κατασκευής νέων φρεατίων. Η κατασκευή, όμως, νέων φρεατίων στα πεζοδρόμια είναι αρκετά δύσκολη υπόθεση δεδομένου των χωροταξικών περιορισμών που ενδέχεται να υπάρχουν.

Έτσι, έπειτα από ενδελεχή μελέτη αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν οι μετρητές iPERL της Sensus και οι μετρητές MULTICAL 21 & flowIQ 2101 της Kamstrup. Οι μετρητές λειτουργούν με μπαταρία και δεν επιδέχονται εξωτερικές συνδέσεις.

2.4.1 Sensus iPERL

Η Sensus έχει αναπτύξει ένα δίκτυο επικοινωνίας με το όνομα Sensus FlexNet™, το οποίο είναι ένα ραδιοσύστημα μεγάλης εμβέλειας για έξυπνες λύσεις, το οποίο διαθέτει επικοινωνία αισθητήρων, λογισμικό και υπηρεσίες με στόχο να συλλέγει δεδομένα από πολλά σημεία του δικτύου και να τα αποστέλλει σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου επιθυμεί ο χρήστης. Οι μετρητές της Sensus παρέχουν υψηλό επίπεδο ακρίβειας. Σε συνδυασμό με το σύστημα AMI, η ανάγνωση μετρητών και η τιμολόγηση μπορούν να αυτοματοποιηθούν, ώστε να επέλθει σημαντική μείωση του λειτουργικού κόστους.

Ο μετρητής iPERL της εταιρείας Sensus Metering Systems είναι ένας υδρομετρητής υψηλής επίδοσης, χωρίς κινητά μέρη και είναι της ακόλουθης μορφής:



Σχήμα 2.7: Μετρητής Sensus iPERL

Οι διαστάσεις του μετρητή Sensus iPERL παρουσιάζονται στον πίνακα 2.1:

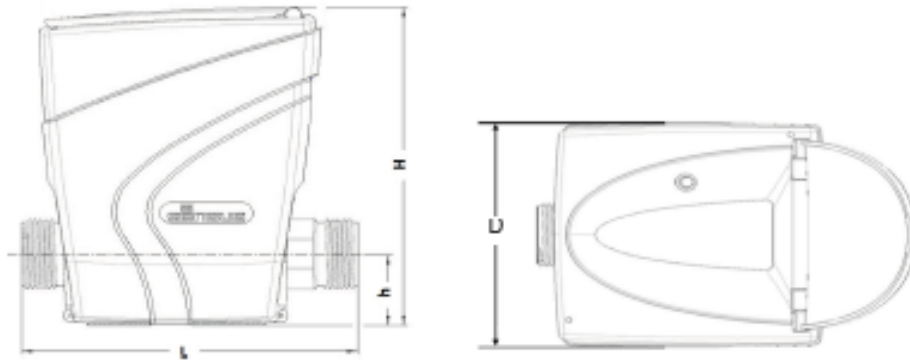
Κανονικό μέγεθος DN	mm	15	20	25	32	40
Μήκος L	mm	110 (1)	105 (3)	198 (4)	260	300 (5, 6)
Πάχος D	mm	94	94	114	114	114
Ύψος H	mm	120	120	138	138	138
Ύψος του άξονα του σωλήνα h	mm	26	26	40	40	40
Διάμετρος ουράς	inch	3/4" (2)	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
Βάρος	kg	0.85	0.85	1.65	1.65	1.75

Πίνακας 2.1: Πίνακας διαστάσεων μετρητή

- (1) διαθέσιμο και σε μήκος: 115, 134, 145, 165 και 170mm
- (2) διαθέσιμο και σε 7/8" x 3/4"
- (3) διαθέσιμο και σε μήκος: 115, 153, 165, 190 και 220mm
- (4) διαθέσιμο και σε μήκος: 260mm

(5) διαθέσιμο και σε μήκος: 245 και 270

(6) διαθέσιμο και με σύνθετες φλάντζες (δυνατότητα τοποθέτησης σε σημείο μέτρησης DN50)



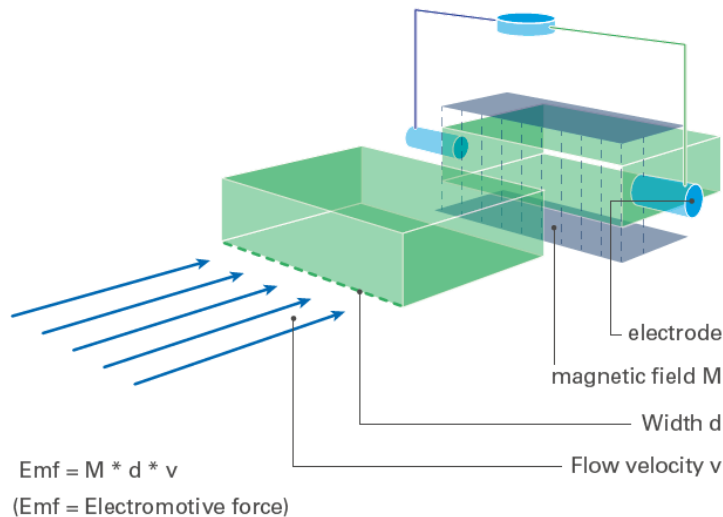
Σχήμα 2.8: Διάγραμμα διαστάσεων μετρητή iPERL

Χρησιμοποιώντας ένα σταθερό δίκτυο επικοινωνιών AMI (όπως το Sensus FlexNet™), το iPERL μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό ενδεχόμενων προβλημάτων, όπως διαρροές στο δίκτυο, παρέχοντας τη δυνατότητα της άμεσης αντιμετώπισης. Αυτό δεν εξοικονομεί μόνο χρόνο και χρήμα, αλλά ταυτόχρονα συντελεί σε περισσότερο στοχευμένη εργασία των συνεργείων στο πεδίο και βελτιώνει την εξυπηρέτηση πελατών.

Το Sensus iPERL προσφέρει σταθερή R800 ακρίβεια μέτρησης για όλα τα μεγέθη από DN15 έως DN40 για την αναμενόμενη διάρκεια ζωής, περίπου 15 ετών, όταν χρησιμοποιείται για καθαρό πόσιμο νερό στις ακόλουθες συνθήκες:

- Εύρος θερμοκρασίας περιβάλλοντος λειτουργίας από +60°C έως -15°C, υπό την προϋπόθεση ότι η ελάχιστη παροχή νερού είναι 100λίτρα/ώρα, για να εξασφαλίζεται η αποφυγή παγώματος.
- Εύρος θερμοκρασίας νερού από +0,1°C έως +50°C (και σε ειδική παραλλαγή 70°C).
- Αγωγιμότητα νερού έως 120μS/cm.
- Πίεση νερού έως 16bar.

Σε αντίθεση με άλλους μετρητές στερεάς κατάστασης, το iPERL κάνει χρήση της τεχνολογίας του παραμένουτος μαγνητικού πεδίου και, συνεπώς, παρέχει μια μέτρηση γραμμικού εύρους ακόμη και σε πολύ χαμηλά ποσοστά ροής. Η τεχνολογία του παραμένουτος μαγνητικού πεδίου μεταφέρει έναν παλμό ρεύματος σε ένα πηνίο προκειμένου να μαγνητισθεί ένα μικρό τμήμα ενός μαγνητικού υλικού. Το μαγνητικό υλικό διατηρεί την ισχύ του μαγνητικού πεδίου, χωρίς να απαιτείται συνεχής κατανάλωση της μπαταρίας και διατηρεί χαμηλό τον ηλεκτρικό θόρυβο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να γίνεται ακριβέστερη μέτρηση ακόμα και σε χαμηλότερες παροχές, αφού η μέτρηση είναι συνεχής και όχι δειγματοληπτική σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Το μαγνητικό πεδίο που δρα στο νερό ρέοντα μέσα από το κανάλι ροής δημιουργεί μία ηλεκτρική τάση, η οποία είναι ανάλογη της ταχύτητας του νερού σύμφωνα με την αρχή μέτρησης της μαγνητικής - επαγωγικής ροής. Συγκριτικά με τους προηγμένους μηχανικούς μετρητές, μπορούν να καταγράψουν μέχρι και 20% χαμηλότερη κατανάλωση.



Σχήμα 2.9: Η λειτουργία της μαγνητικής τεχνολογίας του iPERL.

Ο πίνακας 2.2 παρουσιάζει ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά του μετρητή iPERL σε σύγκριση με το αντίστοιχο μέγεθός του:

Κανονικό Μέγεθος	DN		DN (mm)				
			15	20	25	32	40
Μόνιμη παροχή	Q ₃	m ³ /h	2.5	4	6.3	10	16
Αρχική παροχή		l/h	1.6	2.5	4.0	6.4	10.0
Λόγος R	Q ₃ /Q ₁	R	800				
Μέγιστη παροχή	Q ₄	m ³ /h	3.125	5	7.875	12.5	20
Ελάχιστη παροχή	Q ₁	l/h	3.13	5	7.88	12.5	20
Μεταβατική παροχή	Q ₂	l/h	5	8	12.6	20	32

Πίνακας 2.2: Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών μετρητή

Ο συγκεκριμένος μετρητής έχει λάβει πιστοποιητικό σχεδιασμού-εξέτασης (EC design-examination Certificate) σύμφωνα με:

- 2014/32/EE (MID)
- EN 14154:2005+A2:2011
- OIML R49:2013
- ISO 4064:2014

και εγκρίσεις για πόσιμο νερό:

- KTW/DVGW, από τη Γερμανία
- ACS, από τη Γαλλία
- WRAS, από την Αγγλία
- KIWA, από την Ολλανδία

Το iPERL προσφέρει σταθερή ακρίβεια σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών εγκατάστασης και μπορεί να εγκατασταθεί σε οποιοδήποτε προσανατολισμό χωρίς την ανάγκη γραμμικού σωλήνα, ο οποίος οδηγεί μέσα ή έξω. Συγχρόνως, διαθέτει αυτόματο ανιχνευτή κατεύθυνσης ροής, επιτρέποντας περαιτέρω επιλογές θέσεων εγκατάστασης, όταν λειτουργεί σύμφωνα με τους όρους πλαισίου που ορίζονται στο πρότυπο MID (Ευρωπαϊκή Οδηγία 2014/32/ΕΕ) και Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 14154:2005+A2:2011. Τέλος, ο μετρητής iPERL είναι εξοπλισμένος με ενσωματωμένη ασύρματη τεχνολογία (ραδιοτεχνολογία) χαμηλής ισχύος είτε στα 868MHz είτε στα 433MHz. Οι καινοτόμες τεχνολογίες επικοινωνιών παρέχουν τη δυνατότητα τόσο για walk-by (περπατώντας) συλλογή δεδομένων, όσο και drive-by (οδηγώντας) συλλογή. Μαζί με τη ραδιοτεχνολογία Sensus, το iPERL προσφέρει επίσης μία πλατφόρμα εκπομπής με πιστοποίηση OMS, προκειμένου να παρέχεται σύνδεση με το Sensus FlexNet™ AMI σύστημα, επιτρέποντας έτσι στα iPERL να εξελιχθούν από walk-by / drive-by συλλογή δεδομένων σε σταθερό δίκτυο στο μέλλον, στο οποίο δεν θα εμπλέκεται ανθρώπινος παράγοντας στη διαδικασία συλλογής δεδομένων [16].

2.4.2 Kamstrup MULTICAL® 21/flowIQ® 2101

Η υδρομετρητής MULTICAL® 21/flowIQ® 2101 της Kamstrup είναι ένας μετρητής υπερήχων, ο οποίος εγγυάται μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις. Ο μετρητής αυτός δεν έχει κινούμενα μέρη γεγονός που τον προστατεύει από φθορές και τον καθιστά ανθεκτικό σε ενδεχόμενα λύματα που εμπεριέχονται στο νερό.



Σχήμα 2.10: Μετρητής Kamstrup MULTICAL® 21/flowIQ® 2101

Ο συγκεκριμένος μετρητής μετρά, επίσης, τόσο τη θερμοκρασία του νερού όσο και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Συγχρόνως, έχει ενσωματωμένο αισθητήρα παρακολούθησης διαρροής, ώστε να μπορεί να εντοπίζει αρκετά γρήγορα ακόμη και μικρές διαρροές νερού. Έτσι, ο συνδυασμός ακρίβειας μέτρησης, μακροζωίας και ενσωματωμένης ασύρματης ραδιοεπικοινωνίας (ασύρματο M-Bus) μειώνει σημαντικά το λειτουργικό κόστος για την εταιρεία ύδρευσης αντιμετωπίζοντας έγκαιρα την οποιαδήποτε σπατάλη νερού. Ταυτόχρονα, τοποθετείται εύκολα, τόσο οριζόντια όσο και κάθετα, ανεξάρτητα από τις συνθήκες των σωληνώσεων του πεδίου. Παράλληλα, είναι αδιάβροχος και κατασκευασμένος ως ερμητικά κλειστή μονάδα, η οποία εμποδίζει την υγρασία να φτάσει στα ηλεκτρονικά του μέρη.

Ο MULTICAL® 21/flowIQ® 2101 έχει εγκριθεί για πόσιμο νερό σε πολλές χώρες, αφού το περίβλημά του και τα μέρη ροής του είναι κατασκευασμένα από συνθετικό υλικό PPS, που σημαίνει ότι δεν περιέχει μόλυβδο ή άλλα βαρέα μέταλλα. Η περιβαλλοντική έκθεση για το μετρητή αυτό αναφέρει ότι έχει χαμηλή περιβαλλοντική επίπτωση και αρκετά υψηλή ανακυκλωσιμότητα.

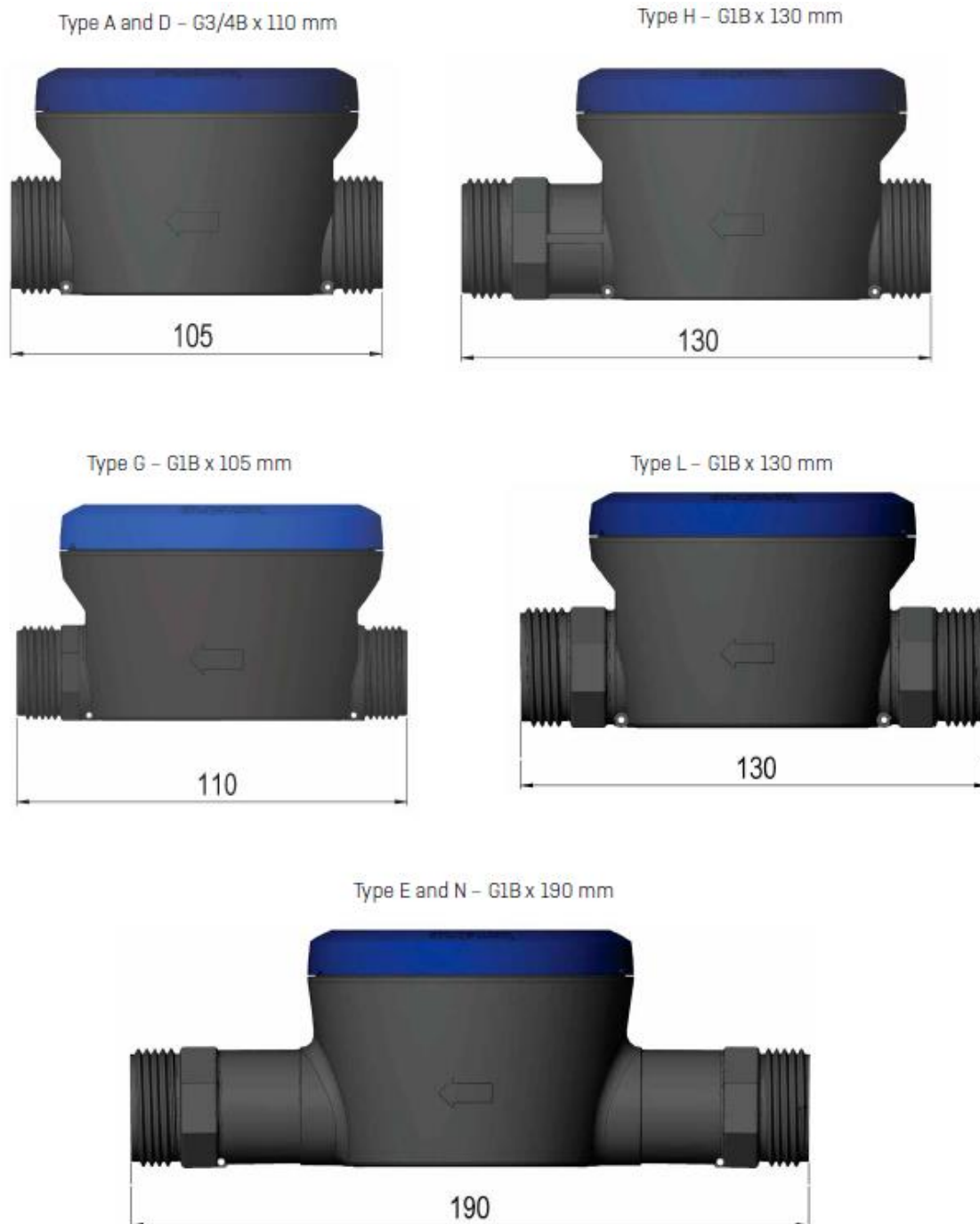
Ο πίνακας 2.3 παρουσιάζει κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά του μετρητή MULTICAL® 21/flowIQ® 2101 σε σύγκριση με τον αντίστοιχο τύπο του:

Αριθμός τύπου μετρητή			021- ΥΥ- C0A- 8XX	021- ΥΥ- C0D- 8XX	021- ΥΥ- C0G- 8XX	021- ΥΥ- C0H- 8XX	021- ΥΥ- C0E- 8XX	021- ΥΥ- C0L- 8XX	021- ΥΥ- C0N- 8XX
Ονομαστική παροχή	Q ₃	m ³ /h	1.6	2.5	2.5	2.5	2.5	4.0	4.0
Ελάχιστη παροχή	Q ₁	l/h	10	10	10	10	10	16	16
Μέγιστη παροχή	Q ₄	m ³ /h	2.0	3.1	3.1	3.1	3.1	5	5
Δυναμικό εύρος	Q ₃ /Q ₁		160	250	250	250	250	250	250
Ελάχιστη τιμή αποκοπής		l/h	2	2	2	2	2	3.2	3.2
Μέγιστη τιμή αποκοπής		m ³ /h	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	8.5	8.5
Απώλεια πίεσης	Δρ στη Q ₃	bar	0.25	0.55	0.55	0.55	0.55	0.38	0.38
Σύνδεση στο μετρητή			G3/4B	G3/4B	G1B	G1B	G1B	G1B	G1B
Μήκος		mm	110	110	105	130	190	130	190

Πίνακας 2.3: Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών του μετρητή MULTICAL® 21/flowIQ® 2101

Ο μετρητής διατίθεται σε εκδόσεις τόσο για κρύο νερό όσο και για ζεστό, αντίστοιχα με τον αριθμό τύπου μετρητή. Αυτός ο αριθμός είναι 8XX για κρύο νερό και 7XX για ζεστό νερό, όπου XX αντιστοιχεί στον κωδικό χώρας και ΥΥ αντιστοιχεί στην επιλογή επικοινωνίας. Επίσης, διατίθενται

διάφοροι σωλήνες επέκτασης, οι οποίοι καθιστούν δυνατή τη ρύθμιση του μετρητή στα περισσότερα υπάρχοντα συνολικά μήκη.



Σχήμα 2.11: Διαφορετικοί τύποι του μετρητή MULTICAL® 21/flowIQ® 2101

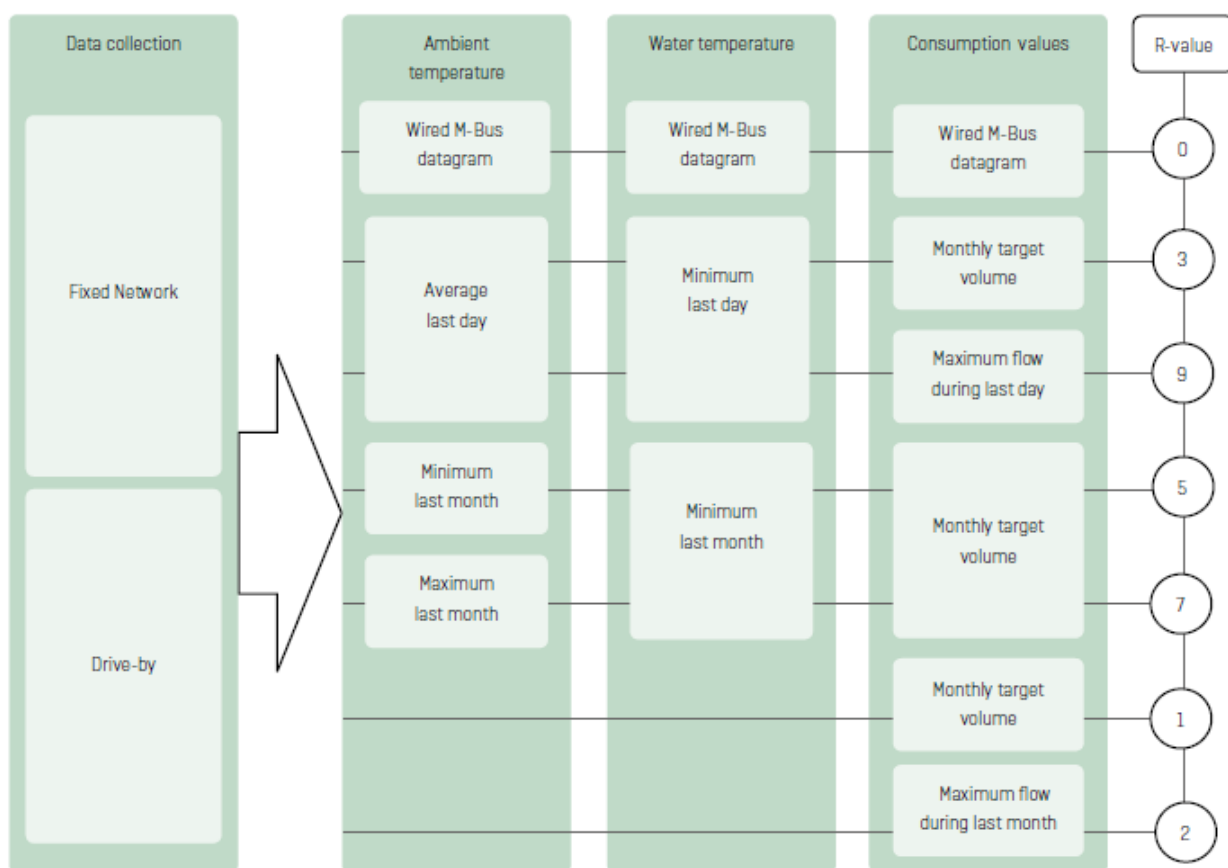
Ο μετρητής νερού συνοδεύεται από την πλέον πρόσφατη ραδιοτεχνολογία, η οποία ανταποκρίνεται στις αυξανόμενες απαιτήσεις της αγοράς για έξυπνες μετρήσεις είτε για εγκαταστάσεις drive-by είτε για σταθερού δικτύου. Αυτή η επικοινωνία γίνεται μέσω του ενσωματωμένου Wireless M-Bus, το οποίο παρέχει πρόσβαση σε γρήγορη και εύκολη ασύρματη ανάγνωση του μετρητή. Ο μετρητής είναι εξοπλισμένος με κεραία μεγάλης εμβέλειας που εκπέμπει ισχυρά σήματα χρησιμοποιώντας έξυπνη κωδικοποίηση επιτρέποντας να μπορεί να διαβαστεί από μεγάλη απόσταση με drive-by σύστημα. Μέσω του ασύρματου M-Bus ένα πακέτο

δεδομένων μεταδίδεται κάθε 16 ή 96 δευτερόλεπτα – σύμφωνα με το επιλεγμένο πακέτο ασύρματης τεχνολογίας. Κατά την αποστολή ενός πακέτου δεδομένων κάθε 16 δευτερόλεπτα, το πακέτο διατηρείται μικρό και συμπιέζεται για να επιτευχθεί μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Σε διαστήματα 96 δευτερολέπτων, αποστέλλεται ένα μεγαλύτερο πακέτο ραδιοτεχνολογίας με ενσωματωμένη κωδικοποίηση επισκευής και στην περίπτωση αυτή η μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας εξακολουθεί να είναι εγγυημένη, αφού το διάστημα μεταξύ μεταδόσεων είναι αυξημένο. Η μπαταρία του είναι μπαταρία λιθίου με διάρκεια ζωής περίπου τα 16 χρόνια.

Εκτός από την ανάγνωση της τρέχουσας πλήρως καταγεγραμμένης χρήσης νερού, ο μετρητής αποθηκεύει και μια σειρά από άλλα δεδομένα κατανάλωσης, όπως οι ακόλουθες τιμές:

- Η ένδειξη του μετρητή την πρώτη ημέρα του μήνα
- Η μέγιστη ροή καθημερινά
- Η μέγιστη ροή σε μηνιαία βάση
- Θερμοκρασία νερού και περιβάλλοντος

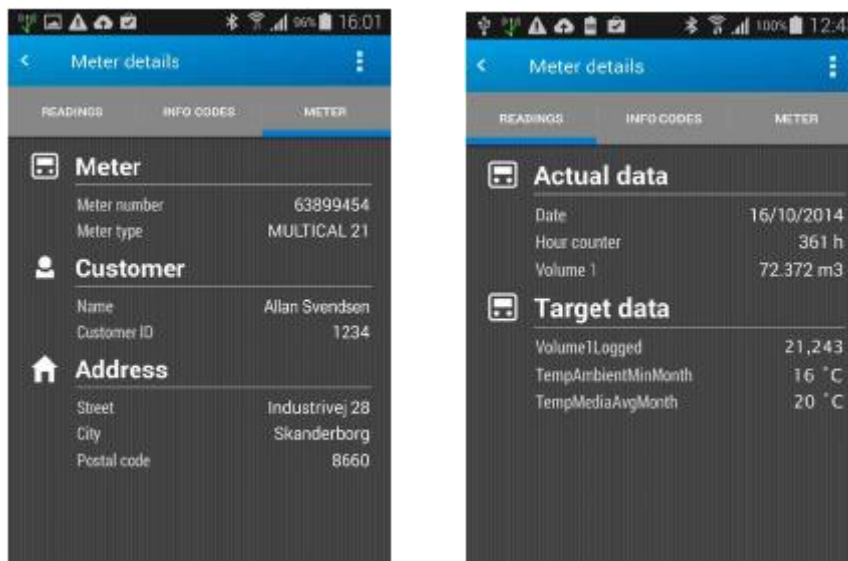
Μερικά από τα δεδομένα που αποστέλλονται μέσω της ασύρματης τεχνολογίας M-Bus είναι προαιρετικά και καθορίζονται από την τιμή της μεταβλητής R κατά την παραγγελία του μετρητή. Ένα τέτοιο πακέτο δεδομένων απεικονίζεται παρακάτω:



Σχήμα 2.12: Επιλογές πακέτων δεδομένων που θα εμφανίζει ο μετρητής

Ωστόσο, ο μετρητής μπορεί να διαβαστεί και χρησιμοποιώντας την Android εφαρμογή «REaDY» της Kamstrup για κινητά, η οποία είναι ιδανική για «walk-by» και «drive-by» συστήματα

ανάγνωσης. Ακολουθούν προεπισκοπήσεις του τρόπου εμφάνισης μιας ανάγνωσης στο έξυπνο τηλέφωνο του χρήστη [17]:



Σχήμα 2.13: Εφαρμογή READy της Kamstrup

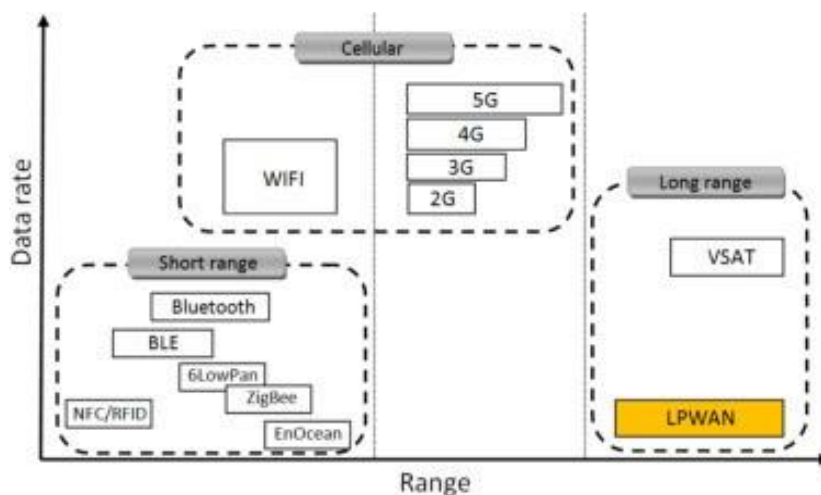
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Τεχνολογίες Δικτύου Ευφύων Μετρητών

3.1 Εισαγωγή

Το Internet of Things ή IoT είναι ένα σύστημα αλληλένδετων υπολογιστικών συσκευών, μηχανικών και ψηφιακών μηχανών, αντικειμένων, ανθρώπων με μοναδικά αναγνωριστικά όπου έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων μέσω ενός δικτύου χωρίς την απαίτηση αλληλεπίδρασης από άνθρωπο σε άνθρωπο ή από άνθρωπο σε υπολογιστή. Ένα οικοσύστημα IoT αποτελείται από έξυπνες συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούν ενσωματωμένα συστήματα, όπως επεξεργαστές, αισθητήρες και υλικό επικοινωνίας, για τη συλλογή, αποστολή και επεξεργασία δεδομένων τα οποία συλλέγονται από το περιβάλλον τους. Οι συσκευές IoT μοιράζονται τα δεδομένα των αισθητήρων κάνοντας σύνδεση με μια πύλη IoT ή άλλη συσκευή αιχμής και έτσι τα δεδομένα είτε αποστέλλονται στο cloud για ανάλυση είτε επεξεργάζονται σε τοπικό επίπεδο. Μερικές φορές, αυτές οι συσκευές επικοινωνούν με άλλες σχετικές συσκευές και ενεργούν βάσει των πληροφοριών που λαμβάνουν η μία από την άλλη. Φυσικά, αυτές οι συσκευές εκτελούν το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας τους χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, αν και οι άνθρωποι μπορούν να αλληλεπιδράσουν με τις συσκευές είτε για να τις ρυθμίσουν είτε για να τους δώσουν οδηγίες είτε για να αποκτήσουν πρόσβαση στα δεδομένα. Ακολούθως, αναλύονται διάφορες τεχνολογίες και πρωτόκολλα τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στην υλοποίηση ενός έξυπνου δικτύου ύδρευσης.

3.2 Δίκτυα LPWA

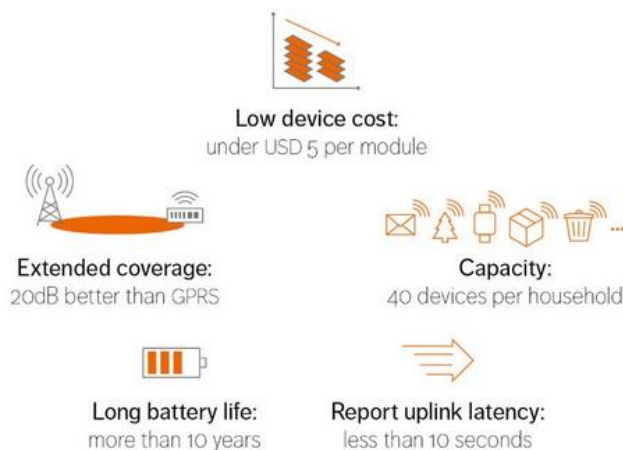
Ο όρος LPWAN σημαίνει Low Power Wide Area Network και δεν αναφέρεται σε κάποια συγκεκριμένη τεχνολογία, αλλά χρησιμοποιείται ως γενικός όρος για οποιοδήποτε δίκτυο το οποίο έχει σχεδιαστεί για να επικοινωνεί ασύρματα με χαμηλότερη ισχύ σε σχέση με άλλα δίκτυα, όπως το κυψελοειδές δίκτυο, το δορυφορικό ή το WiFi. Ταυτόχρονα, τα LPWAN επικοινωνούν σε μεγαλύτερες αποστάσεις σε σχέση με άλλα δίκτυα χαμηλής κατανάλωσης που χρησιμοποιούν, για παράδειγμα, Bluetooth ή NFC. Συνήθως, η επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις με χαμηλή ισχύ επιτρέπει μόνο μικρούς όγκους δεδομένων να μεταδίδονται κάθε φορά. Για αυτό και στην περίπτωση των LPWAN μεταδίδονται μόλις λίγα Kbit/sec ανά κανάλι σε αποστάσεις που μπορεί να φθάσουν και περισσότερο από 500 μίλια. Αντιθέτως, τα κυψελωτά δίκτυα εκτελούν μετάδοση της τάξης των Gbit/sec.



Σχήμα 3.1: Θέση LPWAN συγκριτικά με άλλες κατηγορίες δικτύων

Το πολύ περιορισμένο εύρος ζώνης των δικτύων LPWA δεν είναι κατάλληλο για τις περισσότερες

καταναλωτικές και εμπορικές εφαρμογές όπου μεταδίδονται φωνή, βίντεο, ήχος ή ακόμα και μηνύματα κειμένου. Ως εκ τούτου, τα δίκτυα LPWA χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά από συσκευές Internet of Things (IoT) και Machine to Machine (M2M - από μηχανή σε μηχανή). Ενώ οι οικιακές ή επαγγελματικές συσκευές όπως τα ψυγεία, οι λαμπτήρες ή τα θερμομέτρα μπορούν εύκολα να ανταποκριθούν σε μια σύνδεση WiFi στο σπίτι ή στο γραφείο, ορισμένες συσκευές δεν μπορούν να βασίζονται σε τέτοιου είδους συνδεσιμότητα. Ενδεικτικά, σε μια αρδευτική τάφρο που εκτείνεται σε μίλια στην αγροτική χώρα της Αμερικής υπάρχουν εκατοντάδες ή και χιλιάδες αντλίες και πύλες και μεγάλο μέρος του αρδευτικού καναλιού διασχίζει ιδιωτική γη, ανάμεσα σε χωράφια σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτή η συνθήκη καθιστά την παρακολούθηση της διαδρομής αυτής έστω και για μια φορά την ημέρα αρκετά δύσκολη και δαπανηρή διαδικασία για την εξασφάλιση της ορθής λειτουργίας του αρδευτικού δικτύου. Παράλληλα, τα τυπικά κυψελωτά δίκτυα έξω στις πεδιάδες είναι σε αρκετές περιοχές ανύπαρκτα, ενώ μια δορυφορική σύνδεση μπορεί να λειτουργήσει, αλλά τόσο το κόστος θα ήταν αρκετά μεγάλο όσο και η απαίτηση σε ισχύ θα ήταν αρκετά μεγάλη. Έτσι, η καλύτερη λύση για την ορθή και άμεση παρακολούθηση ενός τέτοιου συστήματος είναι ένα δίκτυο LPWA. Συμπερασματικά, το LPWAN παρέχει τη δυνατότητα σε εφαρμογές να μεταδίδουν δεδομένα μικρού όγκου σε μεγάλο εύρος, οικονομικά και με πολύ μικρή ενεργειακή σπατάλη, αφού η διάρκεια ζωής της μπαταρίας διατηρείται για περισσότερα από 10 έτη.



Σχήμα 3.2: Δυνατότητες LPWAN

Ειδικότερα στο δίκτυο ύδρευσης, η χρήση τεχνολογιών LPWA καθίσταται αναγκαία, καθώς η μετάδοση δεδομένων και μετρήσεων όχι μόνο γίνεται κατά κύριο λόγο σε υπόγεια δίκτυα και φρεάτια αλλά και σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων. Στο έργο όπου μελετάται σε αυτή τη διπλωματική θα χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες LPWA όπως LoRa και NB-IoT, οι οποίες θα αναλυθούν στη συνέχεια [18].

3.3 M - Bus

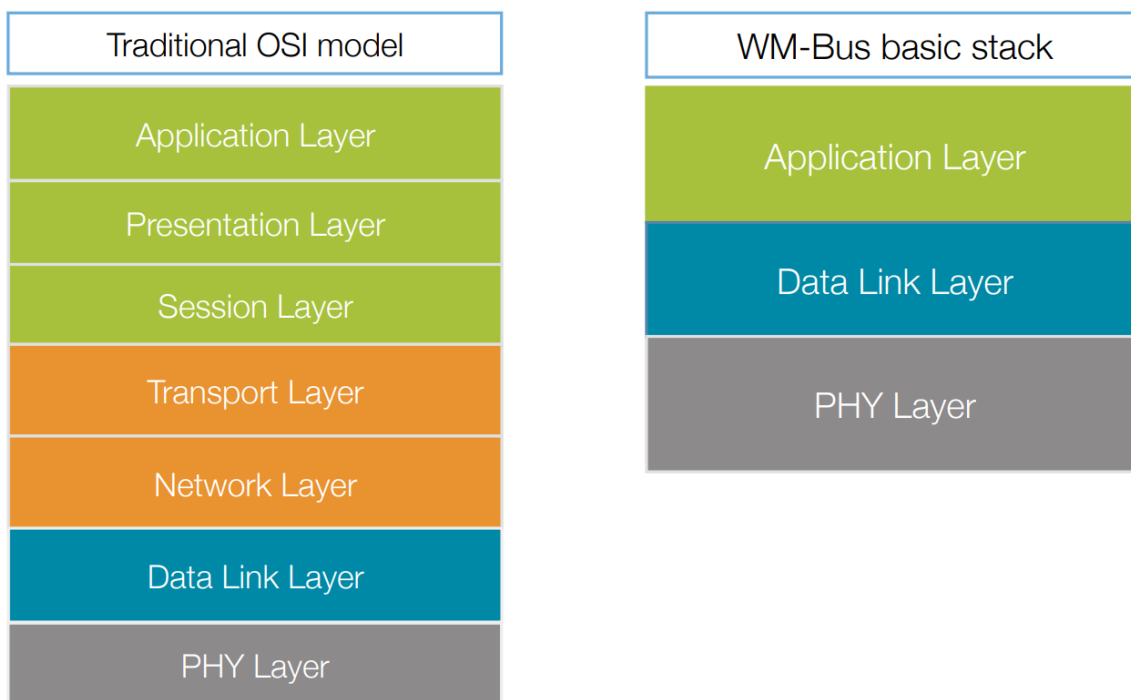
Το M-Bus ή Meter-Bus είναι ένα ευρωπαϊκό πρότυπο (EN 13757-2 physical and link layer, EN 13757-3 application layer), το οποίο καθορίζει την επικοινωνία μεταξύ των μετρητών κοινής ωφέλειας και συστημάτων καταγραφής δεδομένων, συγκεντρωτών ή έξυπνων πυλών [19]. Αναπτύχθηκε από τον καθηγητή Horst Ziegler του πανεπιστημίου του Πάντερμπορν σε συνεργασία με την Texas Instruments Deutschland GmbH (Ε.Π.Ε.) και Techem GmbH(Ε.Π.Ε.). Στόχος τους ήταν να υλοποιήσουν ένα ανοικτό σύστημα που θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει

σχεδόν οποιοδήποτε πρωτόκολλο. Έτσι, επιτεύχθηκε η κάλυψη της ανάγκης δικτύωσης και απομακρυσμένης ανάγνωσης μετρητών κατανάλωσης ενός συστήματος, π.χ. για τη μέτρηση της κατανάλωσης νερού ή φυσικού αερίου σε ένα σπίτι. Με άλλα λόγια, το M-Bus είναι ένας βελτιστοποιημένος ως προς το κόστος δίαυλος πεδίου, ο οποίος μεταφέρει δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας. Συγχρόνως, το M-Bus πληρεί τις ειδικές απαιτήσεις συστημάτων που τροφοδοτούνται είτε από απόσταση είτε με μπαταρία. Η διεπαφή M-Bus είναι κατασκευασμένη τόσο για ενσύρματη όσο και για ασύρματη επικοινωνία. Οι μετρητές αποστέλλουν τα δεδομένα που έχουν συλλέξει σε έναν κοινό «διαχειριστή - master», ο οποίος μπορεί να είναι ένας υπολογιστής χειρός και ο οποίος είναι συνδεδεμένος σε περιοδικά διαστήματα για να διαβάσει όλους τους μετρητές κατανάλωσης του συστήματος.

Κατά την ανάπτυξη του M-Bus έχουν επίσης ληφθεί υπόψη οι οικονομικές και τεχνικές πτυχές της διεπαφής, που σχετίζονται με την καθημερινότητα και το καθιστούν βέλτιστο συνδυασμό αποδοτικότητας και κόστους. Αυτές οι πτυχές είναι οι ακόλουθες:

- ο μεγάλος αριθμός συνδεδεμένων συσκευών
- η δυνατότητα επέκτασης του δικτύου
- η μικρή πιθανότητα αστοχίας και η στιβαρότητα
- το ελάχιστο κόστος
- η ελάχιστη κατανάλωση ρεύματος στους μετρητές
- η αποδεκτή ταχύτητα μετάδοσης

Όσον αφορά τη διαστρωματωμένη περιγραφή του προτύπου αυτού, δεδομένου ότι το M-Bus δεν είναι δίκτυο και συνεπώς δεν χρειάζεται επίπεδο συνόδου (session layer) ή επίπεδο μεταφοράς (transport layer), τα επίπεδα 4, 5 και 6 του μοντέλου αναφοράς OSI είναι κενά. Επομένως, μόνο το φυσικό επίπεδο (physical layer), το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (data link layer), το επίπεδο δικτύου (network layer) και το επίπεδο εφαρμογών (application layer) παρέχονται με λειτουργίες.



Εικόνα 3.3: Μοντέλο OSI για Wireless M-Bus

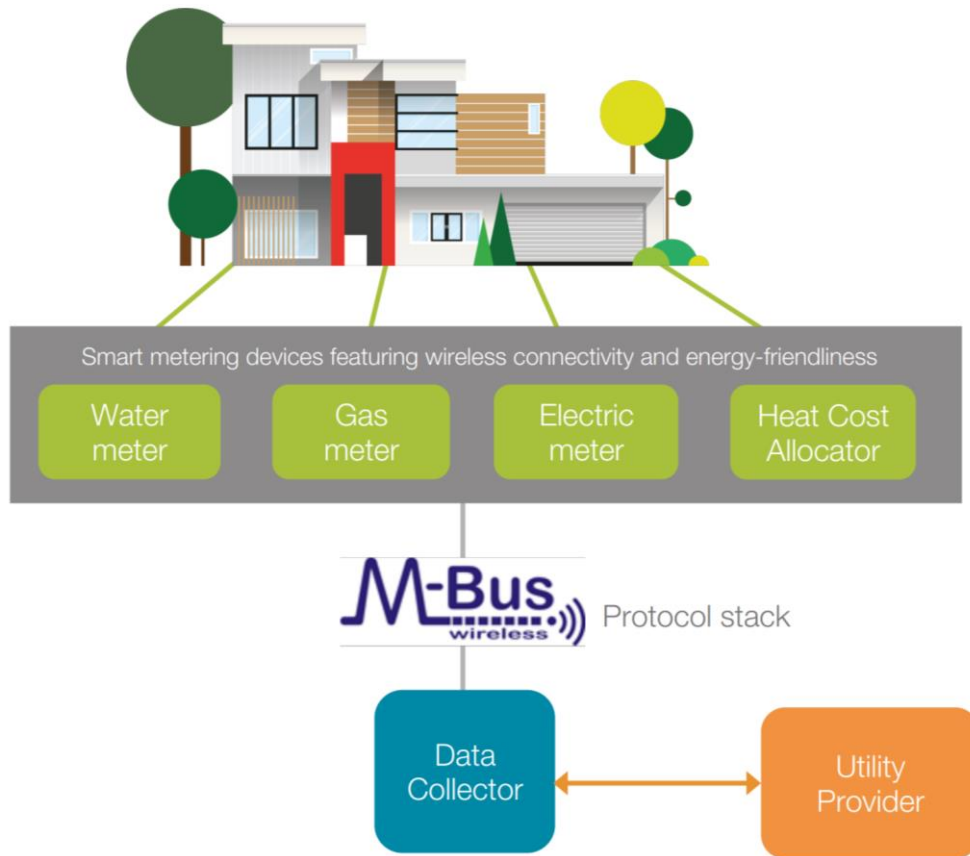
Αξίζει να σημειωθεί ότι επειδή το μοντέλο ISO-OSI δεν επιτρέπει την αλλαγή παραμέτρων, όπως ο ρυθμός μετάδοσης συμβόλων (baudrate) και η διεύθυνση, από υψηλότερα επίπεδα, ορίζεται ένα επίπεδο διαχείρισης (management layer) δίπλα και πάνω από τα επίπεδα του OSI [20].

Επίπεδα	Λειτουργίες	Πρότυπα
Εφαρμογών	δομές δεδομένων, τύποι δεδομένων, ενέργειες	EN1434-3
Παρουσίασης	-	-
Συνόδου	-	-
Μεταφοράς	-	-
Δικτύου	εκτεταμένη διευθυνσιοδότηση (προαιρετικό)	-
Ζεύξης Δεδομένων	παράμετροι μετάδοσης, διευθύνσεις, ακεραιότητα δεδομένων	IEC 870
Φυσικό	καλώδιο, αναπαράσταση bit, επεκτάσεις διαύλου, τοπολογία, προδιαγραφές	M-Bus

Πίνακας 3.1: Πίνακας λειτουργιών του M-Bus με βάση το μοντέλο αναφοράς ISO-OSI

Τέλος, μερικά από τα πλεονεκτήματα ενός M-Bus συστήματος είναι τα ακόλουθα:

- δεν υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις για το καλώδιο του διαύλου αρκεί το καλώδιο της εγκατάστασης ηλεκτρικής ενέργειας ή το καλώδιο τηλεφώνου
- υποστηρίζει οποιαδήποτε τοπολογία καλωδίωσης (γραμμική, αστέρα και δένδρου)
- μεγάλη επεκτασιμότητα (έως μερικά χιλιόμετρα)
- απομακρυσμένη ανάγνωση δεδομένων κατανάλωσης (θερμότητα, νερό, φυσικό αέριο, ηλεκτρική ενέργεια) με μόντεμ εφικτή από οποιοδήποτε μέρος
- επικοινωνία με αισθητήρες και ενεργοποιητές κάθε τύπου
- ενεργειακή παρακολούθηση και βελτιστοποίηση
- παρακολούθηση διαρροών
- εφαρμόζεται τόσο στη βιομηχανία όσο και στα ιδιωτικά νοικοκυριά
- μεγάλη διαθεσιμότητα των στοιχείων του συστήματος
- βέλτιστη σχέση κόστους/απόδοσης [21]



Σχήμα 3.4: Μοντέλο εγκατάστασης M-Bus συστήματος σε νοικοκυριό

Υπάρχουν τρεις συχνότητες οι οποίες χρησιμοποιούνται στο Wireless M-Bus: 169MHz, 433MHz και 868MHz. Αντίστοιχα προς την κάθε συχνότητα, πραγματοποιούνται και διαφορετικές λειτουργίες. Αυτές οι λειτουργίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2. Οι λειτουργίες S, T, C και N χρησιμοποιούνται συχνότερα με τη λειτουργία N να κερδίζει δημοτικότητα στη ζώνη των 169MHz, ενώ οι λειτουργίες R και F είναι λιγότερο συνηθισμένες. Αυτές οι λειτουργίες έχουν υπολειτουργίες τόσο μονόδρομης όσο και αμφίδρομης κατεύθυνσης [19].

Όνομα	Συχνότητα (MHz)	Λειτουργία
S (Stationary)	868	Οι μετρητές αποστέλλουν δεδομένα λίγες φορές μέσα στην ημέρα.
T (Frequency Transmit)	868	Οι μετρητές αποστέλλουν δεδομένα πολλές φορές μέσα στην ημέρα.
C (Compact)	868	Υψηλότερη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων από την λειτουργία T.
R (Frequency Receive)	868	Ο Συλλέκτης διαβάζει πολλαπλές μετρήσεις από κανάλια διαφορετικών συχνοτήτων.
N (Narrowband)	169	Σύστημα μεγάλης εμβέλειας και στενής ζώνης.
F (Frequency Tx and Rx)	433	Συχνή αμφίδρομη επικοινωνία.

Πίνακας 3.2: Πίνακας λειτουργιών και συχνοτήτων του M-Bus.

Γενικά, λόγω των χαρακτηριστικών μετάδοσης, των χαμηλών απαιτήσεων σε ενέργεια και της μικρής συμφόρησης στις μη αδειοδοτούμενες ζώνες συχνοτήτων, προτιμώνται ζώνες συχνοτήτων μικρότερες του 1GHz μεταξύ των ασύρματων επιλογών. Συγκεκριμένα, η ζώνη των 169MHz παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- καλύτερο συντελεστή απόδοσης, όσον αφορά την ασύρματη διάδοση
- μεγάλη ικανότητα διείσδυσης, καθώς είναι πιθανό οι μετρητές να τοποθετούνται σε υπόγεια κτιρίων, μέσα σε μεταλλικά ντουλάπια, φρεάτια
- δυνατότητα επέκτασης σε διαφορετικά εύρη συχνοτήτων
- χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (μπαταρίας)

Τέλος, διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων (π.χ. 169MHz και 868MHz) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα στην ίδια αρχιτεκτονική προκειμένου να αντιμετωπιστούν προβλήματα παρεμβολών από μη αδειοδοτούμενες ζώνες [22].

3.4 LoRa/LoRaWAN

Το LoRa αναπτύχθηκε για πρώτη φορά το 2009 στη Γκρενόμπλ της Γαλλίας, ενώ τρία χρόνια αργότερα αγοράστηκε από το Semtech στις ΗΠΑ. Πρόκειται για μία τεχνολογία φυσικού επιπέδου (physical layer) για επικοινωνίες μεγάλης εμβέλειας και χαμηλής ισχύος. Είναι ένα παράγωγο του φάσματος εξάπλωσης chirp (chirp spread spectrum - CSS) με ενσωματωμένη ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων FEC (forward error correction). Η τεχνική CSS επιτρέπει, από τη μία πλευρά,

την αύξηση της ευαισθησίας του δέκτη επιτρέποντας επικοινωνίες μεγάλης εμβέλειας, και από την άλλη πλευρά, την ορθή αποκωδικοποίηση μεταδόσεων 19.5 dB κάτω από το επίπεδο θορύβου. Με τον όρο ευαισθησία του δέκτη (receiver sensitivity) ορίζεται η ελάχιστη ισχύς στην είσοδό του ώστε να μπορεί να αντληφθεί ο δέκτης την πληροφορία ορθά.

Γενικά, το LoRa χαρακτηρίζεται από πέντε παραμέτρους:

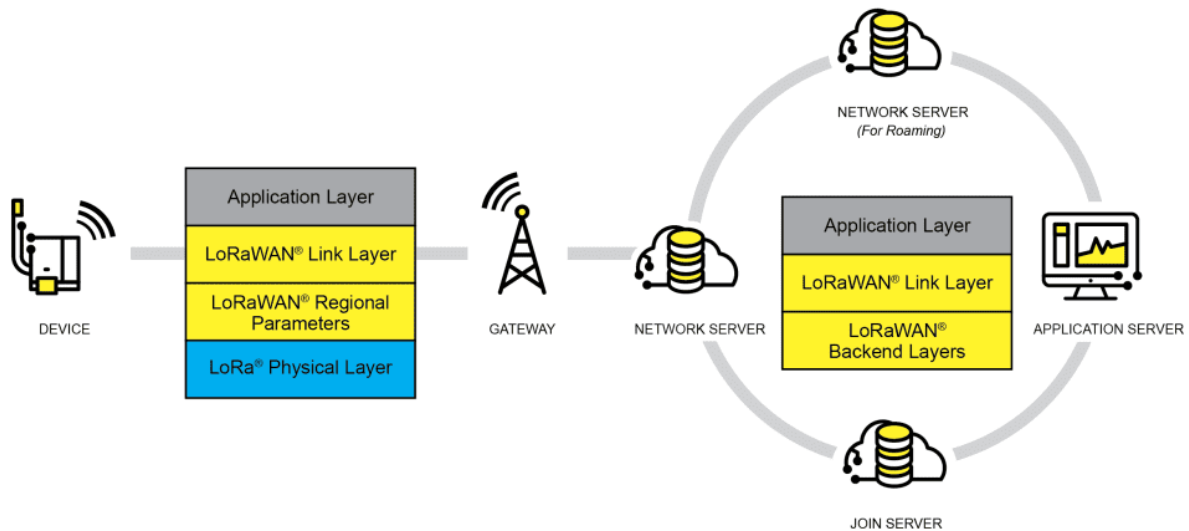
- τη φέρουσα συχνότητα (carrier frequency - CF)
- το εύρος ζώνης (bandwidth - BW)
- την ισχύ μετάδοσης (transmission power - P_{tx})
- το συντελεστή διασποράς (spreading factor - SF)
- το ρυθμό κώδικα (code rate - CR).

Αυτές οι παράμετροι μπορούν να ρυθμιστούν κατάλληλα ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή αντισταθμιστική σχέση μεταξύ διαφόρων χαρακτηριστικών, όπως:

- ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (data rate)
- το εύρος μετάδοσης (transmission range)
- η ανθεκτικότητα σε παρεμβολές (robustness to interference)
- η κατανάλωση ενέργειας (energy consumption).

Το LoRa χρησιμοποιεί μη αδειοδοτούμενες ζώνες ISM (Industrial, Scientific and Medical radio bands), δηλαδή 868MHz στην Ευρώπη, 915MHz στη Βόρεια Αμερική και 433MHz στην Ασία. Το εύρος ζώνης μπορεί να είναι 125KHz, 250KHz και 500KHz. Σε περίπτωση υψηλότερου εύρους ζώνης αυτό θα αντιστοιχεί σε υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, αλλά και σε χαμηλότερη ευαισθησία του δέκτη. Η ισχύς μετάδοσης του σήματος που μεταδίδεται με την τεχνολογία LoRa, μπορεί να ρυθμιστεί με βάση την περιοχή και τη ζώνη που χρησιμοποιείται για τις μεταδόσεις. Ο συντελεστής διασποράς αντιπροσωπεύει την αναλογία μεταξύ του ρυθμού συμβόλων και του ρυθμού chip με τιμές που κυμαίνονται από 7 έως 12. Ένας υψηλότερος συντελεστής διασποράς κάνει το σήμα περισσότερο ανθεκτικό στο θόρυβο, αφού αυξάνει την ευαισθησία του δέκτη και το εύρος ζώνης, αλλά μειώνει το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων [23].

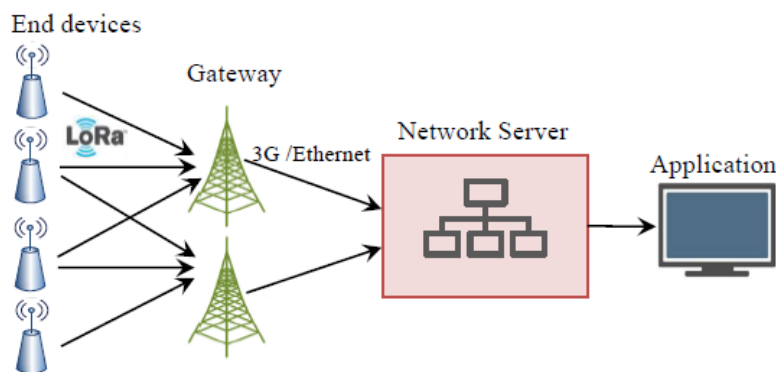
Το πρωτόκολλο ανώτερου επιπέδου, συγκεκριμένα επίπεδου ζεύξης δεδομένων (data link layer), που χρησιμοποιεί το LoRa, είναι το LoRaWAN και αναπτύχθηκε από την LoRa Alliance. Η LoRa Alliance είναι μια ανοικτή, μη κερδοσκοπική ένωση με στόχο την υποστήριξη και προώθηση της παγκόσμιας υιοθέτησης του προτύπου LoRaWAN.



Σχήμα 3.5: Μοντέλο OSI για το δίκτυο LoRaWAN

Το LoRaWAN είναι ένα πρωτόκολλο δικτύωσης LPWA, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να συνδέει ασύρματα συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία στο διαδίκτυο σε περιφερειακά, εθνικά ή παγκόσμια δίκτυα, στοχεύοντας στις βασικές απαιτήσεις του IoT, όπως η αμφίδρομη κατευθυντικότητα επικοινωνία, η ασφάλεια από άκρο σε άκρο και οι υπηρεσίες κινητικότητας και εντοπισμού [24]. Το LoRaWAN βασίζεται σε ένα πρωτόκολλο MAC, που βασίζεται στο ALOHA, και έχει ως στόχο τη μείωση της πολυπλοκότητας κατά τη διεπαφή των τελικών συσκευών (end-devices) στο κανάλι. Η αρχιτεκτονική του δικτύου είναι μια τοπολογία αστέρα σε αστέρα (star-of-star) και αποτελείται από τρεις οντότητες:

- τελικές συσκευές (end-devices - EDs)
- πύλες (gateways - GWs)
- ένα διακομιστή δικτύου [23].



Σχήμα 3.6: Αρχιτεκτονική ενός δικτύου τεχνολογίας LoRa.

Στην τοπολογία αυτή, οι πύλες αναμεταδίδουν μηνύματα μεταξύ τελικών συσκευών και κεντρικού διακομιστή δικτύου. Οι πύλες συνδέονται με το διακομιστή δικτύου μέσω τυπικών συνδέσεων IP και λειτουργούν ως γέφυρα, μετατρέποντας απλώς πακέτα RF σε πακέτα IP και αντίστροφα. Η ασύρματη επικοινωνία εκμεταλλεύεται τα χαρακτηριστικά μεγάλης εμβέλειας του φυσικού στρώματος LoRa, επιτρέποντας μια σύνδεση ενός άλματος (single-hop) μεταξύ της τελικής συσκευής και μιας ή πολλών πυλών. Όλες οι λειτουργίες επιδέχονται αμφίδρομη επικοινωνία και υπάρχει υποστήριξη για ομάδες διευθυνσιοδότησης πολλαπλής εκπομπής για την

αποτελεσματική χρήση του φάσματος κατά τη διάρκεια εργασιών, όπως οι αναβαθμίσεις υλικού και λογισμικού ή άλλα μηνύματα μαζικής διανομής [24].

Το LoRaWAN εισάγει τρεις κλάσεις:

- κλάση A (προεπιλογή): Χαμηλότερη ισχύς και αμφίδρομες τελικές συσκευές
- κλάση B (προαιρετική): Αμφίδρομες τελικές συσκευές με ντετερμινιστική καθυστέρηση κατερχόμενης ζεύξης
- κλάση Γ (προαιρετική): Χαμηλότερη καθυστέρηση, αμφίδρομες τελικές συσκευές

Η κλάση A υποστηρίζει βασικές αμφίδρομες επικοινωνίες, όπου κάθε μετάδοση ανερχόμενης ζεύξης ακολουθείται από δύο σύντομα παράθυρα λήψης για μεταφορά δεδομένων προς την τελική συσκευή. Η κλάση B επεκτείνει την κλάση A προσθέτοντας πρόσθετα παράθυρα λήψης σε προγραμματισμένους χρόνους. Στη συνέχεια, η πύλη εκπέμπει περιοδικά beacons σήματα για τη διατήρηση του συγχρονισμού των τελικών συσκευών, ενώ οι τελικές συσκευές της κλάσης Γ λαμβάνουν σχεδόν συνεχώς παράθυρα όταν δεν εκπέμπουν.

Σε κάθε LoRaWAN δίκτυο πρέπει να εφαρμόζονται τρία προεπιλεγμένα κανάλια (868.1MHz, 868.3MHz και 868.5MHz). Πρακτικά, το φυσικό κανάλι επιλέγεται σε ψευδοτυχαία βάση αντίστοιχα προς τις απαιτήσεις που ορίζονται από το ETSI. Κάθε υποζώνη έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις σχετικά με τη μέγιστη αποτελεσματικότητα ακτινοβολούμενης ισχύος (effective radiated power - ERP) και τα όρια κύκλου λειτουργίας (duty cycle). Με τον όρο κύκλο λειτουργίας ορίζεται το κλάσμα μιας περιόδου στην οποία ένα σήμα ή ένα σύστημα είναι ενεργό και εκφράζεται συνήθως με ποσοστό ή αναλογία. Για την πλειοψηφία των υποζωνών, το ERP είναι 25mW (14dBm) και ο κύκλος λειτουργίας κυμαίνεται μεταξύ 0,1% και 1%. Επιπλέον, οι προδιαγραφές του LoRaWAN ορίζουν ένα σχήμα προσαρμοστικού ρυθμού δεδομένων (adaptive data rate - ADR) που επιτρέπει στο διακομιστή να ορίσει το συντελεστή διασποράς κάθε κόμβου μεγιστοποιώντας τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, ενώ ταυτόχρονα βελτιστοποιεί τη συνολική χωρητικότητα δικτύου. Το μέγιστο ωφέλιμο φορτίο MAC μπορεί να κυμαίνεται από 59 έως 250 byte αντίστοιχα με τις διαμορφώσεις του σήματος σε μια τεχνολογία LoRa. Τέλος, η γενική επιβάρυνση του LoRaWAN ανά πακέτο είναι 13byte [23].

Όσον αφορά την ασφάλεια, αυτή αποτελεί πρωταρχικό μέλημα για οποιαδήποτε μαζική ανάπτυξη IoT και η προδιαγραφή LoRaWAN ορίζει δύο επίπεδα κρυπτογραφίας:

- ένα μοναδικό κλειδί σύνδεσης δικτύου (network session key) 128bit κοινόχρηστο μεταξύ της τελικής συσκευής και του διακομιστή δικτύου
- ένα μοναδικό κλειδί σύνδεσης εφαρμογής (application session key) 128bit κοινόχρηστο από άκρο σε άκρο σε επίπεδο εφαρμογής

Επίσης, οι αλγόριθμοι AES χρησιμοποιούνται για να εκτελούν έλεγχο ταυτότητας και ακεραιότητας των πακέτων στο διακομιστή δικτύου σε πρώτο επίπεδο και έλεγχο κρυπτογράφησης από άκρο σε άκρο στο διακομιστή εφαρμογών σε δεύτερο επίπεδο. Με την παροχή αυτών των δύο επιπέδων, καθίσταται δυνατή η υλοποίηση κοινών δικτύων «πολλαπλών μισθώσεων» χωρίς ο διαχειριστής του δικτύου να έχει ορατότητα των δεδομένων ωφέλιμου φορτίου των χρηστών. Τέλος, τα κλειδιά μπορούν να ενεργοποιηθούν με εξατομίκευση (ABP) είτε στη γραμμή παραγωγής είτε κατά την ανάθεση ή να ενεργοποιηθούν μέσω του αέρα (OTAA) στο πεδίο. Το OTAA επιτρέπει στις συσκευές να επαναπροσδιορίζουν το κλειδί εφόσον είναι απαραίτητο [24].

3.5 NB-IoT

Οι συσκευές ανάγνωσης μετρητών όπως κατανάλωσης ρεύματος, φυσικού αερίου ή νερού (στη συγκεκριμένη μελέτη) είναι σταθερές και συνήθως μεταδίδουν μόνο ένα μικρό όγκο δεδομένων, ο οποίος δεν είναι ευαίσθητος σε καθυστερήσεις. Ωστόσο, ο αριθμός αυτών των συσκευών MTC (Machine Type Communication) σε ένα δίκτυο μπορεί να γίνει αρκετά μεγάλος. Σε τέτοια περίπτωση, η χρήση της υπάρχουσας τεχνολογίας LTE θα οδηγούσε σε υπερφόρτωση του δικτύου, καθώς μπορεί ο όγκος των δεδομένων που μεταδίδονται να είναι μικρός, αλλά το μέγεθος της σηματοδότησης του εκάστοτε πακέτου δεδομένων είναι αρκετά μεγάλο. Η πρώτη προδιαγραφή του NB-IoT επικεντρώνεται σε αυτήν την κατηγορία συσκευών. Αυτές οι συσκευές εγκαθίστανται συχνά σε μέρη χωρίς παροχή ρεύματος και συνεπώς λειτουργούν με μπαταρία. Η αλλαγή της μπαταρίας είναι μία αρκετά δαπανηρή διαδικασία, δεδομένου ότι η πρόσβαση σε αυτή μπορεί να γίνει μόνο από εκπαιδευμένο προσωπικό. Ως εκ τούτου, σε ορισμένες περιπτώσεις η διάρκεια ζωής της μπαταρίας μπορεί ακόμη και να καθορίσει τη διάρκεια ζωής ολόκληρης της συσκευής. Συμπερασματικά, η βελτιστοποιημένη κατανάλωση ενέργειας είναι απαραίτητη για την ορθή λειτουργία του δικτύου. Επιπλέον, η τηλεπικοινωνιακή κάλυψη σε αυτούς τους χώρους είναι συχνά πολύ κακή. Επομένως, η εσωτερική κάλυψη πρέπει να βελτιωθεί σημαντικά και να φτάσει έως και την τιμή των 23dB απαραίτητως. Για όλους, λοιπόν, αυτούς τους λόγους αναπτύχθηκε το NB-IoT, το οποίο αν και είναι ενσωματωμένο στο LTE, μπορεί να θεωρηθεί ως μία νέα διεπαφή αέρα.

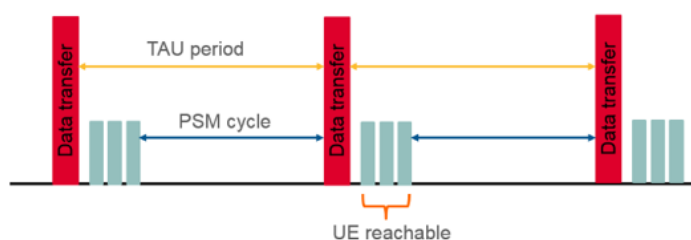
Το NB-IoT (Narrowband Internet of Things – IoT στενής ζώνης) είναι ένα πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας για το Internet of Things στις διάφορες μορφές του, το οποίο αναπτύχθηκε από τη 3GPP. Αυτό το πρότυπο ανήκει στην κατηγορία των δικτύων LPWAN και εστιάζει:

- στην κάλυψη εσωτερικών και δυσπρόσιτων χώρων
- στο χαμηλό κόστος
- στη μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας
- στο μεγάλο αριθμό συσκευών ανά κυψέλη
- στην υψηλή πυκνότητα σύνδεσης.

Επίσης, το NB-IoT είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει σε μεγάλο αριθμό συσκευών να αποστέλλουν δεδομένα ακόμα και σε μέρη που δεν υπάρχει κάλυψη του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Ταυτόχρονα, έχει τη χαμηλότερη εμβέλεια και δυνατότητες κάλυψης, δηλαδή η εμβέλειά του είναι μικρότερη των 10km και επικεντρώνεται κυρίως στην κατηγορία των συσκευών που εγκαθίστανται σε μέρη μακριά από την τυπική εμβέλεια των κυψελωτών δικτύων (π.χ. σε εσωτερικούς χώρους, σε υπόγεια). Επιπλέον, η ανάπτυξη του NB-IoT περιορίζεται σε σταθμούς βάσης LTE. Το NB-IoT χρησιμοποιεί αδειοδοτούμενο φάσμα συχνοτήτων και σε αυτό το φάσμα δεν υπάρχουν παρεμβολές με άλλες συσκευές εξασφαλίζοντας έτσι μια περισσότερο αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων. Το συγκεκριμένο πρότυπο είναι αρκετά ευέλικτο, καθώς μπορεί να λειτουργήσει σε φασματικές ζώνες τόσο των 2G όσο και των 3G αλλά και των 4G εξαλείφοντας την ανάγκη για πύλη και κατά συνέπεια εξοικονομώντας κόστος μακροπρόθεσμα [25].

Η χρήση μπαταριών μεγάλης διάρκειας είναι ένα από τα μεγαλύτερα οφέλη της τεχνολογίας NB-IoT. Για την ενεργοποίηση, τα chipset NB-IoT έχουν βελτιστοποιηθεί ώστε να εστιάζουν μόνο σε λειτουργίες που σχετίζονται με τις συσκευές που χρησιμοποιούνται. Οι βασικές λειτουργίες 3GPP, όπως η λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας (PSM – Power Saving Mode), θέτουν τις μονάδες σε λειτουργία αναστολής λειτουργίας με πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας καταναλώνοντας μόνο

ένα πολύ χαμηλό ρεύμα μερικών μA , ενώ αποστέλλουν περιστασιακά μηνύματα επικαιροποίησης περιοχής παρακολούθησης (TAU – Tracking Area Update) στο δίκτυο, για να αποφευχθεί η ανάγκη επανεγγραφής μετά την ενεργοποίηση. Η λειτουργία Long Periodic TAU επιτρέπει στις ενότητες να παρατείνουν τη διάρκεια μεταξύ αυτών των μηνυμάτων παρακολούθησης έως και μερικές εβδομάδες, αυξάνοντας έτσι τα διαστήματα της απενεργοποίησης. Η διευρυμένη λειτουργία ασυνεχούς λήψης (eDRX – Extended Discontinuous Reception) προσφέρει μεγαλύτερη λειτουργία τηλεειδοποίησης χαμηλής κατανάλωσης για να επιτρέπει στις συσκευές να λαμβάνουν δεδομένα κατερχόμενης ζεύξης (downlink) από το διακομιστή, ενώ δεν υπάρχουν δεδομένα ανερχόμενης ζεύξης (uplink). Γενικά, οποιαδήποτε συσκευή έχει τη δυνατότητα να ζητήσει και να ελέγξει το PSM, το Long Periodic TAU και το eDRX για να βελτιστοποιήσει την κατανάλωση ενέργειας αντίστοιχα με τη χρήση της.

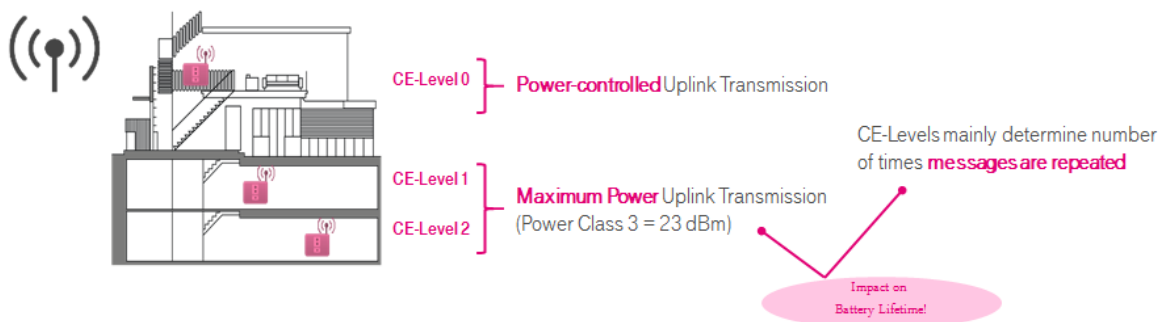


Σχήμα 3.7: Λειτουργίες TAU και PSM.

Όσον αφορά τη βαθιά εσωτερική κάλυψη (π.χ. σε υπόγεια κτιρίων), αυτή επιτυγχάνεται με υψηλότερη πυκνότητα ισχύος, καθώς οι μεταδόσεις συγκεντρώνονται σε ένα μικρότερο εύρος ζώνης φορέα μόλις 180 KHz. Η δυνατότητα βελτίωσης της κάλυψης (Coverage Enhancement-CE) προσφέρει επιπλέον τη δυνατότητα επανάληψης της μετάδοσης ενός μηνύματος, αν χρειαστεί, λόγω κακών συνθηκών κάλυψης, ωστόσο, οδηγώντας σε χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Αντίθετα, οι τεχνολογίες που λειτουργούν σε μη εξουσιοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων περιορίζονται νομικά στον αριθμό των επαναλήψεων της μετάδοσης ενός μηνύματος, λόγω προκαθορισμένων κύκλων λειτουργίας. Σε αυτή τη περίπτωση, καθίσταται η εσωτερική κάλυψη αναποτελεσματική, καθώς περιορίζεται ο αριθμός των επαναλήψεων μετάδοσης ενός μηνύματος σε ενδεχόμενες κακές συνθήκες κάλυψης.

NB-IoT has three **Coverage Enhancement (CE)-Levels**:

- CE-Level 0 → Equivalent to GSM Coverage ($\text{RSRP} > -114 \text{ dBm}$)
- CE-Level 1 → Up to 10 dB gain vs. GSM (RSRP between -114 dBm and -124 dBm)
- CE-Level 2 → Up to 20 dB gain vs. GSM ($\text{RSRP} < -124 \text{ dBm}$)



Σχήμα 3.8: Επίπεδα Εσωτερικής Κάλυψης.

Το κόστος μιας NB-IoT αρχιτεκτονικής είναι μικρότερο από 5 δολάρια ανά μονάδα NB-IoT. Για να διασφαλιστεί αυτό το κόστος, μια σειρά περιττών χαρακτηριστικών LTE έχει εξαλειφθεί από το υλικό της μονάδας. Οι μονάδες μπορούν να παραχθούν με οικονομικότερο από τις μονάδες των LTE, 3G ή GSM αποφεύγοντας τη συσσωμάτωση του φορέα, τη φωνητική υποστήριξη, τις πολλαπλές μεταδόσεις τόσο για την κατερχόμενη ζεύξη (downlink) όσο και για την ανερχόμενη ζεύξη (uplink), την παράλληλη επεξεργασία κ.ά. [13].

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζεται η σύγκριση των χαρακτηριστικών των πρωτοκόλλων LoRa και NB-IoT:

	LoRa	NB-IoT
Τεχνολογία	Proprietary	Open LTE
Φάσμα	Μη-αδειοδοτούμενο	Αδειοδοτούμενο
Περιορισμοί Κύκλου Εργασίας (Duty Cycle)	Ναι	Όχι
Ρυθμός δεδομένων κατερχόμενης ζεύξης (Downlink)	0.3 – 50Kbps	0.5 – 200Kbps
Ρυθμός δεδομένων ανοδικής ζεύξης (Uplink)	0.3 – 50Kbps	0.5 – 180Kbps
Διάρκεια Ζωής Μπαταρίας	10+ έτη	15+ έτη
Ασφάλεια	Χαμηλή	Πολύ υψηλή

Πίνακας 3.3: Πίνακας σύγκρισης προτύπων LoRa και Nb-IoT

Όσον αφορά την ασφάλεια του NB-IoT, αυτό κληρονομεί τον έλεγχο ταυτότητας και την κρυπτογράφηση του LTE. Υπάρχει ένα μυστικό κλειδί ενσωματωμένο στη SIM του NB-IoT, το οποίο χρησιμοποιείται για τον αμοιβαίο έλεγχο ταυτότητας του δικτύου και της συσκευής, αλλά και για τη δημιουργία κλειδιών συνεδρίας που ενημερώνονται συχνά για την κρυπτογράφηση της ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ της συσκευής και του κεντρικού δικτύου. Βέβαια, όπου είναι απαραίτητο και πρακτικό, μπορούν να προστεθούν στις συσκευές, στις επικοινωνίες και στις εφαρμογές πρόσθετα επίπεδα ασφαλείας [25].

Η υλοποίηση μιας αρχιτεκτονικής NB-IoT απαρτίζεται από τα ακόλουθα μέρη:

- κεραία:

Για την υλοποίηση αυτή απαιτείται συνεργασία με κάποια εταιρεία κινητής τηλεφωνίας, προκειμένου η εταιρεία να αναπτύξει τη συσκευή μέσα ή δίπλα σε μια ζώνη LTE. Επομένως, πρέπει να γίνει χρήση μίας κεραίας η οποία να λειτουργεί σε αυτή τη ζώνη. Γενικά, οι κεραίες είναι σχεδιασμένες για συγκεκριμένες συχνότητες. Συνεπώς, είναι δύσκολο να βρεθεί μόνο μία κεραία που να υποστηρίζει όλες τις ενδεχόμενες ζώνες NB-IoT. Εφόσον το δίκτυο NB-IoT εμπίπτει

σε μια τυπική ζώνη GSM ή LTE, τότε υπάρχει η δυνατότητα να γίνει χρήση μιας υπάρχουσας κεραίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ζώνη που θα χρησιμοποιηθεί καθορίζεται από ένα συνδυασμό παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της ρυθμιστικής δομής της χώρας στην οποία θα γίνει η υλοποίηση, των στοιχείων του φάσματος που κατέχει η εταιρεία κινητής τηλεφωνίας ή ο πάροχος δικτύου και του τρόπου με τον οποίο θα αναπτυχθεί το NB-IoT. Τέλος, για το LTE-M συνήθως ένας χειριστής κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιεί ένα υπάρχον μπλοκ πόρων LTE, ενώ για το NB-IoT αν το δίκτυο βρίσκεται στο αδειοδοτούμενο φάσμα, τότε ο χειριστής του δικτύου δεν χρησιμοποιεί τις παραδοσιακές ζώνες κινητής τηλεφωνίας.

- NB-IoT modem:

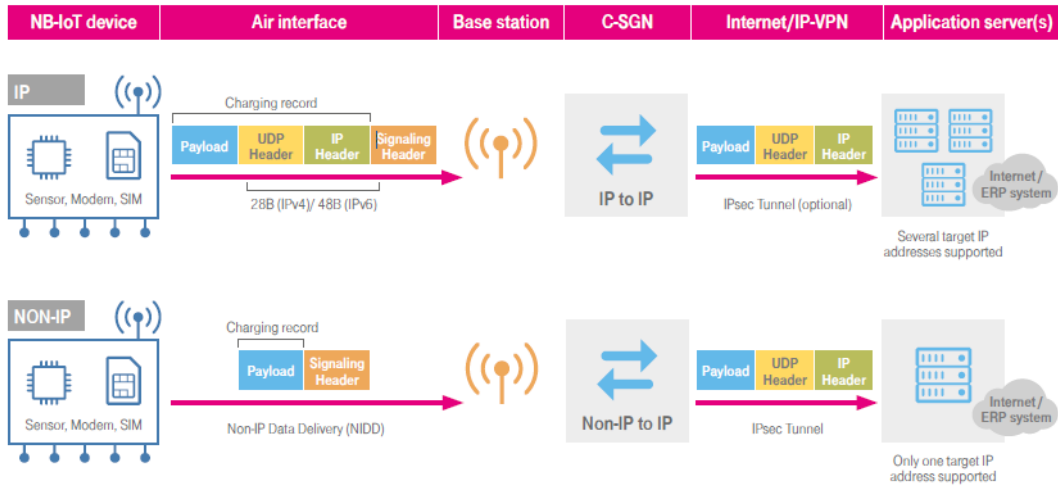
Αξίζει να σημειωθεί ότι το modem που θα επιλεγεί πρέπει να είναι πιστοποιημένο από τον εκάστοτε τοπικό αλλά και παγκόσμιο τηλεπικοινωνιακό φορέα αντίστοιχα προς τη χώρα στην οποία γίνεται η υλοποίηση. Επίσης, το NB-IoT chipset – το οποίο είναι ένα στοιχείο υλικού αναγκαίο για την ενεργοποίηση ενός δικτύου NB-IoT – πρέπει να είναι ενσωματωμένο στο modem.

- host:

Ο host είναι η συσκευή εκείνη που «φιλοξενεί» την NB-IoT εφαρμογή. Μπορεί να είναι ένας μικροελεγκτής ή ένας μικροεπεξεργαστής που τρέχει τόσο την εφαρμογή όσο και τη διεπαφή της. Ο host μπορεί να ελέγχει τη συνδεσιμότητα των συσκευών του δικτύου, τους αισθητήρες, το modem, καθώς και την πλατφόρμα του υλικού. Γενικά, πρέπει η κατανάλωση ενέργειας της εφαρμογής να είναι χαμηλή. Γι' αυτό πρέπει και με τη σειρά του ο host να κάνει μικρή κατανάλωση ενέργειας[26].

- κυψελωτό δίκτυο:

Για τη μετάδοση δεδομένων σε ένα NB-IoT δίκτυο υπάρχουν δύο εναλλακτικές. Η πρώτη εναλλακτική είναι η IP μετάδοση. Αντίστοιχα με τις δυνατότητες της συσκευής και του χειριστή, υποστηρίζονται τα IPv4 και IPv6 πρωτόκολλα. Σε αυτήν την περίπτωση, το UDP είναι το κοινό πρωτόκολλο μεταφοράς. Στη διεπαφή αέρα, το TCP πρωτόκολλο υποστηρίζεται καταρχήν από το NB-IoT, αλλά δεν προτείνεται λόγω του υψηλότερου όγκου δεδομένων που προκύπτει. Ομοίως, τα HTTP και HTTPS πρωτόκολλα στη διεπαφή του αέρα δεν μπορούν λογικά να εφαρμοστούν, επειδή βασίζονται σε TCP και απαιτούν και αυτά με τη σειρά τους επιπρόσθετο όγκο δεδομένων για τις σηματοδοτήσεις του εκάστοτε πακέτου. Η δεύτερη εναλλακτική μετάδοσης δεδομένων είναι η non-IP μετάδοση. Αν είναι εφικτή, η Non-IP μετάδοση δεδομένων συστήνεται για το NB-IoT, επειδή μειώνει τον όγκο των μεταδιδόμενων δεδομένων, αφού αποθηκεύονται διαφορετικά ο επιπρόσθετος όγκος δεδομένων. Στη συνέχεια, τα δεδομένα της συσκευής προωθούνται από το δίκτυο στην εφαρμογή μέσω IP. Τα δεδομένα μπορούν να αποστέλλονται μόνο σε μια διεύθυνση IP (διακομιστή-server), αυξάνοντας περαιτέρω την ασφάλεια της συσκευής μειώνοντας τον κίνδυνο απάτης.

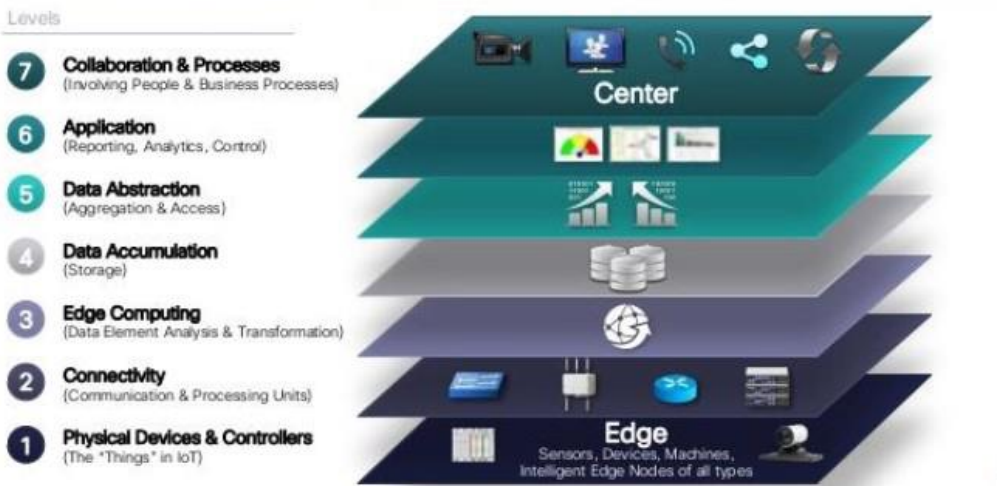


Σχήμα 3.9: Μετάδοση δεδομένων σε ένα NB-IoT δίκτυο.

Τέλος, το μοντέλο OSI για την υλοποίηση ενός IoT δικτύου αποτελείται από επτά επίπεδα, όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.10, εκ των οποίων τα σημαντικότερα είναι τα εξής τέσσερα:

- Φυσικό επίπεδο (Datalink): WiFi, Bluetooth, LPWAN, κυψελωτά, IEEE802.15.4
- Επίπεδο Δικτύου: IPv4, IPv6
- Επίπεδο Μεταφοράς: TCP, UDP
- Επίπεδο Εφαρμογής: Message Queue Telemetry Transport(MQTT), Extensible Messaging and Presence Protocol(XMPP), Light Weight Machine-to-Machine protocol (LWM2M) [13]

IoT World Forum Reference Model



Σχήμα 3.10: Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου αναφοράς OSI για το δίκτυο IoT.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Πιλοτικό Έργο

4.1 Εισαγωγή

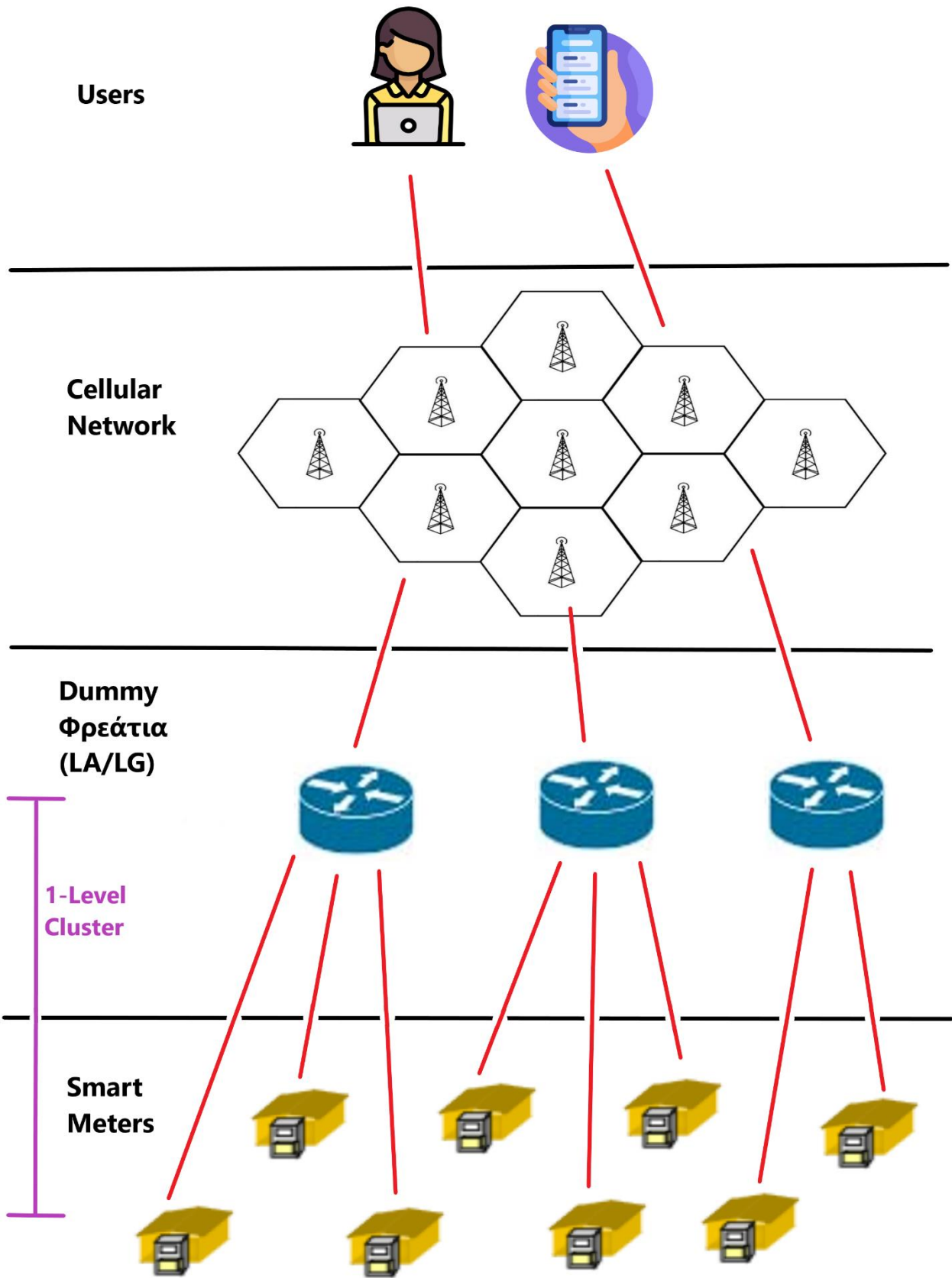
Το έργο το οποίο μελετάται σε αυτή τη διπλωματική έχει στόχο την αναβάθμιση του υπάρχοντος δικτύου ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ σε έξυπνο δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι οι μετρήσεις θα συλλέγονται από τα φρεάτια μέσω έξυπνων μετρητών και αυτοί με τη σειρά τους θα αποστέλλουν τα δεδομένα από απόσταση σε μία εφαρμογή στο κινητό ή σε κάποιον κεντρικό υπολογιστή χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα.

4.2 Αρχιτεκτονική του Έργου

Το δίκτυο ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ είναι ένα αρκετά μεγάλο σε έκταση δίκτυο το οποίο αποτελείται από περιοχές διαφορετικής ρυμοτόμησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχει ενιαία αρχιτεκτονική δομή σε όλη την έκταση του δικτύου αλλά η δομή να αλλάζει αντίστοιχα με τα χαρακτηριστικά κάθε περιοχής.

Γενικά, με στόχο την επίτευξη της διασύνδεσης των μετρητών με τα ΔΔΕ, συνιστάται η οργάνωση των μετρητών σε συστάδες (clusters) περί τα πλησιέστερα φρεάτια του δικτύου ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ που θα έχουν το ρόλο των τηλεπικοινωνιακών εκπροσώπων της συστάδας (cluster heads). Τα φρεάτια αυτά θα συλλέγουν τις μετρήσεις των μετρητών της συστάδας τους, έχοντας το ρόλο του τοπικού συγκεντρωτή – συσσωρευτή (LA - Local Aggregator) μετρητικών δεδομένων, και θα λειτουργούν ως τοπικές πύλες επικοινωνίας (LG – Local Gateway) της συστάδας τους με το ΔΔΕ. Στα φρεάτια, δηλαδή, θα εγκατασταθούν ειδικού τύπου κεραίες και κατάλληλες τηλεπικοινωνιακές μονάδες που θα μετατρέπουν τα μετρητικά δεδομένα, τα οποία θα λαμβάνονται από τους μετρητές της συστάδας, σε μορφή κατάλληλη για το ΔΔΕ με το οποίο θα συμβληθεί η ΕΥΔΑΠ.

Αναλυτικότερα, η πρώτη κατηγορία αρχιτεκτονικής του δικτύου ύδρευσης είναι εκείνη που αντιστοιχεί στις αραιά δομημένες ή διαφορετικά αραιοκατοικημένες περιοχές. Τα μετρητικά δεδομένα από τους μετρητές μιας γειτονιάς συγκεντρώνονται χρησιμοποιώντας την τεχνολογία M-Bus σε LA/LG που θα λειτουργούν ως cluster heads. Οι LA/LG αυτοί θα εγκατασταθούν σε ενισχυμένα φρεάτια (dummy) και θα είναι εφοδιασμένοι με μονάδες που θα μετατρέπουν το πρωτόκολλο M-Bus σε πρωτόκολλο NB-IoT (M-Bus to NB-IoT converters). Στη συνέχεια, με το πρωτόκολλο NB-IoT, οι LA/LG θα επικοινωνούν με τα κυψελωτά ΔΔΕ. Αντίστοιχα με το εκτιμώμενο επίπεδο τηλεπικοινωνιακής κάλυψης κάθε περιοχής από τα κυψελωτά ΔΔΕ, η τροφοδότηση των τηλεπικοινωνιακών μονάδων με ΗΕ (Ηλεκτρική Ενέργεια) στους LA/LG θα πραγματοποιείται ή με χρήση μπαταρίας μεγάλης διάρκειας ζωής ή με χρήση συνδυασμού μικροϋδροστροβίλου και φορτιζόμενης μπαταρίας. Αυτού του είδους η αρχιτεκτονική ονομάζεται οργάνωση σε συστάδες ενός επιπέδου ή αλλιώς 1-level clustering και παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.1.

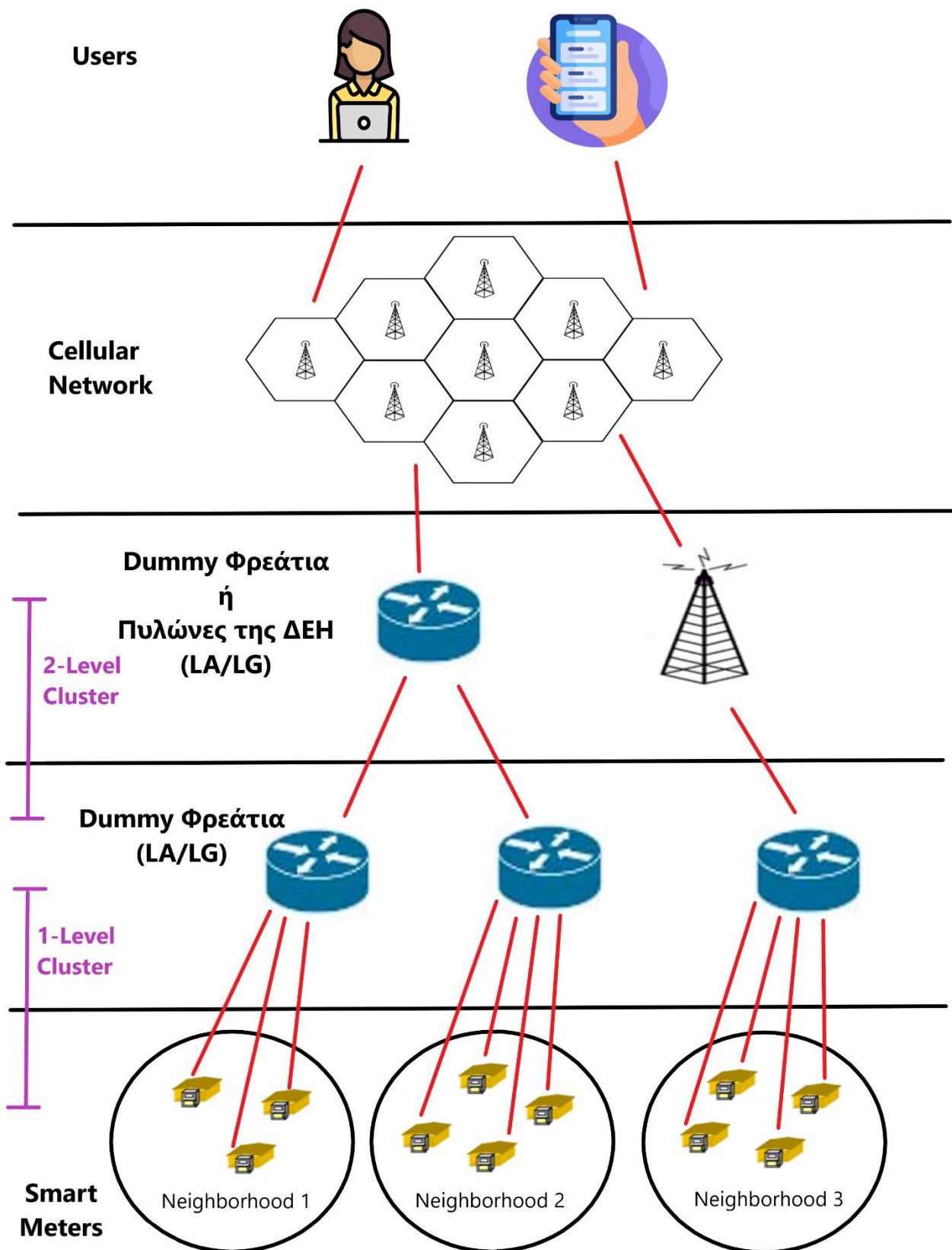


Σχήμα 4.1: Αρχιτεκτονική δομή δικτύου ΕΥΔΑΠ για αραιοκατοικημένες περιοχές (1-level clustering).

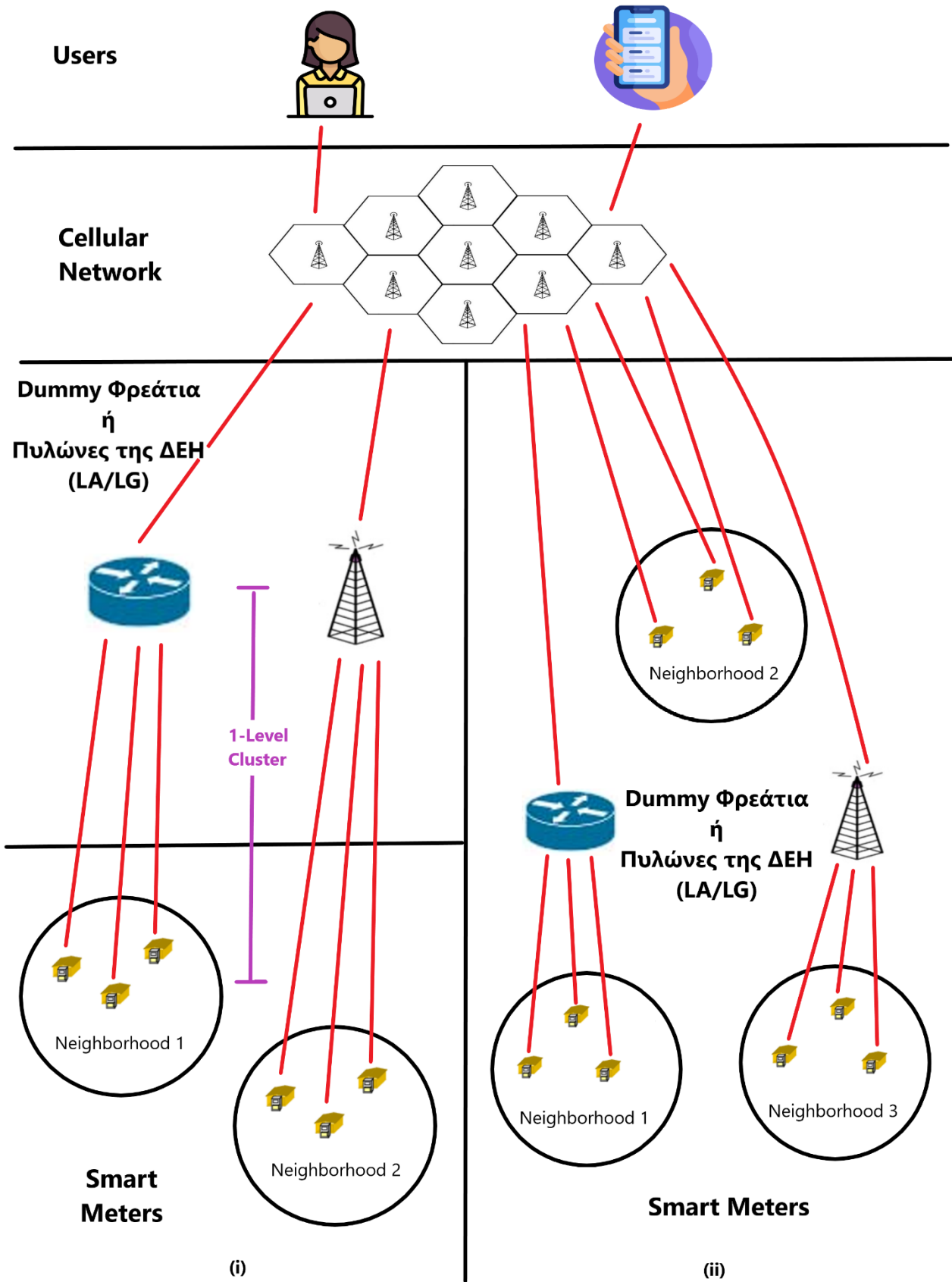
Η δεύτερη κατηγορία αρχιτεκτονικής του δικτύου ύδρευσης είναι εκείνη που αντιστοιχεί στις πυκνά δομημένες ή διαφορετικά πυκνοκατοικημένες περιοχές. Τα μετρητικά δεδομένα από τους μετρητές μιας γειτονιάς (first level cluster) θα συγκεντρώνονται χρησιμοποιώντας την τεχνολογία M-Bus σε LA/LG που θα λειτουργούν ως εκπρόσωποι της αντίστοιχης συστάδας (first level cluster heads). Οι LA/LG πρώτης συστάδας θα είναι εφοδιασμένοι με μονάδες που μετατρέπουν το πρωτόκολλο M-Bus σε πρωτόκολλο LoRa (M-Bus to LoRa converters) και όπως και στην πρώτη κατηγορία θα βρίσκονται σε dummy φρεάτια. Στη συνέχεια, αυτοί οι LA/LG χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο LoRa θα συνδέονται με σταθμούς βάσης LoRa (LoRa base stations). Η τροφοδότηση των LA/LG πρώτης συστάδας με ΗΕ θα γίνεται με χρήση μπαταρίας μεγάλης διάρκειας παρόμοιας προς αυτή που χρησιμοποιούν οι υφιστάμενοι στο ΔΥ/ΕΥΔΑΠ έξυπνοι υδρομετρητές. Οι σταθμοί βάσης LoRa που θα λειτουργούν ως LA/LG εκπροσωπώντας την αντίστοιχη ομάδα συστάδων (second level cluster heads) πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με μονάδες που θα μετατρέπουν το πρωτόκολλο LoRa σε πρωτόκολλο NB-IoT (LoRa to NB-IoT converters), με το οποίο θα επικοινωνούν με τα κυψελωτά ΔΔΕ. Οι σταθμοί βάσης LoRa μπορεί να εγκατασταθούν είτε σε πυλώνες του ΔΕΔΔΗΕ, εξασφαλίζοντας την τροφοδότησή τους απευθείας από το δίκτυο ΗΕ, είτε σε dummy φρεάτια, εξασφαλίζοντας την τροφοδότησή τους με χρήση συνδυασμού μικροϋδροστροβίλου και φορτιζόμενης μπαταρίας. Αυτού του είδους η αρχιτεκτονική ονομάζεται οργάνωση σε συστάδες δύο επιπέδων ή αλλιώς 2-level clustering και παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2.

Η τρίτη κατηγορία αρχιτεκτονικής του δικτύου ύδρευσης είναι εκείνη στην οποία θα γίνει εξαρχής σχεδίαση και κατασκευή των ευφύων υδρομετρητών. Αυτή η κατηγορία έχει δύο υποκατηγορίες. Στην πρώτη που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3(i), προκύπτει πάλι η ανάγκη για οργάνωση σε συστάδες ενός επιπέδου (1-level clustering) όπως και στην πρώτη κατηγορία, αλλά με πολύ μικρότερο πλήθος συστάδων λόγω της υλοποίησης της επικοινωνίας των μετρητών με τους αντίστοιχους cluster heads χρησιμοποιώντας την τεχνολογία LoRa που προσφέρει πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια σε σχέση με την εμβέλεια που προσφέρει η τεχνολογία M-Bus της πρώτης κατηγορίας. Τα μετρητικά δεδομένα από τους μετρητές μιας γειτονιάς συγκεντρώνονται χρησιμοποιώντας την τεχνολογία LoRa σε LA/LG (σταθμούς βάσης LoRa) που θα λειτουργούν ως cluster heads. Οι LA/LG αυτοί θα εγκατασταθούν είτε σε dummy φρεάτια είτε σε πυλώνες του ΔΕΔΔΗΕ και θα είναι εφοδιασμένοι με μονάδες που θα μετατρέπουν το πρωτόκολλο LoRa σε πρωτόκολλο NB-IoT (LoRa to NB-IoT converters). Εν συνεχεία, με το πρωτόκολλο NB-IoT οι LA/LG θα επικοινωνούν με τα κυψελωτά ΔΔΕ. Η τροφοδότηση των τηλεπικοινωνιακών μονάδων με ΗΕ στους LA/LG θα πραγματοποιείται για τα dummy φρεάτια ή με χρήση μπαταρίας μεγάλης διάρκειας ζωής ή με χρήση συνδυασμού μικροϋδροστροβίλου και φορτιζόμενης μπαταρίας, ενώ για τους πυλώνες του ΔΕΔΔΗΕ θα γίνεται απευθείας τροφοδότηση από το δίκτυο ΗΕ.

Στη δεύτερη υποκατηγορία που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3(ii) θα απαιτηθεί ο εφοδιασμός των μετρητών με τηλεπικοινωνιακές μονάδες που υποστηρίζουν το πρωτόκολλο NB-IoT. Τα μετρητικά δεδομένα από τους μετρητές θα αποστέλλονται με το πρωτόκολλο NB-IoT είτε απευθείας στο ΔΔΕ, είτε θα μεσολαβεί κάποιος LA/LG, ο οποίος θα βρίσκεται είτε σε dummy φρεάτιο είτε σε πυλώνα του ΔΕΔΔΗΕ. Ο LA/LG θα λαμβάνει τα δεδομένα με πρωτόκολλο NB-IoT και θα τα αποστέλλει στο ΔΔΕ πάλι με NB-IoT πρωτόκολλο. Η τροφοδότηση των μετρητών αυτών θα γίνεται είτε με χρήση μπαταρίας μεγάλης διάρκειας είτε με χρήση συνδυασμού μικροϋδροστροβίλου και φορτιζόμενης μπαταρίας, εκτός από την περίπτωση που ο LA/LG βρίσκεται σε πυλώνα του ΔΕΔΔΗΕ, οπότε εκεί θα τροφοδοτείται απευθείας από το δίκτυο ΗΕ.



Σχήμα 4.2: Αρχιτεκτονική δομή δικτύου ΕΥΔΑΠ για πυκνοκατοικημένες περιοχές (2-level clustering).



Σχήμα 4.3: Αρχιτεκτονική δομή δικτύου ΕΥΔΑΠ για εξαρχής σχεδίαση και κατασκευή των ευφυών μετρητών.

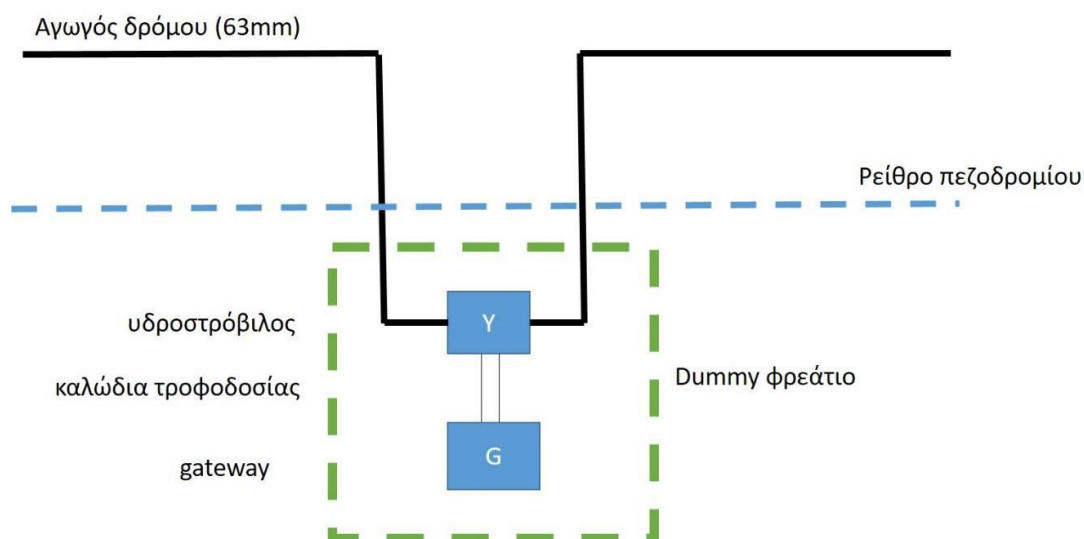
4.3 Δομή και Λειτουργία Φρεατίων

Η υλοποίηση των dummy φρεατίων μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι αναβαθμίζοντας τα ήδη υπάρχοντα φρεάτια σε dummy εγκαθιστώντας σε αυτά μικροϋδροστρόβιλους σύμφωνα με τη συνδεσμολογία που εμφανίζεται στο Σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4: Αναβάθμιση φρεατίου οικιακού μετρητή σε dummy φρεάτιο εγκατάστασης LA/LG (Η εικόνα είναι ενδεικτική δεδομένου ότι αναφέρεται στην αναβάθμιση υφιστάμενου μηχανικού υδρομετρητή σε smart water meter με την προσθήκη κεφαλής ανάγνωσης της ένδειξης)

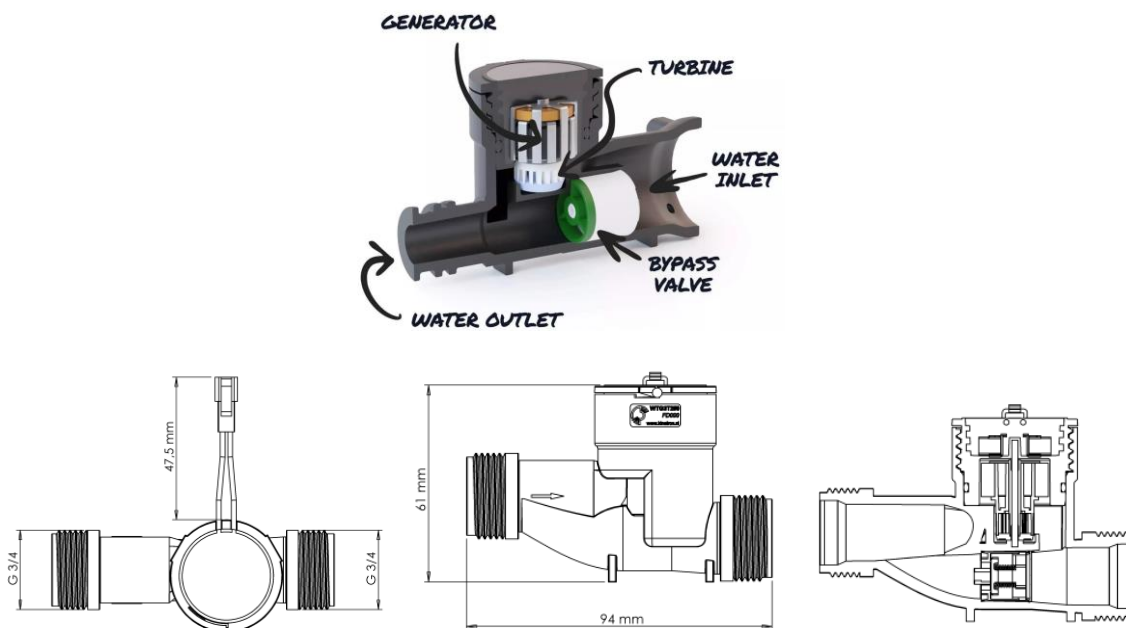
Ο δεύτερος τρόπος είναι με την υλοποίηση νέων dummy φρεατίων σε επιλεγμένα σημεία των αγωγών δρόμου, όπου η παρεμβολή των αναγκαίων μικροϋδροστρόβιλων θα γίνει σύμφωνα με το Σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.5: Υλοποίηση νέου dummy φρεατίου εγκατάστασης LA/LG

Γενικά, οι μικροϋδροστρόβιλοι μπορούν να παρεμβάλλονται είτε αμέσως πριν τον υδρομετρητή είτε στον αγωγό υδροληψίας με χρήση dummy φρεατίων. Στη συγκεκριμένη μελέτη ενδείκνυται η χρήση της επαναφορτιζόμενης γεννήτριας μικροϋδροστρόβιλου WTG3T100 με LiFePO4 1500mAh και έξοδο 6Vdc της KINETRON. Η γεννήτρια αυτή αποτελεί ένα σύστημα παραγωγής

ενέργειας που μετατρέπει τη ροή του νερού σε ηλεκτρική ενέργεια. Το σύστημα WTG βασίζεται σε μια κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας γεννήτρια στροβίλου και τεχνολογία βαλβίδων παράκαμψης. Η ροή του νερού οδηγεί ένα στρόβιλο ο οποίος είναι συνδεδεμένος με ένα μαγνήτη 14 πόλων. Ο μαγνήτης περιστρέφεται σε ένα στάτορα πόλου νυχιών, ο οποίος προκαλεί μια τάση AC στο πηνίο. Στο συνδεδεμένο powerbox, η τάση AC διορθώνεται και φορτίζει 2 κύτταρα LiFePO4 σε σειρά χωρητικότητας 1500 mAh. Η υποδοχή KCC στο powerbox παρέχει σταθερή τάση 6Vdc. Το WTG3T100 φορτίζει ρεύμα 100mA στις 2 επαναφορτιζόμενες κυψέλες με ροή 6l/min. Στις εικόνες του Σχήματος 4.6 φαίνονται οι διαστάσεις και το εσωτερικό αυτού του συστήματος.



Σχήμα 4.6: Διαστάσεις και Μορφολογία της γεννήτριας επαναφορτιζόμενης γεννήτριας μικρούδροστροβίλου WTG3T100 με LiFePO4 1500mAh και έξοδο 6Vdc της KINETRON

Οι τεχνικές προδιαγραφές του συγκεκριμένου συστήματος είναι οι ακόλουθες:

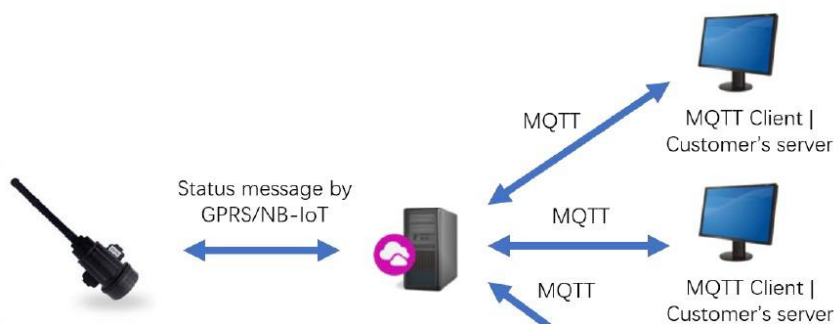
- Τάση: 5.5 – 6.5V (dc)
- Μέγιστη αποστράγγιση ρεύματος: 1.5A
- Ισχύς γεννήτριας: 530 – 670mW
- Μέγιστη πίεση νερού: 30Bar
- Μέγιστη θερμοκρασία νερού: 60°C
- Σύνδεσμος εισόδου: G ¾
- Σύνδεσμος εξόδου: G ¾
- Ηλεκτρικός σύνδεσμος: KCC connector
- Υλικό στεγάνωσης: PPA
- Πιστοποιητικά: KTW, WRAS [27].

Πέραν των ανωτέρω συστημάτων που θα εγκατασταθούν στα φρεάτια, προτείνεται η προσθήκη αισθητήρων με χαμηλό κόστος για την παρακολούθηση παραβίασης των φρεατίων δρόμου και της στάθμης των υδάτων σε περίπτωση διαρροής. Το σύστημα αναγνώρισης παραβίασης φρεατίων αποτελείται από μια συσκευή που εγκαθίσταται σε κάθε site και μια cloud (ή on premise) υποδομή για τη συνολική παρακολούθηση, αποθήκευση και παρουσίαση όλων των δεδομένων.



Σχήμα 4.7: Η συσκευή για την εφαρμογή παρακολούθησης μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης σε φρεάτια

Η συσκευή χρησιμοποιεί τεχνολογίες πρόσβασης κινητής τηλεφωνίας GSM (ή NB-IoT), είναι αδιάβροχη και διαθέτει ενσωματωμένους αισθητήρες, μπαταρία και εσωτερική κεραία για τη μετάδοση των δεδομένων.



Σχήμα 4.8: Σχηματικό διάγραμμα επικοινωνίας συστήματος

Η συσκευή πραγματοποιεί άριστη διαχείριση ενέργειας με μπαταρίες που διαρκούν περίπου 5 χρόνια, εγκαθίσταται πολύ εύκολα και γρήγορα και δεν απαιτεί πρόσθετες τρύπες για εξωτερικές κεραίες, όπως φαίνεται από την απεικόνιση της εγκατάστασης στο Σχήμα 4.9.



Σχήμα 4.9: Εικόνα από την εγκατάσταση των αισθητήρων παραβίασης φρεατίων στο Πόρτο Ράφτη

Ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος είναι όμοιος όπως και με τις επαφές πόρτας, καθώς βασίζεται στη μαγνητική επαφή και δημιουργεί ένα κλειστό κύκλωμα όταν το καπάκι είναι κλειστό

όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.10. Μόλις το καπάκι ανοίξει, η επαφή ανοίγει και ειδοποιεί σχεδόν αμέσως (εντός μερικών δευτερολέπτων) το κεντρικό σύστημα διαχείρισης καθώς και τους υπεύθυνους παρακολούθησης στο email ή/και το κινητό τους.



Σχήμα 4.10: Κατάσταση αισθητήρα «κλειστού» καπακιού φρεατίου

4.4 Προβλήματα και Συμπεράσματα

Η υλοποίηση ενός έργου αυξημένης δυσκολίας και πολυπλοκότητας, αλλά και τεράστιας σημασίας για την ΕΥΔΑΠ όπως αυτό της υλοποίησης ενός ολοκληρωμένου συστήματος ευφών μετρήσεων και παρακολούθησης, απαιτεί προσεκτική σχεδίαση με στόχο τη μείωση της πολυπλοκότητας και του πλήθους των απαιτούμενων παρεμβάσεων και κατασκευών. Εφαρμόζοντας δοκιμές στο πεδίο του έργου θα μπορέσουν να ελαχιστοποιηθούν προβλήματα (διαχειριστικά, ιδιοκτησιακά, τεχνικά) που σχετίζονται με την εγκατάσταση των LA/LG, κατά κύριο λόγο στα dummy φρεάτια. Καθίσταται, λοιπόν αναγκαία η συνεννόηση μεταξύ του ΔΕΔΔΗΕ για τη χρήση των πυλώνων του και της ΔΥ/ΕΥΔΑΠ. Επίσης, για τη διενέργεια αξιόπιστων μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο, είναι απαραίτητη η εύρεση μιας αποτελεσματικής και προσιτής τεχνολογικής λύσης που συνδυάζει αποτελεσματικά τα πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ έξυπνων μετρητών και κυψελωτών ΔΔΕ με ταυτόχρονη κάλυψη της ιδιοκατανάλωσης ΗΕ των χρησιμοποιούμενων τηλεπικοινωνιακών μονάδων. Ταυτόχρονα, απαιτείται η εξασφάλιση της αδιάλειπτης λειτουργίας των LA/LG που θα εγκατασταθούν σε dummy φρεάτια, δεδομένης της πιθανότητας κάποια από αυτά να συνδεθούν με ανενεργούς επί μεγάλα χρονικά διαστήματα υδροδοτούμενους. Ενδεχόμενες λύσεις στο συγκεκριμένο πρόβλημα, που θα εξεταστούν στο πεδίο, μπορεί να είναι είτε προτιμώντας, για τη μετατροπή σε dummy, φρεάτια μέσω των οποίων υδροδοτούνται πολυκατοικίες είτε με πρόβλεψη για εγκατάσταση εφεδρικών dummy φρεατίων σε περιοχές όπου υπάρχουν κυρίως μονοκατοικίες.

Βιβλιογραφία και Αναφορές

- [1]. <https://sswm.info/sswm-university-course/module-2-centralised-and-decentralised-systems-water-and-sanitation-1/network-design-and-dimensioning>
- [2]. Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency (EPA), “Community Water System Survey 2000, Vol. 1”, 2002
- [3]. <https://www.epa.gov/privatewells>
- [4]. <https://pubs.usgs.gov/circ/2004/circ1268/hdocs/text-do.html>
- [5]. Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency (EPA), “Water on Tap: What You Need to Know”, 2009
- [6]. Colorado Division of Water Resources, “Rainwater Collection in Colorado”, 2016
- [7]. USGS, “Estimated use of water in the United States in 2015”, 2015
- [8]. Emelie Ekström, Sonia Sivadasan, “Smart Water Meters in Swedish Households: The Enablers and Barriers for a Large-Scale Implementation”, 2021
- [9]. <https://www.svensktvatten.se/>
- [10]. <https://www.eydap.gr/TheCompany/Water/>
- [11]. ΦΕΚ
- [12]. D. Bailey, E. Wright, “Practical SCADA for Industry”, 2003
- [13]. Μαρκοπούλου Σοφία, “Έξυπνη Μέτρηση Κατανάλωσης Νερού με χρήση της Τεχνολογίας NB-IoT”, 2019
- [14]. Γιάννης Μαργαρίτης, “Μελέτη τηλεπικοινωνιακών δικτύων συλλογής δεδομένων από δίκτυα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και νερού”, 2021
- [15]. <https://swan-forum.com/smart-water-network/>
- [16]. Sensus, “iPERL – Data Sheet”, 2017
- [17]. Kamstrup, “MULTICAL® 21/flowIQ® 2101 – Data Sheet”, 2016
- [18]. <https://www.paessler.com/it-explained/lpwa>
- [19]. <http://pages.silabs.com/rs/634-SLU-379/images/introduction-to-wireless-mbus.pdf>
- [20]. www.m-bus.com/paper
- [21]. <https://www.relay.de/en/m-bus>
- [22]. Marina Barbiroli, Franco Fuschini, Giovanni Tartarini, Giovanni Emanuele Corazza, IEEE, “Smart metering wireless networks at 169MHZ”, 2017

[23]. Rida El Chall, Samer Lahoud, and Melhem El Helou, Senior Member, IEEE, “LoRaWAN Network: Radio Propagation Models and Performance Evaluation in Various Environments in Lebanon”, 2019

[24]. <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>

[25]. Vodafone, “Narrowband-IoT: pushing the boundaries of IoT”, 2017

[26]. <https://www.link-labs.com/blog/nb-iot-architecture>

[27]. Kinetron, “WTG3T100 with powerbox – Data Sheet”, 2017