



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής  
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Ψηφιακός Πολιτισμός, Έξυπνες Πόλεις, IoT και Προηγμένες Ψηφιακές Τεχνολογίες»

**Μεταπτυχιακή Διατριβή**

Τίτλος Διατριβής	<b>(Επικοινωνία στα Έξυπνα Δίκτυα με τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων)</b> <b>(Communication on IoT-based Smart grid)</b>
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	<b>Ελένη Τσαπραλή</b>
Πατρώνυμο	<b>Γεώργιος</b>
Αριθμός Μητρώου	<b>ΨΠΟΛ/ 19062</b>
Επιβλέπων	<b>Άγγελος Μιχάλας, Καθηγητής</b>

Ημερομηνία Παράδοσης **Ιανουάριος 2022**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

(υπογραφή)

Άγγελος Μιχάλας  
Καθηγητής  
Πανεπιστήμιο Δυτικής  
Μακεδονίας

(υπογραφή)

Δημήτριος Βέργαδος  
Καθηγητής  
Πανεπιστήμιο Πειραιώς

(υπογραφή)

Δημήτριος Βέργαδος  
Επίκουρος Καθηγητής  
Πανεπιστήμιο Δυτικής  
Μακεδονίας

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα την επικοινωνία στα Έξυπνα Δίκτυα (SG) με τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Η επικοινωνία αποτελεί τη ραχοκοκαλιά της δημιουργίας όλων των εφαρμογών και τεχνολογιών στο Έξυπνο Δίκτυο. Η κύρια πρόκληση ωστόσο στην επικοινωνία των έξυπνων δικτύων είναι η σύνδεση ετερογενών κατανεμημένων στοιχείων. Το ενδιάμεσο λογισμικό λειτουργεί ως διασύνδεση υπηρεσιών και εφαρμογών λογισμικού στην αρχιτεκτονική επικοινωνίας για να διευκολύνει αυτήν την αλληλεπίδραση αποκρύπτοντας την πολυπλοκότητα του λειτουργικού συστήματος για τους προγραμματιστές λογισμικού εφαρμογών. Με βάση τα χαρακτηριστικά των εφαρμογών, η διαλειτουργικότητα επιτρέπει την επικοινωνία και τις τεχνολογίες για να βοηθήσει το έξυπνο δίκτυο στην παραγωγή της νοημοσύνης του συστήματος. Η πιο αποτελεσματική υποδομή διαλειτουργικότητας και σύνδεσης είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) χαρακτηριστικά τα οποία όταν συνδυάζονται με το Έξυπνο Δίκτυο το βοηθάει στην επίτευξη παροχής της αμφίδρομης ροής ηλεκτρικής ενέργειας και πληροφοριών στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Στη μεταπτυχιακή εργασία θα πραγματοποιηθεί αναλυτική ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, θα μελετηθούν τα κυριότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας IoT για SG, θα γίνει αξιολόγηση και σύγκριση αυτών ενώ θα δοθούν μελλοντικές κατευθύνσεις στο συγκεκριμένο ερευνητικό θέμα.

Λέξεις κλειδιά: Έξυπνο Δίκτυο, Διαδίκτυο των Πραγμάτων, επικοινωνία, πρωτόκολλα

## Abstract

The present thesis is about communication in Smart Networks (SG) with Internet of Things (IoT) technology. Communication is the backbone of all applications and technologies in the Smart Network. However, the main challenge in communicating smart networks is to link heterogeneous distributed data. Middleware works as a service and software application interface in the communication architecture to facilitate this interaction by concealing the complexity of the operating system for application software developers. Based on the characteristics of the applications, interoperability enables communication and technologies to help the smart grid to produce the intelligence of the system. The most effective interoperability and connection infrastructure is the Internet of Things (IoT) features which when combined with the Smart Grid helps it achieve the provision of two-way electricity and information flow in the power grid. In the post-graduate work, a detailed review of the existing literature will be carried out, The main IoT communication protocols for SGs will be studied, evaluated and compared and given future directions on this research topic.

Key words: Smart Grid, Internet of Things, communication, protocols

## Πίνακας Περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> .....	8
1.1 ΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	8
1.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	8
1.1.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΥΠΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> .....	14
2.1 ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (ΙΟΤ).....	14
2.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (ΙΟΤ).....	14
2.1.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (ΙΟΤ).....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> .....	23
3.1 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ (SG).....	23
3.1.1 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	23
3.1.2 ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ (SG).....	23
3.1.3 ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	24
3.1.4 ΠΡΟΤΥΠΑ.....	28
3.1.5 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> .....	37
4.1 ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	37
4.1.1 Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	37
4.1.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	40
4.1.3 ΤΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	42
4.2 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	42
4.2.1 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΠΕΛΑΤΩΝ.....	42
4.2.2 SMART METERING.....	43
4.2.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> .....	48
5.1 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ.....	48
5.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	51
5.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	54
5.3.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ HTTP, MQTT, AMQP.....	57
5.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	60
5.4.1 MULTI-AGENT SYSTEMS (MAS).....	60
5.4.2 SOFTWARE-DEFINED NETWORKING (SDN).....	62
5.4.3 COGNITIVE RADIO (CR).....	63
5.4.4 BIG DATA.....	63
5.4.5 BLOCKCHAIN.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> .....	65
6.1 ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (ΙΟΤ) ΣΕ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ (SG)....	65
6.1.1 ΥΠΟΔΟΜΗ ΚΑΙ ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ.....	65
6.1.2 ΑΠΟΡΡΗΤΟ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 <sup>ο</sup> .....	68
7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	70

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Ροή ελέγχου μηνυμάτων με MQTT (Al-Masri et al., 2020).....	19
Πίνακας 2: Ροή ελέγχου μηνυμάτων με CoAP (Al-Masri et al., 2020).....	20
Πίνακας 3: Μοντέλο διανομής μηνυμάτων με AMQP (Al-Masri et al., 2020).....	20
Πίνακας 4: DDS μοντέλο με κέντρο τα δεδομένα (Al-Masri et al., 2020).....	21
Πίνακας 5: Ροή ελέγχου μηνυμάτων με HTTP (Al-Masri et al., 2020).....	21
Πίνακας 6: Σύστημα πολυεπίπεδης αρχιτεκτονικής του Έξυπνου Δικτύου (Kuzlu et al., 2014)....	36
Πίνακας 7: Απαιτήσεις εύρους επικοινωνίας στα Έξυπνα Δίκτυα (Kuzlu et al., 2014).....	37
Πίνακας 8: Σύγκριση επικοινωνιακών τεχνολογιών για τα Έξυπνα Δίκτυα (Kuzlu et al., 2014).....	37
Πίνακας 9: Εύρος ζώνης και καθυστέρηση στο έξυπνο δίκτυο (Tightiz & Yang, 2020).....	51
Πίνακας 10: Σύγκριση των χαρακτηριστικών των IoT πρωτοκόλλων (Tightiz & Yang, 2020).....	55
Πίνακας 11: Στοιβα πρωτοκόλλου IoT μαζί με το βασικό πρωτόκολλο επικοινωνίας (Morello et al., 2017).....	67
Πίνακας 12: Τα θέματα ασφαλείας στο Έξυπνο Δίκτυο με τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων (Davoody-Beni et al., 2019).....	68

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Επίτευξη των πλεονεκτημάτων του έξυπνου δικτύου .....	49
Εικόνα 2: Το κόνσεπτ του έξυπνου δικτύου και τα σχετιζόμενα πρότυπα .....	50
Εικόνα 3: Επίπεδο επικοινωνίας στο Έξυπνο δίκτυο .....	51
Εικόνα 4: Αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου AMQP .....	52
Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου COBRA .....	52
Εικόνα 6: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου DDS .....	53
Εικόνα 7: Αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου OPC UA .....	54
Εικόνα 8: Φορτίο μηνυμάτων πρωτοκόλλων .....	58
Εικόνα 9: Καθυστέρηση παράδοσης μηνυμάτων πρωτοκόλλων MQTT, AMQP, HTTP .....	59
Εικόνα 10: Αποτελεσματικά στοιχεία στην εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων στις μελλοντικές τάσεις του Έξυπνου Δικτύου .....	61
Εικόνα 11: Τα συστήματα πολλαπλών πρακτόρων στο Έξυπνο Δίκτυο βασισμένο στο IEC 61850 και τα πρωτόκολλα των διαδικτύων των πραγμάτων .....	62
Εικόνα 12: Μεθοδολογία ασύρματης ασφάλειας .....	68

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έξυπνο δίκτυο (smart grid - SG) αναφέρεται σε συνδυασμό συστήματος ισχύος και υποδομής επικοινωνίας, πληροφόρησης και ελέγχου, ικανό να παρακολουθεί, να διαχειρίζεται και να βελτιστοποιεί τις λειτουργίες όλων των μερών του συστήματος ισχύος. Αποσκοπεί στη βελτίωση των οικονομικών επιδόσεων, της αποδοτικότητας, της ευελιξίας, της αξιοπιστίας, της προσαρμοστικότητας, της ασφάλειας και της ασφάλειας ενός συστήματος ισχύος που περιλαμβάνει την παραγωγή, τη μετάδοση, τη διανομή και την κατανάλωση υπό την παρουσία ανανεώσιμων και κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (distributed energy resources - DERs), plug-in υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (plug-in hybrid electric vehicles - PHEVs), plug-in ηλεκτρικών οχημάτων (plug-in electric vehicles - PEVs), διαχείριση στην πλευρά της ζήτησης (demand-side management - DSM), και ανταπόκριση ζήτησης (demand response - DR). Για την επίτευξη των στόχων αυτών, απαιτείται προηγμένη υποδομή πληροφοριών και ελέγχου, εξοπλισμένη με κατάλληλη αμφίδρομη υποδομή επικοινωνίας και ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία να είναι σε θέση να ανταλλάσσει και να παρέχει πληροφορίες και ηλεκτρική ενέργεια σε πραγματικό χρόνο στα διάφορα συστατικά μέρη των SG (Liang et al., 2012).

Οι ευφυείς ηλεκτρονικές συσκευές (Intelligent electronic devices - IED), συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων, των έξυπνων μετρητών, των προστατευτικών ηλεκτρονόμων, των διακοπών κυκλώματος, των ανακλαστήρων και των μονάδων μέτρησης φάσης (phase measuring units - PMU), αντιπροσωπεύουν τα βασικά στοιχεία ενός SG που απαιτούν επικοινωνία. Η υποδομή επικοινωνίας SG αποτελείται κατά κανόνα από διάφορα ιεραρχικά επίπεδα, καθένα από τα οποία είναι υπεύθυνο για τη διευκόλυνση της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των συνιστωσών του δικτύου. Από αρχιτεκτονική άποψη, μπορεί να χωριστεί σε τρία επίπεδα: δίκτυα μικρής, μεσαίας και μεγάλης εμβέλειας. Κάθε επίπεδο της υποδομής αποτελεί ετερογενή συνδυασμό ασύρματων και ασύρματων τεχνολογιών με διαφορετικά πρότυπα, κατάλληλα για τις διάφορες εφαρμογές SG και για συγκεκριμένες απαιτήσεις όπως εύρος ζώνης, περιοχή κάλυψης, ρυθμός δεδομένων, εύρος συχνοτήτων, λανθάνων χρόνος, αξιοπιστία και ασφάλεια (Gungor et al., 2011).

Υπάρχουν πολλοί τύποι αντικειμένων σε διαφορετικές περιοχές της SG για την παρακολούθηση, την ανάλυση, και τον έλεγχο ολόκληρου του συστήματος, και η συνδεσιμότητα, αυτοματισμού και διαλειτουργικότητα τους είναι μια κρίσιμη πρόκληση. Για τον σκοπό αυτό, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things - IoT), αναφερόμενο στα διαθέσιμα έξυπνα αντικείμενα που επικοινωνούν μεταξύ τους, μπορεί να διευκολύνει τη λειτουργία των SG σε επίπεδο παραγωγής, μετάδοσης, διανομής και πελάτη. Η ετερογενής αρχιτεκτονική του SG παρέχει τη δυνατότητα χρήσης προηγμένων τεχνολογιών για την αντιμετώπιση διαφόρων προκλήσεων σε διάφορα επίπεδα. Οι υποδομές SG πρέπει να επιτρέπουν την επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο και αμφίδρομα μεταξύ επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας και πελατών και να επιτρέπουν στα προγράμματα λογισμικού να διαχειρίζονται την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας τόσο από την πλευρά του παραγωγού όσο και από την πλευρά του τελικού χρήστη (Bera et al., 2014).

Οι αναδυόμενες τεχνολογίες υπολογιστικής νέφους (cloud computing - CC) θεωρούνται κατάλληλη τεχνολογία για τη διαχείριση του SG με πολλές έξυπνες συσκευές IoT με αξιόπιστο, ασφαλή και κλιμακούμενο τρόπο. Η τεχνολογία CC, με τη βοήθεια της τεχνολογίας IoT, παρέχει δυνατότητα πρόσβασης σε διαφορετικά συστήματα αποθήκευσης, υπολογιστικούς πόρους και εφαρμογές από οπουδήποτε και ανά πάσα στιγμή μέσω συνδεδεμένων έξυπνων συσκευών IoT. Από την άλλη πλευρά, λόγω των μεγάλων δεδομένων που παράγονται στα SG, οι παραδοσιακές προσεγγίσεις επικοινωνίας και διαχείρισης των πληροφοριών δεν είναι επαρκείς και οι εφαρμογές CC μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση τέτοιων μαζικών δεδομένων (Bera et al., 2014).

### Σκοπός και συμβολή της παρούσας εργασίας:

Ένα από τα προτεινόμενα θέματα στο έξυπνο δίκτυο είναι η διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης νέων τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών λόγω των απαιτήσεων του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Πολλές τεχνολογίες έχουν διερευνηθεί για τη μείωση του αριθμού των πρωτοκόλλων πληροφοριών και τη διαχείριση μαζικών όγκων δεδομένων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, όπου το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) θεωρείται ως μία από τις πιο αποτελεσματικές τεχνολογίες.

Λόγω αυτής της διαπίστωσης έχουν γίνει πολλές έρευνες που προσπαθούν να εξερευνήσουν αυτή τη σχέση. Ωστόσο, οι περισσότερες έρευνες ασχολούνται με συγκεκριμένες πτυχές της αλληλεπίδρασης αυτής χωρίς να προβάλλουν το σύνολο των θεμάτων που προκύπτουν από αυτή. Η έρευνα στον τομέα του IoT θα πρέπει να είναι σφαιρική και να ασχοληθεί με δύο προσεγγίσεις, συμπεριλαμβανομένων των εσωτερικών και εξωτερικών απαιτήσεων. Παρά τους εξωτερικούς αισθητήρες και ενεργοποιητές, οι εσωτερικές απαιτήσεις περιλαμβάνουν διάφορα επίπεδα πλατφόρμας επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των φυσικών επιπέδων, των επιπέδων μετάδοσης δικτύου και των επιπέδων εφαρμογής. Το πρωτόκολλο μηνυμάτων IoT αντιμετωπίζει τον κύριο στόχο του IoT, εξασφαλίζοντας μια ανθεκτική αλληλεπίδραση μεταξύ όλων των στοιχείων του συστήματος, θέμα το οποίο θίγεται λιγότερο στα εκάστοτε έγγραφα.

Στην παρούσα εργασία διερευνάτε η έρευνα σχετικά με την ολοκληρωμένη απόδοση πρωτοκόλλων IoT στο έξυπνο δίκτυο. Επίσης για την επίτευξη των προαναφερθέντων στόχων, συνοψίζονται οι κυριότερες συνεισφορές της παρούσας εργασίας ως εξής:

- Ανάλυση των δύο τεχνολογιών με τα επιμέρους στοιχεία τους (Έξυπνα Δίκτυα και IoT)
- Προσδιορισμός των απαιτήσεων και των προδιαγραφών επικοινωνίας στα Έξυπνα δίκτυα
- Μελέτη των πρωτοκόλλων και προτύπων των Έξυπνων δικτύων.
- Αξιολόγηση απόδοσης των πρωτοκόλλων IoT στα περιβάλλοντα Έξυπνων δικτύων μέσω βιβλιογραφικής έρευνας.
- Διερεύνηση των μελλοντικών κατευθύνσεων έρευνας για την αποτελεσματικότερη επικοινωνία στις δομές του έξυπνου δικτύου.
- Παρουσίαση των επιπτώσεων που μπορεί να έχει η σχέση IoT και Έξυπνων δικτύων.

### **Επισκόπηση της παρούσας εργασίας:**

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστεί περιληπτικά το περιεχόμενο της παρούσας εργασίας:

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται αναφορά στο ορισμό και τα χαρακτηριστικά του έξυπνου δικτύου καθώς και το πως αυτό συντέλεσε στην ανάπτυξη των παραδοσιακών ηλεκτρικών δικτύων. Επίσης γίνεται αναφορά στην αρχιτεκτονική του συστήματος. Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η έννοια του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), με τον ορισμό και τα στοιχεία που το αποτελούν. Επίσης αναφέρονται τα βασικά πλεονεκτήματα του IoT, οι εφαρμογές, τα πρότυπα και τα πλαίσια λειτουργίας του. Αναφέρονται περιληπτικά και τα πρωτόκολλα εφαρμογής του.

Το Κεφάλαιο 3 κεφάλαιο αποτελεί εισαγωγή στο κύριο θέμα της εργασίας, την επικοινωνία στα Έξυπνα Δίκτυα. Περιγράφονται οι απαιτήσεις και ο ρόλος επικοινωνίας. Επίσης, αναφέρονται οι τεχνολογίες επικοινωνιών (εσύρματες και ασύρματες) καθώς και τα πρότυπα που ορίζουν τις κατευθυντήριες γραμμές λειτουργίας του έξυπνου δικτύου. Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται το κόνσεπτ του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στα Έξυπνα Δίκτυα (SG), αυτό γίνεται μέσω της περιγραφής των συστατικών και των ενσωματωμένων αρχιτεκτονικών του IoT στο SG. Γίνεται αναφορά στις περιοχές εφαρμογής του IoT στο SG.

Στην συνέχεια στο Κεφάλαιο 5 αναφέρονται οι απαιτήσεις επικοινωνίας του IoT στο SG και τα κυριότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην σύνδεση των 2 τεχνολογιών μέσω βιβλιογραφίας ενώ τέλος γίνεται σύγκριση των κυριότερων πρωτοκόλλων και δίνονται μελλοντικές κατευθύνσεις.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 γίνεται περιγραφή των πιθανών επιπτώσεων της σύνδεσης IoT και SG στην λειτουργικότητα και την ασφάλεια, ενώ στο Κεφάλαιο 7 καταγράφονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για μελλοντική ανάπτυξη του συγκεκριμένου θέματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### 1.1 ΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

#### 1.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Η ενεργειακή απόδοση των έξυπνων δικτύων βοηθά στη βελτιστοποίηση των κτιρίων και άλλων έξυπνων υποδομών. Επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων μαζί με τη ροή του ρεύματος και προς τις δύο κατευθύνσεις μεταξύ του πλέγματος και του κτιρίου, παρέχοντας έτσι ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο καθιστώντας το σύστημα πιο διαδραστικό και ευέλικτο. Έξυπνο δίκτυο είναι ένας συνδυασμός της ψηφιακής επικοινωνίας μαζί με το δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Τα έξυπνα δίκτυα αποτελούνται από έξυπνα σπίτια και κτίρια. Η εφαρμογή του IoT στα κτίρια αυξάνει τον παράγοντα του κόστους, αλλά εξακολουθεί να επιδιώκεται καθώς τα οφέλη ξεπερνούν τα μειονεκτήματα (Shahinzadeh et al., 2019).

Προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση διατηρώντας παράλληλα τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου, εφευρίσκονται αρκετές καινοτόμες τεχνολογίες και συσκευές. Στα παραδοσιακά κτίρια, η εφαρμογή του IoT οδηγεί σε περιβαλλοντική ασφάλεια, βιωσιμότητα, άνεση και αυξημένη αποτελεσματικότητα. Τα έξυπνα δίκτυα παρέχουν τον έλεγχο στους καταναλωτές. Ωφελούν επίσης κλάδους, ιδρύματα, καταστήματα λιανικής και επιχειρήσεις στην παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας. Τα έξυπνα δίκτυα διαθέτουν επίσης αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά, όπως αυτοεπισκευή, εξασφάλιση παροχής ηλεκτρικού ρεύματος επαρκούς διαρροής καλής ποιότητας, ενθαρρύνοντας τον καταναλωτή να συμμετέχει στις λειτουργίες του δικτύου (Shahinzadeh et al., 2019).

Το έξυπνο δίκτυο (smart grid - SG) αναφέρεται σε συνδυασμό συστήματος ισχύος και υποδομής επικοινωνίας, πληροφόρησης και ελέγχου, ικανό να παρακολουθεί, να διαχειρίζεται και να βελτιστοποιεί τις λειτουργίες όλων των μερών του συστήματος ισχύος. Αποσκοπεί στη βελτίωση των οικονομικών επιδόσεων, της αποδοτικότητας, της ευελιξίας, της αξιοπιστίας, της προσαρμοστικότητας, της ασφάλειας και της ασφάλειας ενός συστήματος ισχύος που περιλαμβάνει την παραγωγή, τη μετάδοση, τη διανομή και την κατανάλωση υπό την παρουσία ανανεώσιμων και καταναλωμένων ενεργειακών πόρων (distributed energy resources - DERs), plug-in υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (plug-in hybrid electric vehicles - PHEVs), plug-in ηλεκτρικών οχημάτων (plug-in electric vehicles - PEVs), διαχείριση από την πλευρά της ζήτησης (demand-side management - DSM) και ανταπόκριση ζήτησης (demand response - DR) (Calderato et al., 2011).

Για την επίτευξη των στόχων αυτών, απαιτείται προηγμένη υποδομή πληροφοριών και ελέγχου, εξοπλισμένη με κατάλληλη αμφίδρομη υποδομή επικοινωνίας και ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία να είναι σε θέση να ανταλλάσσει και να παρέχει πληροφορίες και ηλεκτρική ενέργεια σε πραγματικό χρόνο στα διάφορα συστατικά μέρη των SG. Οι ευφυείς ηλεκτρονικές συσκευές (Intelligent electronic devices – IEDs), συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων, των έξυπνων μετρητών, των προστατευτικών ηλεκτρονόμων, των διακοπών, των ανακλαστήρων και των μονάδων μέτρησης φάσης (phase measuring units - PMU), αντιπροσωπεύουν τα βασικά στοιχεία ενός SG που απαιτούν μια υποδομή επικοινωνίας για την αποτελεσματική ανταλλαγή πληροφοριών και οδηγιών ελέγχου με αυτοματοποιημένο τρόπο (Eriksson et al., 2014).

Η υποδομή επικοινωνίας SG αποτελείται κατά κανόνα από διάφορα ιεραρχικά επίπεδα, καθένα από τα οποία είναι υπεύθυνο για τη διευκόλυνση της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των συνιστωσών του δικτύου. Από αρχιτεκτονική άποψη, μπορεί να χωριστεί σε τρία επίπεδα: δίκτυα μικρής, μεσαίας και μεγάλης εμβέλειας. Κάθε επίπεδο της υποδομής αποτελεί ετερογενή συνδυασμό ασύρματων και ασύρματων τεχνολογιών με διαφορετικά πρότυπα, κατάλληλα για τις διάφορες εφαρμογές SG και για συγκεκριμένες απαιτήσεις όπως εύρος ζώνης, περιοχή κάλυψης, ρυθμός δεδομένων, εύρος συχνοτήτων, λανθάνων χρόνος, αξιοπιστία και ασφάλεια (Komninos et al., 2014).

Υπάρχουν πολλοί τύποι αντικειμένων σε διαφορετικές περιοχές της SG για την παρακολούθηση, την ανάλυση, και τον έλεγχο ολόκληρου του συστήματος, και η συνδεσιμότητα, αυτοματισμού και διαλειτουργικότητα τους είναι μια κρίσιμη πρόκληση. Για τον σκοπό αυτό, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things - IoT), αναφερόμενο στα διαθέσιμα έξυπνα αντικείμενα



που επικοινωνούν μεταξύ τους, μπορεί να διευκολύνει τη λειτουργία των SG σε επίπεδο παραγωγής, μετάδοσης, διανομής και πελάτη. Η ετερογενής αρχιτεκτονική του SG παρέχει τη δυνατότητα χρήσης προηγμένων τεχνολογιών για την αντιμετώπιση διαφόρων προκλήσεων σε διάφορα επίπεδα. Οι υποδομές SG πρέπει να επιτρέπουν την επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο και αμφίδρομα μεταξύ επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας και πελατών και να επιτρέπουν στα προγράμματα λογισμικού να διαχειρίζονται την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας τόσο από την πλευρά του παραγωγού όσο και από την πλευρά του τελικού χρήστη (Saleem et al., 2019).

Οι αναδυόμενες τεχνολογίες υπολογιστικής νέφους (cloud computing - CC) θεωρούνται κατάλληλη τεχνολογία για τη διαχείριση του SG με πολλές έξυπνες συσκευές IoT με αξιόπιστο, ασφαλή και κλιμακούμενο τρόπο. Η τεχνολογία CC, με τη βοήθεια της τεχνολογίας IoT, παρέχει δυνατότητα πρόσβασης σε διαφορετικά συστήματα αποθήκευσης, υπολογιστικούς πόρους και εφαρμογές από οπουδήποτε και ανά πάσα στιγμή μέσω συνδεδεμένων έξυπνων συσκευών IoT. Από την άλλη πλευρά, λόγω των μεγάλων δεδομένων που παράγονται στα SG, οι παραδοσιακές προσεγγίσεις επικοινωνίας και διαχείρισης των πληροφοριών δεν είναι επαρκείς και οι εφαρμογές CC μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση τέτοιων μαζικών δεδομένων (Saleem et al., 2019).

Σύμφωνα με τους Yinger & Kamiab (2011), η ανάγκη ανάπτυξης ενός εξυπνότερου δικτύου προσδιορίστηκε πριν από περισσότερα από 20 χρόνια ως αποτέλεσμα διαφόρων γεγονότων και ζητημάτων επιχειρησιακής ισχύος στις ΗΠΑ, όπως διακοπές ρεύματος, ανεπαρκής χωρητικότητα μετάδοσης κ.λπ. Κατά συνέπεια, η ομοσπονδιακή και κρατική νομοθεσία έχει αντιμετωπίσει την ανάγκη για ένα πιο έξυπνο δίκτυο για την υποστήριξη των κρατικών και περιβαλλοντικών πολιτικών. Η εφαρμογή αυτής της πολιτικής απαιτεί τις ακόλουθες προσδοκίες έναντι του Έξυπνου Δικτύου (SG), που αντιπροσωπεύουν τα βασικά χαρακτηριστικά του (Matusiak et al., 2011):

- Έχει την ιδιότητα της αυτοΐασης (από συμβάντα διαταραχής της ισχύος).
- Επιτρέπει την ενεργό συμμετοχή των καταναλωτών στην αντιμετώπιση της ζήτησης.
- Λειτουργεί με ανθεκτικότητα τόσο κατά σωματικών όσο και κατά κυβερνοεπιθέσεων.
- Παρέχει ποιοτική δύναμη που ανταποκρίνεται στις ανάγκες του εικοστού πρώτου αιώνα.
- Φιλοξενεί όλες τις επιλογές δημιουργίας και αποθήκευσης.
- Επιτρέπει νέα προϊόντα, υπηρεσίες και αγορές.
- Βελτιστοποιεί την αξιοποίηση των πόρων και τη λειτουργική αποδοτικότητα.

Για να εκπληρωθούν οι ανωτέρω προσδοκίες, το SG περιλαμβάνει τη συμπλήρωση του δικτύου με εκατομμύρια έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές, όπως μονάδες μέτρησης φάσης (phasor measurement units - PMU), δείκτες βλάβης, έξυπνοι μετρητές, φορτιστές ηλεκτρικών οχημάτων, οι οποίοι θα αποστέλλουν και θα λαμβάνουν εκατομμύρια στοιχεία ανά λεπτό για να παράγουν αξιοποιήσιμες πληροφορίες και θα χρησιμοποιούν αυτές τις πληροφορίες για να ενισχύουν τις λειτουργίες και τον έλεγχο του ηλεκτρικού συστήματος. Οι PMU εγκαθίστανται όχι μόνο στους κόμβους του δικτύου, αλλά σύμφωνα με τους Bradley et al. (2013) και στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την απόκτηση καλύτερων (και φθηνότερων) χαρακτηριστικών των γεννητριών που απαιτούνται για τον σχεδιασμό των εν λόγω δικτύων (Bradley et al., 2013).

Η εισαγωγή της έκδοσης 6 του πρωτοκόλλου Διαδικτύου (IPv6) καταργεί τους τεχνικούς περιορισμούς του αριθμού των συσκευών που μπορούν να συνδεθούν στο Διαδίκτυο, επιτρέποντας θεωρητικά την αύξηση του αριθμού δεδομένων σε τρισεκατομμύρια τρισεκατομμυρίων. Το 2004, το Southern California Edison (SCE) άρχισε να αναπτύσσει ένα νέο σχεδιασμό κύκλωμα διανομής που ονομάζεται Κύκλωμα του Μέλλοντος, και με βάση την ανάπτυξη και τη λειτουργία αυτού του κυκλώματος και πρόσθετα απαιτούμενα στοιχεία, ένα νέο έργο με τίτλο Irvine Smart Grid Demo (ISGD) ξεκίνησε μετά από αρκετά χρόνια (ISGD). Αναμενόταν ότι θα θεσπιζόταν το 2013. Η ανάπτυξη της ιδέας των SG συνεπαγόταν την ανάγκη να αντιμετωπιστούν τα ακόλουθα θέματα (Jablonska, 2014):

1. αναβάθμιση του υπάρχοντος δικτύου - σε έξυπνα δίκτυα διανομής (smart distribution grids - SDG),
2. ανάγκη χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Renewable Energy Sources – RES),
3. ανάπτυξη μικροδικτύων και σύνδεσή τους (ή όχι) με τον SDG,
4. δημιουργία νέου συστήματος επικοινωνιακών πληροφοριών (Information Communication System – ICS) που επιτρέπει την επικοινωνία δύο κατευθύνσεων με τον καταναλωτή-λιανοπωλητή,
5. δημιουργία νέου δικτύου έξυπνων αισθητήρων,
6. δημιουργία νέας Ολοκληρωμένης Αγοράς Ενέργειας.

Το SG συνεπάγεται αύξηση του αριθμού των μεγάλων δεδομένων που κυκλοφορούν εντός του δικτύου και ανταλλάσσονται με το περιβάλλον. Το γεγονός αυτό εξετάστηκε μόνο σε σχέση με την εξέλιξη των SG. Στην πραγματικότητα, η αύξηση των μεγα-δεδομένων δεν αφορά μόνο άλλους βιομηχανικούς κλάδους, αλλά και επιστημονικούς κλάδους που παράγουν, φιλτράρουν και αποθηκεύουν όχι μόνο ψηφιακά αλλά και αναλογικά δεδομένα, τα οποία μερικές φορές μετατρέπονται σε ψηφιακά. Τα Μεγάλα Αναλογικά Δεδομένα (Big Analog Data) μπορούν να θεωρηθούν ως υποσύνολο των Μεγάλων Δεδομένων, ωστόσο έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως για τα πληροφοριακά συστήματα που απαιτούν ψηφιοποίηση με ρυθμούς που φτάνουν έως και δεκάδες gigahertz, συχνά σε μεγάλο εύρος bit (Yinger & Kamiab, 2011).

Η δεύτερη διαφορά είναι πιο σημαντική, καθώς οι πληροφορίες Big Analog Data παράγονται συνεχώς από φυσικές και τεχνητές πηγές. Τα πειράματα φυσικής μπορούν να παράγουν δεκάδες terabyte μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Για παράδειγμα, η δοκιμή αεριοθούμενων κινητήρων ή στροβίλων ηλεκτρικής ισχύος παράγει παρόμοιες ποσότητες δεδομένων σε ώρες. Οι μετρήσεις SG μπορούν να παράγουν terabyte δεδομένων στη διάρκεια ενός μήνα, το οποίο σημαίνει ότι η «ποσότητα δεδομένων που παράγεται και κοινοποιείται μέσω του Διαδικτύου και του Ιστού αυξάνεται ραγδαία. Κάθε μέρα, παράγονται περίπου 20 πεντάκις (10<sup>18</sup>) byte δεδομένων» (Bradicich & Srikant, 2014).

Η ακόλουθη αναφορά είναι ενδιαφέρουσα: «Με τη σύνδεση δισεκατομμυρίων συσκευών στο Διαδίκτυο μεταξύ τους και με το νέφος, οι επιχειρήσεις μπορούν να εξοικονομούν τρισεκατομμύρια δολάρια κάθε χρόνο σε λειτουργικά κόστη». Ο αριθμός των συσκευών σύνδεσης αυξάνεται με τους εξής ρυθμούς: 2006 - 2 δισεκατομμύρια, 2015 - 15 δισεκατομμύρια, 2020 - 50 δισεκατομμύρια και η αύξηση των δεδομένων μέχρι το 2015 θα πρέπει να φτάσει σε εφαρμογή 90%, επομένως είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν νέα εργαλεία για τη διαχείριση των μεγάλων δεδομένων. Είναι απαραίτητο να θυμόμαστε ότι η συμπερίληψη μιας συσκευής σημαίνει την ανάγκη χρήσης αισθητήρων που εξαρτώνται από τη συσκευή (Balasubramanian, 2014).

### 1.1.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΥΠΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Οι λύσεις έξυπνων δικτύων περιλαμβάνουν ελεγκτές, λειτουργίες και έννοιες για το λογισμικό και το υλικό, που συχνά μπορούν να περιγραφούν από μαθηματικά μοντέλα που προέρχονται από ερευνητικούς κλάδους όπως η θεωρία ελέγχου ή ο αυτοματισμός. Ωστόσο, όσον αφορά την υλοποίηση και την υλοποίηση τέτοιων μεθόδων, αυτό συχνά επιτυγχάνεται από την άποψη της τεχνολογίας πληροφοριών ή επικοινωνιών. Σε αυτό το συλλογικό πλαίσιο, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τους βασικούς όρους των άλλων κλάδων. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται αρχιτεκτονικές συστημάτων (Wenderoth et al., 2019).

#### Θεωρία ελέγχου

Η ταξινόμηση των αρχιτεκτονικών συστημάτων ελέγχου είναι αυστηρή. Η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (International Electrotechnical Commission - IEC) προσφέρει μια βάση δεδομένων με διεθνείς προδιαγραφές για τα συστήματα ελέγχου. Τα κεντρικά συστήματα ελέγχου ελέγχονται από έναν ελεγκτή. Ο ελεγκτής αυτός έχει πλήρεις πληροφορίες για το σύστημα και ορίζει όλες τις μεταβλητές ελέγχου που σχετίζονται με το σύστημα (Lunze, 1992).

Το πρότυπο IEC 60050-351-55-09 το ορίζει ως «δομή ελέγχου με αλληλοσυνδεόμενες υποδιεργασίες, στην οποία κάθε επιμέρους εξοπλισμός ελέγχου λαμβάνει υπόψη τις πληροφορίες όλων των υποδιεργασιών για να διαμορφώσει τις πληροφορίες εξόδου του». Τα ιεραρχικά συστήματα ελέγχου διακρίνονται μεταξύ πολυεπίπεδων και πολυστρωματικών συστημάτων. Σε ένα πολυεπίπεδο σύστημα, ανεξάρτητοι ελεγκτές συνεργάζονται για την επίτευξη του ίδιου στόχου (Lunze, 1992).

Οι μονάδες υψηλότερου επιπέδου συντονίζουν τα χαμηλότερα επίπεδα. Αντίθετα, σε ένα πολυεπίπεδο σύστημα, κάθε ελεγκτής έχει το δικό του αντικειμενικό σκοπό, και η λειτουργία που πρέπει να πραγματοποιηθεί από το σύστημα ελέγχου χωρίζεται. Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60050-351-55-11, ο ιεραρχικός έλεγχος είναι μια «δομή ελέγχου με διάφορα επίπεδα ελέγχου τοποθετημένα το ένα πάνω στο άλλο, στην οποία ο εξοπλισμός ελέγχου που αποδίδεται σε υψηλότερο επίπεδο συντονίζει την εργασία του εξοπλισμού ελέγχου που αποδίδεται στο επόμενο χαμηλότερο επίπεδο, παρέχοντας, για παράδειγμα, προκαθορισμό των καθηκόντων ελέγχου, μεταβλητών εντολής, μεταβλητών αναφοράς ή τελικών ελεγχόμενων μεταβλητών» (Lunze, 1992).

Σε μια αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική ελέγχου, οι ανεξάρτητοι ελεγκτές ελέγχουν διακριτά υποσυστήματα. Το σημαντικό είναι ότι δεν ανταλλάσσονται πληροφορίες μεταξύ τους. Στο πρότυπο IEC 60050-351-55-10, ως αποκεντρωμένος έλεγχος ορίζεται μια «δομή ελέγχου με διασυνδεδεμένες υποδιαδικασίες, στην οποία κάθε επιμέρους εξοπλισμός ελέγχου λαμβάνει υπόψη μόνο τις πληροφορίες από τη συνδεδεμένη υποδιαδικασία για να διαμορφώσει τις πληροφορίες εξόδου του». Αν υπάρχει ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των ανεξάρτητων ελεγκτών, η αρχιτεκτονική ελέγχου θεωρείται ότι είναι κατανεμημένη. Μπορεί να διανεμηθεί πλήρως ή εν μέρει, ανάλογα με το αν οι πληροφορίες μοιράζονται μεταξύ όλων των ελεγκτών ή μόνο με ένα υποσύνολο των ελεγκτών (Lunze, 1992).

### **Αρχιτεκτονική λογισμικού**

Το πεδίο της αρχιτεκτονικής λογισμικού μελετά τη δομή των συστημάτων λογισμικού και έχει τους δικούς του όρους για την ταξινόμηση των τύπων αρχιτεκτονικής. Τύποι αρχιτεκτονικών λογισμικού είναι π.χ. η αρχιτεκτονική πελάτη-διακομιστή, όπου πραγματοποιείται σαφής διαχωρισμός μεταξύ του παρόχου πόρων (διακομιστή) και του χρήστη των πόρων (πελάτη). Ένα άλλο παράδειγμα είναι μια ομότιμη αρχιτεκτονική (peer-to-peer architecture), με την οποία κάθε ομότιμος υπολογιστής μπορεί να επικοινωνεί και να χρησιμοποιεί τους πόρους των άλλων υπολογιστών.

Σύμφωνα με τον Khare (2002), το κύριο χαρακτηριστικό μιας αποκεντρωμένης αρχιτεκτονικής λογισμικού είναι ότι καμία κεντρική οντότητα δεν έχει «εξουσία» σε σχέση με τις άλλες οντότητες. Αντίθετα, οι συγκεντρωτικές αρχιτεκτονικές λογισμικού έχουν πάντα μια κεντρική οντότητα και οι κατανεμημένες αρχιτεκτονικές μπορούν να υπάρχουν με ή χωρίς μια κεντρική οντότητα. Συχνά, τα συστήματα χαρακτηρίζονται ως αποκεντρωμένα, ακόμα και αν στην πραγματικότητα έχουν μια κεντρική οντότητα, αλλά εξακολουθούν να διανέμουν τα κύρια μέρη των εργασιών επεξεργασίας σε οντότητες χαμηλότερου επιπέδου. Μια λειτουργία συστήματος παροχής ενέργειας μπορεί συχνά να θεωρηθεί ως ένα κατανεμημένο σύστημα IT (Khare, 2002).

### **Αρχιτεκτονικές επικοινωνίας**

Το μοντέλο διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων (μοντέλο OSI) στο πρότυπο ISO/IEC 7498-1 (Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης/Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή 1994) παρέχει ένα λεπτομερές σύστημα ταξινόμησης της επικοινωνίας. Διαχωρίζει κάθε (τηλε-) επικοινωνία σε επτά επίπεδα, που κυμαίνονται από το φυσικό μέσο μετάδοσης έως το επίπεδο που αλληλεπιδρά απευθείας με την εφαρμογή που χρησιμοποιεί την επικοινωνία. Στο πλαίσιο του Διαδικτύου, αυτό το μοντέλο επτά επιπέδων ανάγεται σε μια στοιβα πρωτοκόλλων του Διαδικτύου πέντε επιπέδων (Kurose & Ross 2013). Στη μελέτη του Baran (1964) υπάρχει μια υψηλού επιπέδου ταξινόμηση των αρχιτεκτονικών δικτύων επικοινωνίας, όπου τα δίκτυα επικοινωνίας διαφοροποιούνται μεταξύ αποκεντρωμένης, κατανεμημένης και κεντρικής.

### **Ταξινόμητης εκτίμησης**

Όπως αναφέρεται στην εισαγωγή, οι λύσεις για εφαρμογές έξυπνων δικτύων, ή γενικότερα μεθόδους λειτουργίας συστημάτων ισχύος, είναι συνήθως εκτεταμένες δομές. Συνδυάζουν λειτουργίες

σε διαφορετικά γεωγραφικά επίπεδα και χρονικές κλίμακες με διαφορετικούς στόχους και απαιτήσεις επικοινωνίας. Για την αξιολόγηση των μεθόδων λειτουργίας του συστήματος ισχύος απαιτείται σαφής ταξινόμηση. Στην έρευνα των Braun & Strauss (2008) προτείνεται ταξινόμηση των προσεγγίσεων εμπορικής συγκέντρωσης της DER, η οποία ήδη σέβεται την επικοινωνία μεταξύ των παραγόντων του δικτύου, αλλά δεν λαμβάνει υπόψη τις πραγματικές αρχιτεκτονικές ελέγχου ή συγκεκριμένους στόχους. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) επίσης το συνειδητοποίησε αυτό αρκετά νωρίς και δημοσίευσε το 2012 την "Έξυπνη Αρχιτεκτονική Αναφοράς Δικτύου" (SGAM). Είναι ένα πλαίσιο που επιτρέπει την ταξινόμηση και περιγραφή μιας συγκεκριμένης μεθόδου ή περίπτωσης χρήσης για το έξυπνο δίκτυο. Διακρίνει πέντε επίπεδα: επιχείρηση, λειτουργία, πληροφορίες, επικοινωνία και συνιστώσα (Braun & Strauss, 2008).

Ωστόσο, το SGAM δεν περιλαμβάνει το απαραίτητο λεξιλόγιο για την ταξινόμηση της αρχιτεκτονικής λειτουργίας. Για την αξιολόγηση των μεθόδων λειτουργίας του συστήματος ισχύος απαιτούνται λεπτομερέστερα σχήματα ταξινόμησης, όπως το μοντέλο OSI για την ταξινόμηση της επικοινωνίας. Οι κατηγοριοποιητές πλαισιώνονται με τη χρήση του SGAM. Σκοπός τους είναι να συμπληρώσουν το SGAM από την οπτική γωνία λειτουργίας του συστήματος ισχύος. Οι ταξινομητές που προσαρμόστηκαν από τον Drayer (2018) είναι: Στόχοι, Αρχιτεκτονική λειτουργίας και Επικοινωνία.

### **Στόχος(-οι)**

Ο στόχος είναι ο σκοπός της μεθόδου λειτουργίας του συστήματος ισχύος. Π.χ., υποστήριξη σταθερότητας τάσης ή παροχή βοηθητικών υπηρεσιών. Μερικές φορές είναι πολυαντικειμενικές και αντιφατικές μεταξύ τους, π.χ. η ελαχιστοποίηση των απωλειών δικτύου και η μεγιστοποίηση της παροχής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ο στόχος μιας λύσης πρέπει πάντα να εξετάζεται σε συνάρτηση με τους λειτουργικούς περιορισμούς της, όπως η μέγιστη χωρητικότητα των γραμμών ή το ελάχιστο επίπεδο τάσης. Οι περιορισμοί μπορούν ακόμη και να προκληθούν από τη ρύθμιση. Ένας κατάλογος με πιθανούς στόχους των μεθόδων λειτουργίας του συστήματος ισχύος βρίσκεται στην έρευνα των Arnold et al. (2011). Ένας στόχος μπορεί να προέρχεται από όλες τις ζώνες, τους τομείς και τα στρώματα του SGAM. Ο στόχος μιας προσέγγισης θα πρέπει να είναι μετρήσιμος ώστε να καθίσταται δυνατός ο ποσοτικός προσδιορισμός και η αξιολόγηση της απόδοσης μιας μεθόδου λειτουργίας συστήματος ισχύος (Arnold et al., 2011).

### **Αρχιτεκτονική λειτουργίας**

Ο ταξινομητής Αρχιτεκτονική Λειτουργίας υποδιαιρείται στα δεδομένα εισόδου, τη μέθοδο και τις μεταβλητές εξόδου ή ελέγχου. Η αρχιτεκτονική της λειτουργίας παραγωγής σε αυτό το έργο δεν αναφέρεται μόνο στο μαθηματικό ή εννοιολογικό μοντέλο της «αρχιτεκτονικής ελέγχου», αλλά περιλαμβάνει και τις απαιτήσεις για τις δυνατότητες επικοινωνίας. Η αρχιτεκτονική λειτουργίας έχει άμεση επίδραση στην ασφάλεια και την ανθεκτικότητα του συστήματος και ως εκ τούτου είναι ένας σημαντικός ταξινομητής για λύσεις έξυπνου δικτύου. Περιλαμβάνει τη λειτουργία, το σταθμό, το πεδίο και τη διαδικασία των ζωνών SGAM στο επίπεδο λειτουργίας, πληροφοριών και στοιχείων του SGAM (Drayer, 2018).

Στην έρευνα των Nieße et al. (2014) παρέχεται μια ταξινόμηση των μοντέλων συντονισμού με βάση την τοποθεσία στην οποία επεξεργάζονται τα δεδομένα και όπου λαμβάνονται αποφάσεις ελέγχου. Αυτό αναπτύχθηκε για την ταξινόμηση των βασισμένων σε παράγοντες συστημάτων, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί για να ταξινομήσει την πραγματοποίηση των μεθόδων λειτουργίας συστημάτων ισχύος γενικά. Στη συνέχεια, κατά την περιγραφή μιας μονάδας παραγωγής, εννοούμε την οντότητα, στην οποία γίνεται η επεξεργασία των πληροφοριών και λαμβάνονται οι αποφάσεις για τη λειτουργία παραγωγής.

### **Αρχιτεκτονική τοπικών λειτουργιών**

Η τοπική αρχιτεκτονική περιορίζει τον έλεγχο σε μία συσκευή ή μία εγκατάσταση. Τα δεδομένα εισόδου πρέπει να είναι διαθέσιμα τοπικά και δεν υπάρχει εξωτερική επικοινωνία. Η μονάδα λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος και η μονάδα λειτουργίας του ελέγχου της βρύσης του μετασχηματιστή είναι παραδείγματα τοπικής αρχιτεκτονικής. Η μονάδα λειτουργίας βρίσκεται στο ελεγχόμενο στοιχείο, από το οποίο λαμβάνει μετρήσεις απευθείας. Αποστέλλει απευθείας τα σημεία ρύθμισης προς τα πίσω στους φυσικούς παράγοντες της αντίστοιχης εγκατάστασης ή συσκευής.

### **Αρχιτεκτονική αποκεντρωμένης λειτουργίας**

Σε μια αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική, μια μονάδα λειτουργίας αντιστοιχίζεται σε πολλές εγκαταστάσεις ή συσκευές. Η επικοινωνία πραγματοποιείται μεταξύ της μονάδας λειτουργίας και των συσκευών, όχι όμως μεταξύ των μονάδων λειτουργίας. Στην έρευνα του Groupos (1993) περιγράφεται ένα πολυεπίπεδο ιεραρχικό σύστημα, αλλά ο ελεγκτής θεωρείται ένας «μερικώς αποκεντρωμένος» ελεγκτής. Στη Zuniga (2017), ο ορισμός μιας "αποκεντρωμένης" αρχιτεκτονικής περιλαμβάνει μια ιεραρχική δομή με μια συντονιστική εποπτική οντότητα επίσης. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον ορισμό του IEC.

Σύμφωνα με τους Srikantha & Kundur (2019) σε μια αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική, καμία κεντρική μονάδα δεν εμπλέκεται στην ενεργοποίηση ή τον συντονισμό, αλλά οι μονάδες σε όλο το σύστημα εξακολουθούν να είναι σε θέση να ανταλλάσσουν πληροφορίες. Ωστόσο, σε μια αποκεντρωμένη επιχειρησιακή αρχιτεκτονική (decentralized operation architecture), οι λύσεις υπολογίζονται, και οι αποφάσεις που λαμβάνονται απευθείας μέσα στις αποκεντρωμένες μονάδες δεν είναι συντονισμένες μεταξύ των μονάδων παραγωγής. Προτάθηκε επίσης από τους Nieße et al. (2015) μια ταξινόμηση βάσει του πού λαμβάνονται οι αποφάσεις. Σύμφωνα με το IEC, συνίσταται η χρήση της λέξης αποκεντρωμένη για συστήματα χωρίς κεντρική μονάδα συντονισμού ή εποπτείας. Επειδή οι αποκεντρωμένες αρχιτεκτονικές δεν έχουν ένα μοναδικό σημείο αποτυχίας από τον σχεδιασμό, συχνά θεωρούνται πιο ανθεκτικές (Srikantha & Kundur 2019).

### **Αρχιτεκτονική κατανεμημένης λειτουργίας**

Σε μια κατανεμημένη αρχιτεκτονική, σε μία ή περισσότερες συσκευές αντιστοιχίζεται μία μονάδα λειτουργίας. Επιπλέον, οι μονάδες λειτουργίας είναι σε θέση να επικοινωνούν και να συντονίζονται μεταξύ τους. Οι αρχιτεκτονικές κατανεμημένων λειτουργιών μπορούν να οργανωθούν με ιεραρχικό ή ετεροαρχικό τρόπο. Ένας άλλος όρος που χρησιμοποιείται για αρχιτεκτονικές ιεραρχικής λειτουργίας είναι «συντονισμένος» (van Schuppen, 2015).

### **Ιεραρχική αρχιτεκτονική λειτουργίας**

Σε μια ιεραρχική αρχιτεκτονική, οι μονάδες παραγωγής είναι οργανωμένες σε πολλά επίπεδα με σαφή ιεραρχία και αμοιβαία εξάρτηση. Συχνά, τα ανώτερα επίπεδα αναλαμβάνουν τις πιο συντονιστικές εργασίες. Το υψηλότερο επίπεδο είναι το εποπτικό επίπεδο για το χαμηλότερο επίπεδο, όπου το κέντρο ελέγχου υψηλότερου επιπέδου συντονίζει τις μονάδες λειτουργίας των πρωτευόντων υποσταθμών. Οι ιεραρχικές αρχιτεκτονικές λειτουργίας συχνά διανέμονται, αλλά μπορούν να είναι ένας συνδυασμός μιας κεντρικής και τοπικής αρχιτεκτονικής επίσης, όπου η SCADA είναι σε θέση να μειώσει την ενεργή έγχυση ισχύος ενός εργοστασίου φωτοβολταϊκών και ο τοπικός έλεγχος του εργοστασίου φωτοβολταϊκών ελέγχει την αντιδραστική ισχύ με βάση μια τοπική μέτρηση της τάσης. Μια τέτοια ιεραρχική αντίληψη συνάδει με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας, όπως παρουσιάζεται στους Nieße et al. (2014), όπου ο κατανεμημένος έλεγχος στα ενεργειακά συστήματα ορίζεται ως ιεραρχική έννοια με συντονισμό μεταξύ διαφορετικών συστημάτων (Nieße et al., 2014).

### **Αρχιτεκτονική κεντρικής λειτουργίας**

Όταν μια ενιαία κεντρική μονάδα λειτουργίας ελέγχει όλες τις άλλες συσκευές σε ένα σύστημα και συγκεντρώνει και επεξεργάζεται όλες τις σχετικές πληροφορίες, υπάρχει μια κεντρική αρχιτεκτονική λειτουργίας. Ο εποπτικός έλεγχος και η απόκτηση δεδομένων (supervisory control and data acquisition - SCADA) ενός διαχειριστή δικτύου μπορεί να θεωρηθεί ως κεντρική λειτουργία και περιέχει την παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου και τον απομακρυσμένο έλεγχο πολλών στοιχείων του δικτύου, όπως απομακρυσμένοι μεταγωγείς.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

### 2.1 ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (ΙΟΤ)

#### 2.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (ΙΟΤ)

Ο Kevin Ashton, συνιδρυτής του Κέντρου Αυτόματης Αναγνώρισης (Auto-ID Center) του Ινστιτούτου Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (MIT), αναφέρθηκε για πρώτη φορά στο Διαδίκτυο των πραγμάτων σε μια παρουσίαση που έκανε στην Procter & Gamble (P&G) το 1999. Θέλοντας να επιστήσει την προσοχή των ανώτερων διοικητικών στελεχών της P&G στην αναγνώριση ραδιοσυχνότητων (radio frequency ID - RFID), ο Ashton χαρακτήρισε την παρουσίασή του ως "Internet of Things" που θα ενσωματώσει τη νέα φοβερή τάση του 1999: το διαδίκτυο (Sharma et al., 2019).

Το ΙοΤ έχει εξελιχθεί από τη σύγκλιση των ασύρματων τεχνολογιών, των μικρομηχανικών συστημάτων (microelectromechanical systems - MEMSes), των μικροϋπηρεσιών και του διαδικτύου. Η σύγκλιση έχει βοηθήσει στην εξάλειψη των πιέσεων μεταξύ της λειτουργικής τεχνολογίας (operational technology - OT) και της τεχνολογίας πληροφοριών (information technology - IT), επιτρέποντας την ανάλυση μη δομημένων δεδομένων που παράγονται από μηχανήματα για βαθύτερες ιδέες σχετικά με τις βελτιώσεις (Sharma et al., 2019).

Αν και ο Ashton έκανε την πρώτη αναφορά στο Διαδίκτυο των πραγμάτων, η ιδέα των συνδεδεμένων συσκευών υπάρχει από τη δεκαετία του 1970. Η πρώτη συσκευή Διαδικτύου, για παράδειγμα, ήταν μια μηχανή αναψυκτικών (coke machine) στο πανεπιστήμιο Carnegie Mellon στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Χρησιμοποιώντας τον ιστό, οι προγραμματιστές θα μπορούσαν να ελέγξουν την κατάσταση της μηχανής και να προσδιορίσουν αν θα υπήρχε ένα κρύο ρόφημα που θα τους περίμενε (Sharma et al., 2019).

Το ΙοΤ εξελίχθηκε από την επικοινωνία M2M (machine to machine communication), δηλαδή μηχανές που συνδέονται μεταξύ τους μέσω δικτύου χωρίς ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Ο όρος M2M αναφέρεται στη σύνδεση μιας συσκευής στο νέφος, τη διαχείρισή της και τη συλλογή δεδομένων. Παίρνοντας το M2M στο επόμενο επίπεδο, το ΙοΤ είναι ένα δίκτυο αισθητήρων διασκατομμυρίων έξυπνων συσκευών που συνδέουν ανθρώπους, συστήματα και άλλες εφαρμογές για τη συλλογή και κοινή χρήση δεδομένων. Ως βάση, το M2M προσφέρει τη συνδεσιμότητα που επιτρέπει το ΙοΤ (Suresh et al., 2014).

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων είναι επίσης μια φυσική επέκταση του εποπτικού ελέγχου και της απόκτησης δεδομένων (supervisory control and data acquisition - SCADA), μια κατηγορία προγραμμάτων εφαρμογών λογισμικού για τον έλεγχο των διαδικασιών, τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από απομακρυσμένες θέσεις σε εξοπλισμό και συνθήκες ελέγχου. Τα συστήματα SCADA περιλαμβάνουν στοιχεία υλικού και λογισμικού. Το υλικό συγκεντρώνει και τροφοδοτεί τα δεδομένα σε έναν υπολογιστή που έχει εγκατεστημένο το λογισμικό SCADA, όπου στη συνέχεια επεξεργάζεται και παρουσιάζεται εγκαίρως. Η εξέλιξη του SCADA είναι τέτοια που τα συστήματα τελευταίας γενιάς SCADA αναπτύχθηκαν σε συστήματα ΙοΤ πρώτης γενιάς. Η έννοια του οικοσυστήματος ΙοΤ, ωστόσο, δεν ήρθε πραγματικά στο προσκήνιο μέχρι τα μέσα του 2010, όταν η κυβέρνηση της Κίνας δήλωσε ότι θα κάνει το ΙοΤ μια στρατηγική προτεραιότητα στο πενταετές της σχέδιο (Suresh et al., 2014).

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων, ή ΙοΤ, είναι ένα σύστημα αλληλένδετων υπολογιστικών συσκευών, μηχανικών και ψηφιακών μηχανών, αντικειμένων, ζώων ή ανθρώπων που παρέχονται με μοναδικά αναγνωριστικά (unique identifiers - UIDs) και την ικανότητα να μεταφέρουν δεδομένα μέσω ενός δικτύου χωρίς να απαιτείται αλληλεπίδραση ανθρώπου-ανθρώπου ή ανθρώπου-με-υπολογιστή. Ένα πράγμα στο διαδίκτυο των πραγμάτων μπορεί να είναι ένα αυτοκίνητο που έχει ενσωματωμένους αισθητήρες για να ειδοποιεί τον οδηγό όταν η πίεση των ελαστικών είναι χαμηλή ή οποιοδήποτε άλλο φυσικό ή τεχνητό αντικείμενο που μπορεί να ανατεθεί μια διεύθυνση Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (Internet Protocol - IP) και είναι σε θέση να μεταφέρει δεδομένα μέσω ενός δικτύου. Όλο και περισσότερο, οι οργανισμοί σε διάφορους κλάδους χρησιμοποιούν το ΙοΤ για να λειτουργούν πιο αποδοτικά, να κατανοούν καλύτερα τους πελάτες για να παρέχουν βελτιωμένη εξυπηρέτηση πελατών, να βελτιώνουν τη λήψη αποφάσεων και να αυξάνουν την αξία της επιχείρησης (Lee & Lee, 2015).

Ένα οικοσύστημα IoT αποτελείται από έξυπνες συσκευές που χρησιμοποιούν web και χρησιμοποιούν ενσωματωμένα συστήματα, όπως επεξεργαστές, αισθητήρες και υλικό επικοινωνίας, για τη συλλογή, αποστολή και δράση σε δεδομένα που λαμβάνουν από το περιβάλλον τους. Οι συσκευές IoT μοιράζονται τα δεδομένα αισθητήρων που συλλέγουν συνδέοντας σε μια πύλη IoT ή άλλη συσκευή άκρου όπου τα δεδομένα είτε αποστέλλονται στο νέφος για να αναλυθούν είτε αναλύονται τοπικά. Μερικές φορές, αυτές οι συσκευές επικοινωνούν με άλλες σχετικές συσκευές και ενεργούν στις πληροφορίες που λαμβάνουν η μία από την άλλη. Οι συσκευές κάνουν το μεγαλύτερο μέρος της δουλειάς χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, αν και οι άνθρωποι μπορούν να αλληλεπιδρούν με τις συσκευές — για παράδειγμα, να τις ρυθμίσουν, να τους δώσουν οδηγίες ή να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα. Τα πρωτόκολλα συνδεσιμότητας, δικτύωσης και επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται με αυτές τις συσκευές με δυνατότητα web εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις συγκεκριμένες εφαρμογές IoT που έχουν αναπτυχθεί. Το IoT μπορεί επίσης να κάνει χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (artificial intelligence - AI) και της μηχανικής μάθησης για να βοηθήσει στη διευκόλυνση και τη δημιουργία πιο δυναμικών διαδικασιών συλλογής δεδομένων (Lee & Lee, 2015).

Το διαδίκτυο των πραγμάτων βοηθά τους ανθρώπους να ζουν και να εργάζονται πιο έξυπνα, καθώς και να αποκτήσουν πλήρη έλεγχο της ζωής τους. Εκτός από την προσφορά έξυπνων συσκευών για την αυτοματοποίηση των σπιτιών, IoT είναι απαραίτητη για τις επιχειρήσεις. Το IoT παρέχει στις επιχειρήσεις τη δυνατότητα να εξετάζουν σε πραγματικό χρόνο πώς λειτουργούν πραγματικά τα συστήματά τους, παρέχοντας πληροφορίες για τα πάντα, από την απόδοση των μηχανημάτων έως τις λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας και της εφοδιαστικής. Το IoT επιτρέπει στις εταιρείες να αυτοματοποιούν διαδικασίες και να μειώνουν το κόστος εργασίας. Μειώνει επίσης τα απόβλητα και βελτιώνει την παροχή υπηρεσιών, καθιστώντας λιγότερο δαπανηρή την κατασκευή και την παράδοση αγαθών, καθώς και προσφέροντας διαφάνεια στις συναλλαγές πελατών. Ως εκ τούτου, IoT είναι μία από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες της καθημερινής ζωής, και θα συνεχίσει να πάρει ατμό, καθώς περισσότερες επιχειρήσεις συνειδητοποιούν τις δυνατότητες των συνδεδεμένων συσκευών για να τους κρατήσει ανταγωνιστική (Gubbi et al., 2013).

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων προσφέρει πολλά οφέλη στους οργανισμούς. Ορισμένα οφέλη αφορούν συγκεκριμένους κλάδους και μερικά ισχύουν σε πολλούς κλάδους. Μερικά από τα κοινά οφέλη του IoT επιτρέπουν στις επιχειρήσεις (Gubbi et al., 2013):

- να παρακολουθούν τις συνολικές επιχειρηματικές διεργασίες τους
- να βελτιώσουν την εμπειρία των πελατών (customer experience - CX)
- να εξοικονομήσουν χρόνο και χρήματα
- να βελτιώσουν την παραγωγικότητα των εργαζομένων
- να ενοποιήσουν και να προσαρμόσουν τα επιχειρηματικά μοντέλα
- να λαμβάνουν καλύτερες επιχειρηματικές αποφάσεις
- να δημιουργήσουν περισσότερα έσοδα

Το IoT ενθαρρύνει τις εταιρείες να επανεξετάσουν τους τρόπους με τους οποίους προσεγγίζουν τις επιχειρήσεις τους και τους παρέχει τα εργαλεία για να βελτιώσουν τις επιχειρηματικές στρατηγικές τους. Γενικά, το IoT είναι πιο άφθονο στους οργανισμούς κατασκευής, μεταφοράς και κοινής ωφέλειας, χρησιμοποιώντας αισθητήρες και άλλες συσκευές IoT. Ωστόσο, έχει περιπτώσεις χρήσης για οργανισμούς στους κλάδους της γεωργίας, των υποδομών, και του αυτοματισμού σπιτιού, οδηγώντας μερικούς οργανισμούς στον ψηφιακό μετασχηματισμό. Το IoT μπορεί να ωφελήσει τους γεωργούς διευκολύνοντας την εργασία τους. Οι αισθητήρες μπορούν να συλλέγουν δεδομένα σχετικά με τη βροχόπτωση, την υγρασία, τη θερμοκρασία και το περιεχόμενο του εδάφους, καθώς και άλλους παράγοντες, που θα βοηθήσουν στην αυτοματοποίηση των τεχνικών καλλιέργειας (Madakam et al., 2015).

Η δυνατότητα παρακολούθησης των λειτουργιών που περιβάλλουν την υποδομή είναι επίσης ένας παράγοντας με τον οποίο μπορεί να βοηθήσει το IoT. Οι αισθητήρες, για παράδειγμα, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση συμβάντων ή αλλαγών σε δομικά κτίρια, γέφυρες και άλλες υποδομές. Αυτό αποφέρει οφέλη, όπως εξοικονόμηση κόστους, εξοικονόμηση χρόνου, αλλαγές στη ροή εργασιών ποιότητας ζωής και ροή εργασίας χωρίς χαρτί. Μια επιχείρηση οικιακού αυτοματισμού μπορεί να χρησιμοποιήσει IoT για την παρακολούθηση και το

χειρισμό των μηχανικών και ηλεκτρικών συστημάτων σε ένα κτίριο. Σε ευρύτερη κλίμακα, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να βοηθήσουν τους πολίτες να μειώσουν τα απόβλητα και την κατανάλωση ενέργειας. Το IoT επηρεάζει κάθε κλάδο, συμπεριλαμβανομένων των επιχειρήσεων στους τομείς της υγείας, των οικονομικών, των λιανικών πωλήσεων και της μεταποίησης (Madakam et al., 2015).

Μερικά από τα πλεονεκτήματα του IoT περιλαμβάνουν τα εξής (Farooq et al., 2015):

- δυνατότητα πρόσβασης σε πληροφορίες από οπουδήποτε, οποιαδήποτε στιγμή σε οποιαδήποτε συσκευή
- βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ συνδεδεμένων ηλεκτρονικών συσκευών
- μεταφορά πακέτων δεδομένων μέσω συνδεδεμένου δικτύου, με εξοικονόμηση χρόνου και χρημάτων
- αυτοματοποίηση εργασιών που συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών μιας επιχείρησης και στη μείωση της ανάγκης για ανθρώπινη παρέμβαση.

Μερικά μειονεκτήματα του IoT περιλαμβάνουν τα εξής (Farooq et al., 2015):

- Καθώς ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών αυξάνεται και όλο και περισσότερες πληροφορίες μοιράζονται μεταξύ των συσκευών, αυξάνεται και η πιθανότητα κάποιος χάκερ να υποκλέψει εμπιστευτικές πληροφορίες.
- Οι επιχειρήσεις μπορεί τελικά να πρέπει να αντιμετωπίσουν μαζικούς αριθμούς — ίσως και εκατομμύρια — από τις συσκευές IoT, και η συλλογή και διαχείριση των δεδομένων από όλες αυτές τις συσκευές θα είναι δύσκολη.
- Αν υπάρχει κάποιο σφάλμα στο σύστημα, είναι πιθανό κάθε συνδεδεμένη συσκευή να καταστραφεί.
- Δεδομένου ότι δεν υπάρχει διεθνές πρότυπο συμβατότητας για IoT, είναι δύσκολο για συσκευές από διαφορετικούς κατασκευαστές να επικοινωνούν μεταξύ τους.

### Πρότυπα και πλαίσια IoT

Υπάρχουν αρκετά αναδυόμενα πρότυπα IoT, μεταξύ των οποίων τα εξής (Chen et al., 2014):

- Το IPv6 σε Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα Χαμηλής Ισχύος (Low-Power Wireless Personal Area Networks — 6LoWPAN) είναι ένα ανοιχτό πρότυπο που έχει οριστεί από την Ομάδα Εργασίας για τη Μηχανική του Διαδικτύου (Internet Engineering Task Force — IETF). Το πρότυπο 6LoWPAN επιτρέπει σε οποιοδήποτε ραδιόφωνο χαμηλής ισχύος να επικοινωνούν στο διαδίκτυο, συμπεριλαμβανομένων 804.15.4, Bluetooth Χαμηλής Ενέργειας (Bluetooth Low Energy - BLE) και Z-Wave (για οικιακή αυτοματοποίηση).
- Το ZigBee είναι ένα ασύρματο δίκτυο χαμηλής ισχύος και χαμηλής ταχύτητας που χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανικές περιοχές. Το ZigBee βασίζεται στο πρότυπο Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 802.15.4. Η ZigBee Alliance δημιούργησε την Dotdot, την παγκόσμια γλώσσα για το IoT που επιτρέπει στα έξυπνα αντικείμενα να εργάζονται με ασφάλεια σε οποιοδήποτε δίκτυο και να κατανοούν το ένα το άλλο.
- Το LiteOS είναι ένα λειτουργικό σύστημα τύπου Unix (operating system - OS) για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Το LiteOS υποστηρίζει smartphones, wearables, έξυπνες εφαρμογές κατασκευής, έξυπνα σπίτια και το διαδίκτυο των οχημάτων (internet of vehicles - IoV). Το λειτουργικό σύστημα λειτουργεί επίσης ως μια έξυπνη πλατφόρμα ανάπτυξης συσκευών.
- Το OneM2M είναι ένα επίπεδο υπηρεσιών μεταξύ μηχανημάτων, το οποίο μπορεί να ενσωματωθεί σε λογισμικό και υλικό για τη σύνδεση συσκευών. Ο παγκόσμιος οργανισμός τυποποίησης, OneM2M, δημιουργήθηκε για να αναπτύσσει επαναχρησιμοποιήσιμα πρότυπα για να επιτρέπει στις εφαρμογές IoT σε διαφορετικές κάθετες γραμμές να επικοινωνούν.
- Η υπηρεσία διανομής δεδομένων (Data Distribution Service - DDS) αναπτύχθηκε από την ομάδα διαχείρισης αντικειμένων (Object Management Group - OMG) και είναι ένα πρότυπο IoT για επικοινωνία M2M σε πραγματικό χρόνο, δυνατότητα κλιμάκωσης και υψηλή απόδοση.
- Το Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) είναι ένα ανοιχτό πρότυπο που δημοσιεύεται για ασύγχρονη ανταλλαγή μηνυμάτων μέσω καλωδίου. Το AMQP επιτρέπει την



κρυπτογραφημένη και διαλειτουργική ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ οργανισμών και εφαρμογών. Το πρωτόκολλο χρησιμοποιείται σε μηνύματα πελάτη-διακομιστή και στη διαχείριση συσκευών IoT.

- Το Πρωτόκολλο Περιορισμένων Εφαρμογών (Constrained Application Protocol - CoAP) είναι ένα πρωτόκολλο που έχει σχεδιαστεί από το IETF και καθορίζει πώς μπορούν να λειτουργούν στο Διαδίκτυο οι συσκευές με περιορισμένη υπολογιστική ισχύ.
- Το LoRaWAN (Long Range Wide Area Network — Δίκτυο Ευρείας Περιοχής Μεγάλης Εμβέλειας) είναι ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στα WAN και έχει σχεδιαστεί για την υποστήριξη τεράστιων δικτύων, όπως ευφυείς πόλεις, με εκατομμύρια συσκευές χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.

Τα πλαίσια IoT περιλαμβάνουν τα εξής (Chen et al., 2014):

- Το Amazon Web Services (AWS) IoT είναι μια πλατφόρμα υπολογιστικής νέφους για το IoT, την οποία κυκλοφόρησε η Amazon. Το πλαίσιο αυτό έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει στις έξυπνες συσκευές να συνδέονται εύκολα και να αλληλεπιδρούν με ασφάλεια με το AWS και άλλες συνδεδεμένες συσκευές.
- Το Arm Mbed IoT είναι μια πλατφόρμα για την ανάπτυξη εφαρμογών για IoT με βάση Arm μικροελεγκτές. Ο στόχος της πλατφόρμας είναι να παρέχει ένα κλιμακούμενο, συνδεδεμένο και ασφαλές περιβάλλον για συσκευές IoT ενσωματώνοντας εργαλεία και υπηρεσίες Mbed.
- Το Azure IoT Suite της Microsoft είναι μια πλατφόρμα που αποτελείται από ένα σύνολο υπηρεσιών που επιτρέπει στους χρήστες να αλληλεπιδρούν και να λαμβάνουν δεδομένα από τις συσκευές τους IoT, καθώς και να εκτελούν διάφορες λειτουργίες μέσω δεδομένων, όπως πολυδιάστατη ανάλυση, μετασχηματισμό και συνάθροιση, και να οπτικοποιούν αυτές τις λειτουργίες με τρόπο κατάλληλο για επιχειρήσεις.
- Το Brillo/Weave της Google είναι μια πλατφόρμα για την ταχεία εφαρμογή των εφαρμογών IoT. Η πλατφόρμα αποτελείται από δύο κύρια ραχοκοκαλιά: Το Brillo, ένα λειτουργικό σύστημα που βασίζεται στο Android για την ανάπτυξη ενσωματωμένων συσκευών χαμηλής κατανάλωσης και το Weave, ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας προσαρμοσμένο στο IoT που χρησιμεύει ως γλώσσα επικοινωνίας μεταξύ της συσκευής και του νέφους.
- Το Calvin είναι μια πλατφόρμα IoT ανοιχτού κώδικα που κυκλοφόρησε από την Ericsson σχεδιασμένη για τη δημιουργία και διαχείριση καταμεμημένων εφαρμογών που επιτρέπουν στις συσκευές να συνομιλούν μεταξύ τους. Το Calvin περιλαμβάνει ένα πλαίσιο ανάπτυξης για προγραμματιστές εφαρμογών, καθώς και ένα περιβάλλον χρόνου εκτέλεσης για το χειρισμό της εφαρμογής που εκτελείται.

### **Εφαρμογές IoT για καταναλωτές και επιχειρήσεις**

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές του διαδικτύου πραγμάτων στον πραγματικό κόσμο, που κυμαίνονται από την καταναλωτική IoT και την επιχείρηση IoT έως τη βιομηχανική IoT (industrial IoT - IIoT). Οι εφαρμογές IoT εκτείνονται σε πολλά κλάσματα, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, οι τηλεπικοινωνίες και η ενέργεια. Στον τομέα των καταναλωτών, για παράδειγμα, τα έξυπνα σπίτια που είναι εξοπλισμένα με έξυπνους θερμοστάτες, έξυπνες συσκευές και συνδεδεμένες συσκευές θέρμανσης, φωτισμού και ηλεκτρονικών συσκευών μπορούν να ελέγχονται εξ αποστάσεως μέσω υπολογιστών και smartphones (Li et al., 2018).

Οι συσκευές που φοριούνται με αισθητήρες και λογισμικό μπορούν να συλλέγουν και να αναλύουν δεδομένα χρηστών, στέλνοντας μηνύματα σε άλλες τεχνολογίες σχετικά με τους χρήστες με σκοπό να κάνουν τη ζωή των χρηστών ευκολότερη και πιο άνετη. Οι συσκευές που φοριούνται χρησιμοποιούνται επίσης για τη δημόσια ασφάλεια — για παράδειγμα, βελτιώνοντας τους χρόνους απόκρισης των πρώτων ανταποκριτών σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, παρέχοντας βελτιστοποιημένες διαδρομές προς μια τοποθεσία ή εντοπίζοντας ζωτικά σημεία των εργαζομένων στις κατασκευές ή των πυροσβεστών σε περιοχές που απειλούν τη ζωή τους (Li et al., 2018).

Στον τομέα της υγείας, το IoT προσφέρει πολλά οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της ικανότητας στενότερης παρακολούθησης των ασθενών χρησιμοποιώντας ανάλυση των δεδομένων που παράγονται. Τα νοσοκομεία συχνά χρησιμοποιούν συστήματα IoT για να ολοκληρώνουν εργασίες όπως η διαχείριση αποθεμάτων τόσο για φαρμακευτικά όσο και για ιατρικά όργανα. Τα

έξυπνα κτίρια μπορούν, για παράδειγμα, να μειώσουν το ενεργειακό κόστος χρησιμοποιώντας αισθητήρες που ανιχνεύουν πόσοι ένοικοι βρίσκονται σε ένα δωμάτιο. Η θερμοκρασία μπορεί να ρυθμιστεί αυτόματα — για παράδειγμα, η ενεργοποίηση του κλιματιστικού αν οι αισθητήρες ανιχνεύσουν ότι η αίθουσα συσκέψεων είναι γεμάτη ή η απενεργοποίηση της θερμοκρασίας αν όλοι στο γραφείο έχουν επιστρέψει στο σπίτι (Li et al., 2018).

Στη γεωργία, τα συστήματα έξυπνης καλλιέργειας που βασίζονται στο IoT μπορούν να βοηθήσουν στην παρακολούθηση, για παράδειγμα, του φωτός, της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της υγρασίας του εδάφους των καλλιεργειών χρησιμοποιώντας συνδεδεμένους αισθητήρες. Το IoT είναι επίσης καθοριστικής σημασίας για την αυτοματοποίηση των συστημάτων άρδευσης. Σε μια έξυπνη πόλη, οι αισθητήρες και οι υλοποιήσεις IoT, όπως οι έξυπνοι φωτεινοί σηματοδότες και οι έξυπνοι μετρητές, μπορούν να βοηθήσουν στην ανακούφιση της κυκλοφορίας, στη διατήρηση της ενέργειας, στην παρακολούθηση και την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων και στη βελτίωση της υγιεινής (Li et al., 2018).

### **Ζητήματα ασφάλειας και προστασίας προσωπικών δεδομένων IoT**

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων συνδέει δισεκατομμύρια συσκευές στο Διαδίκτυο και περιλαμβάνει τη χρήση δισεκατομμυρίων σημείων δεδομένων, τα οποία πρέπει να διασφαλιστούν. Λόγω της εκτεταμένης επιφάνειας επίθεσής του, η ασφάλεια IoT και η προστασία προσωπικών δεδομένων IoT αναφέρονται ως βασικές ανησυχίες. Το 2016, μία από τις πιο διαβόητες πρόσφατες επιθέσεις IoT ήταν η Mirai, ένα δίκτυο ρομπότ που διείσδυσε στον πάροχο διακομιστών ονομάτων περιοχών Dyn και διέκοψε πολλές ιστοσελίδες για μεγάλο χρονικό διάστημα σε μία από τις μεγαλύτερες καταναμημένες επιθέσεις άρνησης εξυπηρέτησης (distributed denial-of-service - DDoS) που έχουν παρατηρηθεί ποτέ. Οι επιτιθέμενοι απέκτησαν πρόσβαση στο δίκτυο εκμεταλλευόμενοι μη ασφαλείς συσκευές IoT (Ammar et al., 2018).

Επειδή οι συσκευές IoT είναι στενά συνδεδεμένες, το μόνο που πρέπει να κάνει ένας χάκερ είναι να εκμεταλλευτεί μια αδυναμία χειρισμού όλων των δεδομένων, καθιστώντας τα άχρηστα. Κατασκευαστές που δεν ενημερώνουν τις συσκευές τους τακτικά — ή καθόλου — τις αφήνουν ευάλωτες στους κυβερνοεγκληματίες. Επιπλέον, οι συνδεδεμένες συσκευές συχνά ζητούν από τους χρήστες να εισαγάγουν τις προσωπικές τους πληροφορίες, όπως ονόματα, ηλικίες, διευθύνσεις, αριθμούς τηλεφώνων, ακόμα και λογαριασμούς κοινωνικών μέσων — πληροφορίες που είναι ανεκτίμητες στους χάκερς (Ammar et al., 2018).

Οι χάκερς δεν είναι η μόνη απειλή για το Διαδίκτυο των πραγμάτων. Η προστασία των προσωπικών δεδομένων είναι άλλο ένα σημαντικό ζήτημα για τους χρήστες IoT. Για παράδειγμα, οι εταιρείες που κατασκευάζουν και διανέμουν καταναλωτικές συσκευές IoT θα μπορούσαν να χρησιμοποιούν αυτές τις συσκευές για να λαμβάνουν και να πωλούν προσωπικά δεδομένα των χρηστών. Πέρα από τη διαρροή προσωπικών δεδομένων, το IoT αποτελεί κίνδυνο για υποδομές ζωτικής σημασίας, όπως το ηλεκτρικό ρεύμα, οι μεταφορές και οι χρηματοοικονομικές υπηρεσίες (Ammar et al., 2018).

## **2.1.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (IOT)**

### **2.1.2.1 Πρωτόκολλα δεδομένων Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT)**

Τα πρωτόκολλα δεδομένων IoT χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση συσκευών IoT χαμηλής ισχύος. Παρέχουν επικοινωνία με το υλικό στην πλευρά του χρήστη - χωρίς την ανάγκη για οποιαδήποτε σύνδεση στο διαδίκτυο. Η συνδεσιμότητα στα πρωτόκολλα και τα πρότυπα δεδομένων IoT είναι μέσω ενός ενσύρματου ή δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Μερικά παραδείγματα πρωτοκόλλων δεδομένων IoT είναι τα εξής (Al-Masri et al., 2020):

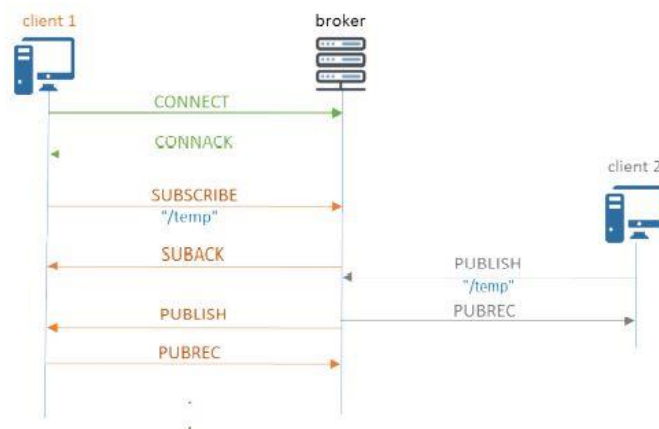
#### **MQTT (Μεταφορά τηλεμετρίας σε ουρά μηνυμάτων)**

Ένα MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) είναι ένα ελαφρύ πρωτόκολλο δεδομένων IoT. Διαθέτει ένα μοντέλο μηνυμάτων εκδότη-συνδρομητή και επιτρέπει την απλή ροή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συσκευών. Το κύριο σημείο πώλησης της MQTT είναι η αρχιτεκτονική της. Το γενετικό της make-up είναι βασικό και ελαφρύ και ως εκ τούτου, είναι σε θέση να παρέχει

χαμηλή κατανάλωση ενέργειας για τις συσκευές. Λειτουργεί επίσης πάνω σε ένα πρωτόκολλο TCP/IP.

Τα πρωτόκολλα δεδομένων IoT σχεδιάστηκαν για να αντιμετωπίζουν μη αξιόπιστα δίκτυα επικοινωνίας. Αυτό έγινε μια ανάγκη στον κόσμο IoT λόγω του αυξανόμενου αριθμού των μικρών, φθηνά, και χαμηλής ισχύος αντικείμενα που έχουν εμφανιστεί στο δίκτυο τα τελευταία χρόνια. Παρά την ευρεία προσαρμογή του MQTT -κυρίως ως προτύπου IoT με βιομηχανικές εφαρμογές- δεν υποστηρίζει έναν καθορισμένο τρόπο αναπαράστασης δεδομένων και δομής διαχείρισης συσκευών. Ως αποτέλεσμα, η υλοποίηση των δυνατοτήτων διαχείρισης δεδομένων και συσκευών εξαρτάται αποκλειστικά από την πλατφόρμα ή τον προμηθευτή.

**Πίνακας 1: Ροή ελέγχου μηνυμάτων με MQTT**

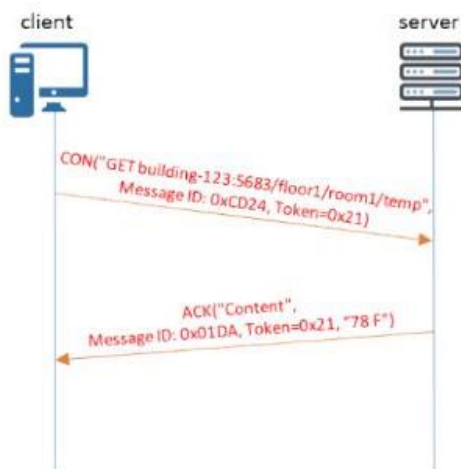


### CoAP (Πρωτόκολλο περιορισμένων εφαρμογών)

Το CoAp (Constrained Application Protocol) είναι ένα πρωτόκολλο επιπέδου εφαρμογών. Έχει σχεδιαστεί για να ικανοποιεί τις ανάγκες των συστημάτων IoT που βασίζονται στο HTTP. Τα αρχικά HTTP σημαίνουν Hypertext Transfer Protocol (Πρωτόκολλο Μεταφοράς Υπερ-κειμένου) και είναι το θεμέλιο της επικοινωνίας δεδομένων στον Παγκόσμιο Ιστό. Αν και η υπάρχουσα δομή του Διαδικτύου είναι ελεύθερα διαθέσιμη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιαδήποτε συσκευή IoT, συχνά είναι πολύ βαριά και καταναλώνει πολλή ενέργεια για τις περισσότερες εφαρμογές IoT. Αυτό έχει οδηγήσει πολλούς μέσα στην κοινότητα του IoT να απορρίψουν το HTTP ως πρωτόκολλο που δεν είναι κατάλληλο για το IoT.

Ωστόσο, το CoAp έχει αντιμετωπίσει αυτόν τον περιορισμό μεταφράζοντας το μοντέλο HTTP σε χρήση σε περιοριστικές συσκευές και περιβάλλοντα δικτύου. Έχει απίστευτα χαμηλά γενικά έξοδα, είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί, και έχει τη δυνατότητα να ενεργοποιήσει την υποστήριξη πολυεκπομπής. Επομένως, είναι ιδανικό για χρήση σε συσκευές με περιορισμούς πόρων, όπως μικροελεγκτές IoT ή κόμβους WSN. Χρησιμοποιείται παραδοσιακά σε εφαρμογές που περιλαμβάνουν έξυπνη ενέργεια και αυτοματισμό κτιρίων.

Πίνακας 2: Ροή ελέγχου μηνυμάτων με CoAP



**AMQP (Προηγμένο πρωτόκολλο ουράς μηνυμάτων)**

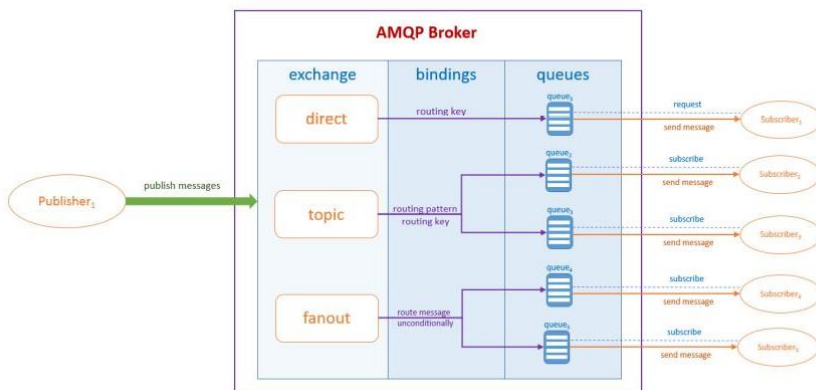
Το Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) είναι ένα ανοιχτό τυπικό πρωτόκολλο επιπέδου εφαρμογών που χρησιμοποιείται για συναλλακτικά μηνύματα μεταξύ διακομιστών.

Οι κύριες λειτουργίες του παρόντος πρωτοκόλλου IoT είναι οι εξής:

- Λήψη και τοποθέτηση μηνυμάτων σε ουρές
- Αποθήκευση μηνυμάτων
- Δημιουργία σχέσης μεταξύ αυτών των στοιχείων

Με το επίπεδο ασφάλειας και αξιοπιστίας, συνήθως χρησιμοποιείται σε περιβάλλοντα ανάλυσης που βασίζονται σε διακομιστές, όπως στον τραπεζικό κλάδο. Ωστόσο, δεν χρησιμοποιείται ευρέως αλλού. Λόγω της μεγάλης βαρύτητάς του, δεν είναι κατάλληλο για συσκευές αισθητήρων IoT με περιορισμένη μνήμη. Ως αποτέλεσμα, η χρήση του εξακολουθεί να είναι αρκετά περιορισμένη στον κόσμο του IoT.

Πίνακας 3: Μοντέλο διανομής μηνυμάτων με AMQP

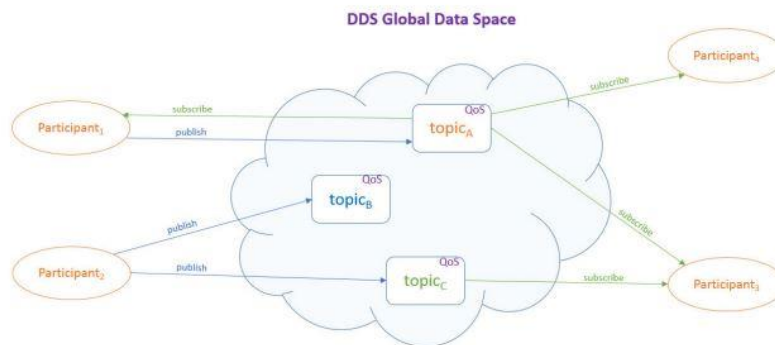


### DDS (Υπηρεσία διανομής δεδομένων)

Το DDS (Data Distribution Service) είναι ένα άλλο κλιμακούμενο πρωτόκολλο IoT που επιτρέπει την επικοινωνία υψηλής ποιότητας στο IoT. Παρόμοια με το MQTT, το DDS λειτουργεί και σε ένα μοντέλο εκδότη-συνδρομητή.

Μπορεί να αναπτυχθεί σε πολλαπλές ρυθμίσεις, από το cloud σε πολύ μικρές συσκευές. Αυτό το καθιστά ιδανικό για ενσωματωμένα συστήματα πραγματικού χρόνου. Επιπλέον, σε αντίθεση με το MQTT, το πρωτόκολλο DDS επιτρέπει τη διαλειτουργική ανταλλαγή δεδομένων που είναι ανεξάρτητη από το υλικό και την πλατφόρμα λογισμικού. Μάλιστα, θεωρείται το πρώτο ανοικτό διεθνές πρότυπο ενδιάμεσου λογισμικού IoT.

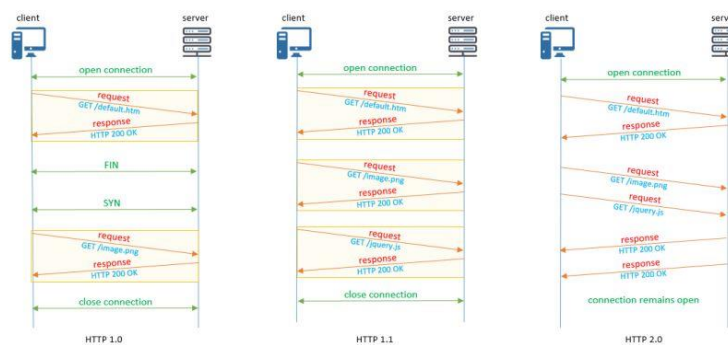
Πίνακας 4: DDS μοντέλο με κέντρο τα δεδομένα



### HTTP (Πρωτόκολλο μεταφοράς υπερκειμένου)

Μέχρι τώρα ασχοληθήκαμε συνοπτικά με το μοντέλο HTTP (HyperText Transfer Protocol). Όπως αναφέρθηκε, το πρωτόκολλο HTTP δεν προτιμάται ως πρότυπο IoT λόγω του κόστους, της διάρκειας ζωής της μπαταρίας, της τεράστιας κατανάλωσης ενέργειας, και του βάρους. Ωστόσο, εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε ορισμένους κλάδους. Για παράδειγμα, η παραγωγή και η τριδιάστατη εκτύπωση βασίζονται στο πρωτόκολλο HTTP λόγω των μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων που μπορεί να δημοσιεύσει. Επιτρέπει τη σύνδεση PC σε 3-D εκτυπωτές στο δίκτυο και την εκτύπωση των τριδιάστατων αντικειμένων.

Πίνακας 5: Ροή ελέγχου μηνυμάτων με HTTP



### WebSocket

Το WebSocket αναπτύχθηκε αρχικά το 2011 ως μέρος της πρωτοβουλίας HTML5. Μέσω μίας μόνο σύνδεσης TCP, μπορούν να στέλνονται μηνύματα μεταξύ του προγράμματος-πελάτη και

του διακομιστή. Όπως και το CoAp, έτσι και το βασικό πρωτόκολλο συνδετικότητας του WebSocket απλοποιεί πολλές από τις πολυπλοκότητες και τις δυσκολίες που σχετίζονται με τη διαχείριση των συνδέσεων και την αμφίδρομη επικοινωνία στο Διαδίκτυο. Μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα δίκτυο IoT όπου τα δεδομένα μεταδίδονται συνεχώς σε πολλές συσκευές. Επομένως, θα διαπιστώσετε ότι χρησιμοποιείται συχνότερα σε μέρη που ενεργούν ως πελάτες ή διακομιστές. Αυτό περιλαμβάνει περιβάλλοντα ή βιβλιοθήκες χρόνου εκτέλεσης.

### 2.1.2.2 Πρωτόκολλα δικτύου για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

Τώρα που έχουμε καλύψει τα πρωτόκολλα δεδομένων IoT, θα εξετάσουμε τα διαφορετικά πρωτόκολλα δικτύου για το IoT. Τα πρωτόκολλα δικτύου IoT χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση συσκευών σε ένα δίκτυο. Αυτά τα σύνολα πρωτοκόλλων συνήθως χρησιμοποιούνται μέσω του Διαδικτύου. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα διάφορων πρωτοκόλλων δικτύου IoT (Al-Masri et al., 2020):

#### Wi-Fi

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το Wi-Fi είναι το πιο γνωστό πρωτόκολλο IoT σε αυτήν τη λίστα. Το Wi-Fi παρέχει σύνδεση Internet σε κοντινές συσκευές εντός συγκεκριμένου εύρους. Ένας άλλος τρόπος χρήσης του Wi-Fi είναι η δημιουργία ενός ενεργού σημείου Wi-Fi. Τα κινητά τηλέφωνα ή οι υπολογιστές μπορούν να μοιράζονται μια ασύρματη ή ενσύρματη σύνδεση στο Διαδίκτυο με άλλες συσκευές εκπέμποντας ένα σήμα. Το Wi-Fi χρησιμοποιεί ραδιοκύματα που εκπέμπουν πληροφορίες σε συγκεκριμένες συχνότητες, όπως κανάλια 2,4 GHz ή 5 GHz. Επιπλέον, και οι δύο αυτές περιοχές συχνοτήτων διαθέτουν έναν αριθμό καναλιών μέσω των οποίων μπορούν να λειτουργούν διαφορετικές ασύρματες συσκευές. Αυτό αποτρέπει την υπερχείλιση των ασύρματων δικτύων. Οι κύριες επιπτώσεις στο εύρος και την ταχύτητα μιας σύνδεσης Wi-Fi είναι το περιβάλλον και το αν παρέχει εσωτερική ή εξωτερική κάλυψη.

#### Bluetooth

Σε σύγκριση με άλλα πρωτόκολλα δικτύου IoT, το Bluetooth τείνει να μεταπηδά συχνότητα και έχει γενικά μικρότερο εύρος. Ωστόσο, έχει αποκτήσει τεράστια βάση χρηστών λόγω της ενσωμάτωσής της στις σύγχρονες φορητές συσκευές -έξυπνα τηλέφωνα και υπολογιστές tablet- καθώς και λόγω της φορητής τεχνολογίας, όπως τα ασύρματα ακουστικά. Η τυπική τεχνολογία Bluetooth χρησιμοποιεί ραδιοκύματα στη ζώνη συχνοτήτων 2,4 GHz ISM και αποστέλλεται υπό μορφή πακέτων σε ένα από τα 79 κανάλια. Ωστόσο, το τελευταίο πρότυπο Bluetooth 4.0 έχει 40 κανάλια και εύρος ζώνης 2Mhz. Αυτό εγγυάται μέγιστη μεταφορά δεδομένων μέχρι 3 Mb/s. Αυτή η νέα τεχνολογία είναι γνωστή ως Bluetooth Low Energy (BLE) και μπορεί να αποτελέσει τη βάση για εφαρμογές IoT που απαιτούν σημαντική ευελιξία, δυνατότητα κλιμάκωσης και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

#### ZigBee

Τα δίκτυα με βάση το ZigBee είναι παρόμοια με το Bluetooth με την έννοια ότι ήδη διαθέτει μια σημαντική βάση χρηστών στον κόσμο του IoT. Ωστόσο, οι προδιαγραφές του είναι ελαφρώς εκλεπτυσμένες, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται παγκοσμίως το Bluetooth. Έχει χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, χαμηλή γκάμα δεδομένων, υψηλή ασφάλεια και έχει μεγαλύτερο εύρος επικοινωνίας (το ZigBee μπορεί να φτάσει 200 μέτρα, ενώ Bluetooth μεγιστοποιεί στα 100 μέτρα). Είναι ένα σχετικά απλό πρωτόκολλο ανταλλαγής δεδομένων και συχνά υλοποιείται σε συσκευές με μικρές απαιτήσεις, όπως μικροελεγκτές και αισθητήρες. Επιπλέον, μπορεί εύκολα να επεκταθεί σε χιλιάδες κόμβους. Αυτό δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι πολλοί προμηθευτές προσφέρουν συσκευές που υποστηρίζουν το ανοιχτό καθιερωμένο μοντέλο τοπολογίας πλέγματος αυτοσυναρμολόγησης και αυτοϊασης της ZigBee.

#### Z-Wave

Το Z-Wave είναι ένα ολοένα και πιο δημοφιλές πρωτόκολλο IoT. Πρόκειται για μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας με ραδιοσυχνότητες (wireless, radio frequency - RF) που χρησιμοποιείται κυρίως για οικιακές εφαρμογές IoT. Λειτουργεί με τη ραδιοσυχνότητα 800-900MHz. Από την άλλη πλευρά, το Zigbee λειτουργεί στα 2.4GHz, που είναι επίσης μια σημαντική συχνότητα για

Wi-Fi. Όταν το Z-Wave λειτουργεί στη δική του εμβέλεια, σπάνια αντιμετωπίζει σημαντικά προβλήματα παρεμβολής. Ωστόσο, η συχνότητα με την οποία λειτουργούν οι συσκευές Z-Wave εξαρτάται από την τοποθεσία, οπότε φροντίστε να αγοράσετε την κατάλληλη για τη χώρα σας. Το Z-Wave είναι ένα εντυπωσιακό πρωτόκολλο IoT. Ωστόσο, όπως και το ZigBee, χρησιμοποιείται καλύτερα μέσα στο σπίτι και όχι στον επιχειρηματικό κόσμο.

## LoRaWAN

Το LoRaWAN είναι ένα πρωτόκολλο IoT για έλεγχο πρόσβασης μέσω (media access control - MAC). Το LoRaWAN επιτρέπει σε συσκευές χαμηλής κατανάλωσης να επικοινωνούν απευθείας με εφαρμογές που συνδέονται στο Διαδίκτυο μέσω ασύρματης σύνδεσης μεγάλης εμβέλειας. Επιπλέον, έχει τη δυνατότητα αντιστοίχισης τόσο στο 2ο όσο και στο 3ο επίπεδο του μοντέλου OSI. Υλοποιείται πάνω από τη διαμόρφωση LoRa ή FSK για βιομηχανικές, επιστημονικές και ιατρικές (industrial, scientific, and medical - ISM) ζώνες ραδιοφώνου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### 3.1 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ (SG)

#### 3.1.1 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Οι απαιτήσεις για το δίκτυο επικοινωνιών Smart Grid είναι οι εξής:

- Λανθάνων χρόνος: Λανθάνων χρόνος (latency) είναι η καθυστέρηση στο δίκτυο ή η έκφραση του χρόνου που χρειάζεται ένα πακέτο δεδομένων για να μεταφέρεται από ένα σημείο του δικτύου σε ένα άλλο. Υπάρχει ανάγκη για υποδομή επικοινωνίας με εξαιρετικά χαρακτηριστικά λανθάνοντος χρόνου, καθώς αποτελεί μία από τις αυστηρότερες απαιτήσεις για το δίκτυο. Αν το κέντρο ελέγχου δεν διαθέτει δεδομένα εισόδου, τότε μπορεί να αντικαταστήσει τα δεδομένα εισόδου που λείπουν με δεδομένα εισόδου από άλλους αισθητήρες, τα οποία μπορούν να παράγουν διαφορετικές ενέργειες που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε εσφαλμένα αποτελέσματα. Οι Moslehi et al. (2005) συζήτησαν για τον λανθάνοντα χρόνο μέσα στο δίκτυο επικοινωνιών του έξυπνου δικτύου. Εξήγησαν ότι το δίκτυο θα έχει διαφορετικούς χρόνους αναμονής και το πλέγμα είναι τεράστιο, οπότε αν τα δεδομένα που αποστέλλονται προορίζονται για συντονισμένους ελέγχους σε επίπεδο συστήματος θα πρέπει να έχουν μεγαλύτερο λανθάνοντα χρόνο (βραδύτερος κύκλος) από ό,τι αν τα δεδομένα απαιτούνται για τοπικές αναλυτικές ανάγκες ή ανταποκρίνονται σε γρήγορα συμβάντα (ταχύτερος κύκλος) (Moslehi et al., 2005).
- Εύρος ζώνης: είναι εξαιρετικά σημαντικό να καθοριστούν οι απαιτήσεις εύρους ζώνης για το δίκτυο επικοινωνιών του έξυπνου δικτύου επειδή αποτελεί άμεσο παράγοντα κατά την επιλογή των μέσων μετάδοσης (π.χ. οπτικές ίνες, ραδιοκύματα, ομοαξονικά καλώδια κ.λπ.) καθώς και κατά την επιλογή της τεχνολογίας επικοινωνιών (π.χ. 3G, LTE, WiMAX κ.λπ.). Το πρότυπο IEEE P2030 εξακολουθεί να προσπαθεί να ορίσει τις απαιτήσεις εύρους ζώνης. Ένα σημαντικό σημείο εδώ είναι ότι λόγω του εξαιρετικά μεγάλου αριθμού τελικών σημείων, οι απαιτήσεις εύρους ζώνης του συστήματος επικοινωνιών μπορεί γρήγορα να γίνουν αβάσιμες αν δεν ληφθούν οι κατάλληλες προφυλάξεις (Ropp, 2009).
- QoS: Δεν έχουν όλα τα μηνύματα την ίδια σημασία ούτε θα πρέπει να παραδίδονται εντός της συγκεκριμένης λανθάνουσας περιόδου.

#### 3.1.2 ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ (SG)

Τα έξυπνα δίκτυα ενέργειας αποτελούνται από την ενσωμάτωση στοιχείων του δικτύου ενέργειας σε προηγμένα συστήματα πληροφοριών προς όφελος των προμηθευτών ενέργειας, των διανομέων και των καταναλωτών. Τα δίκτυα αυτά συνδυάζουν τους πόρους παραγωγής και διανομής με τη ζήτηση μέσω της ευρείας χρήσης προηγμένων τεχνολογιών της πληροφορίας και των επικοινωνιών. Οι επικοινωνίες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων, απαιτώντας να είναι ανθεκτικά, ασφαλή, αξιόπιστα, διαχειρίσιμα και βασισμένα σε πρότυπα που εγγυώνται τη συνδεσιμότητα με άλλα στοιχεία του δικτύου. Η βασική λειτουργία τους είναι να

συγκεντρώσουν το ευρύ φάσμα των διαθέσιμων δεδομένων στο δίκτυο χρησιμοποιώντας συστήματα για την επεξεργασία των εν λόγω δεδομένων και κέντρα λήψης αποφάσεων για την ενίσχυση της αποδοτικότητας των επιχειρήσεων ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της βελτιστοποίησης της παραγωγής, της προσφοράς και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (Farooq & Jung, 2014).

Μία από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα έξυπνα δίκτυα είναι η ταυτόχρονη σύνδεση όλων των συσκευών που παράγουν πληροφορίες στα κέντρα επεξεργασίας, ανάλυσης και λήψης αποφάσεων. Αυτό απαιτεί μια ασφαλή και αξιόπιστη υποδομή επικοινωνιών ικανή να συγκεντρώσει ένα ευρύ φάσμα δεδομένων και διαφορετικές μεθόδους μετάδοσης για να εξασφαλίσει μια σταθερή βάση για την επιτυχή εγκατάσταση των έξυπνων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας ικανά να μετατρέψουν τις επιχειρηματικές διεργασίες όπως αναμένεται από τις εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση τεχνολογιών πληροφοριών τελευταίας τεχνολογίας στη μεταφορά και διανομή ρεύματος έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη αποδοτικότητα, συνδεσιμότητα και μείωση του κόστους, ενώ εισάγει τις εταιρείες ηλεκτρισμού στην έννοια των «μεγάλων δεδομένων» (Big Data) που φέρνει επανάσταση στα παραδοσιακά επιχειρηματικά μοντέλα τους. Αυτό σημαίνει ότι τώρα μπορούν να ληφθούν δεδομένα πραγματικού χρόνου σχετικά με τα πρότυπα χρήσης ενέργειας και την αλληλεπίδραση με τους καταναλωτές (Farooq & Jung, 2014).

Επιτρέπει επίσης στις εταιρείες να προβαίνουν σε δυναμικές αλλαγές στην παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας για να βελτιστοποιήσουν το κόστος παραγωγής και διανομής και να μειώσουν τις απώλειες ενέργειας. Οι κυβερνήσεις και οι ρυθμιστικοί φορείς από όλο τον κόσμο προωθούν επίσης ενεργά τη χρήση ευφυών δικτύων με την εφαρμογή επιδοτήσεων, κανονισμών και ειδικών κατευθυντήριων γραμμών προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές, να αυξηθεί ο ανταγωνισμός στις αγορές ενέργειας και να βελτιωθούν οι παρεχόμενες υπηρεσίες (Farooq & Jung, 2014).

### 3.1.3 ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Οι επικοινωνίες στο έξυπνο δίκτυο επιτυγχάνονται μέσω ιδιωτικών και των δημόσιων δικτύων. Τα ιδιωτικά δίκτυα χρησιμοποιούνται και συντηρούνται από βοηθητικά προγράμματα. Τα δημόσια δίκτυα παρέχονται από τρίτους παρόχους υπηρεσιών, όπως οι συνδέσεις κινητής τηλεφωνίας και το Διαδίκτυο. Στο τρέχον ηλεκτρικό δίκτυο, σχεδόν ολόκληρο το δίκτυο είναι ιδιωτικό, επειδή επιτρέπει τη διαχείρισή του με καλύτερη ασφάλεια. Στο έξυπνο δίκτυο, ένα μεγάλο μέρος της υποδομής επικοινωνίας εξακολουθεί να λειτουργεί σε ιδιωτικά δίκτυα. Για παράδειγμα, τα δεδομένα μέτρησης φορτώνονται μέσω της προηγμένης υποδομής μέτρησης που χρησιμοποιεί κυρίως ιδιωτικά δίκτυα. Η WAMS μεταδίδει δεδομένα παρακολούθησης (π.χ. δεδομένα PMU) μέσω ιδιωτικών δικτύων. Τα δίκτυα παρακολούθησης για γραμμές μεταφοράς ισχύος είναι επίσης ιδιωτικά δίκτυα αν απαιτείται σύνδεση σε πραγματικό χρόνο. Υπάρχουν τρεις σημαντικοί λόγοι για την ανάπτυξη ιδιωτικών δικτύων (networks): ασφάλεια, αξιοπιστία, και κόστος (Ye et al., 2018).

#### Ασφάλεια:

Η ασφάλεια είναι ένας σημαντικός λόγος για τη διάθεση ιδιωτικών δικτύων. Για παράδειγμα, τα δεδομένα μέτρησης συλλέγονται από τους πελάτες, και έτσι περιέχουν πολλές ιδιωτικές και ευαίσθητες πληροφορίες σχετικά με τους πελάτες. Ο τρόπος ζωής ενός πελάτη μπορεί να αποκαλυφθεί αν διαρρεύσουν δεδομένα μέτρησης.

#### Αξιοπιστία:

Η αξιοπιστία είναι ένα άλλο σημαντικό ζήτημα. Για παράδειγμα, η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο στο έξυπνο δίκτυο απαιτεί μικρό χρόνο αναμονής (π.χ. 10 έως 100 ms για PMU σε WAMS). Τα δημόσια δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ή οι πάροχοι υπηρεσιών Διαδικτύου δεν μπορούν να ανταποκριθούν στην απαίτηση λανθάνοντος χρόνου, λόγω των περίπλοκων πρωτοκόλλων και μηχανισμών τους. Τα ιδιωτικά δίκτυα στο έξυπνο δίκτυο έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να πληρούν την απαίτηση λανθάνοντος χρόνου.

#### Κόστος:



Το κόστος είναι επίσης ένας λόγος για ιδιωτικά δίκτυα. Οι συνδρομές για τους παρόχους υπηρεσιών δημόσιων δικτύων μπορεί να είναι υπερβολικά υψηλές μακροπρόθεσμα. Επιπλέον, το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να καλύπτει μεγαλύτερη περιοχή από μια δημόσια υπηρεσία δικτύου. Για παράδειγμα, τα δίκτυα παρακολούθησης γραμμής μεταφοράς ισχύος μπορεί να καλύπτουν απομακρυσμένες περιοχές που δεν έχουν πρόσβαση στο δημόσιο δίκτυο. Τα ιδιωτικά δίκτυα βασίζονται σε διαφορετικούς τύπους τεχνολογιών επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων διαφόρων τύπων ασύρματων δικτύων (π.χ. Wi-Fi, Zigbee, WiMAX, κ.λπ.) και ενσύρματων δικτύων υψηλής ταχύτητας (π.χ. οπτικών ινών και Ethernet). Επιλέγονται συγκεκριμένες τεχνολογίες για την εξισορρόπηση της βέλτιστης απόδοσης δικτύου με το κόστος υλικού και συντήρησης.

### **Τεχνολογίες Επικοινωνιών:**

Η σύγκριση διαφόρων τεχνολογιών επικοινωνίας για το έξυπνο δίκτυο με βάση το ρυθμό δεδομένων και την απόσταση κάλυψης και τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματά τους περιγράφονται παρακάτω (Tuballa & Abundo, 2016):

#### **A. Ενσύρματη επικοινωνία**

##### **1) Η επικοινωνία οπτικών ινών:**

Η επικοινωνία οπτικών ινών είναι μία από τις θεμελιώδεις τεχνολογίες επικοινωνίας για τα WAN λόγω του υψηλού ρυθμού δεδομένων και της ατρωσίας στο θόρυβο. Υπάρχουν διάφορες μορφές επικοινωνίας μέσω οπτικής ίνας, όπως Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical Network - PON), Σύγχρονη Οπτική Δικτύωση (Synchronous Optical Networking — SONET), Σύγχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία (Synchronous Digital Hierarchy — SDH). Η μορφή της επικοινωνίας μέσω οπτικών ινών που θα επιλεγεί εξαρτάται από τις εφαρμογές, οι οποίες βασίζονται στους χρόνους απόκρισης και την ποιότητα των υπηρεσιών που μπορεί να παρέχει το δίκτυο.

- Το PON είναι μια αρχιτεκτονική δικτύου σημείου προς σημείο (point-to-multipoint), η οποία χρησιμοποιεί οπτικές διαιρέσεις για να επιτρέψει σε μία οπτική ίνα να εξυπηρετεί πολλούς πελάτες.

- Η πολύπλεξη WDM είναι μια αποτελεσματική τεχνολογία για την εκμετάλλευση της χωρητικότητας εύρους ζώνης που διατίθεται σε οπτικές ίνες. Στα δίκτυα WDM χρησιμοποιούνται πολλά μήκη κύματος για τη μεταφορά πολλών ρευμάτων δεδομένων ταυτόχρονα στην ίδια ίνα.

- Το SONET/SDH είναι μια αρχιτεκτονική πολύπλεξης κατανομής χρόνου (time-division multiplexing — TDM) που έχει σχεδιαστεί για να μεταφέρει κυκλοφορία υψηλής χωρητικότητας. Τα πρότυπα SONET και SDH είναι ουσιαστικά ίδια: SONET στις ΗΠΑ και τον Καναδά, και SDH στον υπόλοιπο κόσμο.

Η επικοινωνία οπτικών ινών χρησιμοποιείται συχνά για να παρέχει υποστηρικτικές επικοινωνίες που υποστηρίζουν διάφορες εφαρμογές έξυπνων δικτύων, όπως αυτοματισμός υποσταθμών και επικοινωνία περιοχής μετάδοσης. Προσφέρει υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, δηλαδή 5, 10, 20 ή 40 Gbps, και επομένως μπορεί εύκολα να υποστηρίξει μεταφορά δεδομένων υψηλής ταχύτητας για μεγάλες αποστάσεις. Οι επικοινωνίες που βασίζονται σε οπτικές ίνες παρέχουν μια μακροπρόθεσμη λύση για το έξυπνο δίκτυο. Ωστόσο, μπορεί να είναι δαπανηρές λόγω του υψηλού κόστους επένδυσης και συντήρησης (Tuballa & Abundo, 2016).

##### **2) Η ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (Digital Subscriber Line - DSL):**

Η DSL είναι μια τεχνολογία ψηφιακής μετάδοσης δεδομένων σε συνήθεις τηλεφωνικές γραμμές. Υπάρχουν τρία συστήματα DSL (Kuzlu & Pipattanasomporn, 2013):

- Το ασύμμετρο DSL (Asymmetric DSL — ADSL) παρέχει διαφορετικές ταχύτητες δεδομένων προς δύο κατευθύνσεις, προς τα κατάντη με ταχύτητα έως 8 Mbps και προς τα ανάντη με ταχύτητα έως 800 kbps.

- Τα συστήματα DSL υψηλής ταχύτητας (High speed DSL - HDSL) υποστηρίζουν ρυθμό μετάδοσης δεδομένων έως 2,048 Mbps σε απόσταση 3,6 χιλιομέτρων.

- Το DSL (Very High Data Rate Dsl — VDSL) είναι μια τεχνολογία DSL που επιτρέπει την ταχύτερη μετάδοση δεδομένων, δηλαδή 100 Mbps.

Το DSL είναι κατάλληλο για την παροχή υπηρεσιών συνάθροισης για μετάδοση δεδομένων μεταξύ νοικοκυριών και επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας. Διατίθεται ήδη σε μεγάλο αριθμό εγκαταστάσεων που βασίζονται σε υφιστάμενες τηλεφωνικές υπηρεσίες. Επομένως, το DSL μπορεί να είναι καλό υποψήφιο για έργα έξυπνων δικτύων, υποστηρίζοντας τη λειτουργία έξυπνων μετρητών. Ωστόσο, η αποδοτικότητα του DSL μειώνεται ανάλογα με την απόσταση. Αυτό κάνει την υπηρεσία αναξιόπιστη για πελάτες που βρίσκονται μακριά από τον πάροχο. Ως αποτέλεσμα, το DSL δεν θα είναι κατάλληλο για κρίσιμες εφαρμογές έξυπνων δικτύων λόγω της χαμηλής αξιοπιστίας του και των πιθανών προβλημάτων χρόνου εκτός λειτουργίας (Kuzlu & Pirattana-somporn, 2013).

### 3) Το ομοαξονικό καλώδιο:

Το ομοαξονικό καλώδιο είναι μια τεχνολογία μεταφοράς δεδομένων υψηλής ταχύτητας που βασίζεται σε υποδομή καλωδιακής τηλεόρασης. Παρόμοια με το DSL, το ομοαξονικό καλώδιο παρέχει συνδετικότητα δικτύου από έναν πάροχο στους τελικούς χρήστες. Τα ομοαξονικά καλωδιακά δίκτυα σχεδιάστηκαν κυρίως για υπηρεσίες μετάδοσης, δηλαδή για τηλεοπτικά και ραδιοφωνικά κανάλια. Το Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS) είναι μια διεθνής τεχνολογία επικοινωνίας με ομοαξονικό καλώδιο που παρέχει μεταφορά δεδομένων υψηλής ταχύτητας μέσω της υπάρχουσας υβριδικής υποδομής ομοαξονικών ινών (hybrid fiber-coaxial - HFC). Στο περιβάλλον του έξυπνου δικτύου, η επικοινωνία με ομοαξονικά καλώδια μπορεί να χρησιμεύσει ως σύνδεσμος επικοινωνίας μεταξύ οικιακών συσκευών, π.χ. έξυπνων μετρητών, και εταιρείας διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για υπηρεσίες αυτοματισμού σπιτιού, ασφάλειας στο σπίτι και σε συστήματα διαχείρισης ενέργειας. Το μειονέκτημα είναι ότι ολόκληρο το εύρος ζώνης μοιράζεται μεταξύ πολλών πελατών. Επομένως, ο αυξανόμενος αριθμός πελατών κάνει τη σύνδεση αργή (Jeong et al., 2012).

### 4) Η επικοινωνία γραμμής ισχύος (Power line communication - PLC):

Η PLC είναι μια τεχνολογία ενσύρματης επικοινωνίας που επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων μέσω των υφιστάμενων γραμμών ισχύος. Η τεχνική αυτή εισάγει ένα φορέα υψηλής συχνότητας στις γραμμές ισχύος και ρυθμίζει το φορέα με τα δεδομένα που πρέπει να μεταδοθούν. Η PLC είναι πολύ καλή επιλογή για πολλές εφαρμογές διοίκησης και ελέγχου, όπως διαχείριση ενέργειας, έξυπνη μέτρηση, αυτοματισμός σπιτιού/κτιρίου, μεταγωγή και φωτισμός, έλεγχος HVAC, έλεγχος φωτισμού δρόμου και πολλά άλλα. Είναι κατάλληλο για εφαρμογές ευφυών δικτύων σε αγροτικές περιοχές που δεν διαθέτουν άλλη υπάρχουσα επικοινωνιακή υποδομή. Η PLC είναι μια οικονομικά αποδοτική τεχνολογία λόγω της χρήσης της υπάρχουσας υποδομής δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, έχει σημαντικά τεχνικά ζητήματα, όπως την αδυναμία της να μεταδίδει σήματα που διασχίζουν ένα μετασχηματιστή, την παραμόρφωση καναλιού ισχύος, παρεμβολές, θόρυβο, σκληρές συνθήκες του περιβάλλοντος γραμμής ισχύος και προβλήματα ασφάλειας (Gungor et al., 2011).

### Ασύρματη επικοινωνία

Οι ασύρματες τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις διαφορές εφαρμογές των έξυπνων δικτύων παρουσιάζονται παρακάτω:

#### 1) Το ZigBee:

Το ZigBee είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματου δικτύου προσωπικής περιοχής που βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4. Λειτουργεί στις ζώνες ISM (βιομηχανικές, επιστημονικές και ιατρικές) χωρίς άδεια: 868 MHz στην Ευρώπη, 915 MHz στις ΗΠΑ και 2,4 GHz παγκοσμίως. Οι ρυθμοί δεδομένων της κυμαίνονται από 20kbps έως 250kbps, δηλαδή: 250kbps στα 2,4 GHz, 40kbps στα 915MHz και 20kbps στα 868MHz. Το ZigBee παρέχει απόσταση κάλυψης μέχρι 100 μέτρα, ενώ το ZigBee Pro παρέχει απόσταση κάλυψης μέχρι 1.600 μέτρα. Η ZigBee χρησιμοποιείται ευρέως για την αυτοματοποίηση κατοικιών/κτιρίων, την παρακολούθηση της ενέργειας, τη διαχείριση βιομηχανικών εγκαταστάσεων, καθώς και για εφαρμογές AMI. Υποστηρίζει διάφορες τοπολογίες δικτύου, όπως τοπολογίες αστεριών, δέντρου και δικτύωματος, καθώς και ένα ισχυρό επίπεδο ασφαλείας με κρυπτογράφηση AES 128 bit. Αν και η ZigBee είναι μια οικονομικά προσιτή,

χαμηλής ισχύος, υψηλής απόδοσης και ασφαλής τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας, υποστηρίζει τη μετάδοση δεδομένων μικρής εμβέλειας και παρέχει χαμηλή ταχύτητα δεδομένων. Είναι επομένως κατάλληλο για εφαρμογές στο σπίτι. Επιπλέον, η ZigBee αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα παρεμβολών στην παρουσία διαφόρων δικτύων εξαιτίας της κοινής χρήσης του φάσματος καναλιών με ορισμένα πρωτόκολλα όπως το WiFi (Bilgin & Gungor, 2012).

#### 2) Το ασύρματο τοπικό δίκτυο (Wireless Local Area Network - WLAN):

Το WLAN είναι μια υψηλής ταχύτητας ασύρματη τεχνολογία επικοινωνίας Internet και δικτύου, η οποία είναι κοινώς γνωστή ως Wi-Fi. Βασίζεται στη σειρά προτύπων IEEE 802.11 που περιλαμβάνει τα 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g και 802.11n. Το WLAN λειτουργεί σε ζώνες συχνοτήτων 2,4 GHz, 3,6 GHz και 5 GHz χωρίς άδεια ISM. Τα πρότυπα IEEE 802.11x καθορίζουν ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων από 2 Mbps έως 600 Mbps και εύρος κάλυψης έως 100 μέτρα. Η επικοινωνία WLAN είναι μια άλλη πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για τους HAN και τους NAN. Το WLAN παρέχει αξιόπιστες, ασφαλείς και υψηλής ταχύτητας επικοινωνίες. Ωστόσο, υποστηρίζει επικοινωνίες μικρής εμβέλειας (δηλαδή έως 100 μέτρα). Το κόστος και η κατανάλωση ενέργειας των προϊόντων WLAN είναι επίσης υψηλότερα από άλλες ασύρματες τεχνολογίες μικρής εμβέλειας, όπως οι ZigBee και Z-Wave (Ma et al., 2016).

#### 3) Το ασύρματο πλέγμα:

Το ασύρματο πλέγμα είναι ένα οικονομικό, ισχυρό και ευέλικτο ασύρματο δίκτυο που αποτελείται από πολλούς κόμβους, συμπεριλαμβανομένων υπολογιστών-πελατών και δρομολογητών δικτυώματος. Σε ένα ασύρματο δίκτυο δικτυώματος, κάθε κόμβος μπορεί να λειτουργεί ως επαναλήπτης σήματος και να δρομολογεί αυτόματα μηνύματα από έναν κόμβο σε έναν άλλο. Αυτό είναι γνωστό ως δυναμική δρομολόγηση (dynamic routing). Επιπλέον, όταν ένας κόμβος δεν μπορεί πλέον να λειτουργεί, οι υπόλοιποι κόμβοι μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, απευθείας ή μέσω ενός ή περισσότερων κόμβων. Ένα ασύρματο δίκτυο πλέγματος μπορεί να παρέχει ευρύ φάσμα κάλυψης λόγω της ικανότητάς του να εκτελεί δρομολόγηση πολλαπλών αλμάτων. Αν και ένα παραδοσιακό ασύρματο δίκτυο μπορεί να εκτείνεται σε ένα κτήριο ή μια γειτονιά, ένα ασύρματο δίκτυο μπορεί να καλύπτει μια πολύ μεγαλύτερη περιοχή, όπως μια πόλη. Τα δίκτυα πλέγματος μπορούν να υλοποιηθούν με διάφορες τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης, δηλαδή με 802.11, 802.15 και 802.16. Επειδή τα ασύρματα δίκτυα δικτυωμάτων έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι εύκολα υλοποιήσιμα, οικονομικά αποδοτικά, επεκτείνουν και αυτοϊατρίζουν, αποτελούν βασική τεχνολογία για την εξυπηρέτηση πολλών εφαρμογών έξυπνου δικτύου, όπως το AMI και ο αυτοματισμός σπιτιού. Ωστόσο, δεν μπορούν να παρέχουν μεταφορά δεδομένων υψηλής ταχύτητας και αντιμετωπίζουν παρεμβολές που προκαλούνται από άλλες ασύρματες συσκευές (Kim et al., 2012).

#### 4) Το Z-Wave:

Το Z-Wave είναι μια αξιόπιστη, χαμηλής ισχύος και χαμηλού κόστους τεχνολογία αποκλειστικής ασύρματης τεχνολογίας που είναι κατάλληλη για επικοινωνίες μικρής εμβέλειας. Λειτουργεί στο ISM 900 MHz. Υποστηρίζει ρυθμό δεδομένων μέχρι 40 kbps και απόσταση κάλυψης μέχρι 30 μέτρα. Το Z-Wave έχει σχεδιαστεί ειδικά για εφαρμογές απομακρυσμένου ελέγχου σε περιβάλλοντα κατοικιών και ελαφριάς εμπορικής χρήσης. Μπορεί να εφαρμοστεί σε εφαρμογές έξυπνου πλέγματος σε HAN. Το Z-Wave υποστηρίζει δίκτυα πλέγματος, γεγονός που το καθιστά καλό υποψήφιο για τους HAN. Ωστόσο, παρέχει επικοινωνίες μικρής εμβέλειας και έχει χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (Gungor et al., 2011).

#### 5) Το WiMAX:

Το WiMAX είναι μια ασύρματη τεχνολογία 4G που βασίζεται στη σειρά προτύπων IEEE 802.16, δηλαδή, IEEE 802.16-2004, 802.16e, για δίκτυα μητροπολιτικής περιοχής (MAN). Το WiMAX λειτουργεί στις ζώνες συχνοτήτων 2,3, 2,5, 3,3 και 3,5 GHz, καθώς και στη ζώνη 5,8 GHz χωρίς άδεια. Παρέχει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως 75 Mbps με απόσταση κάλυψης 50 km και έχει μικρό χρόνο αναμονής (10-50 ms). Το πρότυπο WiMAX υποστηρίζει εγγενώς ποιότητα υπηρεσίας και αμφίδρομη ευρυζωνική επικοινωνία πραγματικού χρόνου μεταξύ κόμβων. Αυτό κάνει το WiMAX καλό υποψήφιο για εφαρμογές έξυπνου πλέγματος. Τα δίκτυα WiMAX μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές όπως η παρακολούθηση των διαδικασιών μετάδοσης και δια-

νομής και η έξυπνη μέτρηση. Το WiMAX είναι μια υψηλής ταχύτητας, αξιόπιστη και μεγάλης απόστασης ασύρματη τεχνολογία. Μπορεί να εξυπηρετήσει εκατοντάδες χρήστες με έναν μόνο σταθμό βάσης. Ωστόσο, το WiMAX είναι ακριβό και απαιτεί υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Η απόδοσή του μπορεί επίσης να επηρεαστεί από τις κακές καιρικές συνθήκες (Eissa, 2018).

#### 6) Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας:

Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας είναι ένα ραδιοδίκτυο που χρησιμοποιεί ένα μεγάλο αριθμό πομπών για τη δημιουργία κυττάρων. Τα κυψελωτά συστήματα επιτρέπουν την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων για την αύξηση τόσο της κάλυψης όσο και της χωρητικότητας. Ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών χωρίζει τις κυψελώδεις τεχνολογίες σε τέσσερις γενιές που φέρουν τις ετικέτες 1G, 2G (GSM), 3G (UMTS), και 4G (WiMAX και LTE) με ενδιάμεσες εκδόσεις των 2.5G (GPRS και EDGE) και 3.5G (HSPA). Τα κυψελωτά συστήματα συνήθως λειτουργούν σε ζώνες συχνοτήτων 850, 900, 1800 και 1900 MHz. Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας μπορούν να επιτρέπουν την εξάπλωση των έξυπνων μονάδων μέτρησης σε ένα περιβάλλον ευρείας περιοχής. Τα υπάρχοντα κυψελωτά συστήματα μπορούν να αποτελέσουν καλή επιλογή για την επικοινωνία μεταξύ έξυπνων μετρητών και βοηθητικού προγράμματος και μεταξύ απομακρυσμένων κόμβων. Εν ολίγοις, 3/4G κινητής τηλεφωνίας είναι μια υψηλής ταχύτητας, χαμηλή λανθάνων χρόνος, ασφαλή και μεγάλης απόστασης τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας. Η διαθεσιμότητα της υπάρχουσας υποδομής επικοινωνίας μέσω κινητής τηλεφωνίας παρέχει γρήγορη εγκατάσταση και οικονομία. Ωστόσο, το κόστος εκκίνησης των παρόχων υπηρεσιών και των καταναλωτών για αναβαθμίσεις εξοπλισμού είναι υψηλό. Επιπλέον, οι υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούνται από κοινού με πελάτες που βρίσκονται σε κίνηση, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε συμφόρηση και μείωση της απόδοσης του δικτύου (Kalalas et al., 2016).

#### 7) Η δορυφορική επικοινωνία:

Η δορυφορική επικοινωνία είναι μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας για τη μεταφορά σημάτων μεταξύ δύο κόμβων χρησιμοποιώντας ένα δορυφόρο. Αυτό είναι επίσης γνωστό ως διαστημική επικοινωνία. Στις δορυφορικές επικοινωνίες, το διαμορφωμένο σήμα αποστέλλεται προς το δορυφόρο. Στη συνέχεια, ο δορυφόρος ενισχύει το σήμα και το στέλνει πίσω στον δέκτη στην επιφάνεια της γης. Παρέχει μια καθολική κάλυψη μεταξύ οποιουδήποτε ζεύγους κόμβων επικοινωνίας και παρέχει ρυθμό ημερομηνίας μέχρι 1 Mbps. Η δορυφορική επικοινωνία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη της απομακρυσμένης παρακολούθησης των υποσταθμών μετάδοσης και διανομής και για την παροχή θέσης βάσει GPS και του συγχρονισμού του χρόνου. Η δορυφορική επικοινωνία είναι η μόνη μέθοδος που μπορεί να παρέχει συνδετικότητα σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν ενσύρματες και ασύρματες επικοινωνίες. Ωστόσο, τα σήματα μπορεί να επηρεαστούν από σοβαρές καιρικές συνθήκες και να υποστούν μεγάλες καθυστερήσεις με επιστροφή (Meloni & Atzori, 2017).

### 3.1.4 ΠΡΟΤΥΠΑ

Το έξυπνο δίκτυο περιλαμβάνει διαφορετικά πρότυπα σε αρκετούς τομείς, τα οποία ορίζουν τις κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με το πως αυτό μπορεί να λειτουργεί βάσει της πιο τελευταίας τεχνολογίας στον τομέα της μηχανικής ενέργειας, των τηλεπικοινωνιών, του ελέγχου και της τεχνολογίας των πληροφοριών. Η ομάδα η οποία δημιουργήθηκε για την κατάρτιση των προτύπων για τα συστήματα διανομής ονομάστηκε IEEE P2030. Η ομάδα περιλάμβανε τρεις υποομάδες, οι οποίες θα επικεντρώνονταν στην τεχνολογία της μηχανικής ενέργειας, στην τεχνολογία των πληροφοριών και στην τεχνολογία των επικοινωνιών.

Η εφαρμογή των προτύπων είναι σημαντική στην μετάβαση προς την αυτοματοποιημένη λειτουργία των αισθητήρων καθώς και ένα σημαντικό βήμα για την δημιουργία υποδομών για τα έξυπνα δίκτυα επικοινωνίας. Τα συστήματα επικοινωνίας σε ένα έξυπνο δίκτυο προέρχονται συνήθως από διάφορους παρόχους, είναι ιδιόκτητα και δεν έχουν διαλειτουργικότητα. Η απρόσκοπτη διαλειτουργικότητα, η ισχυρή ασφάλεια των πληροφοριών, η αυξημένη ασφάλεια των συστημάτων και η ανταλλαγή επικοινωνίας είναι μερικοί στόχοι που μπορούν να επιτευχθούν μέσω της τυποποίησης του έξυπνου δικτύου. Τα καθορισμένα πρότυπα που διέπουν την απαραίτητη ενσωμάτωση των διαφόρων λειτουργιών καθορίζονται από το IEC (Ye et al., 2013).

Οι οργανισμοί για την ανάπτυξη προτύπων που αξίζει να αναφερθούν είναι οι παρακάτω (Gungor et al., 2013):

### **Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE)**

Το Ινστιτούτο αυτό είναι ένας από τους μεγαλύτερους διεθνείς οργανισμούς τεχνολογίας και εστιάζει στην τυποποίηση του έξυπνου δικτύου. Το πρώτο πρότυπο, IEEE P2030, παρέχει έναν ‘‘χάρτη’’ και οδηγίες για την καλύτερη κατανόηση και τον καθορισμό της δια λειτουργικότητας του έξυπνου δικτύου. Το IEEE P2030 έχει ορίσει το μοντέλο «smart grid interoperability reference model (SGIRM)» για την διεύρυνση των γνώσεων, των χαρακτηριστικών, των αρχών για την επίτευξη διαλειτουργικότητας και των λειτουργιών και της υποδομής του δικτύου ενέργειας, ώστε να επιτευχθεί ένα πιο αξιόπιστο και ευέλικτο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Το συγκεκριμένο πρότυπο επικεντρώνεται στις αρχιτεκτονικές των συστημάτων ενέργειας, στην επικοινωνία και την τεχνολογία των πληροφοριών. Συνοδευτικά αυτού είναι το IEEE P2030.1 που δίνει τις κατευθύνσεις για τις εφαρμογές μεταφοράς και ενέργειας και το πρότυπο IEEE P2030.2 που επικεντρώνεται σε διακριτά και υβριδικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, τα οποία είναι ενσωματωμένα στην υπάρχουσα υποδομή της ηλεκτρικής ενέργειας.

### **Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (International Electrotechnical Commission IEC)**

Η συγκεκριμένη επιτροπή είναι ένας οργανισμός ανάπτυξης προτύπων για τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις του έξυπνου δικτύου και έχει περιγράψει και αναγνωρίσει πάνω από 100 πρότυπα. Το IEC 61970 και το IEC 61968 είναι τα πρότυπα μμοντέλα αναφοράς για τη εξαγωγή πληροφοριών, για εφαρμογές ένταξης στο δίκτυο διανομής και για την επίτευξη της ανάπτυξης του έξυπνου δικτύου. Ένα άλλο σημαντικό πρότυπο, το IEC 61850, είναι ένα πρότυπο αυτοματισμού στους ηλεκτρικούς υποσταθμούς και περιέχει την μοντελοποίηση των δεδομένων, τη γρήγορη μεταφορά των γεγονότων, τα συστήματα υποβολής εκθέσεων και την αποθήκευση των δεδομένων. Ακόμα υπάρχει το πρότυπο IEC 62351 που καλύπτει τα θέματα ασφάλειας που σχετίζονται με τη διαχείριση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και των πληροφοριών που ανταλλάσσονται για τη διαχείριση αυτή.

### **Αμερικανικό Εθνικό Ίδρυμα Προτυποποίησης (American National Standards Institute ANSI)**

Το συγκεκριμένο ίδρυμα συντονίζει τα πρότυπα στις ΗΠΑ και το σύστημα αξιολόγησης που προωθεί τη διεθνή χρήση των προτύπων, προστατεύοντας την πολιτική των ΗΠΑ και τις θέσεις της στους διεθνείς και περιφερειακούς οργανισμούς τυποποίησης.

### **Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (National Institute of Standards and Technology NIST)**

Το Ινστιτούτο είναι υπεύθυνο για να ελέγχει την εξέλιξη των προσπαθειών τυποποίησης, τα πρωτόκολλα και τα πρότυπα για την παροχή δια λειτουργικών, αξιόπιστων και ασφαλών υπηρεσιών και συστημάτων στο έξυπνο δίκτυο. Με αυτό το πλαίσιο, το NIST παρουσιάζει ένα εννοιολογικό μοντέλο αναφοράς για την έξυπνη αρχιτεκτονική δικτύου, το οποίο είναι ένα αρχικό σύνολο με 75 προκαθορισμένα πρότυπα, που αποτελούν την αρχή για την ασφάλεια στο διαδίκτυο και τα σχέδια δράσης του έξυπνου δικτύου.

### **Ευρωπαϊκή Εντολή Τυποποίησης M441, Ομάδα Συντονισμού Έξυπνων Μετρητών (European Standardization Mandate M441, Smart Meter Co-ordination Group)**

Η M441 είναι η εντολή των τεχνικών προτύπων και των τεχνικών εγγράφων προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN), την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης (CENELEC) και το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) για κάθε είδος λειτουργίας και επικοινωνιακών ζητημάτων των έξυπνων μετρητών από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Ο κύριος στόχος είναι η παροχή αξιοπιστίας, δια λειτουργικότητας και ασφάλειας των έξυπνων μετρητών.

### **Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Organization for Standardization- ISO)**

Ο συγκεκριμένος οργανισμός, είναι φορέας με εθνικούς εκπροσώπους που κάνει προσπάθεια για τυποποίηση του έξυπνου δικτύου, την κατασκευή συστημάτων αυτοματισμού και ελέγχου (ISO 16484-5) και την αρχιτεκτονική των οικιακών ηλεκτρικών συστημάτων (ISO / IEC 14.543-3).

Δεδομένου του συνεχώς εξελισσόμενου τομέα των τηλεπικοινωνιών, οι οργανισμοί τυποποίησης παρέχουν πρότυπα που καθορίζουν με σαφήνεια τις παραμέτρους επικοινωνίας μεταξύ όλων των βασικών συστατικών ενός δικτύου ευφυών δικτύων. Οι διάφορες εφαρμογές έξυπνων δικτύων και τα ειδικά χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών τηλεπικοινωνιών παρουσιάζονται λεπτομερώς παρακάτω (Ma et al., 2013).

Ο στόχος των συστημάτων μετάδοσης ισχύος είναι η μετάδοση ισχύος από ένα σημείο σε άλλο με αξιόπιστο, ασφαλή και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο]. Τυπικά συστήματα μετάδοσης περιλαμβάνουν τα ευέλικτα συστήματα μετάδοσης EP (flexible AC transmission systems - FACT) και το συνεχές ρεύμα υψηλής τάσης. Η τεχνολογία FACTS χρησιμοποιείται για την αξιόπιστη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Ωστόσο, σε περιπτώσεις όπου τεχνικές ή οικονομικές σκοπιμότητες απαιτούν τη μεταφορά ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις καθώς και τη διασύνδεση των ασύγχρονων ηλεκτρικών δικτύων, η χρήση της τεχνολογίας HVDC είναι υποχρεωτική (Ma et al., 2013).

Τα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας χρησιμοποιούν μηχανισμούς που επεξεργάζονται μεγάλα σύνολα δεδομένων τα οποία, με τη βοήθεια κατάλληλων αλγορίθμων, μπορούν να λαμβάνουν αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τη διαχείριση της ροής φορτίου στο δίκτυο. Στη συνέχεια, οι αποφάσεις αυτές συγκρίνονται με τις οριακές τιμές λειτουργίας κάθε επιμέρους εξοπλισμού δικτύου για την έγκαιρη ενημέρωση του φορέα εκμετάλλευσης για υπερφορτώσεις, παραβιάσεις οριακών τιμών ή γενικές δυσλειτουργίες. Επιπλέον, η ανάλυση της ροής φορτίου παρέχει το μαθηματικό υπόβαθρο που απαιτείται από τις διαδικασίες βελτιστοποίησης, ώστε να μπορούν να λαμβάνονται οι κατάλληλες διορθωτικές ενέργειες με υψηλή ακρίβεια (Ma et al., 2013).

Το δίκτυο διανομής ενέργειας είναι το πιο προηγμένο τμήμα ενός έξυπνου δικτύου, καθώς υποστηρίζεται από την τεχνολογία πληροφοριών σε θέματα όπως η ασφάλεια και η βελτιστοποίηση. Τα δίκτυα αυτά αποτελούνται από δίκτυα υψηλής τάσης, τα οποία τροφοδοτούν υποδίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης μέσω σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και υποσταθμών, οι οποίοι στη συνέχεια τροφοδοτούν τους τελικούς καταναλωτές με ηλεκτρική ενέργεια. Το σύστημα διαχείρισης περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται για την αποτελεσματική λειτουργία του δικτύου διανομής και η κύρια ευθύνη του είναι η παρακολούθηση των ενεργειακών αναγκών καθώς και ο έλεγχος της ανταλλαγής ενέργειας στο σύστημα διανομής. Δεδομένης της ευρείας κάλυψης των δικτύων διανομής και της διαφοροποίησης του χρησιμοποιούμενου τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού, οι προδιαγραφές επικοινωνίας για τα δίκτυα αυτά είναι εξαιρετικά σύνθετες (Gungor et al., 2011).

Το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε χώρες εκτός Ευρώπης περιλαμβάνει υποσταθμούς διανομής που τροφοδοτούν ενέργεια μέσω γραμμών μεγάλων αποστάσεων (250 km ή περισσότερο). Ως εκ τούτου, σε αυτά τα συστήματα οι απώλειες τάσης και οι διακοπές ρεύματος είναι πολύ σοβαρά προβλήματα, τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε κοινωνικά προβλήματα και σημαντικές απώλειες εσόδων για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας. Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα χρησιμοποιείται εξειδικευμένος εξοπλισμός, όπως ρυθμιστές τάσης, ρυθμιστές ισχύος και δείκτες σφάλματος, για να εξασφαλιστεί η βέλτιστη λειτουργία και να βοηθηθεί η αντιμετώπιση προβλημάτων. Η εισαγωγή ευφυών ηλεκτρονικών συσκευών (intelligent electronic devices - IEDs) που βασίζονται σε μικροεπεξεργαστή, σε συνδυασμό με οικονομικά αποδοτικές τεχνολογίες επικοινωνίας, αναβαθμίζει και αυτοματοποιεί τις διαδικασίες διανομής ενέργειας και ταχέας εντοπισμού σφαλμάτων και απομόνωσης κακόβουλου υλικού (Xu et al., 2014).

Η τεχνολογική ανάπτυξη ολοκληρωμένων κυκλωμάτων μεγάλης κλίμακας, η οποία οδήγησε στην τρέχουσα διαθεσιμότητα προηγμένων, γρήγορων και ισχυρών μικροεπεξεργαστών, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη αυτοματοποιημένων ψηφιακών υποσταθμών οι οποίοι, χρησιμοποιώντας IED, είναι σε θέση να εκτελούν λειτουργίες, όπως τοπική και απομακρυσμένη παρακολούθηση, εποπτεία εξοπλισμού κλπ. Επιπλέον, η χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας βελτίωσε τη διαλειτουργικότητα και την επικοινωνία μεταξύ συσκευών διαφορετικών προμηθευτών και τεχνολογικών γενεών. Η συγκεκριμένη τεχνολογία, η οποία αναφέρεται επίσης ως διάυλος διεργασιών, συνέβαλε στη διαλειτουργικότητα μεταξύ ετερογενών συστημάτων και στη διαμόρφωση λειτουργιών που βασίζονται σε ανοιχτή αρχιτεκτονική για να καταστεί το σύστημα βιώσιμο. Όσον αφορά την επικοινωνία μεταξύ συσκευών, ο απόλυτος συγχρονισμός τους απαιτείται για την ανταλλαγή μεγάλων συνόλων δεδομένων με μικρό λανθάνοντα χρόνο και ακρίβεια, επιπλέον της χρήσης

προτύπων ανοιχτής επικοινωνίας όπως Ethernet, TCP/IP και XML για την επίτευξη διαλειτουργικότητας (Xu et al., 2014).

Η αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι παράλληλη με τις λεγόμενες εικονικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες είναι μια συλλογή μικρών και πολύ μικρών αποκεντρωμένων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που παρακολουθούνται και ελέγχονται από ένα σύστημα διαχείρισης υψηλής ποιότητας. Η επιτυχής λειτουργία ενός εικονικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί αποτελεσματικό και αξιόπιστο δίκτυο τηλεπικοινωνιών μέσω του οποίου το σύστημα διαχείρισης παρακολουθεί, διαχειρίζεται και βελτιστοποιεί τη λειτουργία των αποκεντρωμένων μονάδων. Σε μεγάλους εικονικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας, μπορούν να εφαρμοστούν συστήματα ελέγχου που βασίζονται σε πρωτόκολλα, όπως τα IEC 61850 και IEC 61400. Δεδομένου του αυξανόμενου αριθμού των εικονικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αναμένεται ότι τα κανάλια και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας θα διαδραματίσουν καίριο ρόλο και η συμβατική τεχνική τηλεμετρίας θα αντικατασταθεί σταδιακά από πιο προηγμένες τεχνικές επικοινωνίας με βάση τα πρωτόκολλα TCP/IP. Θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν τεχνικές μετάδοσης μέσω των γραμμών παροχής ρεύματος (Power Line Communication-PLC) (Sendin et al., 2014).

Στην έξυπνη υποδομή δικτύου, το σύστημα που αναλαμβάνει τον ειδικό ρόλο της διασύνδεσης του δικτύου διανομής με τα συστήματα έξυπνης μέτρησης, αυτοματισμού κτιρίων, βιομηχανικού αυτοματισμού, ηλεκτρονικής κινητικότητας και κατανεμημένων ενεργειακών πόρων είναι η προηγμένη υποδομή μέτρησης (advanced metering infrastructure - AMI). Περιλαμβάνει συστήματα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, καθώς και συστήματα ενεργειακού ελέγχου, και παρέχει διαδραστική επικοινωνία μεταξύ πελατών, προμηθευτών, επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας και παρόχων υπηρεσιών. Μεταξύ άλλων, η τεχνολογία AMI περιλαμβάνει προδιαγραφές για την παρακολούθηση του δικτύου, την παρακολούθηση της ποιότητας ισχύος, την ανίχνευση απάτης, την εξισορρόπηση φορτίου, την καταγραφή της χρήσης χωρητικότητας, την κατανομή φορτίου/πρόελευσης, και τις διαδικασίες απομακρυσμένης μεταγωγής (Ali et al., 2013).

Τα έξυπνα συστήματα μέτρησης επιτρέπουν στους καταναλωτές να διαδραματίζουν ενεργό ρόλο στη λειτουργία των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς αποτελούν την πύλη πρόσβασης στο νέο δίκτυο. Ειδικότερα, χρησιμοποιούν εφαρμογές που επιτρέπουν διασύνδεση με συστήματα αυτοματισμού στο σπίτι, απομακρυσμένη πρόσβαση σε δεδομένα τιμολόγησης της ενέργειας, συλλογή πρόσθετων πληροφοριών σχετικά με τη λειτουργία του δικτύου, την ποιότητα και τον χρόνο διακοπής λειτουργίας, καθώς και πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση και την τιμολόγηση με βάση την κατανάλωση, ενημερώσεις υλικολογισμικού κ.λπ.. Η έξυπνη μέτρηση βασίζεται στα πρότυπα IEC 62056-x και IEC 61334-x που υποστηρίζουν τις πιο γνωστές τεχνολογίες ενσύρματης και ασύρματης επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένου του IPn6. Βασίζεται σε ανοικτές και ευέλικτες προδιαγραφές και καταβάλλονται προσπάθειες για τη δημιουργία ενός φιλικού προς τον χρήστη περιβάλλοντος διαχείρισης, καθώς και για τη διασφάλιση της προστασίας της ιδιωτικής ζωής του χρήστη και της ασφαλούς διαβίβασης δεδομένων (ενσωμάτωση κρυπτογραφίας, blockchain κ.λπ.). Υποστηρίζεται επίσης η τυποποίηση και η συμμόρφωση του εξοπλισμού και του λογισμικού με τις προδιαγραφές της τεχνολογίας DLMS/COSEM (Ali et al., 2013).

Οι μηχανισμοί απόκρισης ζήτησης και διαχείρισης φορτίου σχετίζονται με την ορθολογική κατανομή των ηλεκτρικών φορτίων στο δίκτυο, λαμβανομένων υπόψη των απαιτήσεων των χρηστών. Ως εκ τούτου, αυτοί οι δύο μηχανισμοί συνδέονται άμεσα με το έξυπνο σύστημα μέτρησης, την αυτοματοποίηση της διαχείρισης της ενέργειας στο σπίτι, και ιδιαίτερα με τη κατανεμημένη παραγωγή ενέργειας. Όσον αφορά την παραγωγή κατανεμημένης ενέργειας, πρέπει να τονιστεί ότι είναι μια μάλλον περίπλοκη διαδικασία σε σύγκριση με την εύκολα ρυθμιζόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μετρήσιμους φυσικούς πόρους (ορυκτά καύσιμα, πυρηνικά καύσιμα κ.λπ.). Η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική κλπ.) δεν είναι απολύτως προβλέψιμη, καθώς περιλαμβάνει πολλούς παράγοντες αβεβαιότητας. Δεδομένου επίσης ότι το παγκόσμιο μερίδιο της νομοθετικά κατοχυρωμένης εξουσίας μειώνεται συνεχώς, οι προκλήσεις στο σύστημα διαχείρισης δημιουργούν έναν νέο εξειδικευμένο τομέα σπουδών και έρευνας. (Ma et al., 2013).

Σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 16484-2 και ISO 16484-3, ο όρος HBES/BACS αναφέρεται στον εξοπλισμό που απαιτείται για τον αυτόματο έλεγχο, την παρακολούθηση, τη χειροκίνητη

παρέμβαση και τη διαχείριση των υπηρεσιών βελτιστοποίησης, συμπεριλαμβανομένων των εξωτερικών εγκαταστάσεων και του λοιπού εξοπλισμού. Το κύριο όφελος από την ανάπτυξη των ευφυών δικτύων αφορά αποκλειστικά τη διανομή και την πρόβλεψη των ενεργειακών φορτίων. Κύριος στόχος των τεχνολογιών HBES/BACS είναι η μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται μέσω της χρήσης λειτουργιών βελτιστοποίησης της ενέργειας, καθώς και η μείωση του κόστους που μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλη κατανομή φορτίου βάσει βαθμιαίας τιμολόγησης (μείωση κόστους ανά kWh) και, φυσικά, οι συμβατικοί περιορισμοί ισχύος κατά περίπτωση (Demertzis et al., 2021).

Το ηλεκτρικό δίκτυο λειτουργεί υπό την προϋπόθεση ότι η ενέργεια παράγεται και καταναλώνεται ταυτόχρονα. Αυτό σημαίνει ότι τα συστήματα μετάδοσης και διανομής είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν στη μέγιστη και όχι στη μέση ροή ισχύος, με αποτέλεσμα την υποχρησιμοποίηση των εξαρτημάτων τους. Η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να ενισχύσει την αξιοπιστία του δικτύου, επιτρέποντας την αποδοτικότερη χρήση της βασικής παραγωγής, διευκολύνοντας παράλληλα τη μεγαλύτερη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλη, μεσαία και μικρή κλίμακα, ενώ μπορεί να διακρίνεται μεταξύ πραγματικής ηλεκτρικής αποθήκευσης (δηλαδή, αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να εισαχθεί απευθείας στο σύστημα) και αποθήκευσης σε εναλλακτικές μορφές σε ρυθμιστές. Στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μορφές αποθήκευσης ενέργειας, με τη συνηθέστερη να είναι η χρήση συσσωρευτών (για παράδειγμα, μολυβδος-οξύ, ιόντα λιθίου, νάτριο, κ.λπ.) (Ma et al., 2013).

Η ηλεκτρονική κινητικότητα περιλαμβάνει τη χρήση πλήρως ηλεκτρικών ή υβριδικών οχημάτων και αποτελεί μία από τις κύριες προοπτικές των ευφυών δικτύων τόσο μεμονωμένα όσο και μια μέθοδο αποθήκευσης ενέργειας, δεδομένου ότι το πλήρες φάσμα των δυνατοτήτων αυτής της τεχνολογίας μπορεί να επιτευχθεί μόνο μετά την πλήρη εφαρμογή της έξυπνης αρχιτεκτονικής δικτύου. Οι προδιαγραφές των συσσωρευτών του οχήματος πρέπει να τυποποιηθούν και να πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις του κύκλου φόρτισης και της σταθερότητας της ισχύος, οι οποίες υπαγορεύονται από τις προδιαγραφές του συνολικού δικτύου ώστε να λειτουργεί ως αναπόσπαστο μέρος του. Οι απαιτήσεις ασφάλειας και ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (electromagnetic compatibility - EMC) πρέπει επίσης να πληρούνται πλήρως. Ενώ η αμφίδρομη επικοινωνία δεν απαιτείται για την ηλεκτροκίνηση, η ενσωμάτωσή της σε ένα έξυπνο δίκτυο απαιτεί ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του έξυπνου δικτύου και των ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτή η επικοινωνία απαιτεί τη χρήση κατάλληλων πρωτοκόλλων επικοινωνίας και μοντελοποίησης δεδομένων μέσα σε ένα πλαίσιο που θα επιτρέψει τη σημασιολογική κατανόηση των ανταλλάσσόμενων πληροφοριών (Ma et al., 2013).

Το ηλεκτρικό δίκτυο αντιμετωπίζει διάφορες προκλήσεις, δεδομένης της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης, των απαιτήσεων για συνεχή βελτίωση της διαθεσιμότητάς του και της παροχής ποιοτικών υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο. Βασικοί στόχοι για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων είναι η επέκταση του μέσου κύκλου ζωής του εξοπλισμού και η ελαχιστοποίηση του κόστους συντήρησης. Οι στόχοι αυτοί βασίζονται σε έξυπνες λειτουργίες δικτύου, όπως παρακολούθηση του δικτύου σε πραγματικό χρόνο, ποιοτικός έλεγχος υποδομών σε πραγματικό χρόνο, πρόβλεψη και έγκαιρη διάγνωση βλαβών, προβλεπτική συντήρηση, κλπ. Συγκεκριμένα, μια λειτουργία παρακολούθησης συνθηκών παρέχει όλες τις τεχνικές πληροφορίες που απαιτούνται για τη διατήρηση της διαθεσιμότητας και, ταυτόχρονα, για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης στην αλυσίδα εφοδιασμού ενέργειας, συμβάλλοντας έτσι στη βελτιστοποίηση του δικτύου με την πρόληψη μη προγραμματισμένων διακοπών λειτουργίας ή αστοχιών υλικού. Η λειτουργία παρακολούθησης συνθηκών περιλαμβάνει επίσης εξειδικευμένες διαδικασίες όπως παρακολούθηση μετασχηματιστών (ψύξη, λίπανση, ταχύτητα ανοίγματος επαφής, χρόνος λειτουργίας διακόπτη κ.λπ.), μονωτών, εδάφους, γραμμών καλωδίωσης, μηχανισμών ARRESTER κ.λπ. (Ying et al., 2018).

Δεδομένης της ενεργειακής κρίσης, η εξάντληση των φυσικών πόρων, η καταστροφή του περιβάλλοντος και η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές φαίνεται να είναι η μόνη εφικτή λύση στην επερχόμενη ενεργειακή κρίση. Ωστόσο, δεδομένου ότι μια τέτοια λύση δεν βασίζεται σε ποσοτικοποιήσιμους φυσικούς πόρους, δεν παρέχει στέρεη βάση για τον προγραμματισμό και οδηγεί σε αβεβαιότητα της απόδοσης, η οποία με τη σειρά της δημιουργεί



πολλές και ποικίλες προκλήσεις. Τα ευφυή δίκτυα, όσον αφορά τη διασύνδεσή τους με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αντιμετωπίζουν διάφορα λειτουργικά ζητήματα ανά τομέα λειτουργίας, όπως (Guizani & Anan, 2014):

1. Αιολική ενέργεια (έλεγχος, πιστοποίηση, απαιτήσεις σχεδιασμού ανεμογεννητριών, μέτρηση και αξιολόγηση της παραγόμενης ενέργειας, κ.λπ.).
2. Ηλιακή ενέργεια (δοκιμή, πιστοποίηση, διασύνδεση, προστασία φωτοβολταϊκών συστημάτων, μέτρηση και αξιολόγηση της παραγόμενης ενέργειας, κ.λπ.).
3. Θαλάσσια ισχύς (απαιτήσεις σχεδιασμού για θαλάσσια συστήματα ενέργειας, αξιολόγηση της απόδοσης των κυμάτων, μετατροπείς ενέργειας κ.λπ.).
4. Κυψέλες καυσίμου (ασφάλεια συστημάτων παραγωγής ισχύος κυψελών καυσίμου, απόδοση καυσίμου και δοκιμές κ.λπ.).
5. Αντλημένος αποθηκευτικός χώρος (δοκιμές υδραυλικών στροβίλων, αντλίες αποθήκευσης, κ.λπ.).

Συνολικά, δεδομένης της τεράστιας ανάπτυξης του τομέα και της διαδικασίας τυποποίησης του, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα ευφυή δίκτυα περιλαμβάνουν τεχνικά πρότυπα που επιτρέπουν τη διασύνδεση διαφορετικών συστημάτων κλίμακας, καθώς και τις διαδικασίες δοκιμών, συντήρησης και διαχείρισης των συστημάτων αυτών. Αν και οι ενσύρματες επικοινωνίες υποστηρίζονται επαρκώς, αναγνωρίζεται ότι οι περισσότερες λύσεις τηλεπικοινωνιών παρέχονται μέσω ασύρματων συστημάτων (Ma et al., 2013).

### **3.1.5 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ**

Η ιδέα του smart grid είναι η δημιουργία ενός εξελιγμένου συστήματος με την ενσωμάτωση ενός συστήματος πληροφοριών και τηλεπικοινωνιών στην υπάρχουσα υποδομή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και του νέου συστήματος κατανεμημένης παραγωγής, με σκοπό την πλήρη εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης ολόκληρου του συστήματος. Από μια ελαφρώς διαφορετική οπτική γωνία, ένα "έξυπνο δίκτυο" μπορεί να θεωρηθεί ως ένα δίκτυο επικοινωνίας δεδομένων που επιτυγχάνει ευελιξία, αδιάκοπη ικανότητα διαλειτουργικότητας μεταξύ των διαφόρων προηγμένων συστατικών στοιχείων του συστήματος για την αποτελεσματική αξιοποίηση της ενέργειας, πάντα με την υποστήριξη των συσκευών διαχείρισης ενέργειας. Οι end-to-end αρχιτεκτονικές για το smart grid αποτελούνται από τρία κύρια επίπεδα που περιγράφονται παρακάτω.

#### **Επίπεδο Εφαρμογής (Application layer):**

Περιλαμβάνει τις εξελιγμένες εφαρμογές για ζητήματα όπως η διαχείριση της απόκρισης στη ζήτηση, οι διακοπές λειτουργίας, οι προηγμένες υποδομές για την καταγραφή και την αποστολή μετρήσεων και η ανίχνευση των σφαλμάτων, που θα λειτουργούν σε όλο το δίκτυο, εξασφαλίζοντας την ύπαρξη διαλειτουργικότητας μεταξύ τους. Οι κύριες εφαρμογές είναι :

#### **Αυτοματισμός υποσταθμών (Substation Automation):**

Τα αυτοματοποιημένα συστήματα (substation automation systems – SASs) είναι υπεύθυνα για την επίβλεψη, τον έλεγχο και την προστασία των υποσταθμών ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και των επιμέρους συσκευών. Συλλέγουν τα δεδομένα και εκτελούν λειτουργίες για την ορθή δρομολόγηση της ενέργειας από τις γεννήτριες στα φορτία, μέσω του σύνθετου δικτύου των γραμμών μεταφοράς.

#### **Εναέρια παρακολούθηση γραμμής μεταφοράς (Overhead Transmission Line Monitoring):**

Αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές εφαρμογές για την μετάδοση και την μεταφορά της ενέργειας, καθώς οι γραμμές μεταφοράς είναι ευάλωτες σε καιρικά φαινόμενα. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν κόμβοι σε ορισμένα σημεία των γραμμών μεταφοράς που επικοινωνούν με τον κόμβο αναμετάδοσης, μεταδίδοντας τα δεδομένα από τους αισθητήρες

#### **Οικιακή Διαχείριση Ενέργειας (Home Energy Management HEM):**

Η εφαρμογή αυτή προσανατολίζεται στον καταναλωτή ο οποίος μπορεί να παρακολουθήσει και να ελέγξει τις οικιακές συσκευές για την αποτελεσματικότερη παροχή και κατανάλωση ενέργειας.

Η εφαρμογή περιλαμβάνει μετρητές, οικιακές συσκευές και προηγμένα συστήματα ελέγχου. Στόχος της είναι η μέτρηση των δεδομένων, η μετάδοση τους και η ενεργειακή απόδοση. Τα δεδομένα συγκεντρώνονται σε πραγματικό χρόνο και πηγαίνουν στο πάροχο. Τα στατιστικά δεδομένα στην συνέχεια αξιολογούνται και επανέρχονται στον καταναλωτή ο οποίος είναι ενήμερος για την καταναλωτική τους συμπεριφορά.

#### **Υποδομή προηγμένης μέτρησης - Advanced Metering Infrastructure AMI:**

Η υποδομή προηγμένης μέτρησης αποτελεί την δημιουργία ενός αμφίδρομου δικτύου επικοινωνίας μεταξύ των έξυπνων μετρητών και των συστημάτων των παροχών. Υποστηρίζει την ενσωμάτωση των προηγμένων αισθητήρων, μετρητών και συστημάτων παρακολούθησης του λογισμικού και των συστημάτων διαχείρισης δεδομένων, με σκοπό, την συλλογή και διανομή πληροφοριών μεταξύ παρόχων και μετρητών με σκοπό την συμμετοχή των καταναλωτών, ώστε να αποφεύγονται περιπτώσεις απάτης που σχετίζονται με τον ηλεκτρισμό και τις ακραίες τιμολογήσεις.

#### **Συστήματα Καταστατικής Ενημέρωσης Ευρείας - Wide-Area Situational Awareness (WASA) Systems:**

Τα συγκεκριμένα συστήματα έχουν ως σκοπό την παρακολούθηση μίας ευρείας περιοχής και η επίγνωση της κατάστασης στα δίκτυα. Εξασφαλίζει την αξιοπιστία, την ασφάλεια και την διαλειτουργικότητα μεταξύ των διασυνδεδεμένων συστημάτων και αποφεύγονται τυχόν ανωμαλίες, όπως η διαταραχή στην παροχή του ρεύματος, οι οποίες θα διατηράζοντο το σύνολο του δικτύου και την ασφάλεια του συστήματος. Σύγχρονοι μετρητές φάσης τοποθετούνται σε διαφορετικά σημεία του δικτύου και στέλνουν δεδομένα, που καθιστούν ευκολότερη την σύγκριση διαφόρων τμημάτων συστήματος ισχύος σε πραγματικό χρόνο.

#### **Διαχείριση Απόκρισης Ζήτησης - Demand Response Management:**

Η διαχείριση της απόκρισης στη ζήτηση (DRM), ελέγχει την ζήτηση της ενέργειας και των φορτίων κατά την διάρκεια κρίσιμων καταστάσεων αιχμής, ώστε να υπάρχει ισορροπία μεταξύ παροχής και ζήτησης. Οι πελάτες είναι ενεργό μέλος της αγοράς ενέργειας αλλάζοντας την προσέγγιση τους όσον αφορά την κατανάλωση, και αντί να εκτίθενται σε σταθερές τιμές, να ευνοηθούν μειώνοντας τα έξοδα τους ή ακόμα και να έχουν κέρδος. Μερικές από τις τιμές για διαφορετικές περιόδους και συνθήκες είναι οι: time of use (TOU) rate, critical peak pricing (CPP), extreme day pricing (EDP), extreme day CPP (ED-CPP), και real time pricing (RTP).

#### **Διαχείριση διακοπών ρεύματος - Outage Management:**

Η διακοπή ρεύματος ορίζεται ως η απώλεια στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας για μια περίοδο μικρής ή μεγάλης διάρκειας. Βραχυκυκλώματα, ελλείψεις σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και ζημιές σε γραμμές μεταφοράς μπορεί να θεωρηθούν ως οι λόγοι για τις διακοπές ρεύματος. Η ανίχνευση της διακοπής, η διαχείριση και η αποκατάσταση είναι πολύ κρίσιμοι παράγοντες για την αξιόπιστη παράδοση της ηλεκτρικής ενέργειας, την ποιότητα των υπηρεσιών (QoS) και την ικανοποίηση των πελατών. Στις διαδικασίες αποκατάστασης χρησιμοποιούνται τα συστήματα διαχείρισης της διακοπής (outage management systems - OMSs), για την πρόβλεψη της θέσης διακοπής, την αποκατάσταση των υπηρεσιών, τις πρόσθετες υπηρεσίες προς τον πελάτη και την ανάλυση και την πρόβλεψη της διακοπής. Πρόσφατες έρευνες και δραστηριότητες αποσκοπούν στη βελτίωση των διαδικασιών διαχείρισης της διακοπής με τη χρήση των τεχνολογιών έξυπνου δικτύου.

#### **Αυτοματοποίηση διανομής - Distribution Automation (DA):**

Ένα σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί ως σύνδεσμος μεταξύ του συστήματος μεταφοράς και των εγκαταστάσεων του τελικού χρήστη. Η αυτοματοποιημένη διαμονή είναι αποτελεσματική για τις ηλεκτρικές υπηρεσίες. Η παρακολούθηση και η διαχείριση των συνιστωσών της διανομής γίνεται αυτόματα, σε πραγματικό χρόνο με αποτέλεσμα τις επιτόπου διορθώσεις σφαλμάτων και εξισορρόπηση του φορτίου και υπολογισμό της τάσης χαλάρωσης.

#### **Διαχείριση Διανομής - Distribution Management:**

Το σύστημα DM θεωρείται από τα σημαντικότερα συστήματα στην βιομηχανία της ηλεκτρικής ενέργειας. Η παρακολούθηση της κίνησης των δικτύων γίνεται σε πραγματικό χρόνο και επιτυγχάνονται πάντα μέσω σύνδεσης σε δίκτυο ευρείας περιοχής (WAN). Τα συγκεκριμένα συστήματα ελέγχονται από συστήματα SCADA, τα οποία απαιτούν χειροκίνητο συντονισμό. Η πλήρης ενσωμάτωση του συστήματος DM είναι απαραίτητη για να επιτευχθεί έξυπνη επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του δικτύου διανομής.

#### **Διαχείριση δεδομένων μετρητών- Meter Data Management:**

Ένα σύστημα διαχείρισης μετρικών δεδομένων διασφαλίζει την αποθήκευση και την επεξεργασία των δεδομένων μέτρησης πριν γίνουν διαθέσιμα από άλλες εφαρμογές. Οι έξυπνες μετρητές μεταφέρουν τα συλλεχθέντα στοιχεία μέσω αμφίδρομης επικοινωνίας. Το MDMS ενεργεί ως ένα σύστημα βάσης δεδομένων για την αποθήκευση και την ανάλυση των δεδομένων μέτρησης και έχει επιπλέον δυνατότητες, όπως η διαχείριση όλων των ειδών των μετρητών (για ηλεκτρισμό, φυσικό αέριο, θέρμανση), η μετάδοση δεδομένων εκτός των δασμολογικών, η λειτουργία σαν διακόπτης, κ.λπ.

#### **Ανανεώσιμες κατακεντρωμένες πηγές ενέργειας (DER) και αποθήκευση - Renewable Distributed Energy Resources (DER) and Storage:**

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παίζουν σημαντικό ρόλο στο μελλοντικό ηλεκτρικό δίκτυο καθώς προσφέρουν λιγότερες εκπομπές ρύπων, χαμηλότερο κόστος καυσίμων και μείωση της ροής ηλεκτρικής ενέργειας στις γραμμές μεταφοράς. Παρόλα αυτά, οι πηγές αυτές, όπως η ηλιακή και η αιολική, μπορεί αν μην είναι διαθέσιμες ή να μην πληρούν τα αποδεκτά επίπεδα παραγωγής όλη την ώρα. Σε αυτό το πλαίσιο, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορεί να παρέχουν την ενέργεια κατά τη διάρκεια περιόδων μειωμένης παραγωγής με αποτέλεσμα την παροχή ενός συνεχώς ελεγχόμενου δικτύου με αξιοπιστία και παροχή ισχύος.

#### **Επίπεδο Ενέργειας:**

Η καινοτομία που θα ενταχθεί στα έξυπνα δίκτυα, περιλαμβάνει την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που θα αλλάξουν τις ισορροπίες στα στατιστικά δεδομένα των μελλοντικών διαθέσιμων πηγών ενέργειας, θα δημιουργήσει αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ πελάτη και παρόχου με αποτέλεσμα την αποτελεσματικότερη αναλογία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης ενέργειας. Το επίπεδο ενέργειας αφορά τα συστήματα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής, καθώς και τα οικιακά συστήματα των πελατών. Οι αλλαγές που εφαρμόζονται σε αυτό το επίπεδο θα εντείνουν και την συμμετοχή των πελατών στο δίκτυο (Gungor et al., 2013)

#### **Επίπεδο επικοινωνίας:**

Η υποδομή επικοινωνίας στο περιβάλλον του έξυπνου δικτύου μπορεί να παρουσιαστεί με τη χρήση ιεραρχικής πολυστρωματικής αρχιτεκτονικής (Πίνακας 06). Αυτή η αρχιτεκτονική τριών επιπέδων περιλαμβάνει: δίκτυο ευρείας περιοχής (wide area network - WAN), δίκτυα γειτονιάς (neighborhood area networks - NAN)/δίκτυο πεδίου (field area network - FAN) και δίκτυο περιοχής εγκαταστάσεων πελατών (Budka et al., 2010).

Το δίκτυο ευρείας περιοχής παρέχει συνδέσμους επικοινωνίας για «έξυπνα» δίκτυα στήριξης του δικτύου, και καλύπτει αποστάσεις μεγάλων αποστάσεων από κέντρο ελέγχου έως NAN/FAN. Όταν ένα κέντρο ελέγχου βρίσκεται μακριά από υποσταθμούς ή τελικούς πελάτες, οι μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο που λαμβάνονται σε επίπεδο υποσταθμού παραδίδονται στο κέντρο ελέγχου (ή οι εντολές ελέγχου από τα κέντρα ελέγχου παραδίδονται στις ηλεκτρικές συσκευές) μέσω WAN. Τα WAN επιτρέπουν επίσης την επικοινωνία με συσκευές αυτοματισμού και διανομής, όπως SCADA, απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (remote terminal unit - RTU), μονάδες μέτρησης Phasor (phasor measurement unit - PMU), και άλλους αισθητήρες. Αυτό επιτρέπει τη διαχείριση και τον έλεγχο διαφόρων συσκευών και παρέχει ένα εύρος υπηρεσιών, όπως αυτοματισμός υποσταθμών, αυτοματισμός συσκευών πεδίου, μέτρηση, χρέωση, διαχείριση διακοπών, απόκριση ζήτησης και διαχείριση φορτίου (Budka et al., 2010).

Το WAN μπορεί να υλοποιηθεί μέσω διάφορων τεχνολογιών επικοινωνίας, όπως οπτικές ίνες, γραμμές τροφοδοσίας, και ασύρματα μέσα που χρησιμοποιούν κυψελωτές (cellular). Η οπτική επικοινωνία χρησιμοποιείται συνήθως ως μέσο επικοινωνίας μεταξύ υποσταθμών μετάδοσης/διανομής και ενός κέντρου ελέγχου χρησιμότητας λόγω της υψηλής χωρητικότητάς του και του μικρού λανθάνοντος χρόνου. Κυψελοειδής και WiMAX μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν λόγω της ευρείας εμβέλειας κάλυψής τους και της υψηλής διεκπεραιωτικής ικανότητας δεδομένων (Kuzlu et al., 2014).

Το NAN διαχειρίζεται τη ροή πληροφοριών μεταξύ των WAN και των δικτύων περιοχής του πελάτη χρησιμοποιώντας είτε ασύρματη είτε ενσύρματη επικοινωνία. Υποστηρίζει τη συλλογή ενεργειακών δεδομένων από πελάτες μιας γειτονιάς σε μια εταιρεία κοινής ωφέλειας. Η NAN μπορεί επίσης να ονομάζεται Field Area Network (FAN). Η NAN/FAN επιτρέπει μια σειρά έξυπνων

εφαρμογών δικτύου, όπως έξυπνη μέτρηση, διαχείριση φορτίου, αυτοματοποίηση διανομής ή άλλες εφαρμογές που βασίζονται στον πελάτη. Οι απαιτήσεις για την περιοχική κάλυψη και το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων για τη NAN μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τις εφαρμογές. Για παράδειγμα, η απαίτηση ρυθμού δεδομένων για εφαρμογές έξυπνης μέτρησης είναι μεγαλύτερη από 100 kbps, ανάλογα με το μέγεθος των δεδομένων του μετρητή και τον αριθμό των μετρητών. Τα NAN μπορούν να υλοποιηθούν μέσω διαφόρων τεχνολογιών επικοινωνίας, όπως ZigBee, WLAN, PLC, καθώς και ενσύρματες και ασύρματες τεχνολογίες μεγάλης απόστασης, όπως κυψελώδεις και δεδομένα μέσω προδιαγραφών διασύνδεσης καλωδιακών υπηρεσιών (data over cable services interface specification - DOCSIS) (Kuzlu et al., 2014).

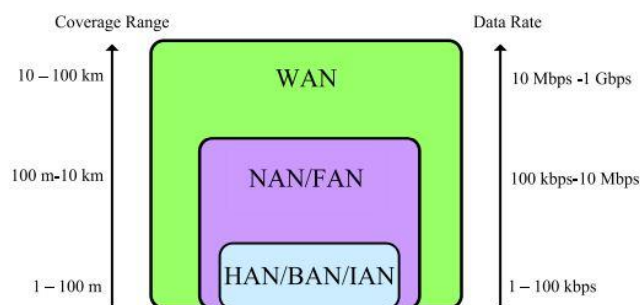
Τα δίκτυα περιοχής πελατειακής βάσης μπορούν να ταξινομηθούν ως δίκτυο οικιακής περιοχής (home area network - HAN), οικοδομικό δίκτυο περιοχής (building area network - BAN) και βιομηχανικό δίκτυο περιοχής (industrial area network - IAN), ανάλογα με το περιβάλλον, δηλαδή, οικιστικό, επιχειρηματικό και βιομηχανικό. Επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ NAN/FAN και συσκευών τελικής χρήσης, όπως συσκευές και αισθητήρες από την πλευρά του πελάτη. Η HAN συνήθως επιτρέπει την επικοινωνία με ένα ηλεκτρικό βοηθητικό πρόγραμμα για οικιακούς καταναλωτές ή για μικρές επιχειρήσεις (Kuzlu et al., 2014).

Τα BAN και IAN θεωρούνται ένας πιο πολύπλοκος συνδυασμός εξειδικευμένων τοπικών δικτύων, λογισμικού διαχείρισης κτηρίων και συνδεδεμένων ελέγχων/συσκευών. Επιτρέπουν στους εμπορικούς ή βιομηχανικούς καταναλωτές να συνδέονται με μια επιχείρηση ηλεκτρισμού. Το δίκτυο περιοχής εγκαταστάσεων πελάτη επικοινωνεί με διάφορες έξυπνες συσκευές, π.χ. συσκευές, σταθμούς διαχείρισης ενέργειας, πηγές ενέργειας και συνδέεται με δίκτυο κοινής ωφέλειας μέσω έξυπνων μετρητών ή άλλων συσκευών (π.χ. συγκεντρωτές). Υποστηρίζει διάφορες ενεργειακές υπηρεσίες, δηλ. προπληρωμένες, πληροφορορίες χρήστη μηνύματα, απόκριση ζήτησης, έλεγχο φορτίου και τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο, για επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και πελάτες. Οι βασικές απαιτήσεις επικοινωνίας για το δίκτυο των εγκαταστάσεων του πελάτη είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, το χαμηλό κόστος, η απλότητα και η ασφαλής επικοινωνία. Έχουν εισαχθεί διάφορες τεχνολογίες ενσύρματης και ασύρματης επικοινωνίας, όπως οι ZigBee, WLAN, Z-Wave, PLC, για το δίκτυο της περιοχής εγκαταστάσεων πελατών (Kuzlu et al., 2014).

Πίνακας 6: Σύστημα πολυεπίπεδης αρχιτεκτονικής του Έξυπνου Δικτύου

Smart Metering and Grid Applications				Customer Applications				Application Layer
Authentication, Access Control, Integrity Protection, Encryption, Privacy								Security Layer
Cellular, WiMAX, Fiber Optic			PLC, DSL, Coaxial Cable, RF Mesh			Home Plug, ZigBee, WiFi, Z-Wave		Communication Layer
WAN			NAN/FAN			HAN/BAN/IAN		
PMUs	Cap Banks	Reclosers	Switches	Sensors	Transformers	Meters	Storage	Power Control Layer
Power Transmission/Generation			Power Distribution			Customer		Power System Layer

Πίνακας 7: Απαιτήσεις εύρους επικοινωνίας στην ιεραρχία του Έξυπνου Δικτύου



Πίνακας 8: Σύγκριση επικοινωνιακών τεχνολογιών για Έξυπνα Δίκτυα

Technology	Standard/protocol	Max. theoretical data rate	Coverage range	Network		
				HAN/BAN/ IAN	NAN/ FAN	WAN
<i>Wired communication technologies</i>						
Fiber optic	PON	155 Mbps-2.5 Gbps	Up to 60 km			X
	WDM	40 Gbps	Up to 100 km			
	SONET/SDH	10 Gbps	Up to 100 km			
DSL	ADSL	1-8 Mbps	Up to 5 km		X	
	HDSL	2 Mbps	Up to 3.6 km			
	VDSL	15-100 Mbps	Up to 1.5 km			
Coaxial Cable	DOCSIS	172 Mbps	Up to 28 km		X	
	PLC	HomePlug	14-200 Mbps	Up to 200 m	X	
Ethernet	Narrowband	10-500 kbps	Up to 3 km		X	
	802.3x	10 Mbps-10 Gbps	Up to 100 m	X	X	
<i>Wireless communication technologies</i>						
Z-Wave	Z-Wave	40 kbps	Up to 30 m	X		
Bluetooth	802.15.1	721 kbps	Up to 100 m	X		
	ZigBee	250 kbps	Up to 100 m	X	X	
WiFi	ZigBee Pro	250 kbps	Up to 1600 m			
	802.11x	2-600 Mbps	Up to 100 m	X	X	
WiMAX	802.16	75 Mbps	Up to 50 km		X	X
Wireless Mesh	Various (e.g., RF mesh, 802.11, 802.15, 802.16)	Depending on selected protocols	Depending on deployment	X	X	
Cellular	2G	14.4 kbps	Up to 50 km		X	X
	2.5G	144 kbps				
	3G	2 Mbps				
	3.5G	14 Mbps				
Satellite	4G	100 Mbps				
	Satellite Internet	1 Mbps	100-6000 km			X

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### 4.1 ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

#### 4.1.1 Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

Ένα από τα προτεινόμενα θέματα στο έξυπνο δίκτυο είναι η διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης νέων τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών λόγω των απαιτήσεων του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Πολλές τεχνολογίες έχουν διερευνηθεί για τη μείωση του αριθμού των πρωτοκόλλων πληροφοριών και τη διαχείριση μαζικών όγκων δεδομένων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, όπου το διαδίκτυο των πραγμάτων θεωρείται ως μία από τις πιο αποτελεσματικές τεχνολογίες.

Στην ορολογία του έξυπνου δικτύου, το IoT ορίζεται ως μια περιγραφική έννοια που εκφράζει την ικανότητα οποιουδήποτε αντικειμένου να συνδέεται μεταξύ του με μια διεύθυνση IP και μια ωριμότητα της ενσωματωμένης νοημοσύνης σε δίκτυα επικοινωνίας. Αυτή η ευφυΐα μπορεί να περιλαμβάνει αξιολογήσεις, αναγνώριση, ασφάλεια, πλέγμα, διαδικασίες, και έλεγχο. Από αυτήν την άποψη, το έξυπνο δίκτυο και τα μοναδικά συστατικά του στοιχεία θα θεωρούνται ως μια έννοια IoT, δεδομένου ότι εντός του έξυπνου δικτύου, ένα ευρύ φάσμα επικοινωνιακών δικτύων συνδέουν συσκευές μεταξύ τους, τα οποία διάφορα επίπεδα νοημοσύνης με τη μορφή της

αξιολόγησης και του ελέγχου, για τους σκοπούς της διαχείρισης του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, είναι ενσωματωμένα μέσα σε αυτό. Ως εκ τούτου, με την πρώτη ματιά, μπορεί κανείς να ταξινομήσει τον ρόλο του IoT στην υλοποίηση έξυπνου δικτύου στα ακόλουθα τρία υποστρώματα (Davoody-Beni et al., 2019):

- Το επίπεδο της «εξυπνάδας» του εξοπλισμού της βιομηχανίας ηλεκτρικής ενέργειας ή η εγκατάσταση έξυπνων οργάνων και συσκευών IoT, για τους σκοπούς της ανίχνευσης, της επεξεργασίας και της ανταλλαγής δεδομένων.

- Επίπεδο επικοινωνίας: συλλογή δεδομένων από έξυπνα όργανα από επικοινωνιακά πρωτόκολλα IoT για αποστολή τους στο κέντρο ελέγχου.

- Επίπεδο πληροφοριών: την ικανότητα υλοποίησης, επέκτασης της εκτίμησης και της πρόβλεψης αλγορίθμων με σκοπό τον βέλτιστο έλεγχο του πλέγματος μέσω της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα έξυπνα όργανα στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνουν διαφορετικούς τύπους οργάνων σε τομείς κατανάλωσης, διανομής, μεταφοράς και παραγωγής. Είναι προφανές ότι ο εξοπλισμός και τα στοιχεία του ηλεκτρικού δικτύου δεν έχουν επαρκή νοημοσύνη αυτήν τη στιγμή, επομένως, δεν μπορούν να θεωρηθούν ως στοιχεία IoT. Από την άλλη πλευρά, η διαδικασία εξυπνοποίησης του εξοπλισμού του έξυπνου δικτύου θεωρείται σταδιακή και δαπανηρή διαδικασία και η διακοπή της λειτουργίας ενός παραδοσιακού δικτύου με στόχο την εξυπνοποίηση όλου του εξοπλισμού είναι αδύνατη. Έτσι, η εγκατάσταση έξυπνων οργάνων IoT με σκοπό τη συλλογή δεδομένων από τον μη ευφυή εξοπλισμό είναι το πρώτο βήμα στη διαδρομή αυτής της εξέλιξης. (Davoody-Beni et al., 2019)

Τα έξυπνα όργανα του IoT περιλαμβάνουν κυρίως διάφορα είδη ασύρματων αισθητήρων, κάμερες σαρωτή λέιζερ, GPS και όλα τα είδη εξοπλισμού συλλογής δεδομένων που μπορούν να εγκατασταθούν σε διάφορους εξοπλισμούς της βιομηχανίας παραγωγής ενέργειας, όπως ανεμογεννήτρια για τη συλλογή διαφορετικών τύπων ηλεκτρικών, μηχανικών και περιβαλλοντικών δεδομένων. Τα δεδομένα IoT και έξυπνου δικτύου, εκτός από τα έξυπνα όργανα, συλλέγονται από άλλα υποσυστήματα όπως οι απομακρυσμένες βάσεις δεδομένων, οι βάσεις GIS, οι εργαζόμενοι και άλλοι οργανισμοί και μέσω υποδομών επικοινωνίας (σύμφωνα με πρωτόκολλα επικοινωνίας που βασίζονται σε IoT ή μη IoT). Δεδομένα που συλλέγονται και περιλαμβάνουν τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του συνδρομητή, την κατανάλωση ενέργειας, τα στοιχεία κατάστασης του δικτύου, τις αναφορές αποτυχίας από τις γραμμές παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, την έξυπνη καταγραφή μέτρησης, τις εκθέσεις διαχείρισης διακοπής ρεύματος και τις συνθήκες που προβλέπονται έτσι ώστε μέσω μιας κατάλληλης υποδομής, και μετά την αποθήκευση και την επεξεργασία, τα επεξεργασμένα αποτελέσματα θα επιστραφούν στους επιθυμητούς οργανισμούς και τα εξαρτήματα. (Davoody-Beni et al., 2019)

Είναι αναγκαίο να αναφερθεί ότι ο υψηλός ρυθμός δειγματοληψίας των συλλεγόμενων δεδομένων, από τα όργανα IoT στην SG, προκαλεί ακραία αύξηση του μεγέθους των δεδομένων. Στη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας, διαφορετικά είδη οργάνων, συλλέγουν διάφορα είδη πληροφοριών. Επιπλέον, η απαιτούμενη ταχύτητα συλλογής και επεξεργασίας πληροφοριών είναι τόσο πολύ σε ένα σύστημα IoT-Έξυπνου δικτύου. Ως εκ τούτου, οι διαθέσιμες πληροφορίες στο επιθυμητό σύστημα αντιμετωπίζεται ως ένα μεγάλο τύπο δεδομένων, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την ανάλυση και τη διαχείριση των μεθόδων μεγάλων δεδομένων, όπως το υλικό, το λογισμικό, και τους αλγόριθμους. Με την ανάλυση δεδομένων, την εγκατάσταση εποπτείας, τη διαφορετική εφαρμογή της πολιτικής κατανάλωσης, τον καθορισμό των τιμολογίων, τη διαχείριση παραγωγής και κατανάλωσης, την πρόληψη διακοπών ρεύματος, τη μερική απομόνωση του δικτύου σε περίπτωση βλάβης ή βλάβης, και την πρόβλεψη φορτίου θα παρέχονται.

Με την υλοποίηση του IoT στο έξυπνο δίκτυο, θα δημιουργηθούν πολλές ευκαιρίες για τη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να δημιουργηθεί αξία με βάση καινοτόμα έργα IoT. Στην έκθεση του οργανισμού παγκόσμιας οικονομίας, στο πεδίο της ψηφιακής εξέλιξης στη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας, τέσσερα νέα ζητήματα που βρέθηκαν, όπως η διαχείριση του κύκλου ζωής των ακινήτων, η ολοκλήρωση και βελτιστοποίηση του δικτύου, η συνάντηση υπηρεσιών πελατών και άλλα θέματα πέρα από τη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας έχουν εισαχθεί. (Davoody-Beni et al., 2019)

Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές του IoT είναι το Smart Grid (SG). Το SG είναι ένα δίκτυο επικοινωνίας δεδομένων το οποίο είναι ενσωματωμένο στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

για τη συλλογή και την ανάλυση δεδομένων που αποκτώνται από τις γραμμές μεταφοράς, τους υποσταθμούς διανομής και τους καταναλωτές. Με βάση αυτά τα δεδομένα, η SG μπορεί να παρέχει προγνωστικές πληροφορίες στους προμηθευτές και τους πελάτες της σχετικά με τον καλύτερο τρόπο διαχείρισης της ισχύος (Kumar et al., 2020).

### Τομείς χρήσης IoT σε SG

Το IoT μπορεί να υποστηρίξει τεχνολογίες σε SG. Οι ολοκληρωμένες δυνατότητες ανίχνευσης και επεξεργασίας του IoT μπορούν να βελτιώσουν τις δυνατότητες SG, όπως επεξεργασία, προειδοποίηση, αυτόματη επιδιόρθωση, αποκατάσταση καταστροφών και αξιοπιστία. Ο συνδυασμός IoT και SG μπορεί να προωθήσει σημαντικά την ανάπτυξη έξυπνων τερματικών, μετρητών και αισθητήρων, εξοπλισμού πληροφοριών και συσκευών επικοινωνίας. Το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη αξιόπιστης μετάδοσης δεδομένων σε υποδομές ενσύρματων και ασύρματων επικοινωνιών σε διάφορα μέρη των SG (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, γραμμές μεταφοράς, διανομή και κατανάλωση/χρήση) ως εξής (Kumar et al., 2020):

1. Στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διαφόρων ειδών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (όπως άνθρακα, αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, βιομάζα), των εκπομπών αερίου, της αποθήκευσης ενέργειας, της κατανάλωσης ενέργειας και της πρόβλεψης της απαραίτητης ενέργειας για την παροχή στους καταναλωτές.

2. Το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, αποστολής, παρακολούθησης και προστασίας γραμμών μεταφοράς, υποσταθμών και πύργων, διαχείρισης και ελέγχου εξοπλισμού.

3. Το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην πλευρά του πελάτη σε έξυπνους μετρητές για να μετρήσει διαφορετικούς τύπους παραμέτρων, έξυπνη κατανάλωση ενέργειας, διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών δικτύων, φόρτιση και εκφόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, διαχείριση της ενεργειακής απόδοσης και της ζήτησης ενέργειας.

Τα κύρια σενάρια εφαρμογών IoT είναι τα εξής (Davoody-Beni et al., 2019):

#### 1. AMI με υψηλή αξιοπιστία:

Το AMI είναι βασικό συστατικό της SG. Το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην AMI για τη συλλογή δεδομένων, τη μέτρηση ανωμαλιών σε SG, την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ έξυπνων μετρητών, την παρακολούθηση της ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας και της κατανεμημένης ενέργειας, την ανάλυση του προτύπου κατανάλωσης από τους χρήστες.

#### 2. Έξυπνο σπίτι:

Ένα έξυπνο σπίτι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αλληλεπιδράσει με τους χρήστες και SG, να ενισχύσει τις υπηρεσίες SG, να καλύψει τη ζήτηση μάρκετινγκ, να βελτιώσει QoS, τον έλεγχο των έξυπνων συσκευών, διαβάστε τις πληροφορίες κατανάλωσης ενέργειας που συλλέγονται από έξυπνους μετρητές, και να παρακολουθεί τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

#### 3. Παρακολούθηση γραμμής μετάδοσης:

Χρησιμοποιώντας τεχνολογίες ασύρματης ευρυζωνικής επικοινωνίας, οι γραμμές μετάδοσης μπορούν να παρακολουθούνται για να εντοπίζονται προβλήματα σφαλμάτων και να εξαλείφονται.

#### 4. Σύστημα διαχείρισης βοηθών ηλεκτρικού οχήματος (Electric Vehicle - EV):

Τα βοηθητικά συστήματα διαχείρισης EV περιλαμβάνουν σταθμό φόρτισης, EV, και κέντρο παρακολούθησης. Με το GPS, οι χρήστες μπορούν να επιθεωρήσουν τους κοντινούς σταθμούς φόρτισης και τις πληροφορίες στάθμευσής τους. Το GPS θα καθοδηγήσει αυτόματα τους οδηγούς στον πλέον κατάλληλο σταθμό φόρτισης. Το κέντρο παρακολούθησης διαχειρίζεται συσσωρευτές αυτοκινήτων, εξοπλισμό φόρτισης, σταθμούς φόρτισης και βελτιστοποιεί τους πόρους.

#### 4.1.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

Έχουν προταθεί αρκετές αρχιτεκτονικές IoT για να ενσωματωθούν στο SG. Μπορούν να ταξινομηθούν σε αρχιτεκτονικές με τρία επίπεδα. Το Επίπεδο 1 περιλαμβάνει έξυπνους μετρητές, συσκευές δικτύου, και πρωτόκολλα επικοινωνίας. Το Επίπεδο 2 περιέχει συσκευές που είναι υπεύθυνες για τη λήψη δεδομένων στο κεντρικό σύστημα. Το Επίπεδο 3 περιλαμβάνει τεχνητά ευφυή συστήματα για την παροχή πληροφοριών σε συστήματα αποφάσεων και τιμολόγησης (Bosisio et al., 2019).

Στην έρευνα των Bosisio et al. (2019) παρουσιάζεται μια δομή τριών επιπέδων που περιέχει το επίπεδο αντίληψης, το επίπεδο δικτύου, και το επίπεδο εφαρμογών. Για τη συλλογή πληροφοριών, το στρώμα αντίληψης (ή το επίπεδο συσκευής) χρησιμοποιεί διαφορετικά είδη αισθητήρων (π.χ. αισθητήρα ισχύος), ετικετών και συσκευών ανάγνωσης (π.χ. ετικέτες/συσκευές ανάγνωσης RFID) ή αισθητήρα (π.χ. συσκευές GPS ή κάμερες). Το επίπεδο δικτύου περιέχει διάφορα είδη ενσύρματων και ασύρματων δικτύων επικοινωνίας που αφορούν τον κλάδο ή το δημόσιο (όπως 2G, 3G, 4G, καλωδιακή ευρυζωνικότητα, δημόσια τηλεφωνικά δίκτυα μεταγωγής, ιδιωτικά δίκτυα, Wi-Fi, ZigBee) και το Διαδίκτυο για τη χαρτογράφηση των πληροφοριών που συλλέγουν οι αισθητήρες του επιπέδου αντίληψης σε πρωτόκολλα επικοινωνίας. Χρησιμοποιείται για τη δρομολόγηση και τη μετάδοση αυτών των αντιστοιχισμένων δεδομένων στο επίπεδο εφαρμογών για την επεξεργασία, τον έλεγχο, και την πρόσβαση στο κεντρικό δίκτυο. Περιλαμβάνει κέντρα διαχείρισης και πληροφόρησης. Το επίπεδο εφαρμογών επεξεργάζεται τις πληροφορίες που λαμβάνονται από το επίπεδο δικτύου για να παρακολουθεί τις συσκευές IoT σε πραγματικό χρόνο. Χρησιμοποιεί μια ποικιλία τεχνολογιών IoT για την υλοποίηση ενός εκτεταμένου συνόλου εφαρμογών IoT και περιέχει δομή εφαρμογών. Η δομή εφαρμογών είναι υπεύθυνη για την επεξεργασία πληροφοριών, την πληροφορική, και τη διασύνδεση με τους πόρους. Το IoT μπορεί να ενοποιήσει τις τεχνολογίες πληροφοριών μέσω του επιπέδου εφαρμογών (Bosisio et al., 2019).

Στην έρευνα των Skoutas et al. (2017), οι συντάκτες πρότειναν τέσσερα επίπεδα: επίπεδο συσκευής, επίπεδο δικτύου, επίπεδο διαχείρισης cloud και επίπεδο εφαρμογών. Το επίπεδο συσκευής περιέχει δύο υποεπίπεδα: (1) το στρώμα thing (το οποίο περιέχει διαφορετικούς τύπους αισθητήρων, έξυπνοι μετρητές, έξυπνες ετικέτες, και ενεργοποιητές) για να αφουγκράζεται το περιβάλλον, να συλλέγει δεδομένα, και να ελέγχει οικιακές συσκευές και (2) το στρώμα gateway (το οποίο περιέχει μικροελεγκτές, ενότητες επικοινωνίας, και τοπική οθόνη και αποθήκευση) που ελέγχει πώς συνδέονται τα στοιχεία του στρώματος thing. Το επίπεδο δικτύου στέλνει τα δεδομένα από το επίπεδο συσκευής στο επίπεδο εφαρμογών. Το επίπεδο διαχείρισης cloud είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση και ανάλυση δεδομένων και τη διαχείριση δεδομένων και χρηστών. Το επίπεδο εφαρμογών παρέχει υπηρεσίες σε τελικούς χρήστες, όπως ιδιοκτήτες κατοικιών ή βοηθητικά προγράμματα και περιλαμβάνει διαχείριση της απόκρισης ζήτησης, δυναμική τιμολόγηση ή διαχείριση ενέργειας (Skoutas et al., 2017).

Οι Wei-Chun et al. (2017) εξέτασαν προηγούμενα μοντέλα τριών και τεσσάρων επιπέδων. Το 4ο επίπεδο στο μοντέλο τεσσάρων επιπέδων είναι το υποστηρικτικό επίπεδο που ενσωματώνει μερικές κοινές τεχνολογίες IoT. Έπειτα πρότειναν ένα μοντέλο τεσσάρων επιπέδων που περιλαμβάνει τα τρία προηγούμενα (επίπεδο αντίληψης, επίπεδο δικτύου, και επίπεδο εφαρμογής) και πρόσθεσαν ένα επιπλέον επίπεδο κοινωνικής δικτύωσης επάνω από αυτά τα τρία επίπεδα. Το κοινωνικό επίπεδο ρυθμίζει τις εφαρμογές IoT (Wei-Chun et al., 2017).

Στην πρόταση του ο Brown (2019) παρουσιάζει ένα μοντέλο πέντε επιπέδων. Τα επίπεδα που προτείνει είναι τα παρακάτω:

##### **Στρώμα πόρων ( The asset layer)**

Όλα τα στοιχεία του δικτύου που είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες και ενεργοποιητές, και η διαπαφή αυτή με το δίκτυο Smart Grid που χρησιμοποιεί συσκευές επεξεργασίας, περιγράφονται στο επίπεδο του ενεργητικού αυτής της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής. Αυτό το στρώμα συνήθως αποτελείται από ηλεκτρικές υποδομές, εκτός αυτών όμως περιλαμβάνει κτίρια και άλλες υποδομές που υποστηρίζουν λειτουργίες του δικτύου. Επειδή το δίκτυο διανομής λειτουργεί ως η κύρια διασύνδεση πλέγματος για τους πελάτες, αυτό το επίπεδο μπορεί επίσης να περιέχει πόρους των πελατών που παράγουν και χρησιμοποιούν δεδομένα όπου απαιτείται ενοποίηση δικτύου επικοινωνίας δεδομένων.



### **Επίπεδο συσκευής (The device layer)**

Στα περισσότερα σύγχρονα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας οι συσκευές έξυπνων υποσταθμών χρησιμοποιούνται για να παρέχουν δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων, αποθήκευσης και επικοινωνίας στο δίκτυο. Άλλες τεχνολογίες υποσταθμών που προσφέρουν παρόμοια χαρακτηριστικά μπορούν να περιλαμβάνουν έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές (IED) και απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (RTU) που συνήθως υλοποιούνται με συστήματα όπως SCADA ή SAS. Το επίπεδο συσκευής αντιπροσωπεύει όλες αυτές τις συσκευές που επιτρέπουν στις υποδομές του δικτύου να διασυνδέονται με το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο του έξυπνου δικτύου για την ανταλλαγή δεδομένων. Οι ενσωματωμένες δυνατότητες επεξεργασίας σε αυτές τις συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάφραση ή το φιλτράρισμα των δεδομένων που συλλέγονται και την ενεργοποίηση ενεργειών ελέγχου. Άλλο υλικό στο επίπεδο συσκευών μπορεί να είναι συσκευές δικτύου, όπως μεταγωγείς, δρομολογητές, και πύλες, καθώς και συσκευές ασφαλείας και συσκευές αποθήκευσης.

### **Επίπεδο δικτύου (The network layer)**

Το επίπεδο δικτύου αντιπροσωπεύει τις διασυνδέσεις επικοινωνίας δεδομένων μεταξύ όλων των δικτυωμένων συσκευών. Ο σχεδιασμός του επιπέδου δικτύου ξεκινά με την επιλογή των βέλτιστων μέσων επικοινωνίας, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις απόδοσης, τη διαθέσιμη υποδομή, και τους πιθανούς κινδύνους σε περιοχές κάλυψης του δικτύου. Τα ενσύρματα μέσα επικοινωνίας, όπως ο χαλκός, το PLC και οι οπτικές ίνες, παρέχουν τα πλεονεκτήματα των φυσικών συνδέσεων μεταξύ συσκευών που είναι λιγότερο επιρρεπείς σε παρεμβολές και ασφαλέστερες, αν και συνήθως είναι πιο δαπανηρές στην εγκατάσταση σε μεγάλες περιοχές κάλυψης. Η ασύρματη επικοινωνία είναι πιο ευέλικτη και μπορεί να καλύπτει μεγαλύτερες αποστάσεις αν χρησιμοποιούνται μέθοδοι ασύρματης επικοινωνίας μεγάλης εμβέλειας, όπως το LPWAN (Low Powered Wide Area Networks — Δίκτυα Ευρείας Περιοχής Χαμηλής Ισχύος) ή τα κυψελοειδή δίκτυα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, για να πληρούνται διαφορετικές απαιτήσεις σε διαφορετικά τμήματα ενός έξυπνου δικτύου πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο χρήσης ενός συνδυασμού ενσύρματων και ασύρματων δικτύων.

Ο σχεδιασμός του επιπέδου δικτύου πρέπει επίσης να ορίζει τα διαφορετικά δίκτυα που θα υπάρχουν σε ένα έξυπνο πλέγμα. Επίσης, στο σχεδιασμό του επιπέδου δικτύου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα πρότυπα και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται σε δίκτυα Έξυπνων Δικτύων. Οι περισσότερες συσκευές έξυπνου δικτύου θα έρχονται με ένα προκαθορισμένο σύνολο προτύπων επικοινωνίας που υποστηρίζουν και τα δίκτυα επικοινωνίας θα πρέπει να σχεδιάζονται για να διασυνδέονται με ετερογενείς συσκευές από 9 διαφορετικούς κατασκευαστές. Η μετατροπή πρωτοκόλλου μπορεί να υλοποιηθεί με τη χρήση συσκευών πύλης ή εικονικά διαμορφωμένων εφαρμογών μετάφρασης. Οι απαιτήσεις διεπαφής με άλλα δίκτυα, όπως τα επιχειρησιακά δίκτυα και το διαδίκτυο, πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη.

### **Επίπεδο ελέγχου (The control layer)**

Το επίπεδο ελέγχου αντιπροσωπεύει τις δυνατότητες που υποστηρίζουν τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές έξυπνων δικτύων, ελέγχοντας και αλληλεπιδρώντας με τα υποκείμενα επίπεδα. Τα στοιχεία του επιπέδου ελέγχου βασίζονται σε διασυνδέσεις προέλευσης για να αλληλεπιδρούν με συσκευές στο επίπεδο συσκευής μέσω του επιπέδου δικτύου. Το πρωτόκολλο Openflow είναι παράδειγμα διασύνδεσης southbound που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των μεταγωγέων δικτύου σε μια υλοποίηση SDN. Διαφορετικά στοιχεία επιπέδου ελέγχου μπορούν επίσης να διασυνδέονται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας διασυνδέσεις που συνδέονται ανατολικά και δυτικά.

### **Επίπεδο εφαρμογής (The application layer)**

Το επίπεδο εφαρμογής ορίζει τις διάφορες εφαρμογές που υλοποιούνται στο έξυπνο δίκτυο, ευθυγραμμισμένες με τις λειτουργίες που εκτελούν οι χειριστές του πλέγματος για να ικανοποιούν συγκεκριμένους στόχους. Οι εφαρμογές έξυπνων δικτύων μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Οι λειτουργικές εφαρμογές έξυπνων δικτύων εκτελούν λειτουργίες που συνδέονται άμεσα με τους στόχους του έξυπνου δικτύου, όπως παρακολούθηση και έλεγχος του δικτύου, μέτρηση, προστασία του δικτύου ή απόκτηση δεδομένων για αναλύσεις που υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων. Οι εφαρμογές υποστήριξης διαχειρίζονται συστήματα που υποστηρίζουν τις εφαρμογές έξυπνων δικτύων. Σχετικά παραδείγματα είναι οι εφαρμογές διαχείρισης δικτύου, διαχείρισης αποθήκευσης, διαχείρισης ασφάλειας και διαχείρισης συσκευών.

### 4.1.3 ΤΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ

Για να χρησιμοποιηθεί Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) σε Έξυπνο Δίκτυο (SG), θα πρέπει να υπάρχουν ορισμένες τεχνολογίες και να πληρούνται ορισμένες απαιτήσεις. Οι εν λόγω απαιτήσεις είναι οι εξής (Hussain & Beg, 2019):

1. Τεχνολογίες επικοινωνίας:  
Οι τεχνολογίες επικοινωνιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη και τη μετάδοση πληροφοριών που έχουν αποκτηθεί σχετικά με την κατάσταση των συσκευών της SG. Έχουμε πρότυπα τεχνολογίας επικοινωνιών μικρής και μεγάλης εμβέλειας. Οι τεχνολογίες ZigBee, Bluetooth και υπερ-ευρείας ζώνης είναι παραδείγματα τεχνολογιών επικοινωνίας μικρής εμβέλειας. Για επικοινωνίες μεγάλης εμβέλειας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν επικοινωνίες γραμμής ισχύος, οπτικές ίνες, ασύρματα κυψελωτά δίκτυα όπως 3G και 4G και δορυφορικές επικοινωνίες.
2. Τεχνικές σύντηξης δεδομένων:  
Επειδή οι πόροι των τερματικών IoT (όπως μπαταρίες, μνήμη και εύρος ζώνης) είναι περιορισμένοι, δεν είναι δυνατή η αποστολή όλων των πληροφοριών στον προορισμό. Έτσι, για να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της συλλογής πληροφοριών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές σύντηξης δεδομένων για τη συλλογή και το συνδυασμό δεδομένων.
3. Διαδικασία συγκομιδής ενέργειας:  
Δεδομένου ότι οι περισσότερες συσκευές IoT χρησιμοποιούν την μπαταρία ως μία από τις κύριες πηγές ισχύος τους, η διαδικασία συλλογής ενέργειας είναι πολύ σημαντική για εφαρμογές IoT, π.χ. χρησιμοποιώντας διαφορετικούς αισθητήρες και κάμερες για την παρακολούθηση των διαφορετικών μερών ενός έξυπνου δικτύου.
4. Λειτουργώντας σε σκληρά περιβάλλοντα:  
Οι συσκευές IoT που εγκαθίστανται σε γραμμές μετάδοσης υψηλής τάσης και υποσταθμούς πρέπει να λειτουργούν σε αντίξοα περιβάλλοντα. Έτσι, για να επεκτείνουμε τη διάρκεια ζωής των αισθητήρων τους σε αυτές τις συνθήκες, θα πρέπει να έχουμε αισθητήρες που θα είναι υψηλής ή χαμηλής θερμοκρασίας ανθεκτικοί, αντι-ηλεκτρομαγνητικά, ή αδιάβροχοι.
5. Αξιοπιστία:  
Οι εφαρμογές IoT σε διαφορετικά περιβάλλοντα πρέπει να ικανοποιούν διαφορετικές απαιτήσεις, όπως αξιοπιστία, αυτο-οργάνωση ή αυτόματη επιδιόρθωση. Έτσι, με βάση το πραγματικό περιβάλλον, κατάλληλη συσκευή IoT πρέπει να επιλεγεί για να κατακλύσει τα περιβαλλοντικά ζητήματα. Για παράδειγμα, όταν ορισμένες συσκευές δεν μπορούν να στείλουν δεδομένα λόγω έλλειψης ενέργειας, πρέπει να βρεθεί μια νέα διαδρομή για τα δεδομένα ώστε η αξιοπιστία του δικτύου να παραμένει στο απαιτούμενο επίπεδο.
6. Ασφάλεια:  
Οι μέθοδοι ασφαλείας πρέπει να εφαρμόζονται σε όλα τα επίπεδα IoT για τη μετάδοση, την αποθήκευση και τη διαχείριση δεδομένων, την αποφυγή διαρροής και απώλειας πληροφοριών και την προστασία δεδομένων.
7. Αισθητήρες:  
Οι αισθητήρες μετρούν ποσότητες όπως ρεύμα, τάση, συχνότητα, θερμοκρασία, ισχύ, φως, και άλλα σήματα και παρέχουν τις πρώτες πληροφορίες για επεξεργασία, μετάδοση, και ανάλυση. Πρόσφατα, η νανοτεχνολογία χρησιμοποιείται για να παρέχει υλικό υψηλής απόδοσης που καλύπτει διαφορετικές εφαρμογές αισθητήρων και ενισχύει την ανάπτυξη της βιομηχανίας αισθητήρων.

## 4.2 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

### 4.2.1 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΠΕΛΑΤΩΝ

Η αποτελεσματική επικοινωνία με τους πελάτες είναι υψίστης σημασίας για κάθε βοηθητικό πρόγραμμα που εγκαθιστά έξυπνους μετρητές και συστήματα βασισμένα στον πελάτη, αλλά μπορεί να παρουσιάσει προκλήσεις τόσο για το βοηθητικό πρόγραμμα όσο και για τον πελάτη. Σε πολλές περιπτώσεις, οι πελάτες έχουν μικρή εμπειρία με τους έξυπνους μετρητές, τα ωριαία δεδομένα που παρέχουν ή τον τρόπο διαχείρισης της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας και το κόστος τους σε καθημερινή ή ακόμα και σε ωριαία βάση σε κρίσιμα συμβάντα αιχμής. Παρόμοια, αυτές οι τεχνο-

λογίες είναι νέες για τους οργανισμούς κοινής ωφέλειας και πολλές από αυτές αποκτούν τεχνολογική εμπειρογνωμοσύνη κατά την υλοποίηση των συστημάτων, ενώ ταυτόχρονα επικοινωνούν με τους πελάτες τους. Η πρόκληση αυτή περιπλέκεται από το πλήθος των νέων και αλληλεξαρτώμενων τεχνολογιών και τεχνικών που εισάγουν οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, συμπεριλαμβανομένων προγραμμάτων διαχείρισης του χρόνου και του φορτίου· νέες συσκευές, όπως οθόνες στο σπίτι (in-home displays - IHD), προγραμματιζόμενες θερμοστάτες επικοινωνίας (programmable communicating thermostats - PCT) και δίκτυα οικιακής περιοχής (home area networks - HAN) και πληροφοριακά συστήματα, όπως διαδικτυακές πύλες, αριθμομηχανές σύγκρισης λογαριασμών, και λογισμικό διαχείρισης ενέργειας (Ogbodo et al., 2017).

Η σωστή επικοινωνία με τους πελάτες είναι απαραίτητη για την επιτυχία. Δίνει τη δυνατότητα στους πελάτες να αυξήσουν τη συμμετοχή τους στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας συμμετέχοντας στη διαχείριση από την πλευρά της ζήτησης, ακόμη και εγκαθιστώντας καταναλωμένους ενεργειακούς πόρους, όπως φωτοβολταϊκές συστοιχίες οροφών και συστήματα συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού. Οι εταιρείες κοινής ωφέλειας κατανοούν ότι απαιτείται πιο συχνή και πληροφοριακή επικοινωνία με τους πελάτες -είτε πρόσωπο με πρόσωπο, στο τηλέφωνο, είτε πιο συχνά ηλεκτρονικά, με τη χρήση αυτοματοποιημένων μηνυμάτων και απαντήσεων. Το Διαδίκτυο και τα διαδικτυακά εργαλεία, συμπεριλαμβανομένων των μέσων κοινωνικής δικτύωσης, χρησιμοποιούνται ευρέως, όπως συμβαίνει σε όλες σχεδόν τις δραστηριότητες μάρκετινγκ. Εξίσου σημαντικές είναι και οι παραδοσιακές τεχνικές, όπως οι δημόσιες συσκέψεις, η αλληλογραφία, και οι τηλεφωνικές κλήσεις (Ogbodo et al., 2017).

Τα πιλοτικά προγράμματα διαπιστώνουν ότι δεν υπάρχει ένας και μοναδικός σωστός τρόπος, και συχνά απαιτούνται αρκετές μέθοδοι επικοινωνίας με τους πελάτες (Ogbodo et al., 2017):

- Μέθοδοι ειδοποίησης των πελατών και εκπαιδευτικές στρατηγικές: Αυτό περιλαμβάνει ηλεκτρονικές και άλλες γνωστοποιήσεις τόσο της κατάστασης χρέωσης όσο και των ανακοινώσεων «ημέρα πριν» των κρίσιμων ημερών αιχμής. Για να λειτουργήσουν σωστά αυτές οι προσπάθειες, τα μηνύματα πρέπει να παραδοθούν και να ληφθούν με επιτυχία.
- Κοινοτική προσέγγιση και δημόσιες συνεδριάσεις: Οι συναντήσεις αυτές διαδραματίζουν πολύτιμο ρόλο στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης των έξυπνων μετρητών για την ευαισθητοποίηση και την προβολή πιθανών προβλημάτων. Οι ανησυχίες του κοινού σχετικά με τους έξυπνους μετρητές έχουν οδηγήσει αρκετά κράτη να προσφέρουν προγράμματα "εξαίρεσης". Οι προσπάθειες κοινοτικής προσέγγισης, σε αρκετές περιπτώσεις, έχουν δείξει οφέλη στην αντιμετώπιση των ανησυχιών των πελατών.
- Τηλεφωνικά κέντρα, πύλες Ιστού, και συσκευές πελατών: Αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούνται ευρέως από τις ηλεκτρικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και σε άλλους επιχειρηματικούς τομείς, αλλά οι προκλήσεις των έξυπνων συστημάτων μέτρησης και πελατών έχουν προκαλέσει πολλά από τα έργα SGIG να δοκιμάσουν νέες ιδέες και να εφαρμόσουν προσεγγίσεις που δεν έχουν δοκιμάσει ποτέ πριν.

Συλλογικά, τα βοηθητικά προγράμματα που είναι πιλοτικά έργα έξυπνων μετρητών και συστημάτων πελατών έχουν αυξήσει τις καμπύλες μάθησης, έχουν εντοπίσει λάθη και έχουν καθορίσει βέλτιστες πρακτικές καθώς ελέγχουν και αξιολογούν διάφορες προσεγγίσεις στην επικοινωνία με τους πελάτες (Ogbodo et al., 2017).

#### 4.2.2 SMART METERING

Η βελτίωση των SG δεν προωθείται μόνο από τις ευφυείς ενεργειακές υποδομές και τα ηλεκτρονικά ισχύος, αλλά και από τις υψηλού επιπέδου υποδομές πληροφόρησης, την παρακολούθηση, τη μέτρηση και τις λειτουργίες μέτρησης που παρέχουν μια διαδεδομένη επικοινωνιακή υποδομή. Ως εκ τούτου, πρέπει να σημειωθεί ότι η αμφίδρομη ροή στην οποία βασίζεται το SG απαιτείται τόσο για την επικοινωνία όσο και για την ενέργεια. Ως εκ τούτου, τα SG είναι πλήρως κατασκευασμένα με τα καταναλωμένα πληροφοριακά συστήματά τους ενσωματωμένα σε κόμβους παραγωγής, μεταφοράς, διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτήν την ενότητα διερευνώνται οι απαιτήσεις για έξυπνες μετρήσεις, όπως οι αισθητήρες, τα δίκτυα, και οι μονάδες PMU, ενώ σε έξυπνες λύσεις μέτρησης, όπως οι AMI, AMR, και AMM (Kumar et al., 2019).

Η διαλείπουσα δομή του DER είναι ευρέως γνωστή και εξετάζεται στο πλαίσιο εφαρμογών SG, όπου τα δίκτυα μέτρησης θα πρέπει να οργανώνονται ακριβώς για να αντιμετωπίσουν αυτό το ζήτημα. Επιπλέον, η αλληλεπίδραση των μη γραμμικών φορτίων στο πλέγμα, τις νομοθεσίες και τα ζητήματα αξιοπιστίας εμπνέουν έναν ζωτικό ρόλο για τη διάχυτη υποδομή παρακολούθησης και μέτρησης. Η αξιοπιστία και η βιωσιμότητα της υποδομής των SG εξαρτάται από τον εκτεταμένο έλεγχο της διαχείρισης και των μετρήσεων που ενσωματώνεται στα πιο πρόσφατα συστήματα επικοινωνίας. Η αξιοπιστία της SG είναι αρκετά σημαντικό να αποτρέψει τα σφάλματα που προκαλούν διακοπές που κοστίζουν \$25B-\$180B ετησίως στην αμερικανική οικονομία. Ένα έντονα σχεδιασμένο σύστημα μέτρησης μπορεί να μειώσει ή να αποτρέψει τα σφάλματα και να αυξήσει τον λόγο βιωσιμότητας του πλέγματος. Εκτός από την πρόληψη, τα συστήματα μέτρησης είναι ουσιώδη για τον εντοπισμό των σφαλμάτων στις γραμμές μεταφοράς μεγάλων αποστάσεων, μειώνοντας τους χρόνους διακοπής και το κόστος (Kumar et al., 2019).

Η προοπτική μέτρησης χειρίζεται τα SG ως δίκτυο ισχύος που είναι ενσωματωμένο σε καταναλωμένα συστήματα μέτρησης και απαιτεί να λειτουργεί με διάφορες δυνατότητες ελέγχου και προστασίας. Ο διαχειριστής συστήματος διανομής (distribution system operator) είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία, τη συντήρηση, και τη βελτίωση του συστήματος διανομής με την εντοπισμό του μέσω πολλών άλλων συστημάτων. Αυτός ο μηχανισμός ελέγχου απαιτεί ένα σύστημα διαχείρισης της διανομής (distribution management system - DMS) που παράγει διάφορες υποδομές και επίπεδο ελέγχου, συμπεριλαμβανομένων των καθηκόντων μέτρησης, παρακολούθησης και εκτίμησης. Το DMS θα πρέπει επίσης να εξετάσει τις μετρήσεις της ποιότητας ισχύος προκειμένου να εξασφαλίσει τα χαρακτηριστικά ονομαστικής τάσης και ρεύματος που παραδίδονται στις θέσεις φορτίου (Jain et al., 2014).

Από την άλλη πλευρά, η πλευρά των μετρήσεων SG περιλαμβάνει σύστημα διαχείρισης ενέργειας (energy management system – EMS) με υποσυστήματα μέτρησης. Το πλαίσιο του EMS κατατάσσεται σε δύο τύπους ως κεντρικό και αποκεντρωμένο, όπου το κεντρικό EMS περιλαμβάνει ευφυείς αλγόριθμους και λογισμικό, ενώ το αποκεντρωμένο σύστημα χρησιμοποιεί λογικές εφαρμογές που είναι διαδεδωμένες σε ολόκληρο το σύστημα. Το EMS θα πρέπει να μετρά και να εκτιμά την ενεργό και αντιδραστική ισχύ που παρέχεται από το DER, τη ζήτηση φορτίου και την κατάσταση υπερφόρτωσης, τις απώλειες, τις πτώσεις τάσης και τα περιστατικά υπερτάσης στο ενεργό δίκτυο. Ωστόσο, υπάρχει μεγάλη ασάφεια που επηρεάζει την ακρίβεια και την αξιοπιστία της λειτουργίας EMS κατά τη διάρκεια των κύκλων μέτρησης. Ως εκ τούτου, η ροή δεδομένων με πολύ υψηλή ανακρίβεια προκαλεί σφάλματα στη λειτουργία του EMS τα οποία έχουν μη αναμενόμενα κόστη (Jain et al., 2014).

Τα σφάλματα των μετρήσεων μπορεί να προκαλούνται από σφάλματα που ταξινομούνται ως μόνιμα και προσωρινά. Αν και οι μόνιμες βλάβες εντοπίζονται εύκολα με παραδοσιακές μεθόδους, οι προσωρινές βλάβες προκαλούν κρίσιμα προβλήματα, δεδομένου ότι δεν μπορούν να ανιχνευθούν γρήγορα και οφείλονται κυρίως σε βλάβες γραμμής προς έδαφος και γραμμής που προκαλούνται από φυσικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Έχει αναφερθεί ότι οι μετρήσεις PMU πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις του προτύπου IEEE C37.118. Οι απαιτήσεις που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για άλλες μετρήσεις SG ορίζονται επίσης από διάφορα πρότυπα όπως το IEC61000-4-30 για την ποιότητα παροχής, το πρότυπο IEEE 1588 για πρωτόκολλο χρόνου ακριβείας σε συστήματα διανομής, πρότυπο IEEE 2030-2011 για τις αναφορές διαλειτουργικότητας των έξυπνων δικτύων. Η σειρά IEEE 1547 ορίζεται με πρότυπο IEEE Std 1547.4 που είναι για προγραμματισμένα νησιά / μικρο-δίκτυα και πρότυπο IEEE Std 1547.6 αφορά τη διασύνδεση σε δευτερεύοντα δίκτυα διανομής και το P1547.8 που εκκινήθηκε πρόσφατα, το οποίο ασχολείται με την εκτεταμένη χρήση του προτύπου IEEE Std. 1547. Από την άλλη πλευρά, το IEEE1588-PTP είναι διαθέσιμο για πρωτόκολλο χρόνου ακριβείας, ενώ η σειρά προτύπων IEC 61850 παρουσιάζει κανονισμούς για δίκτυα και συστήματα επικοινωνιών σε υποσταθμούς (Kabalcı, 2016).

Η έξυπνη μέτρηση (smart metering) πραγματοποιείται με τη χρήση ενός SM που μετρά την κατανάλωση ενέργειας οποιουδήποτε πελάτη. Ως εκ τούτου, οι AMR θα πρέπει να είναι σε θέση να ανιχνεύουν τους ρυθμούς κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, αποτυπώνοντας την τάση, τη γωνία φάσης και τη συχνότητα. Η ενότητα μέτρησης ενός SM περιλαμβάνει τον έλεγχο τιμολόγησης του χρόνου χρήσης, το σύστημα διαχείρισης δεδομένων και το πλαίσιο AMR. Τα στοιχεία επικοινωνίας ενός έξυπνου δικτύου μπορεί να περιλαμβάνουν μεθόδους ενσύρματης σύνδεσης, όπως επικοινωνία γραμμής ισχύος (power line communication - PLC) ή ασύρματες

επικοινωνίες. Η επικοινωνιακή υποδομή θα πρέπει να επιτρέπει αμφίδρομη ροή δεδομένων ώστε να επιτρέπει στις ΜΜΕ να λαμβάνουν δεδομένα σχετικά με το δίκτυο πελατών και επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας. Ως εκ τούτου, το τμήμα επικοινωνίας ενός SM περιλαμβάνει υποδομή σύνδεσης και ελέγχου δικτύου που επιτρέπει στο μετρητή να επικοινωνεί με απομακρυσμένα κέντρα και να εκτελεί τις εντολές ελέγχου (Murat & Ercan, 2021).

Εκτός από τις δύο κύριες ενότητες, οι ενότητες ενός SM περιλαμβάνουν μονάδα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, μονάδα ελέγχου, ενότητα μέτρησης, ενότητα χρονισμού, ενότητα επικοινωνίας, ενότητα κωδικοποίησης και ενότητα χρονισμού. Εκτός από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του SM, η μονάδα καταγραφής αποθηκεύει τις πληροφορίες των καταναλωτών, συμπεριλαμβανομένων των καταναλώσεων ενέργειας, ημερομηνία, συντελεστή ισχύος και ούτω καθεξής. Η μονάδα μέτρησης αποκτά αμέσως και μετρά τις τιμές τάσης και ρεύματος απομονώνοντας τον SM από το πλέγμα χρησιμότητας. Η μονάδα τιμολόγησης εκτελεί για την παραγωγή του λογαριασμού ηλεκτρικού ρεύματος λαμβάνοντας υπόψη τις χρονικές σφραγίδες, ενώ η ενότητα χρονισμού παρέχει σημεία αναφοράς σε αυτήν την ενότητα. Επιπλέον, οι SM μπορούν να διαχειρίζονται την ενεργειακή ζήτηση των πελατών περιορίζοντας την κατανάλωση ή συνδέοντας και αποσυνδέοντας από απόσταση άλλες προμήθειες. Πιστεύεται ότι οι SM θα κατέχουν ζωτικής σημασίας ρόλους στις μελλοντικές εφαρμογές έξυπνων δικτύων λόγω της δυνατότητας κλιμάκωσης, της διαχείρισης σε πραγματικό χρόνο και των χαρακτηριστικών ασφαλείας τους. Η αρχιτεκτονική των σημείων πρόσβασης είναι επίσης απαραίτητη για την επικοινωνία με αρκετές εκατοντάδες SM σε μια περιοχή που υλοποιείται παρόμοια με τις δομές των κελιών. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ζητήματα ασφαλείας για την προστασία των δεδομένων τιμολόγησης και των SM (Murat & Ercan, 2021).

Υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την απομακρυσμένη παρακολούθηση των SM με σκοπό την αύξηση της διαχείρισης δικτύου και της ασφάλειας μέτρησης. Επιπλέον, η απομακρυσμένη παρακολούθηση των ΜΜΕ επιτρέπει στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να προλαμβάνουν τις παράνομες χρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας που μπορούν να ανιχνευθούν από στατιστικά στοιχεία που έχουν αποκτηθεί από τις SM. Τα χαρακτηριστικά AMI του SM επιτρέπουν τη διαχείριση αμφίδρομης επικοινωνίας που καθιστά τον SM ικανό να λειτουργεί εντολές ελέγχου που αποστέλλονται από την εταιρεία κοινής ωφέλειας. Από την ευκαιρία ελέγχου των SM, αντιμετωπίζουν διάφορες απειλές για μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση σε θέματα ασφαλείας, ασφάλειας και προστασίας του προσωπικού απορρήτου. Οι μη εξουσιοδοτημένες προσβάσεις και επιθέσεις κάνουν το έξυπνο δίκτυο ευάλωτο σε κακόβουλες εφαρμογές. Πολυάριθμα σενάρια, έρευνες για την προστασία και πρακτικές κυβερνοπολέμου διερευνώνται εκτενώς για να αποτραπούν οι SM να δημιουργήσουν νέους κινδύνους στα έξυπνα δίκτυα (Murat & Ercan, 2021).

Εκτός από τα θέματα ασφαλείας, η μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στις SM μπορεί να προκαλέσει παραποίηση και απώλειες χρεώσεων. Οι SM απαιτούν την άρνηση όλων αυτών των κακόβουλων προσβάσεων χρησιμοποιώντας αξιόπιστο λογισμικό. Η απαίτηση αυτή ορίζεται με τον όρο ασφαλούς επεξεργασίας σήματος (secure signal processing - SSP) που προστατεύει τα ευαίσθητα δεδομένα μέσω της κρυπτογράφησης αλγορίθμων και της κατάλληλης αντιμετώπισης των σφαλμάτων ασφαλείας SM. Οι πιο πρόσφατες έρευνες προτείνουν τιμολόγηση για τη διατήρηση της ιδιωτικής ζωής και ασφαλή απόκτηση δεδομένων σε έξυπνα δίκτυα. Η SSP αποτελεί έναν από τους εν λόγω ισχυρούς μηχανισμούς επικοινωνίας που βασίζονται στην αποτροπή της άνευ αδείας πρόσβασης σε ιδιωτικά δεδομένα. Ο μηχανισμός ασφαλείας βασίζεται στην κρυπτογράφηση που παρέχει την επεξεργασία δεδομένων σε κρυπτογραφικές μορφές αντί σε απλά κείμενα (Murat & Ercan, 2021).

Στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται ορισμένες πολύτιμες μελέτες σχετικά με την ιδιωτική ζωή των SM και την ασφαλή τιμολόγηση. Η έξυπνη μέτρηση συναντά διάφορα συμφέροντα απορρήτου από τα μέσα ενημέρωσης, τους ειδικούς στα δεδομένα και τους καταναλωτές. Το προσωπικό απόρρητο σχετίζεται με διάφορες πτυχές, όπως η μέτρηση, η μεταφορά και η αποθήκευση μεταξύ των μετρητών και της λειτουργικής υπηρεσίας. Σε περίπτωση που το προσωπικό απόρρητο επαρκεί, ο καθένας μπορεί να εισβάλλει στο σύστημα και να λαμβάνει ή να αλλάζει τυχόν αποθηκευμένα δεδομένα. Αυτή η παρείσφρηση μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητα γεγονότα όπως καταχρήσεις θερμαντήρων, ψυγείων, κτλ (Murat & Ercan, 2021).

#### 4.2.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η διαχείριση και συντήρηση δικτύου περιγράφει τα προβλεπόμενα σχέδια συντήρησης, αντικατάστασης στοιχείων ενεργητικού και έκτακτης ανάγκης για κάθε στοιχείο του δικτύου και παρέχει λεπτομέρειες σχετικά με τις δαπάνες που σχετίζονται με καθένα από αυτά τα σχέδια. Η γήρανση των περιουσιακών στοιχείων, η αβεβαιότητα στο προφίλ της ζήτησης φορτίου και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η διαχείριση της ζήτησης δημιουργούν μια πρόκληση για τη βέλτιστη συντήρηση και λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου. Η αποτελεσματική διαχείριση των περιουσιακών στοιχείων των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας έχει αποτελέσει προτεραιότητα για τις εταιρείες κοινής ωφέλειας. Ως μέσο βελτίωσης της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας, μεριμνώντας για την κατασκευή και τη συντήρηση εγκαταστάσεων σε κατάλληλο επίπεδο επενδύσεων και ποιότητας (Hanai et al., 2013).

Η εξισορρόπηση των λειτουργικών δαπανών και του κόστους κεφαλαίου ώστε να παρέχεται η βέλτιστη αξία για τους πελάτες και τους μετόχους των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας είναι ο κύριος στόχος της διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων. Το έργο έχει γίνει πιο περίπλοκο, με το κλιμακούμενο κόστος των νέων εγκαταστάσεων και των εγκαταστάσεων αντικατάστασης. Οι περισσότεροι οργανισμοί κοινής ωφέλειας χρησιμοποιούν κάποια μορφή αυτοματισμού για την αντιμετώπιση του προβλήματος, προσαρμοσμένη στις μοναδικές επιχειρηματικές διεργασίες της κατασκευής και συντήρησης των εγκαταστάσεων. Με την έλευση της τεχνολογίας Smart Grid προσθέτονται τουλάχιστον δύο διαστάσεις στο πρόβλημα διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων (asset management - AM). Πρώτον, υπάρχουν ορισμένοι νέοι τύποι συσκευών παρακολούθησης και ελέγχου που προστίθενται ή θα προστεθούν στο δίκτυο, από τους υποσταθμούς και τους αισθητήρες γραμμής έως τους έξυπνους μετρητές. Τα μοντέλα πόρων πολλών βοηθητικών προγραμμάτων θα πρέπει να επεκταθούν για να προστεθούν αυτές οι νέες συσκευές, ενώ ορισμένοι υπάρχοντες πόροι, όπως οι έξυπνοι μεταγωγείς, θα αλλάξουν και θα αυτοσχεδιαστούν για να προσαρμοστούν στο νέο περιβάλλον. Δεύτερον, ο ορισμός ενός κρίσιμου περιουσιακού στοιχείου θα εξελιχθεί και αναμφίβολα θα διευρυνθεί για να συμπεριλάβει περισσότερο το δίκτυο διανομής (Jung et al., 2019).

Η παραδοσιακή προσέγγιση της διαχείρισης των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας μέσω της χρήσης ποικίλων, πολλαπλών, συγχρονισμένων βάσεων δεδομένων και διασυνδεδεμένων συστημάτων πιθανότατα δεν θα είναι σε θέση να διαχειριστεί τις απαιτήσεις που τίθενται στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας για να λειτουργούν τα συστήματα διανομής τους με πιο έξυπνο τρόπο. Στο δυναμικό έξυπνο δίκτυο, δεν θα είναι πλέον εφικτό να βασιστεί σε καταναμημένα συστήματα τεχνολογίας με μεγάλο αριθμό διασυνδέσεων ή να έχει πολλαπλά περιστατικά πόρων που απαιτούν συνεχή συγχρονισμό. Για τον εξορθολογισμό της διαδικασίας διαχείρισης πόρων, τα βοηθητικά προγράμματα θα πρέπει να εργάζονται για την επίτευξη εξειδικευμένων εφαρμογών λογισμικού με μεγάλες απαιτήσεις (Jung et al., 2019).

Ο στόχος αυτού του οράματος είναι η δημιουργία μιας μοναδικής παρουσίας ενός περιουσιακού στοιχείου και η διαχείριση των ενημερώσεων μέσω μιας ενοποιημένης διαδικασίας. Για την κατάργηση της χρήσης βάσεων δεδομένων «ειδικού σκοπού» για τα στοιχεία ενεργητικού των SG, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας θα πρέπει να εξετάσουν το ενδεχόμενο να επικεντρωθούν σε μία ενιαία πλατφόρμα στοιχείων ενεργητικού. Για παράδειγμα, πολλά βοηθητικά προγράμματα χρησιμοποιούν το ίδιο λογισμικό AM για τον εξοπλισμό ισχύος. Με κάποια εργασία, αυτή η εφαρμογή θα μπορούσε να εφαρμοστεί για τη διαχείριση των πρόσθετων πόρων που έρχονται μαζί με την εποχή SG, συμπεριλαμβανομένων του εξοπλισμού επικοινωνιών, των έξυπνων συσκευών και του εξοπλισμού που απαιτούνται για τη διαχείριση της καταναμημένης παραγωγής. Η ενοποίηση δεν θα είναι ανώδυνη, αλλά θα μειώσει τον αριθμό των συστημάτων που αφορούν τη διαχείριση πόρων, θα απλοποιήσει τις επιχειρηματικές διεργασίες και θα απλοποιήσει σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον τεχνολογίας πληροφοριών (ΤΠ) (Jung et al., 2019).

Τα δεδομένα προηγμένης υποδομής μετρητή (Advanced Meter Infrastructure - AMI) δίνουν στο βοηθητικό πρόγραμμα πληροφορίες για να ξεκλειδώσει μεγαλύτερη αξία. Ωστόσο, αυτές οι πληροφορίες είναι διαθέσιμες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο αν το βοηθητικό πρόγραμμα έχει μια πλήρως λειτουργική και προσβάσιμη αποθήκη δεδομένων. Η απαίτηση αυτή αποτελεί βασικό κίνητρο για πολλές εφαρμογές συστημάτων διαχείρισης δεδομένων μετρητών (Meter Data Management Systems - MDMS) στο πλαίσιο πρωτοβουλιών έξυπνων μετρητών. Η

διαθέσιμη στρατηγική για την παραγωγή και τον προγραμματισμό έχει τους εξής περιορισμούς (Jung et al., 2019):

α. Ο έλεγχος τάσης επιτυγχάνεται με συσκευές όπως τράπεζες πυκνωτών, ρυθμιστές τάσης και μετασχηματιστές βρύσης που έχουν εντοπισμένα χειριστήρια. Αυτά τα συστήματα λειτουργούν καλά για τα σύγχρονα ακτινωτά κυκλώματα, αλλά δεν χειρίζονται καλά τις αναδιαμορφώσεις των κυκλωμάτων και τις επιπτώσεις της τάσης της τοπικής παραγωγής, με αποτέλεσμα να τίθενται όρια στους τρόπους με τους οποίους μπορούν να διευθετούνται κυκλώματα και να επιβάλλονται τα σημαντικά όρια στη διείσδυση των κατανεμημένων πόρων. Μερικές φορές αυτοί οι τοπικοί έλεγχοι επίσης προκαλούν μεγάλες διακοπές ρεύματος.

β. Έχουν τεθεί σε λειτουργία ελάχιστες υποδομές μέτρησης και επικοινωνίας για να βοηθήσουν στην αποκατάσταση μετά από σφάλματα στο σύστημα.

γ. Δεν υπάρχει αποτελεσματική επικοινωνιακή υποδομή για τη διευκόλυνση της διαχείρισης και του ελέγχου των κατανεμημένων πόρων που θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, άλλη κατανεμημένη παραγωγή και αποθήκευση.

δ. Δεν υπάρχει καμία επικοινωνία με τις εγκαταστάσεις των πελατών ώστε να επιτρέπεται στα φορτία των πελατών και τους πελάτες να αντιδρούν σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, σε αλλαγές στις τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος, ή και στα δύο. Οι πόροι που ανήκουν στον πελάτη και διανέμονται δεν μπορούν να συμμετέχουν στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, περιορίζοντας την οικονομική ανταπόδοση σε πολλές περιπτώσεις.

Οι παρεχόμενες πληροφορίες καλύπτουν όχι μόνο τη χρήση ενέργειας του διαστήματος, αλλά και την κατάσταση, τα συμβάντα και τους συναγερμούς. Ακόμη και επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας σε περιοχές με κεντρική ανάπτυξη MDMS (π.χ., μια ενιαία εφαρμογή MDMS για ολόκληρη τη ρυθμιστική δικαιοδοσία, όπως ένα κράτος, μια επαρχία ή μια χώρα που παρέχει ένα κοινό αποθετήριο δεδομένων, υπολογισμούς καθοριστικών του λογαριασμού και παρουσίαση της χρήσης του πελάτη για όλες τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και τους πελάτες στη δικαιοδοσία) έχουν επωφεληθεί από τη λειτουργική ορατότητα και αποτελεσματικότητα που επιτυγχάνονται από τα δικά τους δεδομένα υποδομής έξυπνων μετρητών. Ένα τέτοιο όφελος είναι η δυνατότητα παρακολούθησης και δράσης σχετικά με την υγεία και παραποίησης πληροφοριών που αναφέρονται από έξυπνους μετρητές. Η ενεργοποίηση αυτής της λειτουργικότητας για όλα τα βοηθητικά προγράμματα θα ήταν συνήθως πέρα από το πεδίο εφαρμογής μιας κεντρικής εφαρμογής MDMS. Ένα MDMS παρέχει έναν διαχωρισμό των ζητημάτων στην αρχιτεκτονική των εφαρμογών ενός βοηθητικού προγράμματος. Το MDMS μπορεί να χειριστεί όλες τις ευθύνες που σχετίζονται με τα δεδομένα μετρητών και μπορεί να χρησιμεύσει ως ένα ενιαίο σημείο για όλες τις τρέχουσες και ιστορικές πληροφορίες χρήσης του μετρητή, καθιερώνοντας έτσι τις συνεπείς διαδικασίες για τη δημοσίευση δεδομένων μετρητών στους χρήστες των πληροφοριών εντός της επιχείρησης (Zhou et al., 2012).

Εκτός από τη διαχείριση των δεδομένων μέτρησης ενέργειας για έξυπνους μετρητές, ένα MDMS μπορεί επίσης να παρέχει μια συλλογή προσαρμογών και διασυνδέσεων για την ενσωμάτωση πολλαπλών έξυπνων συστημάτων υποδομής μέτρησης που χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες και μορφές δεδομένων. Το χαρακτηριστικό αυτό αποσυνδέει αποτελεσματικά τις μεταγενέστερες εφαρμογές από την αυτοματοποιημένη υποδομή μέτρησης, επιτρέποντας την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών κατά την εμφάνισή τους και τον παροπλισμό παλαιών τεχνολογιών, χωρίς να περιορίζεται σε έναν μόνο προμηθευτή ή εφαρμογή AMI [19]. Αυτό σημαίνει ότι οι καταναλωτές των δεδομένων AMI μπορούν να χρησιμοποιούν το MDMS ως μία ενιαία, συνεπή διασύνδεση μεταξύ των διαφόρων συστημάτων AMI, με τα δεδομένα να παρουσιάζονται με τυποποιημένο τρόπο. Η διαχείριση συλλογής αναφέρεται στην ικανότητα ενός MDMS να παρέχει εξελιγμένες δυνατότητες, όπως η διαίτησία ανάγνωσης, η επιθεώρηση ακεραιότητας ανάγνωσης, η απόρριψη δεδομένων, η συνάθροιση δεδομένων, ο προγραμματισμός και η παρακολούθηση της συμφωνίας επιπέδου εξυπηρέτησης (service level agreement - SLA) σε πολλαπλά κεντρικά σημεία και συστήματα υποδομής έξυπνων μετρητών. Αυτό είναι ένα βασικό πλεονέκτημα των εφαρμογών MDMS από την άποψη του τεχνικού εύρους, ιδιαίτερα όταν οι εταιρείες κοινής ωφέλειας αναμένουν να αναπτύξουν πολλαπλά συστήματα έξυπνων μετρητών για να καλύψουν την επικράτειά τους (Enose, 2011).

Οι γνώσεις και η εμπειρία του κλάδου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα οφέλη και τις δυνατότητες των SG αυξάνονται με ταχύτατους ρυθμούς, και τα σχέδια SG των εταιρειών κοινής ωφέλειας γίνονται όλο και πιο πολύπλοκα και προηγμένα καθημερινά. Η AMI θεωρήθηκε ως το χρήσιμο εργαλείο για την SG, αλλά τώρα οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας αντιλαμβάνονται ότι το Σύστημα Διαχείρισης Διανομής (Distribution Management System - DMS) είναι τα σημαντικότερα στοιχεία μιας αποτελεσματικής στρατηγικής SG. Για το DMS απαιτούνται ακριβή δεδομένα. Το DMS που βασίζεται στο μοντέλο δικτύου πρέπει να απεικονίζει με ακρίβεια τα δεδομένα πραγματικού χρόνου, τα συναλλακτικά δεδομένα, τα δεδομένα χρονοσειρών και τις πληροφορίες πόρων του δικτύου. Το GIS είναι πολύ σημαντικό για την ακεραιότητα των δεδομένων του δικτύου. Τα δεδομένα GIS διαδραματίζουν κείμερο ρόλο στην SG για τη διατήρηση του ενημερωμένου και ακριβούς μοντέλου δικτύου που πρέπει να τροφοδοτεί όλα τα συστήματα πληροφοριών SG, όπως ο εποπτικός έλεγχος και η απόκτηση δεδομένων (Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA), το σύστημα διαχείρισης διανομής (Distribution Management System - DMS), η διαχείριση δεδομένων μετρητών (Meter Data Management - MDM), το σύστημα διαχείρισης εκροών (Outage Management System - OMS) κ.α. (Silva et al., 2011).

Τα σύγχρονα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας παρακολουθούνται συνεχώς από καλά εκπαιδευμένους χειριστές συστημάτων (system operators - SOs) εξοπλισμένους με εξελιγμένα συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης. Παρά τα προληπτικά αυτά μέτρα, εξακολουθούν να συμβαίνουν μεγάλες διακοπές ρεύματος σε όλο τον κόσμο. Για να αποφευχθούν αυτές οι διακοπές ρεύματος, είναι πολύ σημαντικό να διενεργηθεί ανάλυση εναλλακτικών καταστάσεων υψηλότερης τάξης. Ωστόσο, μια τέτοια ανάλυση έκτακτης ανάγκης είναι υπολογιστική επιβάρυνση, επειδή πρέπει να αναλύονται πολλοί πιθανοί συνδυασμοί βλαβών εξαρτημάτων του συστήματος ισχύος (γραμμές, μετασχηματιστές και γεννήτριες). Επιπλέον, με το νέο πλέγμα, μπορεί να επεκταθεί και η λίστα των απρόβλεπτων. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη παράλληλων αλγορίθμων ανάλυσης πιθανολογικών ενδεχομένων και σχημάτων εξισορρόπησης φορτίου που είναι προσαρμόσιμα και επιτυγχάνουν σχεδόν βέλτιστη κατανομή υπολογιστικών εργασιών σε επεξεργαστές (Raz et al., 2020).

Το σύστημα μέτρησης Phasor (Phasor Measurement Unit – PMU) παρέχει πληροφορίες πραγματικού χρόνου σχετικά με την τάση και τη γωνία φάσης κάθε 30 δευτερόλεπτα μέσω μιας δημιουργίας κυματομορφής. Αυτή η κυματομορφή μπορεί να μετατραπεί σε πραγματικούς αριθμούς με τη βοήθεια των συστημάτων  $p_i$ . OSIssoft είναι ένα από τα προγράμματα λογισμικού που μετατρέπει αυτές τις πληροφορίες υπογραφής σε αριθμό. Οι αριθμοί που επιτυγχάνονται μπορούν επίσης να επαληθευτούν μέσω του εκτιμητή κατάστασης (state estimator - SE) και θα εξαλειφθούν τα κακά δεδομένα αν υπάρχουν στο σύστημα. Ως εκ τούτου, οι αριθμοί που επιτεύχθηκαν μπορούν τώρα να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των δεικτών σταθερότητας τάσης. Σε περίπτωση που δεν έχουμε εγκατεστημένο PMU, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε οποιοδήποτε εργαλείο βελτιστοποίησης για να παράγουμε δεδομένα όπως Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (Artificial Neural Network - ANN). Μετά τους αριθμούς που παράγονται, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτούς τους αριθμούς για τον υπολογισμό των δεικτών σταθερότητας τάσης (Voltage Stability Indices - VSI). Το παραγόμενο VSI θα είναι δυναμικό και θα παρέχει πληροφορίες πραγματικού χρόνου σχετικά με τη σταθερότητα της τάσης. Η τιμή του ποικίλλει μεταξύ 0 και 1. Αν η τιμή είναι κοντά σε μία, τότε το σύστημα είναι πιο σταθερό. Επομένως, μας δείχνει πόσο απέχει το σύστημα από την αστάθεια (Qiu et al., 2012).

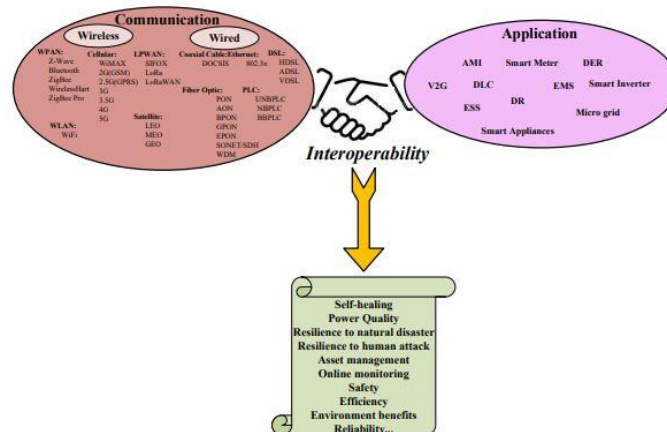
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### 5.1 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ

Η ανάγκη παροχής σταθερών, ασφαλών, αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών υπηρεσιών έφερε επανάσταση στο συμβατικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, εισάγοντας την επόμενη γενιά του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας που ακολουθεί την αμφίδρομη ροή του ρεύματος και της δομής των πληροφοριών. Η υψηλή διείσδυση των ΑΠΕ έχει εντείνει την ανάπτυξη έξυπνων δικτύων λόγω της μείωσης της εξάρτησης από πεπερασμένους πόρους ορυκτών καυσίμων και των χαρακτηριστικών τους που βασίζονται στη φύση. Το σύστημα Εποπτικού Ελέγχου και Απόκτησης Δεδομένων (SCADA) έχει την ευθύνη της παρακολούθησης και του ελέγχου του συστήματος ι-



σχύος πριν από την έλευση του έξυπνου δικτύου. Αυτό το σύστημα παρακολουθεί το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, εντοπίζει βλάβες με βάση την απόκτηση δεδομένων από αισθητήρες επιτόπου, και ελέγχει το δίκτυο από φορέα γραμμής ισχύος (PLC) ως διασύνδεση. Το κύριο μειονέκτημα αυτού του συστήματος είναι η έλλειψη χαρακτηριστικών πραγματικού χρόνου. Η εμφάνιση του έξυπνου δικτύου, το οποίο περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό ενεργών στοιχείων και εφαρμογών, έχει καταστήσει πρόκληση για το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας να αναγνωρίσει την ισορροπία μεταξύ της εφαρμογής, της επικοινωνίας και της διαλειτουργικότητας. Ξεπερνώντας αυτήν την πρόκληση είναι απαραίτητο να επιτευχθούν τα πλεονεκτήματα του ευφυούς πλέγματος, το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 1 (Tightz & Yang, 2020).



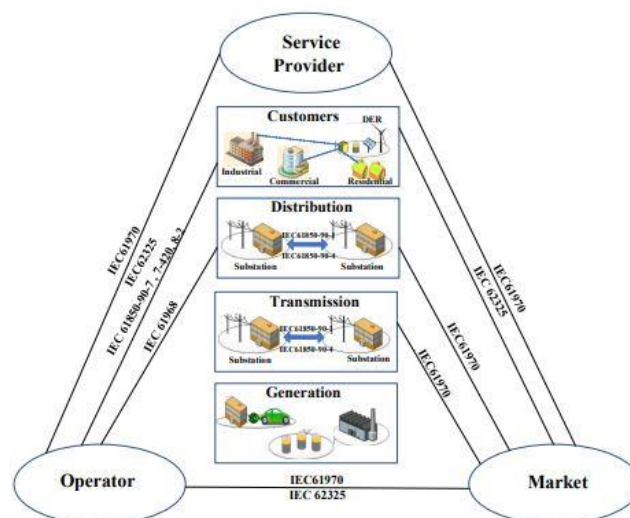
Εικόνα 1: Επίτευξη των πλεονεκτημάτων του έξυπνου δικτύου

Όπως προαναφέρθηκε, ο κύριος στόχος του έξυπνου δικτύου είναι να αλληλεπιδράσει με όλα τα στοιχεία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Για την υλοποίηση αυτής της τάσης, έχουν εφαρμοστεί διάφορες εφαρμογές. Μεταξύ αυτών, η χρησιμοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας-ΑΠΕ ως καθαρών πηγών ενέργειας, είναι η πιο σημαντική. Η έννοια της ευημερίας στην νέα μορφή ηλεκτρικού δικτύου, έχει ως στόχο να κάνει τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας να ενεργούν ως παραγωγοί και να συμμετέχουν στην αγορά ενέργειας για να εμπορευούνται την πλεονάζουσα ενέργειά τους. Τεχνολογίες, όπως οι έξυπνοι μετρητές, οι οικιακές συσκευές και η προηγμένη διεπαφή μέτρησης (AMI), αλληλεπιδρούν βαθιά με τους καταναλωτές τους και την εποπτεία του συστήματος ισχύος. Αυτό το φαινόμενο παρέχει ενεργειακή απόδοση, ανίχνευση προφίλ φορτίου, σήματα τιμών που εκδίδουν στους πελάτες, ανίχνευση απάτης, διαχείριση διακοπής ρεύματος, αξιοπιστία και παρακολούθηση της ποιότητας της ισχύος, διευκολύνοντας την απόκριση ζήτησης (DR). Η απόκριση ζήτησης είναι η εφαρμογή που ελέγχει την ποσότητα της κατανάλωσης ενέργειας κατά την περίοδο αιχμής της ζήτησης, η οποία καθορίζεται από τη δυναμική συμβολή των καταναλωτών. Η DR εφαρμόζεται προσφέροντας κανονισμούς κινήτρων ή προγράμματα εξαρτώμενα από τον χρόνο. Ενώ ορισμένες τεχνικές, όπως οι επιχειρήσεις “Άμεσου ελέγχου φορτίου - Direct Load Control (DLC), ελέγχουν άμεσα τη ζήτηση των καταναλωτών με τρόπους παροχής κινήτρων, άλλες επιτρέπουν στους καταναλωτές να αποφασίσουν να συνεργαστούν με την επιχείρηση κοινής ωφέλειας στην αιχμή αποθήκευσης με βάση δυναμικές τιμές και χρονοδιαγράμματα, όπως ο χρόνος χρήσης, η κρίσιμη τιμολόγηση αιχμής και η τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο. Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι ένα άλλο στοιχείο ικανό να ενεργεί υπέρ του καταναλωτή μέσω τεχνολογιών όπως του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας (Energy Storage System – ESS). Το μικροδίκτυο (microgrid), είναι μια άλλη ευκαιρία διείσδυσης του έξυπνου δικτύου και των ΑΠΕ που φιλοξενεί ένα ανεξάρτητο δίκτυο, ειδικά σε απομακρυσμένες περιοχές. Μια άλλη εφαρμογή είναι το Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας (EMS), το οποίο εξισορροπεί τα επίπεδα παραγωγής και κατανάλωσης. Η εφαρμογή αυτή βρίσκεται στο μικροδίκτυο και στο εποπτικό επίπεδο του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή στο Διαχειριστή Συστήματος Διανομής (ΔΣΔ) και στο Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς (ΔΣΜ). Επιπλέον, το Οικιακό Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας (HEMS), τα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων (BEMS), τα Κοινο-

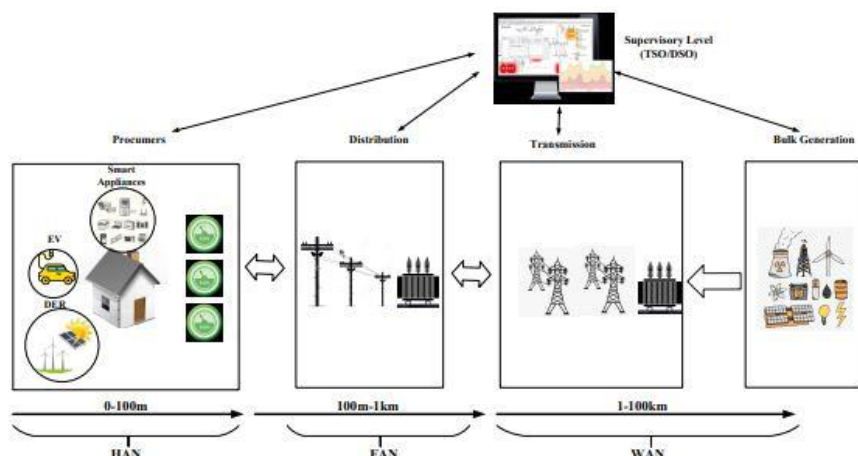
τικά Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας (CEMS) για αστικές περιοχές και απομακρυσμένες περιοχές, ακόμη και το Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας Κέντρου Δεδομένων (DEMS) μπορεί να περιλαμβάνει Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας (EMS). Το ηλεκτρικό δίκτυο έχει τα αμέτρητα πλεονεκτήματα του έξυπνου δικτύου, τα κυριότερα από τα οποία είναι η αυτοθεραπεία, η αξιοπιστία και η ασφάλεια. Μέσω της ηλεκτρονικής παρακολούθησης του συστήματος και το πλήρως αυτοματοποιημένο κέντρο ελέγχου, το έξυπνο δίκτυο μετατρέπεται σε ένα πλέγμα αυτοίασης. Το χαρακτηριστικό αυτό, σε συνδυασμό με το μικροδίκτυο και τα εργαλεία πρόβλεψης στο επίπεδο του φορέα εκμετάλλευσης του συστήματος, παρέχει ένα ασφαλές σύστημα κατά οποιασδήποτε κυβερνοεπίθεσης (Rahman et al., 2013).

Η επικοινωνία αποτελεί τη ραχοκοκαλιά της δημιουργίας όλων των εφαρμογών και τεχνολογιών που αναφέρονται παραπάνω στο έξυπνο δίκτυο. Με βάση τα χαρακτηριστικά των εφαρμογών, Η διαλειτουργικότητα επιτρέπει την επικοινωνία και τις τεχνολογίες για να βοηθήσει το έξυπνο δίκτυο στην παραγωγή της νοημοσύνης του συστήματος ισχύος. Δεδομένου ότι το έξυπνο δίκτυο είναι ένα σύνολο διαφορετικών και ετερογενών παραγόντων και εφαρμογών, η αλληλεπίδραση σε αυτό το περιβάλλον απαιτεί διαλειτουργικότητα. Το IoT είναι μια πρόσφατη τεχνολογία που χρησιμοποιεί τεχνολογίες και εφαρμογές, όπως ετικέτες αναγνώρισης συχνότητας (RFID), σύστημα γεωγραφικής θέσης (GPS), έξυπνους μετρητές, σαρωτές λέιζερ, smartphones και άλλα. Το IoT είναι γνωστό ως υποδομή διαλειτουργικότητας και σύνδεσης, η οποία επιτυγχάνει την ευθύνη του έξυπνου δικτύου για την παροχή της αμφίδρομης ροής ηλεκτρικής ενέργειας και πληροφοριών στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, μπορεί να εφαρμοστεί σε τρεις τομείς: παρακολούθηση, συλλογή πληροφοριών και έλεγχος των στοιχείων έξυπνων δικτύων. Είναι απαραίτητο να καθοριστούν οι περιοχές του έξυπνου δικτύου ώστε να αναγνωρίζονται τα ακριβή απαιτούμενα πρότυπα και πρωτόκολλα. Το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (National Institute of Standards and Technology, NIST) κυκλοφόρησε το εννοιολογικό μοντέλο του έξυπνου δικτύου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, με βάση επτά κατηγορίες, στις οποίες περιλαμβάνονται τα εξής: Πελάτης, Πάροχος υπηρεσιών, Μετάδοση, Διανομή, Αγορά μαζικής παραγωγής, και Λειτουργία. Το επιβεβαίωσαν και άλλοι σχετικοί τυποποιημένοι οργανισμοί (Tightiz & Yang, 2020).

Η επιτυχία της αλληλεπίδρασης σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των στοιχείων του συστήματος ισχύος ως της κύριας αποστολής έξυπνων δικτύων εξαρτάται από την εφαρμογή ασφαλών, αξιόπιστου, στοιβαγού, κλιμακούμενου, ολοκληρωμένου, διαλειτουργικού και πανταχού παρόντος συστήματος επικοινωνίας. Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται το δίκτυο επικοινωνίας στο έξυπνο δίκτυο, όπως αυτό έχει αναφερθεί και παραπάνω, και το κατατάσσεται σε τρεις περιοχές, στις οποίες περιλαμβάνονται τα Home Area Network (HAN), Field Area Network (FAN), και WAN. Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται οι προτιμώμενες τεχνολογίες επικοινωνίας, εφαρμογές, και απαιτήσεις αυτών των εφαρμογών, όπως το εύρος ζώνης και ο λανθάνων χρόνος (Tightiz & Yang, 2020).



Εικόνα 2: Το κόνσεπτ του έξυπνου δικτύου και τα σχετιζόμενα πρότυπα



Εικόνα 3: Επίπεδο επικοινωνίας στο Έξυπνο δίκτυο

Πίνακας 9:Εύρος ζώνης και καθυστέρηση στο έξυπνο δίκτυο

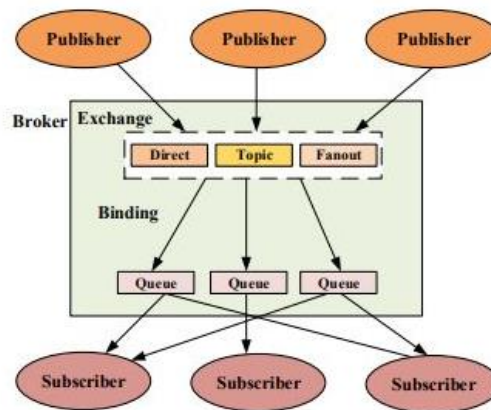
Communication Level	Communication Technologies	Application	Bandwidth	Latency	
HAN	Wired Coaxial Cable, Ethernet, PLC	Wireless Bluetooth, ZigBee, Z-wave	HEMS	9.6-56 kbps	200 ms-2 sec
			EV Charging	9.6-56 kbps	2 sec-5 min
			V2G	9.6-56 kbps	2 sec-5 min
FAN	Coaxial Cable, Ethernet, DSL, Fiber optic, PLC	ZigBee Pro, WiFi, Cellular, Low Power WAN (LPWAN), Satellite	AMI	node: 10-100 kbps backhaul: 500 kbps	2-15 sec
			DER and ESS	9.6-56 kbps	20 ms-15 sec
			DR	14-100 kbps	500 ms- several minutes
WAN	Coaxial Cable, DSL, Fiber optic	Cellular, LPWAN, Satellite	DMS	9.6-100 kbps	100 ms-2 sec
			SAS	9.6-56 kbps	15-20 ms
			WASA	600-1500 kbps	15-200 ms
			Outage management	56 kbps	2000 ms

## 5.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

Η κύρια πρόκληση της εφαρμογής των έξυπνων δικτύων είναι η επικοινωνία ετερογενών καταναμημένων στοιχείων. Το ενδιαμέσο λογισμικό λειτουργεί ως διασύνδεση υπηρεσιών και εφαρμογών λογισμικού στην αρχιτεκτονική επικοινωνίας για να διευκολύνει αυτήν την αλληλεπίδραση αποκρύπτοντας την πολυπλοκότητα του λειτουργικού συστήματος για τους προγραμματιστές λογισμικού εφαρμογών. Πολλοί εκτιμούν ότι το ενδιαμέσο λογισμικό επισπεύδει την ενσωμάτωση ετερογενών οντοτήτων, τη συλλογή πληροφοριών, την ασφάλεια κατά την ανταλλαγή δεδομένων και την εκτίμηση της κατάστασης στο έξυπνο δίκτυο. Η περιγραφή και το χαρακτηριστικό των πιο ευρέως διαδεδομένων πρωτοκόλλων IoT στο έξυπνο δίκτυο που αντιστοιχίζεται στο IEC 61850 ή στο CIM είναι τα ακόλουθα (Rodríguez-Molina & Kammen, 2018).

### AMQP

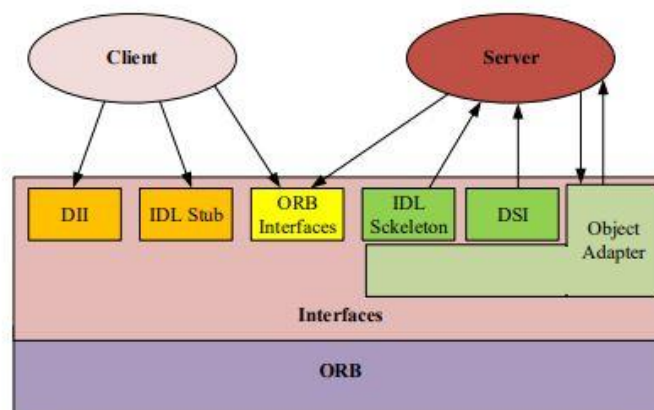
Η AMQP είναι μια ανοιχτή πρότυπη αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου δημοσίευσης-εγγραφής που θεσπίστηκε το 2003 και τυποποιήθηκε αργότερα από τον Οργανισμό για την Πρόοδο των Δομημένων Προτύπων Πληροφοριών (Organization for the Advance of Structured Information Standards - OASIS) το 2011. Τα στοιχεία Exchange, Queue, και Binding είναι τα τρία στοιχεία που καθορίζουν τη μεταφορά μηνυμάτων σε αυτό το πρωτόκολλο. Το Exchange, που είναι ο μεσολαβητής αυτού του πρωτοκόλλου, στέλνει μηνύματα σε μια ουρά βάσει των προτεραιοτήτων τους. Το binding ορίζει την προτεραιότητα με διαφορετικές μεθόδους, όπως την άμεση σύνδεση, το θέμα και τη λειτουργία. Το Transport Layer Security (TLS) παρέχει την ασφάλεια μετάδοσης σε αυτό το πρωτόκολλο. Το AMQP δεν είναι ελαφρύ πρωτόκολλο και στην περίπτωση μνήμης, εύρους ζώνης και ισχύος, δεν μπορεί να υποστηρίξει αυτόνομους αισθητήρες (Pathaka & Tembhuane, 2018).



Εικόνα 4: Αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου AMQP

### CORBA

Το CORBA είναι ενδιάμεσο λογισμικό που ορίζεται από την Ομάδα Διαχείρισης Αντικειμένων (Object Management Group - OMG) για τη διευκόλυνση της αποκλειστικής γλώσσας και της διασύνδεσης καταμεμημένων αντικειμένων χωρίς πλατφόρμα. Τα αντικείμενα σε αυτό το πρωτόκολλο μπορεί να είναι πελάτες ή διακομιστές που επικοινωνούν μέσω του ORB (Object Request Broker). Το ORB, που είναι ο πυρήνας του μοντέλου CORBA, έχει διάφορες διασυνδέσεις που ορίζονται στη γλώσσα ορισμού διεπαφής (Interface Definition Language - IDL) ή βρίσκονται στην υπηρεσία αποθετηρίου διεπαφής. Ενώ ο πελάτης στέλνει μια αίτηση μέσω των διασυνδέσεων DII, IDL-stubs, ή ORB, ο διακομιστής λαμβάνει αιτήσεις μέσω DSI (Dynamic Skeleton Interface) και IDL Skeleton. Ένας προσαρμογέας αντικειμένου (object adapter), μια άλλη διασύνδεση μεταξύ του ORB και του διακομιστή, είναι υπεύθυνος για την αντιστοίχιση των αναφορών του αντικειμένου στη λέξη-κλειδί ORB στο αντίστοιχο αντικείμενο του διακομιστή (Pathaka & Tembhurne, 2018).



Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου COBRA

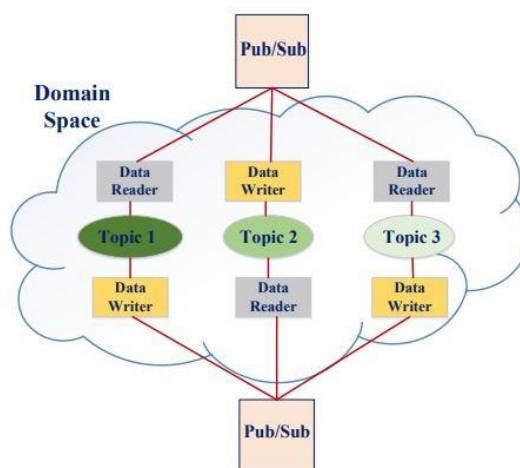
### CoAP

Το CoAP είναι το πρωτόκολλο Διαδικτύου που έχει τυποποιηθεί από την ομάδα εργασίας Περιβάλλοντος Περιορισμένων Πόρων (Constrained Resource Environments - CoRE) της Ομάδας Εργασίας Μηχανικής Διαδικτύου (Internet Engineering Task Force - IETF) που χρησιμοποιεί το μοντέλο απόκρισης αίτησης και ακολουθεί το REST μέσω του Πρωτοκόλλου Αυτοδύναμων Πακέτων Χρήστη (User Datagram Protocol - UDP) για να ελαχιστοποιεί το εύρος ζώνης και τη χρήση του TCP. Λόγω της αναξιοπιστίας του UDP, το CoAP αντιπροσωπεύει την αξιοπιστία εκδίδοντας

ένα μήνυμα επιβεβαίωσης συνεχώς μέχρι το μήνυμα έγκρισης να ληφθεί από τον άλλο συμμετέχοντα επικοινωνίας. Αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί το Datagram Transport Layer Security (DTLS) ως λύση για την παροχή ασφαλούς μετάδοσης. Ωστόσο, το DTLS κάνει το CoAP να χάνει προδιαγραφές πολυεκπομπής, που είναι η εξέχουσα προδιαγραφή, σε σύγκριση με άλλα πρωτόκολλα IoT (Pathaka & Tembhurne, 2018).

## DDS

Το DDS είναι ένα ανοιχτό τυπικό ενδιάμεσο λογισμικό που έχει σχεδιαστεί από την OMG και παρέχει επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο μέσω του προτύπου μηνυμάτων δημοσίευσης-εγγραφής. Το DDS έχει το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζεται πλέον οι συμμετέχοντες να γνωρίζονται μεταξύ τους από την εφαρμογή μεθόδων εντοπισμού, συμπεριλαμβανομένης της μεθόδου εντοπισμού συνδρομητή εκδότη βάσει δεδομένων (Data Centric Publisher Subscriber - DCPS) ή συνδρομητή εκδότη πραγματικού χρόνου (Real-Time Publisher Subscriber - RTPS). Ως εκ τούτου, το DDS είναι ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής πληροφοριών χωρίς διαμεσολάβηση χωρίς τον κίνδυνο αποτυχίας του σημείου συμφόρησης. Σύμφωνα με την έννοια του DCPS, υπάρχει ένας χώρος περιοχής στον οποίο όλες οι εφαρμογές μπορούν να αλληλεπιδρούν μέσω αυτού, και όλες οι οντότητες επικοινωνίας τοποθετούνται στην περιοχή. Οι συμμετέχοντες σε τομείς περιλαμβάνουν το πρόγραμμα ανάγνωσης δεδομένων, το πρόγραμμα εγγραφής δεδομένων, τον εκδότη και τον συνδρομητή. Οι συμμετέχοντες έχουν πρόσβαση σε δεδομένα με βάση το θέμα και τον τύπο του τομέα (Pathaka & Tembhurne, 2018).



Εικόνα 6: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου DDS

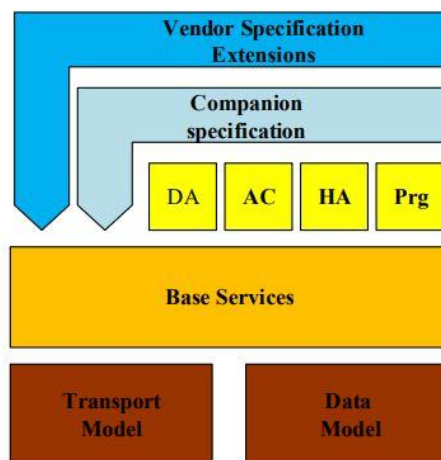
## MQTT

Το πρωτόκολλο αυτό είναι μια αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου συνδρομής σε εκδόσεις, που δημιουργήθηκε το 1999 από την IBM και τυποποιήθηκε από την OASIS το 2013. Είναι ένα ανοιχτό πρότυπο πρωτόκολλο που μπορεί να λειτουργήσει μέσω TCP/IP και περιλαμβάνει τρεις βασικούς παράγοντες: τον εκδότη, τον συνδρομητή, και τον μεσίτη. Εκδότες και συνδρομητές ανταλλάσσουν μηνύματα με βάση το θέμα μέσω μεσιτών, οι οποίοι διασταυρώνουν τις αρχές τους για να παρέχουν αξιόπιστη επικοινωνία από την TLS. Υπάρχουν τρία επίπεδα QoS. Το επίπεδο μηδέν είναι το χαμηλότερο επίπεδο QoS και ο ταχύτερος από τη στιγμή που δεν εκδίδονται μηνύματα επιβεβαίωσης. Αν και το πρώτο επίπεδο διασφαλίζει την παράδοση του μηνύματος, το δεύτερο επίπεδο διασφαλίζει την παράδοση των μηνυμάτων και ελέγχει την αναπαραγωγή τους. Το MQTT είναι ένα «ελαφρύ» πρωτόκολλο που δεν απαιτεί μεγάλο εύρος ζώνης, ως εκ τούτου, είναι κατάλληλο για κατανεμημένους αισθητήρες (Pathaka & Tembhurne, 2018).

## OPC UA

Το OPC είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας του κλάδου αυτοματισμού για την παροχή των πληροφοριών μιας συσκευής για εφαρμογή χωρίς πρόσβαση στο μοντέλο της συσκευής και την απόδοση που βασίζεται στο μοντέλο αντικειμένων στοιχείων της Microsoft το 1994. Σκοπός του

OPC είναι η διατήρηση της διαλειτουργικότητας με άλλα λειτουργικά συστήματα μέσω μιας ενοποιημένης αρχιτεκτονικής που ονομάζεται OPC UA. Το πρωτόκολλο αυτό τυποποιήθηκε από το IEC 62541 με μια αρχιτεκτονική πελάτη-διακομιστή. Το OPC UA έχει δύο βασικά στοιχεία στην αρχιτεκτονική του, δηλαδή το μοντέλο μεταφοράς και το μοντέλο δεδομένων. Ενώ οι διακομιστές επικοινωνούν με τους πελάτες με δύο διαφορετικά είδη μεταφοράς, συμπεριλαμβανομένου του δυαδικού που ονομάζεται UA native, ή Simple Object Access Protocol (SOAP) / HTTP που καλεί τις υπηρεσίες ιστού UV μέσω TCP / IP, το μοντέλο δεδομένων καθορίζει τις οδηγίες για τους διακομιστές για το πώς να απεικονίζουν αντικείμενα, συμπεριλαμβανομένων των μεταβλητών και των μεθόδων, μέσω ενός χώρου διευθύνσεων σε πελάτες. Το επίπεδο βασικών υπηρεσιών (base service layer) παρέχει υπηρεσίες με αντάλλαγμα πληροφορίες. Αυτό το μοντέλο πληροφοριών πρωτοκόλλου, συμπεριλαμβανομένων των Data Access (DA), Alarms and Conditions (AC), Historical Data Access (HA), και Programs (PRG), μπορεί να υιοθετηθεί με τα μοντέλα πληροφοριών άλλων οργανισμών, όπως η IEC και η Διεθνής Ένωση Αυτοματισμού (ISA), ή με τα μοντέλα πληροφοριών των προμηθευτών (Graube et al., 2017).



Εικόνα 7: Αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου OPC UA

### XMPP

Το XMPP είναι ένα από τα ανοικτά τυπικά πρωτόκολλα IoT και υποστηρίζει ένα μοντέλο ασύγχρονης και σύγχρονης δημοσίευσης-εγγραφής, επιτρέποντας την ανταλλαγή μηνυμάτων με τη μορφή eXtensible Markup Language (XML). Είναι τυποποιημένο με IETF RFC 6120, RFC 6121 και RFC 7622. Το XMPP είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που έχει τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα όσον αφορά τη δυνατότητα κλιμάκωσης, και γι' αυτό υπάρχει μια ποικιλία απρόβλεπτων περιβαλλόντων επικοινωνίας. Στέλνει και λαμβάνει μηνύματα χρησιμοποιώντας τη μορφή XML και χρησιμοποιεί μια μοναδική διεύθυνση για κάθε κόμβο που ονομάζεται Jabber IDentifiers (JID) για να δημιουργήσει μια σύνδεση (Graube et al., 2017).

### ZeroMQ

Το ZeroMQ είναι ένα ασύγχρονο ενδιάμεσο λογισμικό που λειτουργεί σε ένα κατακεντρωμένο περιβάλλον μέσω TCP, πολυεκπομπής, διεργασίας και WebSocket. Αυτό το ενδιάμεσο λογισμικό υποστηρίζει μοντέλο δημοσίευσης-εγγραφής, αίτησης-απόκρισης, πελάτη-διακομιστή και push-pull. Το ZeroMQ είναι μια έξυπνη επιλογή σε εφαρμογές υψηλής διεκπεραιωτικής ικανότητας και κρίσιμες για τον χρόνο (Graube et al., 2017).

## 5.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

Όπως προαναφέρθηκε, το IEC 61850 είναι ένα συνήθως χρησιμοποιούμενο πρότυπο επικοινωνίας στο περιβάλλον έξυπνου δικτύου. Η εισαγωγή του IEC 61850-7-420 για τους Κατακεντρωμένους Ενεργειακούς Πόρους (Distributed Energy Resources- DER), του IEC 61850-7-410 για την υδροηλεκτρική ενέργεια, και του IEC 61850-8-2 για την επικοινωνία σε WAN μαζί με την εφαρμογή

του XMPP αντί του πρωτοκόλλου MMS για το νέο έξυπνο δίκτυο οι απαιτήσεις των ενοποιημένων οντοτήτων πληρούσαν το πρότυπο IEC 61850. Έχει υπάρξει μια πληθώρα ερευνών σε αυτό το θέμα, παρέχοντας την απόδοση άλλων πρωτοκόλλων IoT στο περιβάλλον έξυπνων δικτύων σε σύγκριση με τις τυπικές συστάσεις. Τα έγγραφα που εμφανίζονται παρακάτω εφάρμοσαν τα πρωτόκολλα IoT για τη χαρτογράφηση του IEC 61850 στο περιβάλλον έξυπνου δικτύου και αξιολόγησαν τις μεθόδους τους μέσω διαφορετικών μετρικών και εργαλείων αναλυτή. Κάθε έγγραφο εφάρμοσε διάφορα πρωτόκολλα IoT για να χαρτογραφήσει το IEC 61850 ή το μοντέλο δεδομένων στο Κοινό Πληροφοριακό Μοντέλο (Common Information Model-CIM) στο έξυπνο δίκτυο. Σε αυτόν τον πίνακα, κατατάσσονται τα έγγραφα με βάση το χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο, το πρωτόκολλο αναφοράς, τον αναλυτή και τα εργαλεία που χρησιμοποιήσαν για να αξιολογήσουν τη μέθοδό τους, και το IEC 61850 ή το Κοινό Πληροφοριακό Μοντέλο που εφαρμόζεται στην έξυπνη εφαρμογή δικτύου.

Πίνακας 10: Σύγκριση των χαρακτηριστικών των IoT πρωτοκόλλων

IoT Protocol	QoS	Data Security	Transport Layer	Message Prioritization	Message Pattern	Complexity	Extensibility	Dominant Application in the Smart Grid	Main Advantages	Main Disadvantages
AMQP	✓	TLS SSL	TCP	✓	Req-Res Pub-Sub	Low	✓	Smart meter, AMI	Offer wide message features	Not suitable for resource constrained applications
CoAP	✓	DTLS	UDP	✓	Req-Res Pub-Sub	Low	✓	Smart Home	Suitable for resource constrained applications	Limited QoS
CORBA	✓	SSL	UDP	✗	Req-Res Push-Pull	Medium	✗	SAS	Support wide variety of languages	Suitable for slow network (Ethernet)
DDS	✓	SSL DTLS	TCP UDP	✓	Pub-Sub	High	✓	EMS	Extensive QoS	Suitable for large scale system
DPWS	✓	TLS SSL	TCP UDP	✓	Pub-Sub	Medium	✓	Electricity Market	Suitable for resource constrained applications	Some security issues in services
MQTT	✓	TLS SSL	TCP	✗	Pub-Sub	Low	✓	Smart Home, Smart meter	Easy implementation	Limited scalability because of broker
OPC UA	✗	SSL	TCP	✗	Req-Res Pub-Sub Push-Pull	High	✓	SAS	Suitable for resource constrained applications	Firewall configuration requirements
XMPP	✗	TLS	TCP	✗	Req-Res Pub-Sub Push-Pull	High	✓	the smart grid application	Recommended by IEC 61850	Not suitable on constrained devices since XML parsing
ZeroMQ	✓	TLS	TCP	✗	Req-Res Pub-Sub Push-Pull	Medium	✓	HEMS	Brokerless	Less QoS compare with DDS

Στο έγγραφο τους οι Macarulla et al. (2016) σχεδίασαν ένα δίκτυο HAN που επικοινωνεί με το εποπτικό επίπεδο του δικτύου για να κοινοποιεί έξυπνες πληροφορίες μετρητή. Μέσω του Διαδικτύου, οι συγγραφείς χαρτογράφησαν τη δομή αλληλεπίδρασής τους με βάση το μοντέλο πληροφοριών CIM και αξιολόγησαν τη μέθοδό τους με βάση την καθυστέρηση και το λειτουργικό κόστος. Οι Sanz et al. (2001) κάνουν μία από τις πρώτες προσπάθειες για την αντιστοίχιση του IEC 61850 στο πρωτόκολλο IoT, CORBA, για τα συστήματα αυτοματισμού υποσταθμών (Substation Automation Systems-SAS). Ωστόσο, τα ζητήματα ασφάλειας και η ικανοποιητική απόδοση μόνο σε δίκτυα χαμηλής ταχύτητας είναι σημεία που καθιστούν το πρωτόκολλο CORBA ακατάλληλη επιλογή για ευαίσθητες εφαρμογές και κρίσιμες στο θέμα της χρονικής απόδοσης.

Οι Pedersen et al. (2010) χαρτογραφούν το IEC 61850 στο πρωτόκολλο REST, πιο συγκεκριμένα στο HTTP. Οι συγγραφείς χαρτογραφούν λίγες από τις λειτουργίες του προτύπου και χρησιμοποιούν την XML ως μορφή δεδομένων. Τόσο το HTTP όσο και η XML έχουν σχεδιαστεί για συσκευές και περιβάλλοντα με εφεδρικούς πόρους, το οποίο είναι μειονέκτημα για περιβάλλοντα με περιορισμό στους πόρους, όπου άλλα πρωτόκολλα και μορφές δεδομένων ταιριάζουν καλύτερα. Μετά την περιγραφή της χαρτογράφησης, οι συγγραφείς παρουσιάζουν δύο μελέτες περιπτώσεων, η πρώτη είναι η δισύνδεση με ένα σύστημα μικροφώνου θερμότητας και δύναμης (μCHP) και η δεύτερη η διασύνδεση με ένα ηλεκτρικό όχημα. Ωστόσο, η εξήγηση δεν είναι αρκετά εκτεταμένη για να ισχυριστεί ότι το πρωτόκολλο ταιριάζει στα προτεινόμενα σενάρια.

Οι Shin et al. (2017) συνέκριναν την αντιστοίχιση του CoAP στο IEC 61850 με αυτήν του MQTT και του Simple Object Access Protocol (SOAP). Αποκάλυψαν ότι το μέγεθος δεδομένων του CoAP είναι μικρότερο από τα δύο άλλα πρωτόκολλα, παρά τη μετάδοση των ίδιων πληροφοριών. Στη συνέχεια, συμπεραίνεται ότι το CoAP είναι ένα πιο χρήσιμο πρωτόκολλο για το έξυπνο δίκτυο, καθώς η δυνατότητα συσκευής μπορεί να περιοριστεί και έδειξε ότι παρέχει πιο αποδοτική κυκλοφορία δικτύου και χαμηλό λανθάνοντα χρόνο όταν χρησιμοποιείται στο IEC 61850 ως πρωτόκολλο επικοινωνίας.

Στο έγγραφο τους οι Calvo et al. (2012) χαρτογράφησαν το IEC 61850 σε ενδιάμεσο λογισμικό με πρωτόκολλα CORBA και DDS. Το CORBA βασίζεται σε μια αρχιτεκτονική πελάτη-διακομιστή, ενώ το DDS βασίζεται σε ένα μοντέλο δημοσίευσης-εγγραφής (publish-subscribe model) το οποίο συμπληρώνει και τα δύο πρωτόκολλα. Ως εκ τούτου, οι συγγραφείς πρότειναν ένα εξειδικευμένο ενδιάμεσο λογισμικό που χτίστηκε πάνω και στα δύο, το οποίο είναι σε θέση να παρέχει απαντήσεις στους πελάτες, καθώς και να στέλνει περιοδικά (δειγματοληπτικά μετρημένες τιμές) και απεριοδικά (γεγονότα) δεδομένα. Οι μελετητές χρησιμοποιούν το CORBA για την

αντιστοίχιση οντοτήτων ανώτερου επιπέδου, δηλαδή διακομιστών, λογικών συσκευών, και λογικών κόμβων. Οι οντότητες χαμηλότερου επιπέδου, όπως οι οντότητες δεδομένων, τα χαρακτηριστικά δεδομένων και τα σύνολα δεδομένων, αντιστοιχίζονται σε εσωτερικά αντικείμενα που διαχειρίζονται αντικείμενα CORBA. Από την άλλη πλευρά, το DDS είναι το προτεινόμενο πρωτόκολλο για την αντιστοίχιση γενικών συμβάντων υποσταθμών (Generic Substation Events - GSE) και τιμών μέτρησης δειγματοληψίας (Sampling Measured Values - SMV), καθώς και για την καταγραφή και αναφορά

Σε επόμενο έργο των Calvo et al. γίνεται προσπάθεια να χαρτογραφηθεί το πρότυπο IEC 61850 σε DDS, χρησιμοποιώντας μόνο το μοντέλο δημοσίευση-εγγραφής που παρέχει αυτό. Για τα ίδια τα δεδομένα, χρησιμοποιούν IDL, που κληρονομείται από το CORBA. Για τη χαρτογράφηση των υπηρεσιών, λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά: μοντέλο δημοσίευσης-εγγραφής για περιοδικά και μη περιοδικά μηνύματα επεξεργασίας και πελάτη-διακομιστή για λειτουργίες μη πραγματικού χρόνου. Καθώς το IEC 61850 ορίζει και τους δύο τύπους μηνυμάτων, μια λύση πρέπει να χρησιμοποιεί δύο διαφορετικά πρωτόκολλα με διαφορετικά πρότυπα επικοινωνίας, όπως παρουσιάστηκε και στο μοντέλο του αρχικού εγγράφου της ομάδας, έσθ και στο συγκεκριμένο γίνεται αντιστοίχιση της επικοινωνίας πελάτη-διακομιστή σε ένα μοντέλο δημοσίευσης-εγγραφής. Με τη διευθέτηση μηχανισμών DDS επιτυγχάνεται παρόμοια συμπεριφορά με την επικοινωνία πελάτη-διακομιστή.

Οι Bi et al. (2013) πρότειναν μια χαρτογράφηση μοντέλου δεδομένων IEC 61850 σε DDS και δοκίμασαν το μοντέλο τους σε περιβάλλον LAN. Αξιολόγησαν την αξιοπιστία του μοντέλου τους υπολογίζοντας τον λόγο των απεσταλμένων δειγμάτων προς τα ληφθέντα δείγματα, αλλά δεν υπάρχει πρακτική σύγκριση μεταξύ της μεθόδου τους και άλλων πρωτοκόλλων IoT.

Λίγο αργότερα οι Tarek et al. (2017) ανέπτυξαν ένα Σύστημα Ενεργειακής Διαχείρισης (Energy Management System-EMS για μικροπλέγματα με μια online μονάδα βελτιστοποίησης που λαμβάνει υπόψη την ιστορία τις τρέχουσες και μελλοντικές παρατηρήσεις του συστήματος. Η απαίτηση επικοινωνίας για κάθε ενότητα του ανεπτυγμένου EMS (έξυπνοι μετρητές, πρόβλεψη φορτίου, ελεγκτές, κλπ.) μελετήθηκε και το απαιτούμενο προφίλ της ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service – QoS) ορίστηκε ανάλογα. Το ενδιάμεσο λογισμικό DDS επιλέχθηκε ως ο κορμός επικοινωνίας για το προτεινόμενο πλαίσιο εργασίας για τους ισχυρούς μηχανισμούς ανακατεύθυνσης και το συνολικό προφίλ QoS. Ένα πλαίσιο προσομοίωσης υβριδικής εξερεύνησης που ανταλλάσσει δεδομένα μέσω ενός πραγματικού δικτύου Ethernet αναπτύχθηκε για να μελετηθεί η ευαισθησία του συστήματος σε ζητήματα δικτύωσης, όπως καθυστερήσεις στη μετάδοση, διαθεσιμότητα δεδομένων, και αξιοπιστία μεταξύ άλλων παραγόντων. Το EMS εκτέθηκε σε πραγματικά δεδομένα οικιστικής κατανάλωσης ενέργειας και δεδομένα ακτινοβολίας και απέδειξε την αποτελεσματικότητά του στη μείωση των λογαριασμών των καταναλωτών και στην επίτευξη επίτευτων προφίλ φορτίου αιχμής.

Οι Esfahani et al. (2018) εφάρμοσαν την αγορά του δικτύου μικροϋπολογιστών με βάση τον αλγόριθμο της θεωρίας παιγνίων και χαρτογράφησαν το IEC 61850 σε DDS για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις επικοινωνίας της αγοράς σε πραγματικό χρόνο. Ο στόχος αυτής της αγοράς ήταν η ελαχιστοποίηση της καθαρής ενεργειακής αναντιστοιχίας σε μια περιοχή που περιλαμβάνει πολλά μικροδίκτυα και η μείωση της εξάρτησης των μικροδικτύων από την χρησιμότητα. Το ενδιάμεσο λογισμικό DDS που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο RTPS αναπτύχθηκε για να δημιουργήσει μια αξιόπιστη και κλιμακούμενη υποδομή επικοινωνίας για αυτό το έργο. Χρησιμοποιώντας την ανεπτυγμένη επικοινωνιακή δομή, τα μικροδίκτυα θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις δυνατότητες όλων των πρακτόρων για να επιτύχουν τους προαναφερθέντες στόχους του πλαισίου σε ένα απορρυθμισμένο περιβάλλον. Τα αριθμητικά αποτελέσματα έδειξαν την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου πλαισίου αγοράς στην επιτυχή επίτευξη του χαμηλού χρόνου λύσης και της ελάχιστης εξάρτησης από τη χρησιμότητα για αυτόνομη λειτουργία του συστήματος πολλαπλών μικροδικτύων.

Οι Hastings et al. (2017) εισήγαγαν στο έγγραφο τους το MQTT ως κατάλληλο πρωτόκολλο IoT για τις αλληλεπιδράσεις των Κατανεμημένων ενεργειακών πόρων-DER στο περιβάλλον του έξυπνου δικτύου και πρότειναν μια πλατφόρμα για τη συνεισφορά του συστήματος θέρμανσης στο DR με βάση την εφαρμογή του MQTT ως πρωτοκόλλου μετάδοσης. Οι συγγραφείς παρείχαν οδηγίες και εξέτασαν την αξιολόγηση του λανθάνοντος χρόνου για τις μελλοντικές εργασίες τους.



Οι Sucic et al. (2013) ενσωμάτωσαν το DER και το ESS στην εικονική μονάδα παραγωγής ενέργειας (Virtual Power Plant-VPP) αναπτύσσοντας το OPC UA σύμφωνα με το πρωτόκολλο IEC 61850. Σύμφωνα με το πρότυπο πληροφοριών IEC 61850 και CIM, ενώ οι Kim et al. (2019) απέδειξαν την αποτελεσματικότητα του OPC UA για την επικοινωνία μεταξύ του δικτύου μικροϋπολογιστών και των επιπέδων εποπτείας, όπως το DMS ή το EMS.

Οι Hussain et al. (2018) παρέιχε διαχείριση αέργου ισχύος στο μικροδίκτυο μοντελοποιώντας έναν στατικό αντισταθμιστή διανομής (DSTATCOM) βασισμένο στο μοντέλο πληροφοριών IEC 61850 και ασφαλή επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου Web XMPP με την εφαρμογή του απλού επιπέδου ελέγχου ταυτότητας και ασφάλειας (SASL) και του TLS. Οι συγγραφείς παρουσίασαν τους καταναμημένους πόρους και φορτία από το μοντέλο πληροφοριών IEC 61850, που εποπτεύτηκαν από τον καταναμημένο φορέα εκμετάλλευσης δικτύου (DNO), VPP, ή έξυπνους φορείς αγοράς. Ωστόσο, οι συντάκτες δεν παρέιχαν τη μέθοδο αξιολόγησης και το πρωτόκολλο αναφοράς.

Οι Aftab et al. (2018) προγραμματίζεται EMS στο μικροδίκτυο με την παρουσία EV με βάση το πρότυπο πληροφοριών IEC 61850. Ο ελεγκτής της κάθε οντότητας μικροπλέγματος θεωρήθηκε ως XMPP πελάτη που επικοινωνεί μέσω WAN με τον διακομιστή XMPP που είναι το κέντρο ελέγχου μικροπλέγματος. Ωστόσο, αυτό το έγγραφο παρέιχε ένα πλαίσιο και δεν υπάρχουν πειραματικά αποτελέσματα.

Υπάρχει περιορισμένη βιβλιογραφία για την εφαρμογή του ZeroMQ στην εφαρμογή έξυπνου πλέγματος. Οι Peterson κ.ά. (2017) επικεντρώθηκαν στην διεκπεραιωτική ικανότητα, τον τύπο και το μοτίβο μηνυμάτων, τον λανθάνοντα χρόνο, την απώλεια πακέτων, και τη χρήση μνήμης του διακομιστή και του πελάτη και παρέιχαν μία από τις ολοκληρωμένες συγκρίσεις απόδοσης πρωτοκόλλων IoT στο έξυπνο πλέγμα. Αυτή η εργασία παρατήρησε ότι η εναλλάξιμη σειριοποίηση επηρεάζει βαθιά το διαθέσιμο εύρος ζώνης και τη διεκπεραιωτική ικανότητα προφέροντας το ως ένα από τα κρίσιμα χαρακτηριστικά του middleware επηρεάζει ιδιαίτερα το διαθέσιμο εύρος ζώνης και τη διεκπεραιωτική ικανότητα. Οι συγγραφείς αναγνώρισαν ότι, ενώ η χρήση μνήμης της CORBA είναι αμελητέα, τα OPC UA και XMPP έχουν το υψηλότερο εύρος μεταξύ άλλων ενδιάμεσων λογισμικών. Επιπλέον, τα πειραματικά αποτελέσματα αυτής της εργασίας δείχνουν ότι το ZeroMQ και το YAMI4 είναι το πιο ισχυρό ενδιάμεσο λογισμικό για την έξυπνη εφαρμογή πλέγματος.

Η έρευνα των σχετικών μελετών δείχνει ότι υπάρχει περιορισμένη προσπάθεια για τη σύγκριση των πρωτοκόλλων IoT που αντιπροσωπεύονται στο έξυπνο δίκτυο και, συγκεκριμένα, τη χαρτογράφηση του πρωτοκόλλου IEC 61850. Σημειώνεται ότι οι περισσότερες από τις μελέτες περιόρισαν τις προσπάθειές τους για προσομοίωση, και σπάνια εφάρμοσαν πραγματικές πειραματικές πλατφόρμες σε σύγκριση με την απόδοση πρωτοκόλλου IoT στο έξυπνο πλέγμα. Αν και υπάρχουν ορισμένες εμπειρίες που μπορούν να ελεγχθούν, περιορίζονται σε αποκλειστικές δικτυακές υποδομές και κυρίως σε περιβάλλοντα LAN, ενώ το έξυπνο δίκτυο χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη συμφόρηση του δικτύου.

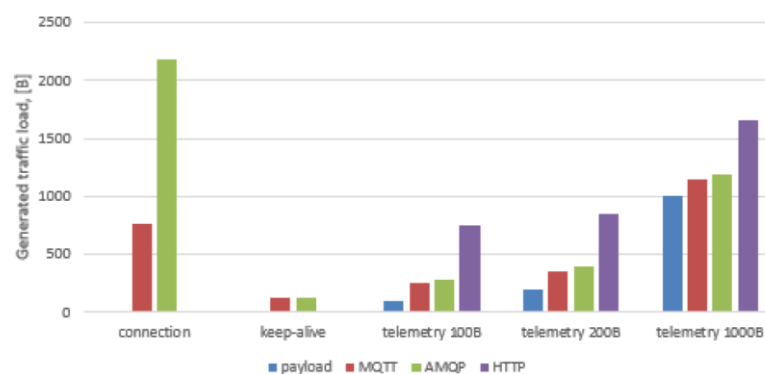
### 5.3.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ HTTP, MQTT, AMQP

Οι Sikic et al. (2020), πραγματοποίησαν ένα πείραμα μεταξύ των τριών πιο διαδεδομένων πρωτοκόλλων IoT σε περιβάλλον έξυπνου δικτύου και ειδικότερα σε δεδομένα που μεταφέρονταν από έξυπνους μετρητές στο Cloud. Το πείραμα περιλάμβανε την παρατήρηση μηνυμάτων τηλεμετρίας που αποστέλλονταν από έξυπνους μετρητές σε μια μονάδα συνάθροισης στο Cloud. Η πλήρης ροή δεδομένων τηλεμετρίας περιλάμβανε τη μέτρηση συσκευών έξυπνου μετρητή (δηλ. παραγωγή δεδομένων), τη σειριοποίηση και κωδικοποίηση δεδομένων από την πλευρά της συσκευής, τη μετάδοση δεδομένων, τη συνάθροιση δεδομένων από την πλευρά του Cloud και την επεξεργασία δεδομένων. Τα δεδομένα των μετρήσεων αποστέλλονται στη μονάδα συγκέντρωσης με τη μορφή μηνυμάτων τηλεμετρίας συσκευής προς του Cloud. Ο στόχος του πειράματος που διεξάγεται είναι να αναλύσει την κυκλοφορία που παράγεται από ένα έξυπνο μετρητή χρησιμοποιώντας διαφορετικά πρωτόκολλα εφαρμογής και συγκεκριμένα εξετάζονται τα τρία διαφορετικά πρωτόκολλα HTTP, MQTT, και AMQP, εστιάζοντας κυρίως στο φορτίο κυκλοφορίας και την καθυστέρηση παράδοσης μηνυμάτων (Sikic et al., 2020).

Η δομή πειράματος αποτελείται από 10 προσομοιωμένες έξυπνες συσκευές μέτρησης που παράγουν 100B δεδομένων μέτρησης κάθε 1 δευτερόλεπτο και τις στέλνουν στο Cloud. Οι

συσσκευές έχουν σύνδεση Ethernet στο διαδίκτυο και αναβαθμίζονται με σύνολο εργαλείων ανάπτυξης λογισμικού (Software Development Kit- SDK) για σειριοποίηση δεδομένων, κωδικοποίηση και επικοινωνία πρωτοκόλλου IoT. Το SDK μορφοποιεί τα δεδομένα μέτρησης σε JSON, δημιουργεί σύνδεση με τη μονάδα συνάθροισης στο σύννεφο και στέλνει το κωδικοποιημένο μήνυμα τηλεμετρίας JSON (JavaScript Object Notation) μέσω ενός από τα προαναφερθέντα πρωτόκολλα επικοινωνίας IoT. Λαμβάνεται ως δεδομένο ότι αναφέρονται μόνο σε ασφαλείς εκδόσεις αυτών των πρωτοκόλλων, όπως θα αναμενόταν από το πραγματικό έξυπνο σύστημα μέτρησης και θεωρείται ότι τα δεδομένα αποστέλλονται αρκετά συχνά ώστε μια μη επιτυχής παράδοση μηνυμάτων (δηλαδή, η έλλειψη δεδομένων μέτρησης για 1 δευτερόλεπτο) να μην επηρεάζει τη λειτουργία του συστήματος διαχείρισης τηλεμετρίας. Επιπλέον, η διαμόρφωση της επιβεβαίωσης μηνυμάτων θα αύξανε τον λανθάνοντα χρόνο παράδοσης μηνυμάτων και την πολυπλοκότητα επικοινωνίας της συσκευής, γεγονός που δε λαμβάνεται υπόψη στην εργασία. Οι μελετητές λοιπόν, ξεκινάμε τις έξυπνες συσκευές μέτρησης με τη ρύθμιση διαφορετικών πρωτοκόλλων επικοινωνίας κάθε φορά και στη συνέχεια συλλαμβάνουν τα μηνύματα που παράγονται στο Wireshark, λογισμικό που είναι ελεύθερο και ανοιχτού κώδικα ανάλυσης πρωτοκόλλων δικτύου υπολογιστών, και παρατηρούν το παραγόμενο φορτίο κυκλοφορίας και την καθυστέρηση παράδοσης μηνυμάτων αυτών των μηνυμάτων. Τα αποτελέσματα του πειράματος παρουσιάζονται στην συνέχεια (Sikic et al., 2020).

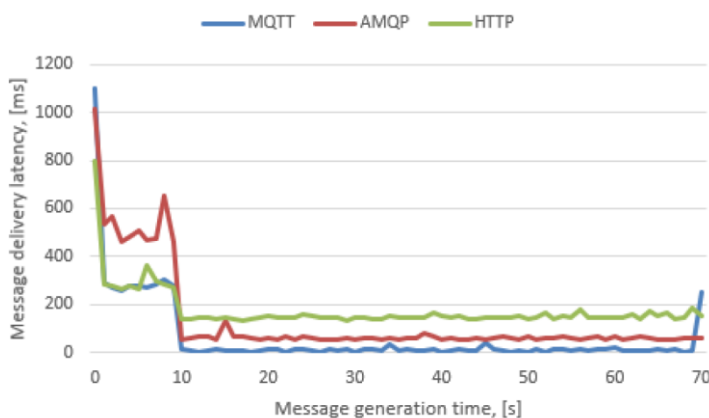
Όπως αναφέρθηκε η σύγκριση των κατάλληλων IoT πρωτοκόλλων επικοινωνίας γίνεται λαμβάνοντας υπόψη το παραγόμενο φορτίο κυκλοφορίας και τον λανθάνοντα χρόνο παράδοσης μηνυμάτων συσκευής προς Cloud. Ξεκινώντας την σύγκριση θεωρούμε ότι η διαδικασία ασφαλούς σύνδεσης είναι ίση και για τα τρία πρωτόκολλα (HTTP, MQTT, και AMQP) καθώς θεωρούμε ότι η ασφαλής σύνδεση είναι η μόνη που δεν μπορεί να αποφευχθεί. Μόλις δημιουργηθεί μια ασφαλής σύνδεση, κάθε πρωτόκολλο εφαρμογής ξεκινά τη δική του διαδικασία σύνδεσης. Η Εικόνα 2 δείχνει το φορτίο κυκλοφορίας στο φυσικό επίπεδο που δημιουργείται από μια έξυπνη συσκευή μέτρησης κατά την αποστολή μηνυμάτων τηλεμετρίας με τα τρία θεωρούμενα κατάλληλα πρωτόκολλα IoT, δηλαδή MQTT, AMQP, και HTTP. Το πρώτο σύνολο στηλών αντιπροσωπεύει το φόρτο κυκλοφορίας που δημιουργείται στην εγκατάσταση της σύνδεσης, ενώ παράλληλα εμφανίζεται το φορτίο μηνυμάτων συντήρησης της σύνδεσης (δηλαδή, διατηρείται ζωντανό). Επιπλέον, το φορτίο των μηνυμάτων τηλεμετρίας με χρήσιμα δεδομένα εμφανίζεται δίπλα σε αυτό, για 100B, 200B, και 1000B του ωφέλιμου φορτίου τηλεμετρίας. Όπως φαίνεται τα πρωτόκολλα MQTT και AMQP πρέπει να ανταλλάξουν μηνύματα ελέγχου για τη δημιουργία σύνδεσης και τη συντήρηση. Ενώ τα μηνύματα για διατήρηση σύνδεσης είναι σχετικά μικρού φορτίου (123B στο φυσικό επίπεδο) και για τα δύο πρωτόκολλα εφαρμογών IoT, το AMQP παράγει σημαντικά μεγαλύτερο φορτίο στη δημιουργία σύνδεσης (2179B σε σύγκριση με το 769B που παράγεται από την MQTT) λόγω των χαρακτηριστικών του για να παρέχει μια αξιόπιστη σύνδεση και πολλά χαρακτηριστικά μηνύματος. Οι τρεις τελευταίες στήλες του Σχήματος 2 δείχνουν το φορτίο μηνύματος που παράγεται όταν ανταλλάσσονται δεδομένα τηλεμετρίας διαφορετικών ωφέλιμων φορτίων (100, 200, και 1000B). Τα μηνύματα που στέλνονται μέσω MQTT έχουν την μικρότερη επιβάρυνση, τα μηνύματα AMQP είναι ελαφρώς μεγαλύτερα, ενώ το HTTP παράγει τα μεγαλύτερα μηνύματα για τον ίδιο όγκο χρήσιμων δεδομένων (Sikic et al., 2020).



Εικόνα 8: Φορτίο μηνυμάτων πρωτοκόλλων

Ο λόγος για την αξιοσημείωτη διαφορά στην επιβάρυνση του μηνύματος είναι ότι το MQTT και AMQP είναι δυαδικά πρωτόκολλα εφαρμογής IoT, βελτιστοποιημένα για συμπαγή μεταφορά δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, το HTTP έχει σχεδιαστεί για μεταφορά εγγράφων και, επομένως, δεν παρέχει την επιθυμητή απόδοση μηνυμάτων σχετικά με το παραγόμενο φορτίο κυκλοφορίας. Ωστόσο, το HTTP είναι προτιμότερο για την περίπτωση χρήσης μηνύματος μιας χρήσης ή για τακτική ανταλλαγή μηνυμάτων με μεγάλες ανενεργές περιόδους όπου κάθε νέο μήνυμα θα ξεκινήσει τη διαδικασία δημιουργίας σύνδεσης. Σε αυτήν την περίπτωση, ένα μόνο ασυνδεδασμένο μήνυμα HTTP έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερο φορτίο κυκλοφορίας σε σύγκριση με μηνύματα δημιουργίας σύνδεσης και ένα μήνυμα τηλεμετρίας που παράγεται από MQTT ή AMQP (Sikic et al., 2020).

Όταν εξετάζεται η βελτιστοποίηση της επικοινωνίας όσον αφορά την παραγόμενη ελαχιστοποίηση του φορτίου κυκλοφορίας, η πρώτη παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι το διάστημα διατήρησης. Πρόκειται για ρυθμισμένη περίοδο για την οποία η υπάρχουσα σύνδεση παραμένει ανοιχτή μέχρι να αποσταλεί το επόμενο μήνυμα τηλεμετρίας ή ένα μήνυμα διατήρησης. Αν η συσκευή δεν επικοινωνήσει με την πλευρά του διακομιστή (στην περίπτωση μας τη μονάδα συνάθροισης στο cloud) κατά την προδιαμορφωμένη περίοδο, η σύνδεση κλείνει και πρέπει να αποκατασταθεί. Το μικρό διάστημα «διατήρησης εν ζωή» αναγκάζει τη σύνδεση να κλείσει αμέσως μετά τη λήψη του μηνύματος, οπότε κάθε νέο μήνυμα πρέπει να αποκαταστήσει τη σύνδεση και να προκαλέσει περιττή επιβάρυνση της κυκλοφορίας. Από την άλλη πλευρά, τα μακροχρόνια διαστήματα διατήρησης-ζωντανών συνηγορούν υπέρ της τακτικής μετάδοσης μηνυμάτων ελέγχου διατηρησιμότητας με μικρό ωφέλιμο φορτίο. Αυτό είναι ένα σύνθετο πρόβλημα βελτιστοποίησης όταν η κυκλοφορία συσκευών είναι σποραδική (δηλαδή, οι χρόνοι άφιξης μηνυμάτων δεν είναι κανονικοί). Ωστόσο, η περίπτωση χρήσης τηλεμετρικών μηνυμάτων προϋποθέτει τακτικές μεταδόσεις μηνυμάτων με βάση ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Επομένως, το διάστημα «διατήρησης εν ζωή» μπορεί να οριστεί στη βέλτιστη τιμή με βάση τη συχνότητα άφιξης μηνυμάτων (Sikic et al., 2020).



Εικόνα 9: Καθυστέρηση παράδοσης μηνυμάτων πρωτοκόλλων MQTT, AMQP, HTTP

Μια άλλη παράμετρος βελτιστοποίησης για την ελαχιστοποίηση του φόρτου κυκλοφορίας όσον αφορά την επιβάρυνση του μηνύματος είναι το μέγεθος του ωφέλιμου φορτίου του μηνύματος. Στο σχήμα 2 συγκρίνονται τα μηνύματα που παράγονται από την έξυπνη συσκευή μέτρησης χρησιμοποιώντας τρία διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας για διαφορετικό ωφέλιμο φορτίο μηνύματος. Η MQTT και η AMQP παράγουν παρόμοιους φόρτους μηνυμάτων, ενώ η HTTP δημιουργεί σημαντική επιβάρυνση σε μηνύματα. Η επιβάρυνση του μηνύματος έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο στα μικρά μηνύματα ωφέλιμου φορτίου, οπότε τα δεδομένα μέτρησης πρέπει να είναι βέλτιστα συσκευασμένα για να επιτυγχάνεται ικανοποιητικός λόγος χρήσιμων δεδομένων προς γενικά έξοδα. Αυτό, ωστόσο, δεν μπορεί να επιτευχθεί για μικρές μετρήσεις ωφέλιμου φορτίου χαμηλής συχνότητας και αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης (Sikic et al., 2020).

Μια άλλη σημαντική πτυχή της ανταλλαγής μηνυμάτων IoT, ειδικά για την περίπτωση χρήσης έξυπνου δικτύου, είναι η καθυστέρηση παράδοσης μηνύματος, δηλαδή ο χρόνος που πέρασε από τη δημιουργία μηνύματος στην παράδοση μηνύματος στη μονάδα συνάθροισης στο cloud. Παρατηρούμε τον λανθάνοντα χρόνο παράδοσης μηνυμάτων από την αρχή της κανονικής παραγωγής μηνυμάτων, δηλαδή, από την εγκατάσταση σύνδεσης και μετά. Τα ληφθέντα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 3 για τα τρία υπό εξέταση πρωτόκολλα. Όλα τα μηνύματα ανταλλάσσονται μεταξύ των ίδιων φυσικών μηχανών, αλλά διαφορετικές θύρες που καθορίζονται για κάθε πρωτόκολλο που εγγυάται τις ίδιες συνθήκες για την ανταλλαγή μηνυμάτων και την παράδοση λανθάνοντος χρόνου αξιολόγησης (Sikic et al., 2020).

Και τα τρία εξεταζόμενα πρωτόκολλα εμφανίζουν μεγαλύτερη καθυστέρηση παράδοσης μηνύματος στην αρχή της κανονικής ανταλλαγής μηνυμάτων και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα (10 δευτερόλεπτα) ο λανθάνων χρόνος παράδοσης μηνύματος γίνεται σταθερός. Σημειώνεται ότι τόσο ο λανθάνων χρόνος παράδοσης μηνυμάτων στην αρχή της κανονικής ανταλλαγής μηνυμάτων όσο και ο σταθερός λανθάνων χρόνος παράδοσης αργότερα ποικίλλουν για διαφορετικά πρωτόκολλα. Έτσι, τα μηνύματα που αποστέλλονται μέσω AMQP βιώνουν τη μεγαλύτερη καθυστέρηση παράδοσης (της εφαρμογής, 500ms) στην αρχή του διαστήματος ανταλλαγής μηνυμάτων, ενώ τα μηνύματα που αποστέλλονται μέσω HTTP έχουν τη μεγαλύτερη καθυστέρηση για σταθερή ανταλλαγή μηνυμάτων. Η MQTT εμφανίζει τις καλύτερες συνολικές επιδόσεις όσον αφορά την καθυστέρηση παράδοσης του μηνύματος. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τις περισσότερες περιπτώσεις χρήσης μηνυμάτων, όπου αναμένεται τακτική ανταλλαγή μηνυμάτων, και τα τρία πρωτόκολλα επικοινωνίας μπορούν να εφαρμοστούν αν ληφθεί υπόψη η καθυστέρηση ανταλλαγής σταθερών μηνυμάτων κάθε πρωτοκόλλου. Ωστόσο, για κρίσιμες περιπτώσεις χρήσης μηνυμάτων, όπου η επιτακτική ανάγκη είναι να ληφθεί το μήνυμα το συντομότερο δυνατό, η εφαρμογή πρωτοκόλλου MQTT θα επιτύχει τα καλύτερα αποτελέσματα. (Sikic et al., 2020).

## 5.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Για να μπορέσει να δοθεί μία μελλοντική κατεύθυνση για την εφαρμογή πρωτοκόλλου IoT στο έξυπνο δίκτυο, πρέπει να αναγνωρίσουμε το πλαίσιο και την ανάπτυξη της υποδομής του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Το έξυπνο δίκτυο, το οποίο είναι η ολοκλήρωση της επικοινωνίας και του συστήματος ισχύος, εφευρέθηκε για να παρέχει υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο να είναι σαν μια τροποποιημένη και εκσυγχρονισμένη δομή του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Εν τω μεταξύ, η εισαγωγή νέων τεχνολογιών, η αποστολή έξυπνων δικτύων και υποδομών έχουν επηρεαστεί από τη σχετική εφαρμογή τους. Η τάση των ΑΠΕ, η οποία αποτελεί μια νέα λύση για την αντιμετώπιση της έλλειψης ορυκτών καυσίμων και των ζητημάτων εκπομπών αερίων, έχει αυξηθεί ρητά συγκεκριμένα με τη μορφή ενός μικροδικτύου. Οι στόχοι του ευφυούς δικτύου, οι οποίοι είναι κατά κύριο λόγο ισοδύναμοι μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης, παρακολούθησης της σταθερότητας και των σφαλμάτων του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, διαχείρισης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και έκδοσης τιμών, θα πρέπει να συντονίζονται με τα χαρακτηριστικά των ΑΠΕ. Τα κύρια ζητήματα που σχετίζονται με την αξιοποίηση των ΑΠΕ είναι εξαρτώμενα από τις καιρικές συνθήκες χαρακτηριστικά τους, τα οποία θέτουν νέες απαιτήσεις παρακολούθησης και επικοινωνίας στο έξυπνο δίκτυο.

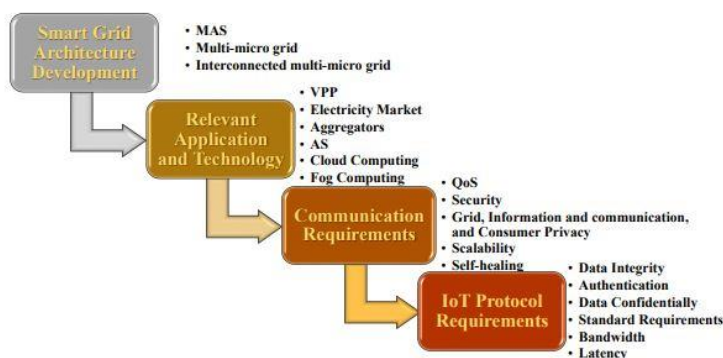
### 5.4.1 MULTI-AGENT SYSTEMS (MAS)

Ο έλεγχος σε ιεραρχικό επίπεδο στο σύστημα ισχύος δεν μπορεί να επιτύχει τους στόχους έξυπνων δικτύων που αναφέρονται παραπάνω. Ο αλγόριθμος ελέγχου και η βελτίωση της παρακολούθησης εμφανίστηκε στην έννοια των συστήματα πολλαπλών πρακτόρων (Multi-Agent Systems – MAS). Κατανεμημένη αλληλεπίδραση αυτόνομων περιοχών, η οποία είναι το κύριο χαρακτηριστικό του MAS, ταιριάζει επαρκώς στις απαιτήσεις του έξυπνου δικτύου. Σύμφωνα με το κύριο χαρακτηριστικό του MAS, το οποίο αποτελεί διασύνδεση αυτόνομων οντοτήτων, υπάρχουν πολλά οφέλη όσον αφορά τη μετατροπή του μοντέλου και της αρχιτεκτονικής του έξυπνου δικτύου σε MAS, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης της κυκλοφορίας και της υποδομής επικοινωνίας δεδομένων με βάση τοπικούς αλγορίθμους λήψης αποφάσεων, της αξιοπιστίας, της επεκτασιμότητας όσον αφορά την ένταξη ή απόρριψη μηνυμάτων άλλων οντοτήτων. Το δίκτυο πολλαπλών μικροϋπολογιστών είναι η άλλη δομή στο ότι το έξυπνο δίκτυο βασίζεται για να επιτύχει

την αύξηση διείσδυσης RES, την ενεργό διαχείριση από πλευρά της ζήτησης, και να ανταποκρίνεται σενάριο φορτίων (Zou et al., 2019)

Τα συστήματα πολλαπλών πρακτόρων (Multi-Agent Systems – MAS) και multi-micro αρχιτεκτονική του έξυπνου δικτύου μπορεί να αυξήσει την ανεξαρτησία του κάθε στοιχείου για να συμμετάσχει στην παροχή Βοηθητικών Υπηρεσιών (Ancillary Services – AS) του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Το VPP, η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και ο συλλέκτης είναι έννοιες που εφαρμόζουν αυτήν την αλληλεπίδραση στην πράξη. Σε αυτό το σύγχρονο περιβάλλον, η παροχή ισχυρών υποδομών επικοινωνίας πρέπει να προσφέρει ελάχιστο χρόνο αναμονής, μέγιστο εύρος ζώνης, προστασία προσωπικών δεδομένων, ασφάλεια και δυνατότητα κλιμάκωσης. Το cloud και fog computing αποτελούν λύσεις γι' αυτές τις απαιτήσεις. Το cloud computing μοιράζεται τους πόρους του υπολογιστικού συστήματος, όπως είναι η αποθήκευση δεδομένων και οι υπολογιστικοί πόροι κατ' απαίτηση (on-demand) μέσω του Διαδικτύου. Αυτό το φαινόμενο χρησιμοποιεί πόρους για να ελαχιστοποιήσει το επενδυτικό και λειτουργικό κόστος. Το fog computing είναι μια άλλη έννοια σε ένα σχήμα κοινόχρηστων αναλυτικών υπηρεσιών που λειτουργεί στο άκρο του δικτύου. Αυτό το χαρακτηριστικό διευκολύνει την επεξεργασία δεδομένων μειώνοντας την απόσταση την οποία πρέπει να διανύουν τα δεδομένα μέσα στο δίκτυο. Το cloud computing βρίσκεται κοντά στις συσκευές που παράγουν δεδομένα, όπως αισθητήρες, σε αντίθεση με το fog computing, η οποία βρίσκεται πολύ μακριά από τους πόρους των δεδομένων, και επεξεργάζεται δεδομένα σε έναν κοινόχρηστο κεντρικό διακομιστή. Λόγω του κλιμακούμενου χαρακτηριστικού του cloud computing, μπορεί να βοηθήσει το εποπτικό επίπεδο του συστήματος, δηλαδή τους Διαχειριστές συστήματος μεταφοράς/Λειτουργίες συστήματος διανομής (Transmission System Operator/Distribution System Operatos-TSO/DSO) που ασχολούνται με μαζικούς υπολογισμούς δεδομένων, ενώ η εφαρμογή fog computing κοντά στους πράκτορες οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας επεξεργασίας δεδομένων και βελτίωση της ιδιωτικής ζωής (Hussain et al., 2019).

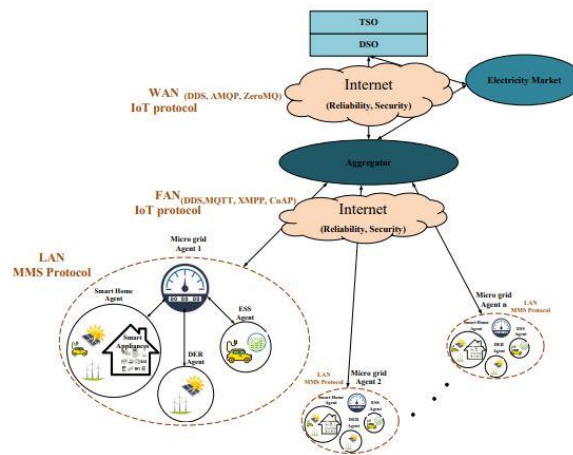
Τέλος, με την εφαρμογή συστημάτων πολλαπλών πρακτόρων (Multi-Agent Systems – MAS) και πολλαπλών μικροδικτύων στο έξυπνο δίκτυο, αυξάνεται ο αριθμός των ενεργών κόμβων στο σύστημα ισχύος που συμμετέχει στις βοηθητικές υπηρεσίες. Η πρόθεση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή διείσδυση αισθητήρων, ενεργοποιητών και υπολογιστικών μονάδων υπό την έννοια του IoT. Τα cloud και fog computing, είναι εργαλεία που διευκολύνουν αυτό το σενάριο. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει ειδικό πρότυπο για την εφαρμογή τους στο περιβάλλον έξυπνου δικτύου, η υλοποίηση της δομής επικοινωνίας, τα πρότυπα και τα πρωτόκολλα αυτού του φαινομένου ενθαρρύνει τη μελλοντική διερεύνηση σε αυτόν τον τομέα. Οι τελικοί χρήστες αυξάνουν τη συνεισφορά τους στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο ως υποδομή επικοινωνίας για την κυκλοφορία αποκλειστικών μηνυμάτων, τα οποία είναι ευάλωτα. Σε αυτήν την περίπτωση απορρήτου, αυτό το πλεονέκτημα ορίζει ένα νέο ορίζοντα στην ακεραιότητα δεδομένων, την πιστοποίηση αυθεντικότητας, την εμπιστευτικότητα δεδομένων, το πρότυπο, το εύρος ζώνης και τις απαιτήσεις λανθάνοντος χρόνου του πρωτοκόλλου IoT στις μελέτες έξυπνων δικτύων (Tightiz & Yang, 2020).



Εικόνα 10: Αποτελεσματικά στοιχεία στην εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων στις μελλοντικές τάσεις του Έξυπνου Δικτύου

Η αρχιτεκτονική επικοινωνίας έξυπνου πλέγματος, έχει τρία επίπεδα, δηλαδή HAN, FAN, και WAN που αντιστοιχούν σε αυτά τα πρότυπα και την αρχιτεκτονική MAS στην Εικόνα 12. Αυτό

το σχήμα περιγράφει την αρχιτεκτονική MAS του έξυπνου δικτύου. Παρέχει επίσης μια κατευθυντήρια γραμμή για την εύρεση ενός κατάλληλου πρωτοκόλλου IoT για την επικοινωνία σε κάθε επίπεδο αυτής της δομής. Η δομή επικοινωνίας στο εσωτερικό κάθε φορέα βρίσκεται στην κορυφή του τοπικού δικτύου. Σε αυτήν την αρχιτεκτονική, ένα δίκτυο πολλαπλών μικρομονάδων, οι οντότητες μπορούν να επικοινωνούν με το εποπτικό επίπεδο, όπως Διαχειριστές συστήματος μεταφοράς/Λειτουργίες συστήματος διανομής (TSO/DSO), μέσω συσσωρευτών. Οι συσσωρευτές τοποθετούνται στο μέσο αυτής της αρχιτεκτονικής για να διευκολύνουν την αλληλεπίδραση και τη συνεργασία και εξασφαλίζουν τη διαχείριση δεδομένων, τη συγκέντρωση, την αντιστοίχιση και τη συναλλαγή μεταξύ του μικροδικτύου, της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και των TSO/DSO. Δεδομένου ότι εξετάζουμε οικονομικούς περιορισμούς για την παροχή δομής επικοινωνίας, συνιστάται να αποφεύγονται οι αποκλειστικοί περιορισμοί και η χρήση της υπάρχουσας υποδομής, η οποία είναι το Διαδίκτυο. Τα AMQP και ZeroMQ είναι κατάλληλα πρωτόκολλα που εφαρμόζονται για την επικοινωνία μεταξύ του φορέα συγκέντρωσης και του εποπτικού επιπέδου. Το DDS είναι ένα ισχυρό και ώριμο πρωτόκολλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο WAN. Το πρωτόκολλο αυτό εκμεταλλεύεται τη δωρεάν υποδομή με τη χρήση του Διαδικτύου. Υποστηρίζει ένα μεγάλο εύρος υπηρεσιών QoS, όπως ασφάλεια και αξιοπιστία, τα οποία είναι απαραίτητα χαρακτηριστικά για την επικοινωνία μέσω του Διαδικτύου (Tightiz & Yang, 2020).



Εικόνα 11: Τα συστήματα πολλαπλών πρακτόρων στο Έξυπνο Δίκτυο βασισμένο στο IEC 61850 και τα πρωτόκολλα των διαδικτύων των πραγμάτων

#### 5.4.2 SOFTWARE-DEFINED NETWORKING (SDN)

Η εφαρμογή της τεχνολογίας SDN ως μια προηγμένη λύση δικτύωσης επικοινωνίας είναι ένα προκείμενο ερευνητικό πεδίο στο Έξυπνο δίκτυο. Το SDN με πλήρη γνώση του συνολικού δικτύου και της κατάστασης διαμόρφωσης των στοιχείων του δικτύου είναι σε θέση να βελτιώσει την παραγωγικότητα και την ευελιξία του δικτύου, να εφαρμόσει δυναμική κατανομή πόρων και να διευκολύνει τη δρομολόγηση της κυκλοφορίας στα δίκτυα επικοινωνίας SG [14]. Διάφορες έξυπνες συσκευές στο SG παράγουν τεράστια δεδομένα με υψηλές διαστάσεις και μεταβαλλόμενες τιμές, προκαλώντας προβλήματα όπως συμφόρηση δεδομένων, ανεπάρκεια εύρους ζώνης, και μείωση της ποιότητας των υπηρεσιών στο δίκτυο που συνδέει το δίκτυο και τους χρήστες. Το SDN μπορεί να διευκολύνει τη διαχείριση του δικτύου διαχωρίζοντας το σχέδιο δεδομένων από το κεντρικό σχέδιο ελέγχου με δυναμικό τρόπο. Επιπλέον, η δυνατότητα κλιμάκωσης και η αποδοτικότητα του SDN μπορούν να αντιμετωπίσουν την αυξανόμενη κυκλοφορία μεγάλων δεδομένων στα έξυπνα δίκτυα (Ghorbanian et. al, 2019).

Επιπλέον, ο αυξανόμενος αριθμός και το μέγεθος των δικτύων συνεχούς ρεύματος (Direct Current – DC) με μαζική κατανάλωση ενέργειας επιβαρύνουν περαιτέρω τα έξυπνα δίκτυα και αυξάνουν τα αποτυπώματα άνθρακα. Η ενσωμάτωση των δικτύων DC με των ΑΠΕ μπορεί να μετριάσει αυτήν την κατάσταση και να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, η ακανόνιστη και περιστασιακή συμπεριφορά των ΑΕΠ μπορεί να αντιμετωπιστεί με την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων ως συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας στο SG. Ως εκ

τούτου, απαιτείται μια αποδοτική, κλιμακούμενη και προγραμματικά διαμορφωμένη πλατφόρμα για τη βιωσιμότητα των SG με ΑΕΠ και ηλεκτρικά οχήματα. (Ghorbanian et. al, 2019)

Επιπλέον, το ενεργειακό Διαδίκτυο ως σύστημα νέας γενιάς ηλεκτρικής ενέργειας είναι σε θέση να παρέχει αποτελεσματική διασύνδεση μεταξύ διαφορετικών ειδών ενεργειακών πόρων σε μεγάλη κλίμακα. Προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα και η ευελιξία του ενεργειακού Διαδικτύου, η αρχιτεκτονική SDN ως μια εκτεταμένη προσέγγιση δικτύωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση δικτύων με προγραμματιζόμενους πόρους (Zhong et al, 2016).

Υπάρχουν αρκετές πρόσφατες εργασίες σε αυτόν τον τομέα ακόμα στα αρχικά τους στάδια. Οι εφαρμογές που αφορούν την εξισορρόπηση φορτίου, τις εγγυήσεις QoS και την αυτοματοποίηση υποσταθμών μελετώνται στην έρευνα SG. Η εικονική διαμόρφωση είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για δυναμική επαναχρησιμοποίηση, κοινή χρήση και κατάτμηση των υπάρχοντων πόρων (δηλ., διακομιστές, υπολογιστές, επεξεργαστές και συσκευές αποθήκευσης). Επιπλέον, η δυνατότητα επαναπρογραμματισμού των στοιχείων υλικού επιτρέπει σε βοηθητικά προγράμματα να διαχειρίζονται δίκτυα επικοινωνίας προκειμένου να αντιμετωπίζουν με επιθυμητό τρόπο τις υπηρεσίες για κρίσιμες εφαρμογές. Το SDN, τα χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες του αποτελούν ευκαιρία για βολικές εφαρμογές της δικτύωσης εικονικής διαμόρφωσης. Το δίκτυο επικοινωνίας SG περιλαμβάνει έναν τεράστιο αριθμό αισθητήρων και ευφυούς εξοπλισμού για τη μετάδοση των δεδομένων που συλλέγονται σε περιορισμένο αριθμό κέντρων ελέγχου. Αυτό το είδος συστήματος έχει τα σημεία συμφόρησης που προκαλούν αρκετά προβλήματα επικοινωνίας. Η κωδικοποίηση δικτύου θεωρείται ένα μοντέλο επικοινωνίας για τη βελτίωση της αξιοπιστίας, της αποδοτικότητας τροφοδοσίας και εύρους ζώνης, της ασφάλειας, της χωρητικότητας του δικτύου, της προσαρμοστικότητας, και της διεκπεραιωτικής ικανότητας. Στην κωδικοποίηση δικτύου, οι κόμβοι ενδιάμεσης απόστασης συνδυάζουν δεδομένα κωδικοποιώντας τη ροή πληροφοριών που λαμβάνουν αντί να αποθηκεύουν και να προωθούν πακέτα. Κατά συνέπεια, η κωδικοποίηση δικτύου, με την ενίσχυση της αξιοπιστίας και της ικανότητας του δικτύου επικοινωνίας SG, φαίνεται μια πιθανή λύση για την αύξηση της αποτελεσματικότητας των εφαρμογών του. (Ghorbanian et. al, 2019).

### 5.4.3 COGNITIVE RADIO (CR)

Η τεχνολογία CR εφαρμόζεται στην επικοινωνία των έξυπνων δικτύων για να διαφημίσει τους ασφαλείς πόρους συχνότητας με πρόσβαση σε μη αδειοδοτημένα ραδιοφάσματα. Η ροή δεδομένων SG χρησιμοποιεί CR με βάση το πρότυπο IEEE 802.22 σε WRAN σύμφωνα με την ιδιόμορφη επικοινωνία και εφαρμογές. Είναι δυνατή η αλληλεπίδραση διαφορετικών ειδών πληροφοριών με διάφορες παραμέτρους (όπως η ασφάλεια, οι απαιτήσεις QoS και η αξιοπιστία) μέσω της εφαρμογής CR στην υποδομή επικοινωνίας των έξυπνων δικτύων. Η συντήρηση και η αξιοπιστία του συστήματος συνολικής ισχύος απαιτεί προηγμένα χαρακτηριστικά ελέγχου, ειδικά με την παρουσία υψηλής διεύθυνσης των ΑΠΕ. Κατά συνέπεια, η χρήση της τεχνολογίας CR στο SG μπορεί να αποτελέσει μια αποτελεσματική προσέγγιση για την αντιμετώπιση αυτών των απαιτήσεων. (Ghorbanian et. al, 2019)

### 5.4.4 BIG DATA

Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις στα έξυπνα δίκτυα είναι η διαχείριση των πληροφοριών και οι αναλύσεις των μαζικών δεδομένων που παράγονται από τους ενεργούς πόρους και τις έξυπνες συσκευές. Οι υφιστάμενες μέθοδοι ανάλυσης, ιδίως με βάση την απλούστευση και την παραδοχή, σκληραίνουν τη διοίκηση των SG χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά των δεδομένων, τον όγκο, την ταχύτητα και την ποικιλία. Ο σχηματισμός που εξάγεται από τις ευφυείς συσκευές στο SG, όπως οι έξυπνοι μετρητές και τα PMU είναι εκτεταμένος, ποικίλος, ακριβής, και ο χρόνος κρίσιμος. Τα παραδοσιακά συστήματα διοίκησης έρχονται αντιμέτωπα με μεγάλα δεδομένα που δεν μπορούν να διαχειριστούν σωστά. Επιπλέον, η εξαγωγή πληροφοριών από μεγάλα δεδομένα και η αξιοποίησή τους για την επίτευξη αξιόπιστου, ασφαλούς και οικονομικά αποδοτικού ενεργειακού συστήματος θα αποτελέσει σημαντικό ζήτημα. Σε έρευνες προτείνεται μια αρχιτεκτονική υπολογιστών μεγάλων δεδομένων για το SG με τα επίπεδα πόρων δεδομένων, μετάδοσης, αποθήκευσης και ανάλυσης. Μια ασύρματη επικοινωνία μεγάλων δεδομένων θεωρείται ότι αντιμετωπίζει τη μετάδοση δεδομένων ως το πιο σημαντικό μέρος της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής. Μερικές τεχνολογίες παρουσιάζονται για να βελτιώσουν τα μεγάλα δεδομένα βοηθητικό

πρόγραμμα ασύρματης επικοινωνίας και ανάπτυξη νέων εφαρμογών. Για παράδειγμα, το SDN ως μια σύγχρονη αρχιτεκτονική δικτύου μπορεί να θεωρηθεί ότι διαχειρίζεται τα χρονικά ευαίσθητα υπερβολικά δεδομένα στο SG. Επιπλέον, μια τεχνολογία βασισμένη στο νέφος είναι σε θέση να διευκολύνει τη μετάδοση δεδομένων των κρίσιμων εφαρμογών SG και να βοηθήσει την τοπική επεξεργασία δεδομένων προκειμένου να μειωθεί η κυκλοφορία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Ο έλεγχος της κατανεμημένης μνήμης cache είναι η άλλη βασική τεχνολογία στον τομέα αυτό, η οποία μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά το υψηλό ποσοστό της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο (Wang et al, 2017)

#### 5.4.5 BLOCKCHAIN

Τα δεδομένα που παράγονται από τα συστατικά του IoT μπορεί να περιλαμβάνουν ιδιωτικές πληροφορίες και ένας μεγάλος αριθμός απειλών προσπαθεί να καταχραστεί την κακή υποδομή του IoT. Επιπλέον, η υφιστάμενη κεντρική υποδομή δικτύου προκαλεί αναβολή της επικοινωνίας· επομένως, απαιτείται τεράστια διαχείριση δεδομένων. Προκειμένου να ενισχυθεί η ασφάλεια και η προστασία της ιδιωτικής ζωής εντός του fog computing, το αποκεντρωμένο μέσο είναι μια κατάλληλη λύση. Μια πρόσφατη τεχνολογία που ονομάζεται blockchain έχει χρησιμοποιηθεί στον τομέα της έρευνας IoT. Στην πραγματικότητα, το blockchain παίζει το ρόλο ενός συνδέσμου που υποστηρίζει ένα κατανεμημένο, αξιόπιστο και ασφαλές οικοσύστημα για το IoT. Το blockchain παρέχει δίκτυα χωρίς εμπιστοσύνη χρησιμοποιώντας κρυπτογραφία χωρίς την ανάγκη κεντρικών ελέγχων και βελτιώνει τον χρόνο αναμονής στις επικοινωνίες IoT. Το σύστημα blockchain που βασίζεται είναι κατάλληλο στις έξυπνες περιοχές όπως SG για την επίλυση πολλαπλών προκλήσεων σε τέτοια περιβάλλοντα. Δεδομένου ότι ένα από τα αναδυόμενα ζητήματα είναι οι ΑΕΠ στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, ζητούμενο αποτελεί η αξιοποίηση των αποκεντρωμένων εφαρμογών IoT, προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι συναλλαγές μικροπλέγματος και η ανάπτυξη του SG, εξετάζονται στις εφαρμογές του, λύσεις blockchain. Η αποδοτικότητα και η αποκέντρωση του blockchain είναι κατάλληλες για εφαρμογές SG για την ενίσχυση ενός ασφαλούς κατανεμημένου περιβάλλοντος για τους παραγωγούς και τους πελάτες ενέργειας. Ως εκ τούτου, οι εν λόγω συμμετέχοντες στην ομάδα SG διαθέτουν ροή μηνυμάτων εκτός αλυσίδας για να συμμετάσχουν στη διαπραγμάτευση. (Aitzhan et al., 2018).

Τα ζητήματα ασφάλειας στο έξυπνο δίκτυο έχουν τρεις πτυχές: το δίκτυο, το πληροφοριακό και επικοινωνιακό σύστημα και τους καταναλωτές. Δεδομένου ότι η αύξηση των συνεισφορών των τελικών χρηστών στο πρόγραμμα των βοηθητικών υπηρεσιών-AS του συστήματος ισχύος οδηγεί σε μεγαλύτερη ευπάθεια στις πτυχές ασφάλειας, οι ανησυχίες για την προστασία της ιδιωτικής ζωής των καταναλωτών είναι ένα από τα σημαντικά ζητήματα στην εφαρμογή IoT. Η πρωταρχική αποστολή του έξυπνου δικτύου είναι ο έλεγχος και η παρακολούθηση του συστήματος ισχύος μαζί με τους καταναλωτές και η αποστολή μπορεί να επιτευχθεί, όπως έχουμε αναφέρει από το DR, το AMI, η έννοια των παραγωγών, και το μικροδίκτυο που υλοποιεί το έξυπνο δίκτυο. Ο έλεγχος μπορεί να απειληθεί από χάκερ που προσπαθούν να αποκτήσουν πρόσβαση στα τεράστια δεδομένα των καταναλωτών, όπως οικιακές συσκευές, προφίλ φορτίου, ακόμα και ενοποιημένες προσωπικές πληροφορίες, και να τα καταχραστούν. Επιπλέον, ο τομέας της αγοράς και οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν να λαμβάνουν αυτές τις πληροφορίες, γεγονός που συνιστά παραβίαση της ιδιωτικής ζωής των καταναλωτών. Ως εκ τούτου, το εφαρμοζόμενο πρωτόκολλο IoT σε αυτό το κατανεμημένο, ετερογενές περιβάλλον θα πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις ακεραιότητας δεδομένων, ελέγχου ταυτότητας, απορρήτου, εμπιστευτικότητας δεδομένων, προτύπου, εύρους ζώνης και επικοινωνίας λανθάνοντος χρόνου, καθώς και να αντιμετωπίζει τα ζητήματα προστασίας της ιδιωτικής ζωής με την εφαρμογή ορισμένων πολιτικών ασφαλείας. Στο σχήμα 8 παρουσιάζονται τα πρακτικά στοιχεία της εφαρμογής IoT στις μελλοντικές τάσεις του έξυπνου δικτύου (Tightiz & Yang, 2020).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°

### 6.1 ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (ΙΟΤ) ΣΕ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ (SG)

Κατά την υλοποίηση του IoT στα έξυπνα δίκτυα, μπορούν να δημιουργηθούν πολλά εμπόδια. Ένα από τα σημαντικότερα και σημαντικότερα εμπόδια είναι το μεγάλο παραγόμενο σύνολο δεδομένων, το οποίο πρέπει να διαχειριστούμε. Παρακάτω γίνεται μία περιληπτική περιγραφή αυτών των εμποδίων.

#### 6.1.1 ΥΠΟΔΟΜΗ ΚΑΙ ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ

##### Ενεργειακός εφοδιασμός

Από τότε που προωθείται η τεχνολογία IoT, η ενσωμάτωση του IoT στην SG, καθώς και ο ενεργειακός εφοδιασμός για μια μυριάδα πραγμάτων που συνδέονται με το δίκτυο, έχουν θεωρηθεί ως μια μνημειώδης πρόκληση. Κατά το παρελθόν, ο όγκος και η ποικιλία των πόρων παραγωγής ήταν περιορισμένα, με αποτέλεσμα η επιλογή των κατάλληλων πηγών ενέργειας για την εξυπηρέτηση των μέσων του IoT να αποτελεί δύσκολη πράξη. Ωστόσο, σήμερα, οι εξελίξεις στις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με τις βελτιώσεις στην αποδοτικότητά τους έχουν καταστήσει δυνατή τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, σχεδόν σε όλα τα μέρη του κόσμου, ώστε να παρέχουν καλύτερες επιδόσεις από τις παραδοσιακές πηγές. Επιπλέον, κατασκευάζονται και νέα όργανα που καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια. Οι παράγοντες αυτοί δείχνουν ότι η παροχή ενέργειας δεν υπολογίζεται πλέον ως σοβαρό μειονέκτημα. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται στο έξυπνο δίκτυο με τεχνολογία IoT θα πρέπει να είναι σε θέση να διατηρούν τη λειτουργικότητά του για μια παρατεταμένη περίοδο χωρίς την ανάγκη αντικατάστασης της μπαταρίας και επισκευής ελαττωμάτων υλικού. Στο πλαίσιο αυτό, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην ποιότητα των μέσων IoT. (Moradi et al., 2019)

##### Διαχείριση δεδομένων

Η διαχείριση δεδομένων έχει ζωτικό ρόλο στην SG και διατηρεί την ορθή απόδοση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Το IoT-SG είναι ένα εκτεταμένο και δυναμικό σύστημα, και η διαχείριση του μεγάλου παραγόμενου όγκου δεδομένων έχει τεράστια σημασία. Ως εκ τούτου, η διαχείριση δεδομένων στο SG με τεχνολογία IoT απαιτεί ένα δυναμικό διακομιστή, ο οποίος λειτουργεί ως συνδυασμός δεδομένων, λογισμικού και άλλων στοιχείων. Αυτά τα χαρακτηριστικά μεταφράζονται σε παρωχημένα παραδοσιακά συστήματα βάσεων δεδομένων. Έτσι, στο σχεδιασμό της διαχείρισης δεδομένων σε ένα δίκτυο διαδικτύου, πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια κατάλληλη πλατφόρμα για το IoT, στην οποία οι έννοιες της επικοινωνίας, των διαδικασιών, και της αποθήκευσης θα πρέπει να ορίζονται σωστά, και θα πρέπει να εξασφαλίζει την ευελιξία, την ασφάλεια, την κυριαρχία, τις δυνατότητες διαχείρισης, την προσαρμοστικότητα, και την παρατήρηση των προτύπων των πραγμάτων. Το πλαίσιο διαχείρισης δεδομένων περιλαμβάνει ένα επίπεδο που βασίζεται σε δεδομένα και μια διασύνδεση για τη σύνδεση συστατικών στοιχείων IoT. Το οδηγούμενο από δεδομένα επίπεδο αποτελείται από όλες τις εικονικές ή πραγματικές υπάρξεις του πλέγματος που είναι σε θέση να δημιουργήσουν δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά αποθηκεύονται σε κέντρα δεδομένων και επιτρέπουν στο σύστημα να λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο και να επεξεργάζεται τα δεδομένα. Επιπλέον, αυτά τα κέντρα δεδομένων μπορούν να παρέχουν προσβασιμότητα στους χρήστες. Το επίπεδο διασύνδεσης είναι υπεύθυνο για την αξιολόγηση κινδύνων και για την αντιμετώπιση του αιτήματος του χρήστη, ενώ παράλληλα αποφασίζει ποιος πόρος και πότε πρέπει να ενσωματωθεί. (Jaradat et al., 2015)

Τα ενεργειακά συστήματα αντιμετωπίζουν εμπόδια διαχείρισης όπως η πρόκληση σύνδεσης IoT με SG. Αυτή η πολυπλοκότητα προκύπτει από εμπόδια όπως η απεραντοσύνη του δικτύου, η ποικιλία των συνδεδεμένων συσκευών στο δίκτυο, ο συγχρονισμός και ο συντονισμός των συνδεδεμένων συσκευών, η διαχείριση των συσκευών, η ερμηνεία και η ανάλυση των δεδομένων που αντιστοιχούν με διαφορετικά στοιχεία και συσκευές, και τους περιορισμούς αποθήκευσης δεδομένων. Επιπλέον, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν στρατηγικές και μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας, οι οποίες θεωρούνται σημαντικός παράγοντας τόσο στις δομές υλικού όσο και λογισμικού. Η επικοινωνία, η αντίδραση και η αλληλεπίδραση των συστατικών αντιμετωπίζονται

επίσης ως ένα είδος πρόκλησης. Είναι επειδή η ασύρματη σύνδεση μπορεί να λειτουργεί λειτουργικά σε απόσταση λίγων εκατοστών όταν δύο πράγματα είναι συνδεδεμένα, ή ένας χρήστης φέρνει το κινητό του τηλέφωνο κοντά σε αυτό το δίκτυο. Το θέμα αυτό δίνει έμφαση σε τόσο μικρές αποστάσεις, ώστε σε κοντινή απόσταση απαιτείται χαμηλότερο επίπεδο ενέργειας, ενώ για μεγάλες αποστάσεις η αντιμετώπιση είναι πιο περίπλοκη και η κατανάλωση ενέργειας θα αυξηθεί. (Davoody-Beni et al., 2019)

### **Όγκος δεδομένων:**

Με την πάροδο του χρόνου και από την είσοδο της τεχνολογίας στη ζωή και τη βιομηχανία του ανθρώπου, ένα μεγάλο σώμα δεδομένων παράγει το οποίο πρέπει να χειριστεί. Το ερώτημα ήταν πώς θα πρέπει να αποθηκεύεται, να διαβιβάζεται ή να υποβάλλεται σε επεξεργασία ένα τόσο μεγάλο σώμα δεδομένων; Το IoT-SG, το οποίο είναι ένα μεγάλο δίκτυο που αποτελείται από μια μεγάλη ποικιλία οργάνων, συσκευών και κατασκευαστικών στοιχείων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελεί παράδειγμα εφαρμογής του IoT για τους σκοπούς της εφαρμογής του έξυπνου δικτύου. Τα τελευταία χρόνια, έχει προταθεί και αναπτύσσεται σταδιακά η έννοια της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων με διαφορετικά πρότυπα. Τα μεγάλα δεδομένα αντιπροσωπεύουν ένα σύνολο δεδομένων τα οποία δεν μπορούν να αποκτηθούν, να επεξεργαστούν και να διαχειριστούν με τους κοινούς τύπους λογισμικού σε σύντομο χρονικό διάστημα επειδή έχουν τεράστιο όγκο και ενημερώνονται ή επεκτείνονται με την πάροδο του χρόνου. Το 2001, το Ινστιτούτο Gartner (όμιλος META) ανακοίνωσε τρεις διαστάσεις προκλήσεων και ευκαιριών πριν από την αύξηση των δεδομένων (Singh & Yassine, 2018)

- Όγκος: Η αύξηση του μεγέθους και της ποσότητας των δεδομένων
- Ταχύτητα και επιτάχυνση: Η αύξηση της ταχύτητας στην παραγωγή, μετάδοση και επεξεργασία δεδομένων, καθώς και της ταχύτητας εισόδου/εξόδου
- Ποικιλομορφία: Η αύξηση της ποικιλίας των δεδομένων και η επέκταση της ποικιλίας των δεδομένων.

### **Ομοιόμορφο πρότυπο:**

Στα έξυπνα δίκτυα με τεχνολογία IoT, τα διάφορα συστατικά του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνουν πλεονεκτήματα των ενσωματωμένων αισθητήρων που τους επιτρέπουν να παράγουν διάφορα δεδομένα. Προκειμένου να υπάρχει ολοκληρωμένη διαχείριση, όλα τα παραγόμενα δεδομένα πρέπει να συμμορφώνονται με ένα ενιαίο πρότυπο. Επί του παρόντος, όσον αφορά την ύπαρξη διαφορετικών λειτουργικών συστημάτων που υποστηρίζονται ή ενσωματώνονται από διάφορες μεγάλες εταιρείες όπως η Microsoft, η Samsung, κλπ., φαίνεται δύσκολο να επιτευχθεί συναίνεση για ένα ενιαίο πρότυπο. Για παράδειγμα, η εταιρεία Samsung προσέφερε την πλατφόρμα Artik, ενώ η εταιρεία Microsoft προσέφερε την πλατφόρμα Azure ως πλατφόρμες υπολογιστικής νέφους ανοικτού κώδικα. (Morello et al., 2017)

Καθορίζονται διαφορετικά πρότυπα IoT για τους προγραμματιστές εφαρμογών και την παροχή υπηρεσιών. Συνήθως, τα βασικά πρότυπα επικοινωνίας, όπως το 6LoWPAN, χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα. Ο Πίνακας 12 απεικονίζει τη στοιβή πρωτοκόλλων IoT μαζί με τα βασικά πρωτόκολλα επικοινωνίας. Τα πρωτόκολλα IoT κατατάσσονται σε τέσσερις τύπους: Πρωτόκολλα εφαρμογών, πρωτόκολλα εντοπισμού υπηρεσιών, πρωτόκολλα υποδομής, αποτελεσματικά πρωτόκολλα. Ωστόσο, δεν είναι απαραίτητο να ενσωματωθούν όλα αυτά τα πρωτόκολλα σε μια εφαρμογή. Επιπλέον, όσον αφορά το είδος της εφαρμογής, η χρήση ορισμένων πρωτοκόλλων μπορεί να είναι περιττή. (Morello et al., 2017)

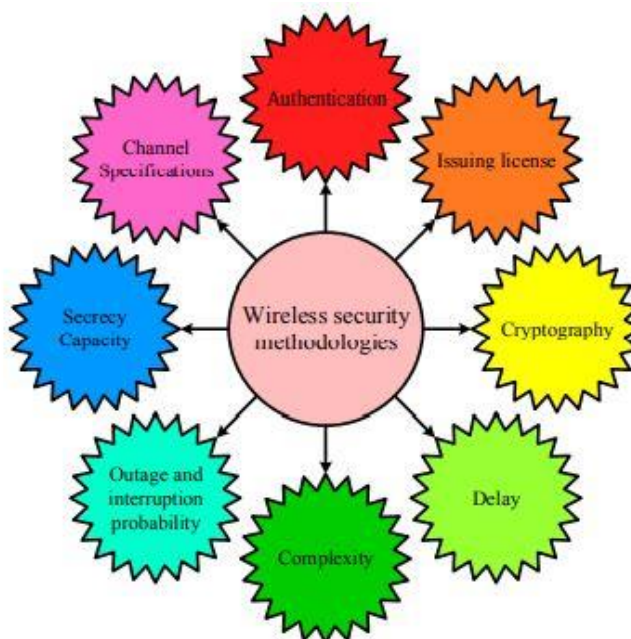
Πίνακας 11: Στοιβά πρωτοκόλλου IoT μαζί με το βασικό πρωτόκολλο επικοινωνίας

IoT multilayer architecture (5-layer model)	The position of the basic communication protocols on IoT protocols stack and multilayer architecture			IoT protocol stack (four groups)	No
Application layer	AMQP	MQTT-SN	CoAp	Application protocols	1
	REST	HTTP	DDS		
Network layer	DNS-SD		mDNS	Service discovery protocols	2
	RPL			Infrastructure protocols	3
Adaptation layer	IPv6	IPv4	6LoWPAN		
Data link layer	IEEE 802.15.4				
Physical layer	IEEE 802.15.4	EPC Global	LTE-A		
	IEEE1905.1	IPSec	IEEE188.3	Effective protocols	4

### 6.1.2 ΑΠΟΡΡΗΤΟ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Στα έξυπνα δίκτυα με τεχνολογία IoT, κάθε συνδεδεμένη συσκευή μπορεί να είναι μια πιθανή θύρα προς υποδομή IoT με προσωπικά δεδομένα. Οι ανησυχίες σχετικά με την ιδιωτικότητα και την ασφάλεια είναι πολύ σημαντικές. Με την εκτίμηση της πολυπλοκότητας, η αδυναμία στην ασφάλεια και τα πιθανά τρωτά σημεία στον συνδυασμό αυτόν αντιστοιχούσαν με την ικανότητα συνεργασίας, τη συγχώνευση δεδομένων, την αυτόματη λήψη αποφάσεων έχει αναλάβει μεγαλύτερη σημασία από ποτέ. Δεδομένου ότι η μεγαλύτερη πολυπλοκότητα συνεπάγεται μεγαλύτερη ευπάθεια, οι απειλές για την προστασία της ιδιωτικής ζωής θα αυξηθούν. Στο έξυπνα δίκτυα με IoT, τα περισσότερα από τα δεδομένα αφορούν ευαίσθητα μέρη του τμήματος παραγωγής, μεταφοράς και διανομής. Έτσι, η ασφάλεια αυτών των δεδομένων είναι ένα αμφιλεγόμενο ζήτημα στην ανάπτυξη μεγάλων δεδομένων του IoT-SG και οι εμπειρογνώμονες και τα επαγγέλματα που σχετίζονται με την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο πρέπει να περιλαμβάνουν αυτές τις απειλές στα μεγάλα δεδομένα για να εγγυηθούν την ιδιωτικότητα. Η εφαρμογή του IoT πρέπει να γίνεται αποδεκτή και να επαληθεύεται από το νόμο, την ηθική, την πολιτική και την κοινωνία. Ως εκ τούτου, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι προκλήσεις της νομοθεσίας και της ρύθμισης, οι συστηματικές στρατηγικές, οι τεχνικές πτυχές και οι επιχειρηματικές πτυχές. Η ασφάλεια στα νέα δίκτυα συνεπάγεται τη συμπερίληψη παραγόντων ασφαλείας από το στάδιο σχεδιασμού έως το στάδιο σερβιρίσματος. (Davoody-Beni et al.,2019)

Οι κύριες προκλήσεις στο σενάριο των έξυπνων δικτύων με IoT περιλαμβάνουν την εμπιστευτικότητα των δεδομένων, την ιδιωτικότητα και την εμπιστοσύνη που περιγράφονται λεπτομερώς στην Εικόνα 13. Προκειμένου να τονιστούν οι απαιτήσεις ασφαλείας για το IoT-SG, μια αρχιτεκτονική 4 επιπέδων θεωρείται ότι αποτελείται από επίπεδο αισθητήρων, επίπεδο δικτύου, επίπεδο υπηρεσιών και επίπεδο εφαρμογών. Κάθε επίπεδο είναι σε θέση να διατηρεί μέτρα ελέγχου ασφαλείας, όπως έλεγχο πρόσβασης, πιστοποίηση της συσκευής, ακεραιότητα, και εμπιστευτικότητα στη μεταφορά δεδομένων, διαθεσιμότητα, και προστασία από ιούς και κυβερνοεπιθέσεις. Στον Πίνακα 13 συνοψίζονται οι σημαντικότερες ανησυχίες όσον αφορά το συνδυασμό SG και IoT. Οι απαιτήσεις ασφαλείας εξαρτώνται από την τεχνολογία των αισθητήρων, την αρχιτεκτονική του δικτύου, και τα επίπεδα. (Davoody-Beni et al.,2019).



Εικόνα 12:Μεθοδολογία ασύρματης ασφάλειας

Πίνακας 12:Τα θέματα ασφαλείας στο Έξυπνο Δίκτυο με τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων

Security concerns	Application layer	Service layer	network layer	Sensing layer
Unsafe web communication channel	*	*	*	
Authentication/ Inadequate certification issuing	*	*	*	*
Unsafe network services		*	*	
Transmission cryptography shortage		*	*	
Privacy concerns		*	*	*
Unsafe cloud communication channel	*			
Unsafe mobile communication channel	*		*	*
Poor security configuration	*	*	*	
software/ Unsafe firmware	*		*	
Poor physical security			*	*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

### 7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Για την επίτευξη τεχνικών στόχων κατά την εφαρμογή του IoT στην SG, υπάρχουν πολλές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν σε μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις. Δεδομένου ότι οι συσκευές IoT πρέπει να λειτουργούν σε διαφορετικά περιβάλλοντα που μπορεί να έχουν δύσκολες συνθήκες (π.χ. υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες, υψηλές τάσεις, έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα, εργασία σε νερό κ.λπ.), πρέπει να ικανοποιούν απαιτήσεις σε αυτές τις συνθήκες όπως αξιοπιστία ή συμβατότητα. Σε πολλές εφαρμογές, συσκευές και αισθητήρες IoT λειτουργούν με μπαταρίες (π.χ., διαφορετικοί τύποι αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση γραμμών μετάδοσης), οπότε πρέπει να χρησιμοποιηθούν ή να σχεδιαστούν κατάλληλες τεχνικές συγκομιδής ενέργειας. Έχουμε πολλά δίκτυα επικοινωνίας σε διάφορα μέρη του SG, έτσι,

οι συσκευές IoT πρέπει να υποστηρίζουν τα απαραίτητα πρωτόκολλα επικοινωνίας, έτσι ώστε η μεταφορά δεδομένων από έξυπνους μετρητές στο κεντρικό σύστημα είναι δυνατή και εγγυημένη.

Δεδομένου ότι οι συσκευές IoT στο SG έχουν περιορισμένους πόρους και δυνατότητες, όπως μπαταρίες, επεξεργαστική ισχύ, αποθήκευση ή εύρος ζώνης, έτσι οι διαδικασίες σύντηξης δεδομένων θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για τη συμπίεση και τη συγκέντρωση χρήσιμων δεδομένων, έτσι ώστε να έχουμε αποδοτικότερη χρήση ενέργειας και εύρους ζώνης και συλλογή δεδομένων. Η καθυστέρηση και η απώλεια πακέτων είναι σημαντικές παράμετροι που καθορίζουν την απόδοση του έξυπνου πλέγματος. Επειδή η συμφόρηση προκαλεί καθυστέρηση και απώλεια πακέτων, υποβαθμίζει την απόδοση του συστήματος (επειδή οι συσκευές IoT ή/και οι πύλες IoT πρέπει να στείλουν ξανά τα δεδομένα που προκαλούν μεγαλύτερη καθυστέρηση και αυξάνουν ξανά την πιθανότητα συμφόρησης) και η SG δεν μπορεί να ικανοποιήσει προκαθορισμένες απαιτήσεις, π.χ., μέγιστη ανεκτή καθυστέρηση. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να ελαχιστοποιηθούν οι καθυστερήσεις, να βελτιστοποιηθεί ο σχεδιασμός του δικτύου με την εύρεση ενός βέλτιστου αριθμού πυλών και συσκευών IoT και να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των συνδέσεων σε κάθε πύλη. Δεδομένου ότι το έξυπνο δίκτυο περιέχει πολλές διαφορετικές πύλες και συσκευές IoT με διαφορετικές προδιαγραφές και πόρους, η διαλειτουργικότητα μεταξύ αυτών των συσκευών για την ανταλλαγή πληροφοριών είναι πολύ κρίσιμη. Μια λύση για την επίτευξη διαλειτουργικότητας είναι η χρήση δικτύων που βασίζονται στο IP. Μια άλλη λύση είναι ότι οι συσκευές IoT πρέπει να υποστηρίζουν διαφορετικά πρωτόκολλα και αρχιτεκτονικές επικοινωνίας.

Οι αισθητήρες, οι έξυπνοι μετρητές, και άλλες παρόμοιες συσκευές που μετρούν και συλλέγουν πληροφορίες σε ένα έξυπνο δίκτυο δημιουργούν μεγάλα δεδομένα που καταναλώνουν πολλή ενέργεια και άλλους πόρους και δημιουργούν ένα σημείο συμφόρησης. Πρέπει να σχεδιάσουμε το έξυπνο δίκτυο με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να αποθηκεύει και να επεξεργάζεται αποτελεσματικά αυτόν τον τεράστιο όγκο δεδομένων που συλλέγονται. Υπάρχουν πολλά ξεχωριστά πρότυπα για τις συσκευές IoT, αλλά δεν υπάρχει ενοποιημένο πρότυπο για τις συσκευές IoT. Ως εκ τούτου, οι προσπάθειες τυποποίησης θα πρέπει να ενοποιηθούν. Για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των συσκευών IoT στην SG, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε το Διαδίκτυο που είναι πολύ ευάλωτο, και οι επιτιθέμενοι μπορούν να χειριστούν τα μετρημένα δεδομένα με αισθητήρες και έξυπνους μετρητές και να προκαλέσουν πολλές οικονομικές απώλειες. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να αναπτύξουμε ασφαλείς επικοινωνίες για τις συσκευές IoT στο έξυπνο δίκτυο λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς πόρων των συσκευών IoT και να καθορίσει ορισμένα μέτρα ασφαλείας για αυτές τις συσκευές.

Για παράδειγμα, οι συσκευές IoT έχουν περιορισμούς σε υπολογισμούς και αποθήκευση. Έτσι, πρέπει να σχεδιάσουμε ή να χρησιμοποιήσουμε λύσεις ασφαλείας έτσι ώστε οι συσκευές IoT να μπορούν να τις εκτελέσουν. Από τα δεδομένα που συλλέγονται από έξυπνους μετρητές, είναι δυνατή η εξαγωγή ορισμένων πληροφοριών σχετικά με τις συνήθειες των καταναλωτών (π.χ., ώρες αφύπνισης, κ.λπ.), επομένως πρέπει να διασφαλιστεί ότι αυτές οι ιδιωτικές πληροφορίες δεν θα χρησιμοποιηθούν χωρίς την άδεια των καταναλωτών. Επίσης, πρέπει να επινοηθούν κατάλληλοι μηχανισμοί για μέτρα ασφαλείας όπως η διαχείριση εμπιστοσύνης (μεταξύ συσκευών IoT που ανήκουν σε διαφορετικά μέρη, π.χ. πελάτες και επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας), η πιστοποίηση, η εξουσιοδότηση, η ακεραιότητα των δεδομένων, η διατήρηση της εμπιστευτικότητας και η ανίχνευση πλαστογράφησης ταυτότητας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aitzhan, N. Z, Svetinovic, D. (2018) Security and privacy in decentralized energy trading through multi-signatures, blockchain and anonymous messaging streams, *IEEE Trans. Depend. Secure Comput.*, 15 (5) (pp. 840–852).
- Ali, M. Q., Al-Shaer, E., & Duan, Q. (2013, October). Randomizing AMI configuration for proactive defense in smart grid. In *2013 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)* (pp. 618-623). IEEE.
- Al-Masri, E., Kalyanam, K. R., Batts, J., Kim, J., Singh, S., Vo, T., & Yan, C. (2020). Investigating messaging protocols for the Internet of Things (IoT). *IEEE Access*, 8, 94880-94911.
- Ammar, M., Russello, G., & Crispo, B. (2018). Internet of Things: A survey on the security of IoT frameworks. *Journal of Information Security and Applications*, 38, 8-27.
- Arnold, M., Rui, H., & Wellssow, W. H. (2011, December). An approach to smart grid metrics. In *2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies* (pp. 1-7). IEEE.
- Balasubramanian, K. (2014). Building Blocks for the Internet of Things. *Intel. com/embedded-Innovator*, 4-8.
- Baran, P. (1964). On distributed communications networks. *IEEE transactions on Communications Systems*, 12(1), 1-9.
- Bera, S., Misra, S., & Rodrigues, J. J. (2014). Cloud computing applications for smart grid: A survey. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 26(5), 1477-1494.
- Bilgin, B. E., & Gungor, V. C. (2012). Performance evaluations of ZigBee in different smart grid environments. *Computer Networks*, 56(8), 2196-2205.
- Bosisio, A., Berizzi, A., Morotti, A., Pegoiani, A., Greco, B., & Iannarelli, G. (2019, September). IEC 61850-based smart automation system logic to improve reliability indices in distribution networks. In *2019 AEIT International Annual Conference (AEIT)* (pp. 1-5). IEEE.
- Bradicich, T., & Srikant, K. (2014). Big Analog Data: The Big Data for Engineers and Scientists. *A Three-Tier Strategy for Data Analysis from Sensors to Cloud. Intel. com/embedded-Innovator*, 9-13.
- Bradley, J., Loucks, J., Macaulay, J., & Noronha, A. (2013). Internet of everything (ioe) value index. *White Paper CISCO and/or its affiliates*.
- Braun, M., & Strauss, P. (2008). A review on aggregation approaches of controllable distributed energy units in electrical power systems. *International Journal of Distributed Energy Resources*, 4(4), 297-319.
- Budka, K. C., Deshpande, J. G., Doumi, T. L., Madden, M., & Mew, T. (2010). Communication network architecture and design principles for smart grids. *Bell Labs Technical Journal*, 15(2), 205-227.
- Calderaro, V., Hadjicostis, C. N., Piccolo, A., & Siano, P. (2011). Failure identification in smart grids based on petri net modeling. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(10), 4613-4623.
- Chen, S., Xu, H., Liu, D., Hu, B., & Wang, H. (2014). A vision of IoT: Applications, challenges, and opportunities with china perspective. *IEEE Internet of Things journal*, 1(4), 349-359.

Davoody-Beni, Z., Sheini-Shahvand, N., Shahinzadeh, H., Moazzami, M., Shaneh, M., & Gharehpetian, G. B. (2019, December). Application of IoT in Smart Grid: Challenges and Solutions. In *2019 5th Iranian Conference on Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS)* (pp. 1-8). IEEE.

Demertzis, K., Tsiknas, K., Takezis, D., Skoutas, D. N., Skianis, C., Iliadis, L., & Zoiros, K. E. (2021). *Communication Networks Standards for Smart Grid Infrastructures*.

Drayer, E. (2018). *Resilient operation of distribution grids with distributed-hierarchical architecture* (Vol. 6). kassel university press GmbH.

Eissa, M. M. (2018). New protection principle for smart grid with renewable energy sources integration using WiMAX centralized scheduling technology. *International journal of electrical power & energy systems*, 97, 372-384.

Enose, N. (2011, December). A Unified management system for Smart Grid. In *ISGT2011-India* (pp. 328-333). IEEE.

Eriksson, M., Armendariz, M., Vasilenko, O. O., Saleem, A., & Nordström, L. (2014). Multi-agent-based distribution automation solution for self-healing grids. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 62(4), 2620-2628.

Farooq, H., & Jung, L. T. (2014, June). Choices available for implementing smart grid communication network. In *2014 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCOINS)* (pp. 1-5). IEEE.

Farooq, M. U., Waseem, M., Mazhar, S., Khairi, A., & Kamal, T. (2015). A review on internet of things (IoT). *International journal of computer applications*, 113(1), 1-7.

Ghorbanian, M., Dolatabadi, S.H., Masjedi M., Siano P. (2019) Communication in Smart Grids: A Comprehensive Review on the Existing and Future Communication and Information Infrastructures, *IEEE System Journal* 13(4)

Groumpos, P. P. (1993, October). Structural analysis of multilevel hierarchical systems. In *Proceedings of IEEE Systems Man and Cybernetics Conference-SMC* (Vol. 4, pp. 385-389). IEEE.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7), 1645-1660.

Guizani, M., & Anan, M. (2014, August). Smart grid opportunities and challenges of integrating renewable sources: A survey. In *2014 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)* (pp. 1098-1105). IEEE.

Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2011). Smart grid technologies: Communication technologies and standards. *IEEE transactions on Industrial informatics*, 7(4), 529-539.

Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2013). Smart grid technologies: A Survey on Smart Grid Potential Applications and Communication Requirements. *IEEE transactions on Industrial informatics*, 9(1).

Hanai, M., Kojima, H., Hayakawa, N., Shinoda, K., & Okubo, H. (2013). Integration of asset management and smart grid with intelligent grid management system. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 20(6), 2195-2202.

Hussain, M., & Beg, M. M. (2019). Fog computing for Internet of Things (IoT)-aided smart grid architectures. *Big Data and cognitive computing*, 3(1), 8.

Jabłońska, M. R. (2014). Internet of things in smart grid deployment. *Rynek Energii*, 2, 111.

Jain, S., Paventhan, A., Chinnaiyan, V. K., Arnachalam, V., & Pradish, M. (2014, March). Survey on smart grid technologies-smart metering, IoT and EMS. In *2014 IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer science* (pp. 1-6). IEEE.

Jaradat, M., Jarrah, M., Bousselham, A., Jararweh, Y., & Al-Ayyoub, M. (2015). The internet of energy: smart sensor networks and big data management for smart grid. *Procedia Computer Science*, 56, (pp. 592-597).

Jeong, S. M., Seo, C. K., & Kim, S. J. (2012). The Design of Combined DCU (Data Concentration Unit) System with Power-Line Communication and DOCSIS Cable Modem for AMR (Auto Meter Reading). In *Advanced Engineering Forum* (Vol. 2, pp. 486-488). Trans Tech Publications Ltd.

Jung, C. M., Ray, P., & Salkuti, S. R. (2019). Asset management and maintenance: a smart grid perspective. *International Journal of Electrical & Computer Engineering* (2088-8708), 9(5).

Kabalci, Y. (2016). A survey on smart metering and smart grid communication. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 302-318.

Kalalas, C., Thrybom, L., & Alonso-Zarate, J. (2016). Cellular communications for smart grid neighborhood area networks: A survey. *IEEE access*, 4, 1469-1493.

Khare, R. (2002). *Decentralized software architecture*. CALIFORNIA UNIV IRVINE INSTITUTE FOR SOFTWARE RESEARCH.

Kim, J., Kim, D., Lim, K. W., Ko, Y. B., & Lee, S. Y. (2012). Improving the reliability of IEEE 802.11 s based wireless mesh networks for smart grid systems. *Journal of Communications and Networks*, 14(6), 629-639.

Komninos, N., Philippou, E., & Pitsillides, A. (2014). Survey in smart grid and smart home security: Issues, challenges and countermeasures. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(4), 1933-1954.

Kumar, N. M., Chand, A. A., Malvoni, M., Prasad, K. A., Mamun, K. A., Islam, F. R., & Chopra, S. S. (2020). Distributed energy resources and the application of AI, IoT, and blockchain in smart grids. *Energies*, 13(21), 5739.

Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2013). Multimedia networking applications. *Computer Networking, A Top-Down Approach*, 587-671.

Kuzlu, M., & Pipattanasomporn, M. (2013, February). Assessment of communication technologies and network requirements for different smart grid applications. In *2013 IEEE PES innovative smart grid technologies conference (ISGT)* (pp. 1-6). IEEE.

Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., & Rahman, S. (2014). Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN. *Computer Networks*, 67, 74-88.

Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431-440.

Li, H., Ota, K., & Dong, M. (2018). Learning IoT in edge: Deep learning for the Internet of Things with edge computing. *IEEE network*, 32(1), 96-101.

Liang, H., Choi, B. J., Zhuang, W., Shen, X., Awad, A. S. A., & Abdr, A. (2012). Multiagent coordination in microgrids via wireless networks. *IEEE Wireless Communications*, 19(3), 14-22.

Lunze, J. (1992). *Feedback control of large scale systems*. Prentice Hall PTR.

Ma, R., Chen, H. H., Huang, Y. R., & Meng, W. (2013). Smart grid communication: Its challenges and opportunities. *IEEE transactions on Smart Grid*, 4(1), 36-46.

Matusiak, B., Pamuła, A., & Zieliński, J. S. (2011). New idea in power networks development. Selected problems. *Przegląd Elektrotechniczny*, 87(2), 148-150.



Meloni, A., & Atzori, L. (2017). The role of satellite communications in the smart grid. *IEEE Wireless Communications*, 24(2), 50-56.

Moradi, J., Shahinzadeh, H., Nafisi, H., Gharehpetian, G. B., & Shaneh, M. (2019). Blockchain, a Sustainable Solution for Cybersecurity Using Cryptocurrency for Financial Transactions in Smart Grids. In 2019 24th Electrical Power Distribution Conference (EPDC) (pp. 47-53).

Morello, R., De Capua, C., Fulco, G., & Mukhopadhyay, S. C. (2017). A smart power meter to monitor energy flow in smart grids: The role of advanced sensing and IoT in the electric grid of the future. *IEEE Sensors Journal*, 17(23), (pp. 7828-7837).

Moslehi, K., Kumar, A. B. R., Shurtleff, D., Laufenberg, M., Bose, A., & Hirsch, P. (2005, June). Framework for a self-healing power grid. In *IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005* (pp. 3027-Vol). IEEE.

Murat, Ş. E. N., & Ercan, S. Ü. (2021). Smart metering field implementation with power line communication in low voltage distribution grid. *International Journal of Energy Applications and Technologies*, 8(1), 12-20.

Nieße, A., Beer, S., Bremer, J., Hinrichs, C., Lünsdorf, O., & Sonnenschein, M. (2014, September). Conjoint dynamic aggregation and scheduling methods for dynamic virtual power plants. In *2014 federated conference on computer science and information systems* (pp. 1505-1514). IEEE.

Ogbodo, E. U., Dorrell, D., & Abu-Mahfouz, A. M. (2017). Cognitive radio based sensor network in smart grid: Architectures, applications and communication technologies. *IEEE Access*, 5, 19084-19098.

Qiu, M., Su, H., Chen, M., Ming, Z., & Yang, L. T. (2012). Balance of security strength and energy for a PMU monitoring system in smart grid. *IEEE Communications Magazine*, 50(5), 142-149.

Raz, A. K., Wood, P. C., Mockus, L., & DeLaurentis, D. A. (2020). System of systems uncertainty quantification using machine learning techniques with smart grid application. *Systems Engineering*, 23(6), 770-782.

Ropp, M. E. (2009, September). Similarities between vehicle-to-grid interfaces and photovoltaic systems. In *2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference* (pp. 1221-1225). IEEE.

Saleem, Y., Crespi, N., Rehmani, M. H., & Copeland, R. (2019). Internet of things-aided smart grid: technologies, architectures, applications, prototypes, and future research directions. *IEEE Access*, 7, 62962-63003.

Sendin, A., Simon, J., Urrutia, I., & Berganza, I. (2014, March). PLC deployment and architecture for Smart Grid applications in Iberdrola. In *18th IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications* (pp. 173-178). IEEE.

Shahinzadeh, H., Moradi, J., Gharehpetian, G. B., Nafisi, H., & Abedi, M. (2019, January). IoT architecture for smart grids. In *2019 International Conference on Protection and Automation of Power System (IPAPS)* (pp. 22-30). IEEE.

Sharma, N., Shamkuwar, M., & Singh, I. (2019). The history, present and future with IoT. In *Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation* (pp. 27-51). Springer, Cham.

Silva, N., Marsh, D., Rodrigues, A., Pinto, C. M., EFACEC-Portugal, E. P. E. P., & Distribuição-Portugal, E. D. P. (2011, June). Dynamic SCADA/DMS data model-plug & play smart grid solutions. In *21st Int. Conf. and Exhibit. on Electr. Distrib. (CIRED 2011), Frankfurt* (pp. 1-4).

Singh, S., & Yassine, A. (2018) IoT Big Data Analytics with Fog Computing for Household Energy Management in Smart Grids. In *International Conference on Smart Grid and Internet of Things* (pp. 13-22).

Skoutas, D. N., Nomikos, N., Vouyioukas, D., Skianis, C., & Antonopoulos, A. (2017). Hybrid resource sharing for QoS preservation in virtual wireless networks. *Cloud and Fog Computing in 5G Mobile Networks: Emerging Advances and Applications*, 70, 303.

Srikantha, P., & Kundur, D. (2019). Intelligent signal processing and coordination for the adaptive smart grid: An overview of data-driven grid management. *IEEE Signal Processing Magazine*, 36(3), 82-102.

Suresh, P., Daniel, J. V., Parthasarathy, V., & Aswathy, R. H. (2014, November). A state of the art review on the Internet of Things (IoT) history, technology and fields of deployment. In *2014 International conference on science engineering and management research (ICSEMR)* (pp. 1-8). IEEE.

Tightiz, L. & Yang, H. (2020). A Comprehensive Review on IoT Protocols' Features in Smart Grid Communication. *Energies* 2020, 13, 2762 (pp 3-24)

Tuballa, M. L., & Abundo, M. L. (2016). A review of the development of Smart Grid technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 710-725.

van Schuppen, J. H. (2015). What is coordination control. In *Coordination Control of Distributed Systems* (pp. 99-106). Springer, Cham.

K. Wang et al., (2017) Wireless big data computing in smart grid, *IEEE Wireless Commun.*, 24 (2), (pp. 58–64).

Wei-chun, G., Huan-huan, L., Hong-hao, Z., Qiang, G., Gui-ping, Z., Yi-ling, M., & Li-na, F. (2017, November). Research on communication technology of power monitoring system based on medium voltage power line carrier and low power wide area network. In *2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)* (pp. 1-4). IEEE.

Wenderoth, F., Drayer, E., Schmoll, R., Niedermeier, M., & Braun, M. (2019). Architectural and functional classification of smart grid solutions. *Energy Informatics*, 2(1), 1-13.

Xu, W., Xu, G., & Yuan, H. (2014, September). High performance distributed power quality monitoring IED used in smart grid. In *2014 China International Conference on Electricity Distribution (CICED)* (pp. 706-710). IEEE.

Yan, Y., Qian Y., Sharif H., Tipper D. (2013). A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements and Challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15(1).

Ying, Z., Si-ning, W., Chang-yu, D., & Yuan-kun, J. (2018). Research on Application of Wireless Bridge Technology in the Smart Grid. *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management (IJISSCM)*, 11(1), 39-48.

Yinger, R. J., & Kamiab, A. E. (2011). Good vibrations. *IEEE Power and Energy magazine*, 9(5), 22-32.

Zhong, W., Yu, R., Xie, S., Zhang, Y., Tsang, D.H.K. (2016) Software defined networking for flexible and green energy Internet," *IEEE Commun. Mag.*, 54 (12) (pp. 68–75)

Zhou, J., Hu, R. Q., & Qian, Y. (2012). Scalable distributed communication architectures to support advanced metering infrastructure in smart grid. *IEEE transactions on parallel and distributed systems*, 23(9), 1632-1642.

Zuniga, C. G. P. (2017). *Structural analysis for the diagnosis of distributed systems* (Doctoral dissertation, INSA de Toulouse).