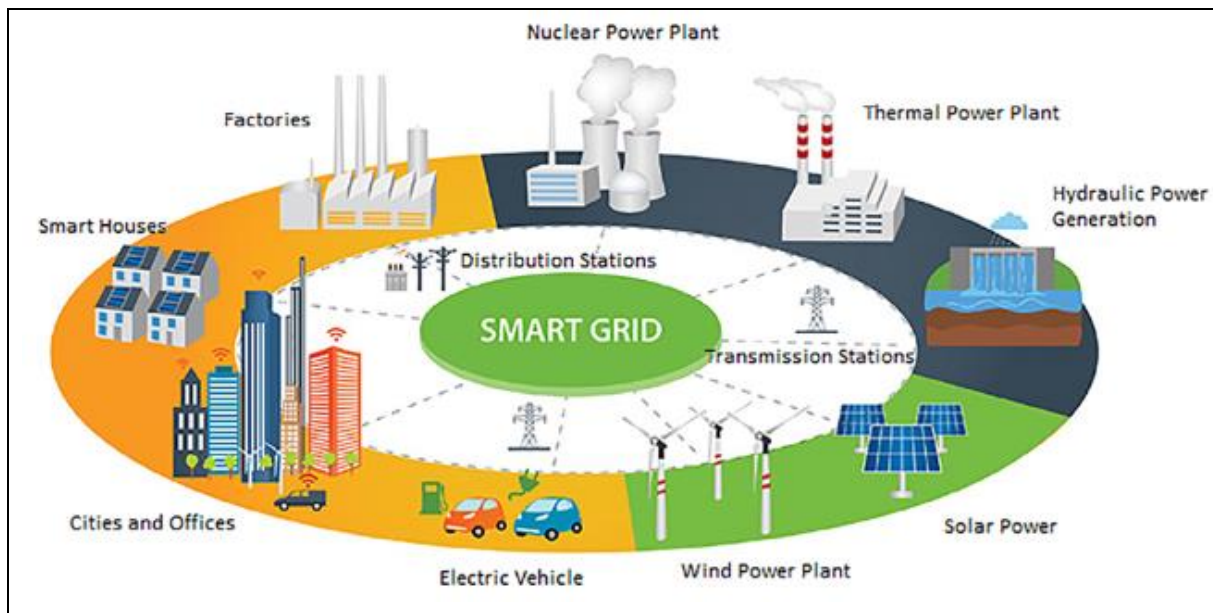


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μελέτη και προτυποποίηση τεχνολογιών επικοινωνίας  
για Ευφυή Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Smart Grid)»



Της φοιτήτριας  
Βουκάλη Μαρίας  
Αρ. Μητρώου: 04/2020

Επιβλέπων  
Χατζημίσσιος Περικλής  
Καθηγητής

Σεπτέμβριος 2022

Τίτλος Δ.Ε.: «Μελέτη και προτυποποίηση τεχνολογιών επικοινωνίας για Ευφυή Δίκτυα Ηλεκτρικής  
Ενέργειας (Smart Grid)»

Κωδικός Δ.Ε. : M301

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: Βουκάλη Μαρία

Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Χατζημίσιος Περικλής

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε.: 30/6/2021

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε.: 30/9/2022

*Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.*

*Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας Βουκάλη Μαρίας που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.*

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

«Αφιέρωση»

*Η διπλωματική εργασία είναι αφιερωμένη στην οικογένειά μου, που με στήριξε σε όλη την διάρκεια της συγγραφής της και με ενθάρρυναν να μην σταματήσω. Είστε η δύναμη μου.*



## Πρόλογος

Στο πλαίσιο των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας και την λήψη του τίτλου σπουδών, επέλεξα να μελετήσω τα πρότυπα επικοινωνίας για τα Ευφυή Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Smart Grid). Το θέμα αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς οι συνθήκες σχετικά με την κατανάλωση και την παραγωγή ηλεκτρονικής ενέργειας έχουν αλλάξει, και η νέα εποχή απαιτεί την εκμετάλλευση και την παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά και την πιο αποδοτικής διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας από τις εταιρίες παροχής ενέργειας, αλλά και από τους ίδιους τους καταναλωτές. Έτσι, το Smart Grid μπορεί να αποτελέσει την λύση για την υποστήριξη των αναγκών της νέας εποχής. Οι οργανισμοί αναπτύξεις προτύπων έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο στην ανάπτυξη των προτύπων για τα Smart Grid το κάθε ένα από τα οποία καλύπτει διαφορετικές ανάγκες. Ωστόσο, η εφαρμογή τους και η χρήση τους στο Smart Grid αποτελεί μια πρόκληση, καθώς απαιτείται μεγάλος αριθμός προτύπων για την κάλυψη των διάφορων απαιτήσεων της κάθε εφαρμογής που περιλαμβάνεται σε ένα Smart Grid. Η προσωπική ευαισθητοποίηση γύρω από το θέμα για την κατανάλωση ενέργειας σε συνδυασμό με το αντικείμενο των σπουδών, αποτέλεσαν το έναυσμα για την επιλογή του συγκεκριμένου θέματος.

## Περίληψη

Το θέμα της παρούσης μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη και η παρουσίαση των δραστηριοτήτων προτυποποίησης των τεχνολογιών επικοινωνίας για τα Ευφυή Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Smart Grid). Για τις ανάγκες της μελέτης αυτού του θέματος πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση σε επιστημονικά άρθρα για την αναγνώριση των βασικών χαρακτηριστικών, των αρχιτεκτονικών και των τεχνολογιών επικοινωνίας στα Smart Grid. Βάσει αυτού του θεωρητικού υπόβαθρου εντοπίστηκαν, μελετήθηκαν και περιγράφηκαν οι κυριότερες περιπτώσεις χρήσης των Smart Grid, καθώς και οι απαιτήσεις για την υλοποίηση ενός Smart Grid. Βασικό αντικείμενο της εργασίας αποτέλεσε η κατηγοριοποίηση των προτύπων(α)βάσει των διαφορετικών περιπτώσεων χρήσης των Smart Grid και (α) βάσει των διαφορετικών απαιτήσεων των Smart Grid. είναι γνωστό ότι το Smart Grid αποτελεί την εξέλιξη των παραδοσιακών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, η υλοποίηση των οποίων περιλαμβάνει την αυτοματοποίηση των διαδικασιών, την αυτοπροστασία των συστημάτων, την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τις δυνατότητες ελέγχου και διαχείρισης από τους ίδιους τους τελικούς χρήστες. Ωστόσο, στην πράξη, η υλοποίηση των Smart Grid περιλαμβάνει την ανάπτυξη και χρήση ορισμένων προτύπων, ώστε να εφαρμοστούν οι περιπτώσεις χρήσεις των Smart Grid και τις απαιτήσεις αυτών των συστημάτων. Οι οργανισμοί ανάπτυξης προτύπων έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο στην ανάπτυξη προτύπων για τα Smart Grid. Από αυτή τη διαδικασία μελέτης της σχετικής βιβλιογραφίας διαπιστώθηκε ότι οι οργανισμοί έχουν αναπτύξει πρότυπα για τις διάφορες λειτουργίες σε κάθε περίπτωση χρήσης Smart Grid. Όλες αυτές οι περιπτώσεις χρήσης περιλαμβάνουν ένα σύνολο απαιτήσεων αξιοπιστίας, ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, συγχρονισμού ώρας, διαλειτουργικότητας, ασφάλειας και επεκτασιμότητας. Για κάθε μια από αυτές τις απαιτήσεις έχουν αναπτυχθεί διαφορετικά πρότυπα, ενώ ορισμένα πρότυπα τα οποία έχουν αναπτυχθεί για την υποστήριξη συγκεκριμένων λειτουργιών υποστηρίζουν επίσης ορισμένες απαιτήσεις ασφαλείας και διαλειτουργικότητας.

# «Study and standardization of communication technologies for Smart Grid»

«Voukali Maria»

## **Abstract**

The subject of this M.Sc. thesis is the study and presentation of the standardization activities about communication technologies for Smart Grid. For the needs of the study of this topic, a literature review was carried out in scientific articles to identify the main characteristics, architectures and communication technologies in Smart Grid. Based on this theoretical background, the main Smart Grid use cases were identified, studied and described, as well as the requirements for the implementation of a Smart Grid. The main subject of the work was the categorization of the standards (a) based on the different Smart Grid use cases and (b) based on the different requirements of Smart Grid. It is well known that the Smart Grid is the evolution of traditional electricity networks, the implementation of which includes the automation of processes, the self-protection of systems, the integration of renewable energy sources and the possibilities of control and management by the same the end users. However, in practice, the implementation of Smart Grid involves the development and use of certain standards to implement Smart Grid use cases and the requirements of these systems. Standards Development Organizations (SDOs) have made significant progress in developing standards for Smart Grids. From this process it was found that organizations have developed standards for the various functions in each Smart Grid use case. All of these use cases include a set of reliability, data rate, time synchronization, interoperability, security, and scalability requirements. Different standards have been developed for each of these requirements, and some standards that have been developed to support specific functions also support certain security and interoperability requirements.

## Ευχαριστίες

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Ευφυείς Τεχνολογίες Διαδικτύου» του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος.

Στις σπουδές μου ήταν καθοριστική η συμβολή του καθηγητή μου και επιβλέποντα της διπλωματικής κ. Χατζημίσιου Περικλή στον οποίο οφείλω να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες για τη συμβολή του στην ολοκλήρωση των σπουδών μου. Επίσης θέλω να τον ευχαριστήσω για την επιστημονική και συμβουλευτική καθοδήγηση που μου προσέφερε σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας με τις εύστοχες και πολύ εποικοδομητικές παρατηρήσεις του. Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, για τη συμπαράσταση και την υπομονή τους.

# Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	v
Περίληψη .....	vi
Abstract .....	vii
Ευχαριστίες .....	viii
Περιεχόμενα .....	ix
Κατάλογος Σχημάτων .....	xii
Κατάλογος Πινάκων .....	xiii
Συντομογραφίες.....	xiv
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 2ο: Ευφυή Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Smart Grids).....	1
2.1 Εισαγωγή .....	1
2.2 Ορισμός Smart Grid .....	1
2.3 Τα βασικά χαρακτηριστικά – συστατικά Smart Grid .....	2
2.4 Η λειτουργία του Smart Grid .....	3
2.5 Τα πλεονεκτήματα των Smart Grids.....	5
2.6 Αρχιτεκτονική Smart Grid.....	6
2.6.1 Τεχνολογίες επικοινωνιών των Smart Grids .....	8
2.7 Επίλογος.....	10
Κεφάλαιο 3ο: Πρότυπα στα Smart Grids .....	12
3.1 Εισαγωγή .....	12
3.2 Οργανισμοί προτύπων (NIST, ANSI, IEEE, IEC).....	12
3.2.1 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) .....	12
3.2.2 International Electrotechnical Commission (IEC).....	13
3.2.3 National Institute of Standards and Technology (NIST).....	13
3.2.4 Άλλοι οργανισμοί προτύπων .....	14
3.3 Επίλογος.....	14
Κεφάλαιο 4ο: Περιπτώσεις χρήσης Ευφυούς Δικτύου (UseCases of Smart Grid).....	16
4.1 Εισαγωγή .....	16
4.2 Αναφορά στο use case – substation automation.....	16
4.3 Αναφορά στο use case – smart metering .....	16
4.4 Αναφορά στο use case – electric vehicle .....	18
4.5 Αναφορά στο use case – DER.....	18
4.6 Αναφορά στο use case – renewable.....	19

4.7	Επίλογος.....	20
Κεφάλαιο 5ο:	Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς τις περιπτώσεις χρήσης.....	22
5.1	Εισαγωγή .....	22
5.2	Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case substation automation .....	22
5.2.1	IEC 61850-1 έως 10.....	25
5.2.2	IEC 61850-90-1 .....	27
5.2.3	IEC 60870-5 .....	27
5.2.4	IEC 62271-3 .....	28
5.2.5	IEC 62439-3 .....	28
5.2.6	IEC/IEEE 60255-24.....	28
5.2.7	IEEE C37.118.....	28
5.2.8	IEEE 1588.2008.....	28
5.3	Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case – Smart Metering .....	29
5.3.1	ANSI C12.18.....	31
5.3.2	ANSI C12.19 .....	31
5.3.3	ANSI C12. 22.....	31
5.3.4	IEC 61968-9 .....	32
5.4	Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case – Electric Vehicle.....	32
5.4.1	SAE J2293.....	33
5.4.2	SAE J2836.....	33
5.4.3	SAE J2847 .....	33
5.4.4	IEEE 2030.2011.....	33
5.4.5	IEEE 1701.2011.....	33
5.5	Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case– DER .....	33
5.5.1	IEC 61850 .....	34
5.5.2	IEEE 1547.3-2007 .....	34
5.6	Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case - renewable .....	35
5.6.1	IEEE P2030.2&IEEE 2030.5 .....	35
5.6.2	IEEE 1547 .....	36
5.7	Επίλογος.....	36
Κεφάλαιο 6ο:	Απαιτήσεις προτύπων Ευφυούς Δικτύου (Requirements of Smart Grid) .....	38
6.1	Εισαγωγή .....	38
6.2	Αναφορά στην απαίτηση - Αξιοπιστία (Reliability).....	38
6.3	Αναφορά στην απαίτηση - Ρυθμός δεδομένων, Συγχρονισμός χρόνου (Data rate, Time Synchronization).....	39

6.4	Αναφορά στην απαίτηση - Διαλειτουργικότητα (Interoperability) .....	41
6.5	Αναφορά στην απαίτηση - Ασφάλεια (Security).....	42
6.6	Αναφορά στην απαίτηση - Επεκτασιμότητα (Scalability) .....	43
6.7	Επίλογος.....	43
Κεφάλαιο 7ο:	Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς τις απαιτήσεις.....	45
7.1	Εισαγωγή .....	45
7.2	Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς την απαίτηση - Αξιοπιστία (Reliability) .....	45
7.2.1	Open ADR.....	45
7.3	Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς την απαίτηση - Ρυθμός δεδομένων, Συγχρονισμός χρόνου (Datarate, Time Synchronization).....	46
7.3.1	IRIG-B .....	46
7.3.2	IEEE 1588 .....	47
7.3.3	IEEE C37.238.....	47
7.4	Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς την απαίτηση - Διαλειτουργικότητα (Interoperability).....	47
7.4.1	G3-PLC .....	49
7.4.2	ISA100.11a.....	49
7.4.3	IEEE P2030 .....	49
7.4.4	ANSIC12.22 .....	50
7.4.5	ITU-TG.9955 και G.9956.....	50
7.4.6	IEEE 1377-2012 .....	50
7.5	Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς την απαίτηση - Ασφάλεια (Security) .....	51
7.5.1	IEC 62351 .....	52
7.5.2	IEEEC37.118.....	53
7.5.3	IEEE 1686-2013 .....	53
7.6	Επίλογος.....	53
Κεφάλαιο 8ο:	Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης.....	55
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	59

## Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 2-1: Το εννοιολογικό μοντέλο NIST για το Smart Grid [8] .....	3
Εικόνα 2-2: Πλαίσιο Μεταφοράς και Διανομής Smart Grid [5] .....	4
Εικόνα 2-3: Αρχιτεκτονική Smart Grid βασισμένη στις τεχνολογίες επικοινωνίας και τους κόμβους [3]. .....	6
Εικόνα 2-4: Αρχιτεκτονική επικοινωνιών Smart Grid από άκρο σε άκρο (E2E) [4] .....	7
Εικόνα 2-5: Αρχιτεκτονική Smart Grid βασισμένη στις τεχνολογίες επικοινωνίας [8].....	9
Εικόνα 4-1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε Smart Grid [7]. .....	20
Εικόνα 5-1: Αυτοματισμός υποσταθμού σε ένα Smart Grid [31].....	22
Εικόνα 5-2: Δίκτυο επικοινωνίας IEC 61850 [31] .....	27
Εικόνα 5-3: Περιπτώσεις επικοινωνίας εταιρίας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με συστήματα DER [36].....	36
Εικόνα 6-1: Απεικόνιση χρονικής συγχρονισμένης παρακολούθησης σε Smart Grid με spoofer GPS [38] .....	40
Εικόνα 6-2: Διαλειτουργικότητα σε Smart Grid [39] .....	41
Εικόνα 6-3: Οπτική ασφαλείας στο δίκτυο επικοινωνίας Smart Grid [42].....	43
Εικόνα 7-1: Σχηματικό πρότυπο διαλειτουργικότητας Smart Grid [44].....	50

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2-1: Σύγκριση παραδοσιακού και ευφυούς δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας [6][7].....	2
Πίνακας 5-1: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case substation automation.....	23
Πίνακας 5-2: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case smart metering .....	29
Πίνακας 5-3: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case electric vehicle .....	32
Πίνακας 5-4: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case DER.....	34
Πίνακας 5-5: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case - renewable .....	35
Πίνακας 7-1: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς την απαίτηση Αξιοπιστία (Reliability) .....	45
Πίνακας 7-2: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς την απαίτηση Ρυθμός δεδομένων, Συγχρονισμός χρόνου (Data rate, Time Synchronization) .....	46
Πίνακας 7-3: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς την απαίτηση Διαλειτουργικότητα (Interoperability).....	48
Πίνακας 7-4: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς την απαίτηση Ασφάλεια (Security).....	52
Πίνακας 8-1: Συγκεντρωτικός πίνακας προτύπων για Smart Grid.....	56

## Συντομογραφίες

ACSI	AbstractCommunicationServiceInterface	Διεπαφή Χαρτογράφησης Υπηρεσιών Επικοινωνίας
AM	AssetManagement	Διαχείριση Περιουσιακών Στοιχείων
AMR	AutomaticMeterReading	Αυτόματη Ανάγνωση Μετρητών
ANSI	AmericanNationalStandardsInstitute	Αμερικανικό Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων
CIP	CriticalInfrastructureProtection	Προστασίας Υποδομής Ζωτικής Σημασίας
DAS	DistributionAutomationSystem	Σύστημα Αυτοματισμού Διανομής
DCC	DistributionControlCenter	Κέντρο Ελέγχου Διανομής
DCU	DataCollectionUnit	Μονάδα Συλλογής Δεδομένων
DER	Distributed Energy Resources	Κατανεμημένοι Ενεργειακοί Πόροι
DMS	DistributionManagementSystem	Σύστημα Διαχείρισης Διανομής
DRM	DemandResponseManagement	Διαχείριση Απόκρισης Ζήτησης
DSL	DigitalSubscriber Line	Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή
DSM	DemandSideManagement	Σύστημα Διαχείρισης Ζήτησης
EMS	Energy ManagementSystem	Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας
EPA	EnhancedPerformanceArchitecture	Αρχιτεκτονική Βελτιωμένης Απόδοσης
EPRI	ElectricPower Research Institute	Ινστιτούτο Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας
ESI	Energy Services Interface	Διεπαφή Ενεργειακών Υπηρεσιών
EV	Electric Vehicles	Ηλεκτρικά Οχήματα
FAN	FieldAreaNetwork	ΔίκτυοΠεδίου
GPS	GlobalPositioningSystem	Σύστημα Εντοπισμού Θέσης
HAN	HomeAreaNetwork	Οικιακό Δίκτυο
IEC	International Electrotechnical Commission	Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών
IP	Internet Protocol	Πρωτόκολλο του Διαδικτύου
ITU-T	International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector	Τομέας Τυποποίησης Τηλεπικοινωνιών της ITU

MDMS	Meter Data Management System	Σύστημα Διαχείρισης Δεδομένων Μετρητών
NAN	Neighborhood Area Network	Δίκτυο Γειτονιάς
NTP	Network Time Protocol	Πρωτόκολλο Ώρας Δικτύου
NIST	National Institute for Standards and Technology	Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας
PEV	Plug-in Electric Vehicles	Plug-in Ηλεκτρικά Οχήματα
SAS	Substation Automation Systems	Συστήματα Αυτοματισμού Υποσταθμών
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	Εποπτικός Έλεγχος και Απόκτηση Δεδομένων
T&D	Transmission and Distribution	Δίκτυο Μεταφοράς και Διανομής
TOD	time-of-day	κοινή ώρα της ημέρας
TSMD	Time Synchronized Measuring Devices	Συσκευές Συγχρονισμένης Μέτρησης Χρόνου
WAN	Wide Area Network	Δίκτυο Ευρείας Περιοχής
WASA	WideAreaSituationAwareness	Σύστημα Ευαισθητοποίησης Κατάστασης Ευρείας Περιοχής



## Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η αλλαγή του κλίματος και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αποτελούν ένα γνωστό πρόβλημα παγκόσμιας σημασίας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν μια βασική λύση στην αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος. Ωστόσο, η ενσωμάτωση τους στα υπάρχοντα δίκτυα συνδέονται με ένα σύνολο φραγμών **Error! Reference source not found.** Ιστορικά, το ηλεκτρικό δίκτυο ήταν ένα δίκτυο εκπομπής, όπου μερικές κεντρικές γεννήτριες ενέργειας (δηλαδή σταθμοί παραγωγής ενέργειας) παρέχουν όλη την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μια χώρα ή περιοχή και στη συνέχεια «μεταδίδουν» αυτήν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές μέσω ενός μεγάλου δικτύου καλωδίων και μετασχηματιστών **Error! Reference source not found.**[2]. Ενώ τα παραδοσιακά ηλεκτρικά δίκτυα κάλυπταν τις ανάγκες του προηγούμενου αιώνα, υπάρχει μια αυξανόμενη ανάγκη για αναπροσαρμογή των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο γιατί οι υπάρχουσες υποδομές έχουν γεράσει και η συντήρησή τους είναι δύσκολη και δαπανηρή, όσο και για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών ζητημάτων και των κοινωνικών απαιτήσεων **Error! Reference source not found.**

Ως αποτέλεσμα, οι κυβερνήσεις διάφορων κρατών και οι σχετικοί φορείς καταβάλλουν σημαντικές προσπάθειες για την ανάπτυξη μελλοντικών ηλεκτρικών δικτύων, τα οποία καλούνται ευφυή δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας (Smart Grid). Ένα Smart Grid είναι ένα έξυπνο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που ενσωματώνει την παραγόμενη ενέργεια από διάφορες πηγές, καθώς και από τους ίδιους τους χρήστες, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε αυτό και κάνει χρήση προηγμένων τεχνολογιών πληροφοριών, ελέγχου και επικοινωνιών για εξοικονόμηση ενέργειας, μείωση κόστους και αύξηση της αξιοπιστίας και της διαφάνειας **Error! Reference source not found.** Ωστόσο, η ανάπτυξη αυτού του νέου δικτύου απαιτεί σημαντικές προσπάθειες για την ανάπτυξη της τεχνολογίας, των προτύπων, των πολιτικών και των ρυθμιστικών δραστηριοτήτων εξαιτίας της πολυπλοκότητάς το **Error! Reference source not found.**

Στο έξυπνο δίκτυο, οι αξιόπιστες και σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες γίνονται ο βασικός παράγοντας για την αξιόπιστη παράδοση της ενέργειας από τις μονάδες παραγωγής στους τελικούς χρήστες. Ο αντίκτυπος των αστοχιών εξοπλισμού, των περιορισμών χωρητικότητας και των φυσικών ατυχημάτων και καταστροφών, που προκαλούν διαταραχές και διακοπές ρεύματος, μπορούν να αποφευχθούν σε μεγάλο βαθμό από τις εφαρμογές των Smart Grid [3]. Οι απαιτήσεις της επικοινωνιακής υποδομής χαρακτηρίζονται από ένα σύνολο προκλήσεων, οι οποίες πρέπει να υλοποιηθούν, ώστε να επιτευχθεί στην πράξη ένα ολοκληρωμένο Smart Grid.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να μελετήσει και να κατηγοριοποιήσει τα πρότυπα των τεχνολογιών επικοινωνίας των ευφών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας (Smart Grid). Βάσει αυτού του σκοπού προκύπτουν τρεις βασικοί ερευνητικοί στόχοι:

- 1) Η μελέτη των περιπτώσεων χρήσης που περιλαμβάνονται σε ένα Smart Grid και ο προσδιορισμός των απαιτήσεων για κάθε μια περίπτωση εφαρμογής.
- 2) Η μελέτη και η κατηγοριοποίηση των προτύπων βάσει των διαφορετικών περιπτώσεων εφαρμογής στα Smart Grid.
- 3) Η μελέτη και η κατηγοριοποίηση των προτύπων βάσει των διαφορετικών απαιτήσεων των εφαρμογών Smart Grid.

Μεθοδολογικά η εργασία αναπτύχθηκε μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης σε επιστημονικά άρθρα και αναφορές των οργανισμών ανάπτυξης προτύπων. Για την καλύτερη κατανόηση των προτύπων και

των τρόπων χρήσης τους στις διάφορες εφαρμογές και απαιτήσεις των Smart Grid σχεδιάστηκαν πίνακες κατηγοριοποίησης.

Η διάρθρωση της εργασίας δομείται από 8 διαφορετικά κεφάλαια: Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας, όπου παρουσιάζεται ο προβληματισμός, ο σκοπός, οι στόχοι, η μεθοδολογία και η δομή της εργασίας. Στο 8<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται η παράθεση των συμπερασμάτων και γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα. Τα κεφάλαια 2 έως 7 αποτελούν το κύριο μέρος της εργασίας για τα οποία, στις ακόλουθες παραγράφους, γίνεται μια σύντομη αναφορά στο περιεχόμενό τους.

Το 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο αυτής της εργασίας και γίνεται μια μελέτη σχετικά με τον εννοιολογικό προσδιορισμό του Smart Grid, τα βασικά χαρακτηριστικά και συστατικά του, τις λειτουργίες, τα πλεονεκτήματα εφαρμογής του, την αρχιτεκτονική του και τις τεχνολογίες επικοινωνίας,

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη παρουσίαση των οργανισμών ανάπτυξης προτύπων (NIST, ANSI, IEEE, IEC), όπου γίνεται ένα προσδιορισμός στα πρότυπα Smart Grid που έχει αναπτύξει κάθε ένας από αυτούς τους οργανισμούς για την κάλυψη των αναγκών Smart Grid.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο, προσδιορίζονται οι περιπτώσεις χρήσεις (Use Cases) των Smart Grid Smart Grids, οι οποίες αποτέλεσαν αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας. Αναφορικά, τις περιπτώσεις χρήσης Smart Grid αποτελούν: 1) οι αυτοματισμοί των υποσταθμών, οι έξυπνοι μετρητές, τα ηλεκτρικά οχήματα, οι καταναμημένοι ενεργειακοί πόροι και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των προτύπων για κάθε μια από τις περιπτώσεις χρήσης των Smart Grid, όπου μέσω αυτής της κατηγοριοποίησης παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των προτύπων, αλλά και ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η χρήση και η εφαρμογής τους σε κάθε περίπτωση χρήσης Smart Grid.

Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο, γίνεται ο προσδιορισμός των απαιτήσεων ενός Smart Grid βάσει των διαφορετικών περιπτώσεων χρήσης που μελετήθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια και εξηγούνται οι λόγοι και η σημασία αυτών των απαιτήσεων, καθώς και οι τρόποι με τους οποίους μπορούν να υποστηριχθούν από τις υπάρχουσες τεχνολογίες και τα πρότυπα. Οι βασικές απαιτήσεις των περιπτώσεων χρήσης Smart Grid περιλαμβάνουν την ασφάλεια, την αξιοπιστία, την διαλειτουργικότητα, την επεκτασιμότητα και τον συγχρονισμό του χρόνου, καθώς και τις απαιτήσεις στο ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων.

Στο 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο πραγματοποιείται η κατηγοριοποίηση των προτύπων βάσει των διαφορετικών απαιτήσεων, όπως αυτές προσεγγίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Για κάθε ένα από τα πρότυπα παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά, καθώς και ιδιότητες του ως προς την υποστήριξη των απαιτήσεων.

## Κεφάλαιο 2ο: Ευφυή Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Smart Grids)

### 2.1 Εισαγωγή

Οι υποδομές των ηλεκτρικών υποδομών παραμένουν αμετάβλητες για περίπου 100 χρόνια, ενώ παράλληλα, η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια έχει αυξηθεί. Συνεπώς διαφαίνεται ότι τα σημερινά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι κατάλληλα για τις ανάγκες της σύγχρονης εποχής. Χαρακτηριστικά, μεταξύ άλλων οι ελλείψεις σε αυτοματοποιημένη ανάλυση, οι μηχανικοί διακόπτες (οι οποίοι προκαλούν αργούς χρόνους απόκρισης), η έλλειψη για επίγνωση της κατάστασης ανά πάση στιγμή είναι μερικά από τα βασικά ζητήματα των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Άλλα ζητήματα στα υπάρχοντα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί ο αυξανόμενος αριθμός του πληθυσμού και κατ' επέκταση η ζήτηση ενέργειας, η παγκόσμια κλιματική αλλαγή, οι βλάβες στον εξοπλισμό, προβλήματα που σχετίζονται με την αποθήκευση ενέργειας, η μείωση των ορυκτών καυσίμων και προβλήματα σχετικά με την ανθεκτικότητα του δικτύου [3]

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων και την υλοποίηση νέων δυνατοτήτων έχει προκύψει μια νέα ιδέα τα ευφυή δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας (Smart Grids). Τα Smart Grids έχουν προσελκύσει την προσοχή της ερευνητικής κοινότητας και η έρευνα κυρίως επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα Smart Grids για την αντιμετώπιση των περιορισμών των υπάρχοντων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Η λειτουργία ενός Smart Grid θα πρέπει να είναι ευέλικτη με αυξημένο έλεγχο και παρακολούθηση που ενσωματώνει έξυπνες επικοινωνίες και διαθέτει απομακρυσμένη αλληλεπίδραση. Για παράδειγμα, οι υποσταθμοί Smart Grids θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να συντονίζουν τις τοπικές τους συσκευές αυτόνομα [6].

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται αρχικά ο ορισμός του Smart Grid, γίνεται η περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών ενός Smart Grid καθώς και ο τρόπος λειτουργίας του, προσεγγίζεται η αρχιτεκτονική ενός Smart Grid και προσδιορίζονται τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την υλοποίηση αυτών των σύγχρονων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.

### 2.2 Ορισμός Smart Grid

Με μια σύντομη περιγραφή το Smart Grid θα μπορούσε να περιγραφεί ως μια σύγχρονη υποδομή δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό την βελτιωμένη απόδοση του δικτύου, την αξιοπιστία, την ασφάλεια, στο οποίο ενοποιούνται ομαλά οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μέσω αυτοματοποιημένου ελέγχου και σύγχρονες τεχνολογίες επικοινωνιών [3]. Ουσιαστικά, ο όρος Smart Grid, δηλαδή Ευφύες Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας, αναφέρεται στον εκσυγχρονισμό του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας έτσι ώστε να παρακολουθεί, να προστατεύει και να βελτιστοποιεί αυτόματα τη λειτουργία των διασυνδεδεμένων στοιχείων του. Δηλαδή, από την κεντρική και κατακεκομμένη γεννήτρια μέσω του δικτύου μεταφοράς υψηλής τάσης και το σύστημα διανομής, σε βιομηχανικούς χρήστες και σε συστήματα αυτοματισμού κτιρίων, σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας και σε καταναλωτές τελικής χρήσης στους θερμοστάτες τους, στα ηλεκτρικά οχήματα, στις ηλεκτρικές συσκευές και σε άλλες οικιακές συσκευές [5].

Πιο συγκεκριμένα, το Smart Grid μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ηλεκτρικό σύστημα που χρησιμοποιεί πληροφορίες, αμφίδρομες και ασφαλείς τεχνολογίες επικοινωνίας και υπολογιστική νοημοσύνη με ολοκληρωμένο τρόπο σε όλη την παραγωγή, τη μεταφορά, τους υποσταθμούς, τη διανομή και την

κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την επίτευξη ενός συστήματος πιο καθαρού, ασφαλές, αξιόπιστου, ανθεκτικού, αποτελεσματικού και βιώσιμου. Αυτή η περιγραφή καλύπτει ολόκληρο το φάσμα του ενεργειακού συστήματος από την παραγωγή έως τα τελικά σημεία κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας[6].

Σύμφωνα με έναν άλλο ορισμό, ο όρος Smart Grid αναφέρεται στον εκσυγχρονισμό της παρακολούθησης, της προστασίας και της βελτιστοποίησης λειτουργίας των διασυνδεδεμένων στοιχείων του. Μέσω του δικτύου υψηλής τάσης και του συστήματος διανομής, οι βιομηχανικοί χρήστες και τα συστήματα αυτοματισμού κτιρίων, οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας και οι τελικοί καταναλωτές και οι θερμοστάτες τους, τα ηλεκτρικά οχήματα, και άλλες οικιακές συσκευές θα εκτελούν έξυπνη, στιβαρή και βελτιστοποιημένη λειτουργία για τη διαχείριση ενέργειας[7].

Συνοψίζοντας τους παραπάνω ορισμούς, το Smart Grid είναι μια ενοποίηση συστημάτων παροχής ενέργειας με την τεχνολογία επικοινωνίας και πληροφοριών για την παροχή καλύτερων υπηρεσιών και τη βελτίωση του παραδοσιακού ηλεκτρικού δικτύου ώστε να είναι πιο αξιόπιστο, συνεργάσιμο, να ανταποκρίνεται και να είναι οικονομικό. Χαρακτηρίζεται από την αμφίδρομη επικοινωνία και τη ροή ισχύος. Επομένως, ένα Smart Grid είναι μια σύνθεση από έναν μεγάλο αριθμό ετερογενών οντοτήτων με τοπικές αλληλεπιδράσεις, πολλαπλά επίπεδα δομής και οργάνωσης, που σχηματίζει ένα ολόκληρο σύστημα δύσκολο να προβλεφθεί και δύσκολο να περιγραφεί. Για το λόγο αυτό, το Smart Grid ταξινομείται ως ένα πολύπλοκο σύστημα [8].

### 2.3 Τα βασικά χαρακτηριστικά – συστατικά Smart Grid

Παραδοσιακά, ο όρος «δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας» (“grid”) χρησιμοποιείται για ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να υποστηρίξει όλες ή μερικές από τις ακόλουθες τέσσερις λειτουργίες: την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας και τον έλεγχο της ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα Smart Grid είναι μια βελτίωση του ηλεκτρικού δικτύου του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Τα παραδοσιακά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται γενικά για τη μεταφορά ενέργειας από λίγες κεντρικές γεννήτριες σε μεγάλο αριθμό χρηστών ή πελατών. Αντίθετα, το Smart Grid χρησιμοποιεί αμφίδρομες ροές ηλεκτρικής ενέργειας και πληροφοριών για να δημιουργήσει ένα αυτοματοποιημένο και κατανεμημένο προηγμένο δίκτυο παροχής ενέργειας [6].

Στον ακόλουθο πίνακα δίνεται μια σύντομη σύγκριση ανάμεσα στα βασικά χαρακτηριστικά του παραδοσιακού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και του Smart Grid.

Πίνακας 2-1: Σύγκριση παραδοσιακού και ευφυούς δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας [6][7]

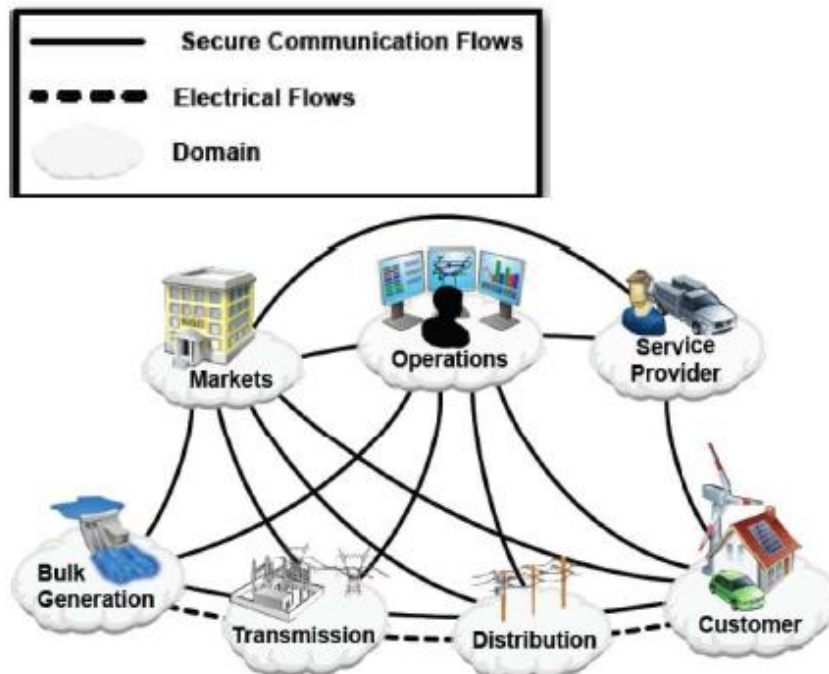
Παραδοσιακό Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας (Existing Grid)	Ευφυές Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας (Smart Grid)
Ηλεκτρομηχανικές λειτουργίες	Ψηφιακές συσκευές λειτουργίες
Μονόδρομη επικοινωνία	Αμφίδρομη επικοινωνία
Συγκεντρωτική παραγωγή	Κατανεμημένη παραγωγή
Λίγοι αισθητήρες	Αισθητήρες παντού
Χειροκίνητη παρακολούθηση	Αυτοπαρακολούθηση
Χειροκίνητη αποκατάσταση	Αυτοαποκατάσταση
Βλάβες και μπλακ άουτ	Προσαρμοστικό
Περιορισμένος έλεγχος	Διάχυτος έλεγχος
Λίγες επιλογές πελατών	Πολλές επιλογές πελατών

## 2.4 Η λειτουργία του Smart Grid

Δεδομένου του τεράστιου τοπίου της έρευνας για το Smart Grid, διαφορετικοί ερευνητές μπορεί να εκφράσουν διαφορετικά οράματα για το Smart Grid λόγω διαφορετικών εστιών και προοπτικών. Από τεχνικής άποψης μπορούν να προσδιοριστούν τρία βασικά συστήματα, το σύστημα έξυπνης υποδομής, το έξυπνο σύστημα διαχείρισης και το έξυπνο σύστημα προστασίας.

Το σύστημα έξυπνης υποδομής είναι η υποδομή ενέργειας, πληροφοριών και επικοινωνιών που βασίζεται στο Smart Grid που υποστηρίζει την προηγμένη παραγωγή, παράδοση και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, την προηγμένη μέτρηση, παρακολούθηση και διαχείρισης των πληροφοριών, καθώς και τις προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνία. Το σύστημα έξυπνης διαχείρισης είναι το υποσύστημα στο Smart Grid που παρέχει προηγμένες υπηρεσίες διαχείρισης και ελέγχου. Τέλος, το σύστημα έξυπνης προστασίας είναι το υποσύστημα στο Smart Grid που παρέχει προηγμένη ανάλυση αξιοπιστίας δικτύου, προστασία αστοχιών και υπηρεσίες ασφάλειας και προστασίας της ιδιωτικής ζωής [6].

Σχετικά με την υλοποίηση του Smart Grid, το National Institute of Standards and Technology (NIST) παρείχε ένα εννοιολογικό μοντέλο (όπως φαίνεται στο Σχήμα 1), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναφορά για τα διάφορα μέρη του ηλεκτρικού συστήματος όπου πραγματοποιούνται εργασίες τυποποίησης Smart Grid. Αυτό το εννοιολογικό μοντέλο χωρίζει το Smart Grid σε επτά τομείς. Κάθε τομέας περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους φορείς Smart Grid, συμπεριλαμβανομένων των συσκευών, των συστημάτων ή των προγραμμάτων που λαμβάνουν αποφάσεις και ανταλλάσσουν πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την εκτέλεση εφαρμογών [9]. Αξίζει να σημειωθεί ότι το NIST πρότεινε αυτό το μοντέλο από την οπτική γωνία των διαφορετικών ρόλων που εμπλέκονται στο Smart Grid.



Εικόνα 2-1: Το εννοιολογικό μοντέλο NIST για το Smart Grid [9]

Περιγράφοντας την παραπάνω εικόνα, οι τελικοί χρήστες (πελάτες) (customers) ενός Smart Grid μπορούν επίσης να παράγουν, να αποθηκεύουν και να διαχειρίζονται τη χρήση της ενέργειας. Οι αγορές



διαχειριστή συστήματος. Ο τομέας μετάδοσης ρυθμίζεται συνήθως από το περιφερειακό σύστημα διαχείρισης με τη βοήθεια ανταλλαγής πληροφοριών με το κέντρο ελέγχου. Ο τομέας μετάδοσης επόμενης γενιάς θα πρέπει να είναι εξοπλισμένος με σύστημα ευαισθητοποίησης κατάστασης ευρείας περιοχής (WideAreaSituationAwareness - WASA) σε συνδυασμό με προηγμένο σύστημα διαχείρισης ενέργειας (Energy ManagementSystem - EMS) στο κέντρο ελέγχου και σύστημα αυτοματισμού υποσταθμού μετάδοσης για τη διατήρηση της σταθερότητας του ηλεκτρικού δικτύου. Ο μελλοντικός τομέας διανομής θα πρέπει να ρυθμιστεί με το DAS, τον έλεγχο της τάσης (volt), των var και των wat (Voltage, Var, and WattControl - VVWC) για τα DER. και τα Σύστημα Διαχείρισης Διανομής (DistributionManagementSystem- DMS) [5].

## 2.5 Τα πλεονεκτήματα των Smart Grids

Η έννοια του Smart Grid προήλθε από την έννοια της υποδομής προηγμένης μέτρησης (AMI). Η ιδέα του AMI στοχεύει στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και της διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης (Demand Side Management- DSM). Η τεχνολογία AMI οδηγεί στην ιδέα του ηλεκτρικού δικτύου με δυνατότητα αυτόματης ανίχνευσης σφαλμάτων και αυτοαποκατάστασης [6][7]. Το DSM χαρακτηρίζεται από την ικανότητα του καταναλωτή να παρακολουθεί και να ελέγχει αποτελεσματικά την κατανάλωση ενέργειας. Το πιο επίπεδο προφίλ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μειώνει την πίεση φορτίου στο ηλεκτρικό δίκτυο που επιτυγχάνεται με τη χρήση αποτελεσματικού προγράμματος DSM [7].

Το σημερινό ηλεκτρικό δίκτυο είναι ένα κεντρικό σύστημα, το οποίο είναι πολύ ευαίσθητο στις απειλές ασφαλείας. Το Smart Grid σε αντίθεση με το σημερινό ηλεκτρικό δίκτυο είναι ένας συνδυασμός έξυπνης υποδομής, έξυπνης διαχείρισης και έξυπνων συστημάτων προστασίας [6][7].

Αν και δεν έχει προταθεί ακόμη ακριβής και περιεκτικός ορισμός του Smart Grid, σύμφωνα με την έκθεση του NIST [9], τα αναμενόμενα οφέλη και απαιτήσεις του SG είναι τα ακόλουθα:

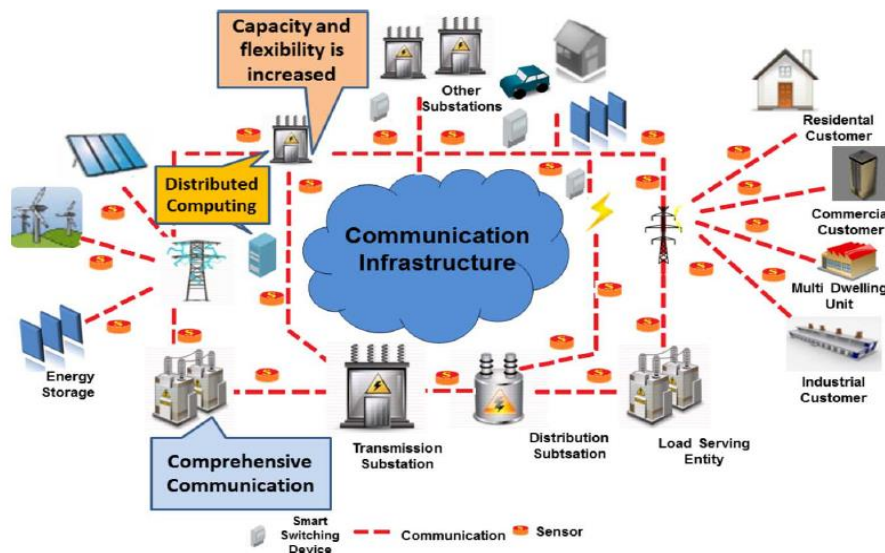
- 1) Βελτίωση της αξιοπιστίας και της ποιότητας της ισχύος.
- 2) Βελτιστοποίηση της χρήσης των εγκαταστάσεων και αποτροπή κατασκευής εφεδρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής.
- 3) Ενίσχυση της χωρητικότητας και της αποδοτικότητας των υφιστάμενων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.
- 4) Βελτίωση της ανθεκτικότητας σε διαταραχές.
- 5) Ενεργοποίηση προγνωστικής συντήρησης και αποκρίσεων αυτοαποκατάστασης σε διαταραχές του συστήματος.
- 6) Διευκόλυνση της διευρυμένης ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- 7) Υποδοχή κατανεμημένων πηγών ενέργειας.
- 8) Αυτοματοποίηση συντήρησης και λειτουργίας.
- 9) Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με την ενεργοποίηση ηλεκτρικών οχημάτων και νέων πηγών ενέργειας.
- 10) Μείωση της κατανάλωσης πετρελαίου μειώνοντας την ανάγκη για αναποτελεσματική παραγωγή κατά τις περιόδους αιχμής χρήσης.
- 11) Παρουσίαση ευκαιριών για τη βελτίωση της ασφάλειας του δικτύου.

- 12) Ενεργοποίηση της μετάβασης σε plug-in ηλεκτρικά οχήματα και νέες επιλογές αποθήκευσης ενέργειας.
- 13) Αύξηση των επιλογών των καταναλωτών.
- 14) Ενεργοποίηση νέων προϊόντων, υπηρεσιών και αγορών.

## 2.6 Αρχιτεκτονική Smart Grid

Για να αναλυθεί και να κατανοηθεί το σύνολο των συστημάτων και των εφαρμογών των Smart Grid είναι απαραίτητο να καθοριστεί η αρχιτεκτονική του δικτύου. Πολλοί διεθνείς οργανισμοί, όπως το NIST, η International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) και το Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), προτείνουν τα δικά τους μοντέλα και οδικούς χάρτες. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι αυτά τα μοντέλα είναι εννοιολογικά και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη και την κατανόηση της σχέσης επικοινωνίας μεταξύ των στοιχείων του συστήματος. Εισάγουν τη βάση για τη συζήτηση των χαρακτηριστικών, των χρήσεων, της συμπεριφοράς, των διεπαφών, των απαιτήσεων και των προτύπων του Smart Grid. Αυτά τα μοντέλα δεν αντιπροσωπεύουν την τελική αρχιτεκτονική του Smart Grid. Μάλλον είναι ένα εργαλείο για την περιγραφή, τη συζήτηση και την ανάπτυξη αυτής της αρχιτεκτονικής. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα πλαίσια αρχιτεκτονικής που προτείνονται στη βιβλιογραφία και από τους διάφορους οργανισμούς που έχουν αναλάβει την ανάπτυξη προτύπων για το Smart Grid.

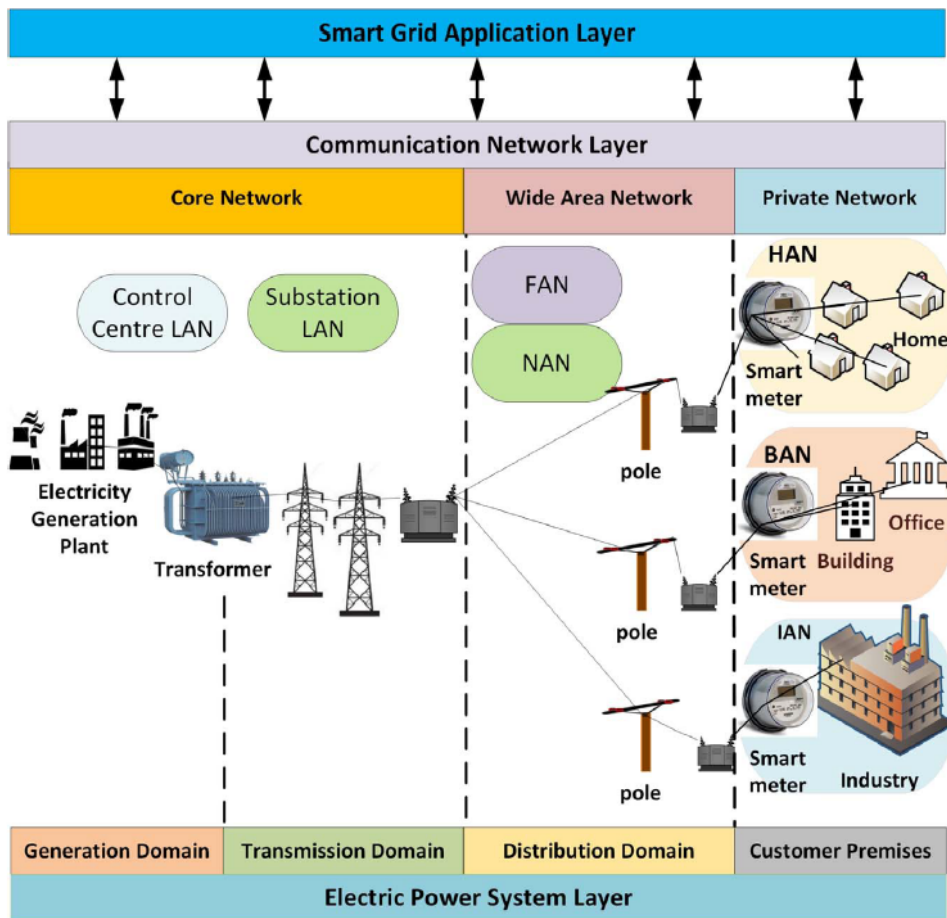
Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, η υποδομή ενός Smart Grid περιλαμβάνει προηγμένες ικανότητες επικοινωνίας και κόμβους αισθητήρων (όπως φαίνεται στην εικόνα) για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας μεταξύ των διαφόρων συστημάτων, δηλαδή τους υποσταθμούς διανομής, μεταφοράς και άλλους υποσταθμούς, καθώς και άλλες εγκαταστάσεις, όπως οι οικιακές, εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις [3].



Εικόνα 2-3: Αρχιτεκτονική Smart Grid βασισμένη στις τεχνολογίες επικοινωνίας και τους κόμβους [3].

Η κατανόηση της αρχιτεκτονικής Smart Grid παρέχει έναν οδηγό για την κατανόηση των απαιτήσεων σχετικά με τα δίκτυα επικοινωνίας Smart Grid. Διαφορετικοί φορείς και οργανισμοί τυποποίησης όπως το DOE (The Smart Grid: An Introduction, 2010) [10], η Πολιτεία της Δυτικής Βιρτζίνια (West Virginia

Smart Grid Implementation Plan (WV SGIP, 2009) [11] και το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (Framework And Roadmap For Smart Grid Interoperability Standards - NIST, 2010) [12] έχουν αναπτύξει εννοιολογικές αρχιτεκτονικές για το Smart Grid. Ωστόσο, το πρότυπο IEEE 2030–2011 έχει γίνει ευρέως αποδεκτό ως το πρώτο βιομηχανικό πρότυπο με αρχιτεκτονική Smart Grid [13] και απαιτήσεις διαμόρφωσης και διαλειτουργικότητας. Στο πλαίσιο του προτύπου, προτείνεται ένα λειτουργικό μοντέλο που ονομάζεται Smart Grid and Interoperability Reference Model (SGIRM) προκειμένου να αντιμετωπίσει τα ζητήματα διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών στοιχείων του δικτύου επικοινωνιών, του συστήματος ισχύος και της πλατφόρμας τεχνολογίας πληροφοριών. Το SGIRM παρέχει έναν οδηγό για την επικοινωνία μεταξύ των τομέων παραγωγής, μετάδοσης και διανομής Smart Grid. Ένα μοντέλο αρχιτεκτονικής του δικτύου επικοινωνιών Smart Grid από άκρο σε άκρο (end-to-end - E2E) που βασίζεται στο πρότυπο IEEE 2030 παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα [6][14].



Εικόνα 2-4: Αρχιτεκτονική επικοινωνιών Smart Grid από άκρο σε άκρο (E2E) [6]

Όπως παρουσιάζεται στην εικόνα, τα σύγχρονα Smart Grid είναι δομημένα σε τρία επίπεδα που ονομάζονται Επίπεδο Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας (Electric Power System Layer), Επίπεδο Επικοινωνίας (Communication Layer) και Επίπεδο Εφαρμογής (Application Layer). Είναι ενδιαφέρον ότι θα μπορούσαν να υπάρχουν πολλές εφαρμογές όπως η αυτόματη ανάγνωση μετρητών (Automatic Meter Reading - AMR), η AMI, η διαχείριση απόκρισης ζήτησης (Demand Response Management - DRM), η διαχείριση διακοπών (Out age management), η φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων (Electric Vehicles - EV), η Διαχείριση περιουσιακών στοιχείων (Asset Management -AM), και η πιλοτική

προστασία (pilot protection). Η προηγμένη έξυπνη μοντελοποίηση των εφαρμογών θα μπορούσε να επιλύσει κρίσιμα ζητήματα διαλειτουργικότητας. Το επίπεδο ηλεκτρικής ισχύος περιλαμβάνει τέσσερις τομείς, συμπεριλαμβανομένου του τομέα παραγωγής (generation domain), του τομέα μετάδοσης (transmission domain), του τομέα διανομής (distribution domain) και του τομέα πελάτη (customer premises) [6].

Μια βασική πρόκληση για το Smart Grid στο επίπεδο ισχύος είναι να παρέχει αμφίδρομη ροή ισχύος μεταξύ των διαφορετικών τομέων, προκειμένου να εξισορροπηθεί η ζήτηση και η προσφορά ενέργειας. Ο πυρήνας ενός Smart Grid υπάρχει στο επίπεδο επικοινωνίας και παρέχει διασυνδέσεις μεταξύ όλων των συσκευών και των αντίστοιχων συστημάτων. Προς το παρόν, στον τομέα παραγωγής και μεταφοράς του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, η παλαιού τύπου υποδομή επικοινωνιών είναι ήδη σε ισχύ για τη δημιουργία επικοινωνιών μεταξύ των μεγάλων υποσταθμών. Αυτοί οι υποσταθμοί συνδέονται με το κέντρο ελέγχου κοινής ωφελείας και δίκτυα τρίτων, κυρίως μέσω ενός βασικού δικτύου υψηλού εύρους ζώνης, χρησιμοποιώντας Digital Subscriber Line (DSL), οπτική ίνα ή καλώδιο [6].

Ο τομέας διανομής είναι συνήθως μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή που περιέχει μεγάλο αριθμό υποσταθμών, εξοπλισμό τροφοδοσίας, εγκαταστάσεις αποθήκευσης, περιουσιακά στοιχεία διανομής και τελικούς χρήστες. Τα δίκτυα ευρείας περιοχής (Wide Area Network- WAN) συνδέουν την υποδομή με το κέντρο ελέγχου. Επιπλέον, παρέχεται επίσης συνδεσιμότητα «τελευταίου μιλίου» στις εγκαταστάσεις των πελατών για την υποστήριξη διαφόρων εφαρμογών εντός του οικιακού δικτύου (Home Area Network - HAN), του δικτύου κτιρίων (Body Area Network- BAN) και του δικτύου βιομηχανικής περιοχής (Internet Area Network- IAN). Επομένως, για να ενεργοποιηθεί μια εφαρμογή παρακολούθησης και ελέγχου σε όλο το δίκτυο, λειτουργικά το WAN παραμένει ένας κόμβος για το δίκτυο επικοινωνίας από άκρο σε άκρο του Smart Grid, καθώς συνδέει όλους τους τομείς του στρώματος ηλεκτρικής ενέργεια [6].

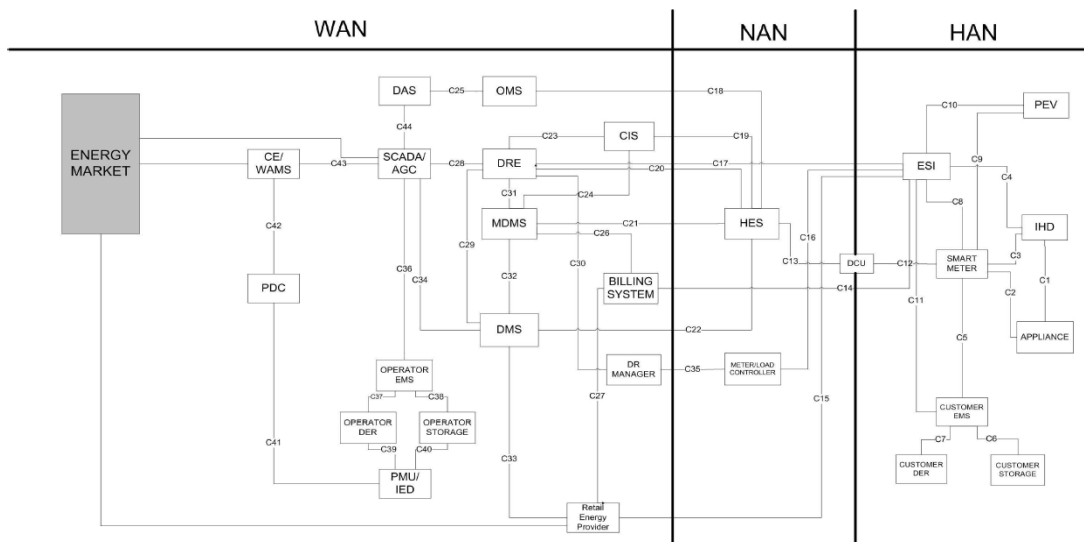
Επειδή οι δεδομένες αρχιτεκτονικές είναι εννοιολογικές, στο [8] προτείνεται ένα πιο λεπτομερές μοντέλο προσαρμοσμένο από τα αρχιτεκτονικά μοντέλα που έχουν προταθεί εστιάζοντας στον τομέα της επικοινωνίας. Ουσιαστικά σε αυτό το μοντέλο, οι συγγραφείς χώρισαν την αρχιτεκτονική του Smart Grid σε τρία δίκτυα, συγκεκριμένα, HAN, NAN και WAN. Παρόμοια είναι και η αρχιτεκτονική που προτείνεται και σε άλλα επιστημονικά άρθρα, όπως στο **Error! Reference source not found.** Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζεται η προτεινόμενη αρχιτεκτονική που βασίζεται στην επικοινωνία του Smart Grid και οι διάφορες τεχνολογίες επικοινωνίας που περιλαμβάνονται σε αυτό.

### 2.6.1 Τεχνολογίες επικοινωνιών των Smart Grids

Οι τεχνολογίες που εμπλέκονται στην επικοινωνία Smart Grid αντιπροσωπεύουν ένα θεμελιώδες στοιχείο στην ανάπτυξη και την απόδοση του Smart Grid. Πολλές τεχνολογίες που θα υιοθετηθούν από το Smart Grid έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί σε άλλες βιομηχανικές εφαρμογές, όπως τα δίκτυα αισθητήρων στην κατασκευή και τα ασύρματα δίκτυα στις τηλεπικοινωνίες, και προσαρμόζονται για χρήση σε νέο ευφρές και διασυνδεδεμένο παράδειγμα. Σε διεθνές επίπεδο, τα τεχνικά πρότυπα που στηρίζουν το Έξυπνο Δίκτυο αναπτύσσονται από αρκετούς Οργανισμούς Ανάπτυξης Προτύπων όπως οι οργανισμοί ANSI, IEC, IEEE, ISO και ITU. Και, επίσης, από Ανεξάρτητους Οργανισμούς (IOs) όπως το NIST, ή από Συμμαχίες (π.χ. συμμαχία ZigBee). Δεδομένου ότι όλα τα πρότυπα πρέπει να συνεργάζονται για να υποστηρίξουν ένα συνολικό σύστημα, ο συντονισμός των προσπαθειών αυτών των οργανισμών είναι ιδιαίτερα σημαντικός [8]

Το σχήμα στην εικόνα παρουσιάζει ολόκληρη την αρχιτεκτονική και τις διεπαφές μεταξύ των στοιχείων. (Επισημαίνεται ότι η αγορά ενέργειας δεν περιλαμβάνεται σε αυτή την αρχιτεκτονική, καθώς θεωρείται εξωτερικό πεδίο του Smart Grid).

Το HAN (Home Area Network – Οικιακό Δίκτυο) συνδέει τις έξυπνες συσκευές στο σπίτι σε ένα κοινό δίκτυο. Σε αυτό το δίκτυο, οι βασικές συσκευές είναι ο έξυπνος μετρητής, η διεπαφή ενεργειακών υπηρεσιών (Energy Services Interface- ESI) και το σύστημα διαχείρισης ενέργειας (Energy Management System- EMS) [16]. Η συσκευή μετρητή χρησιμοποιείται για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τη χρήση ενέργειας, καθώς και για τη διαχείριση υπηρεσιών ελέγχου, όπως η αποσύνδεση κυκλώματος. Μπορεί να αποθηκεύσει τα δεδομένα του μετρητή εσωτερικά και επίσης διευκολύνει την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του μετρητή και του βοηθητικού προγράμματος. Η διεπαφή ESI είναι η πύλη, που παρέχεται κυρίως από βοηθητικά προγράμματα, που δρομολογεί δεδομένα μεταξύ του HAN και του δικτύου γειτονιάς (Neighborhood Area Network- NAN). Είναι επίσης γνωστή ως πύλη HAN μέσω της οποίας το HAN ενός πελάτη επικοινωνεί με τις εταιρείες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας ή οποιαδήποτε άλλη οντότητα που παρέχει υπηρεσίες διαχείρισης ενέργειας. Γενικά, η πύλη HAN είναι ενσωματωμένη στη συσκευή μετρητή φυσικά, αλλά είναι λογικά ξεχωριστή από το μετρητή. Το τρίτο συστατικό είναι το EMS. Ελέγχει και βελτιστοποιεί την απόδοση της παραγωγής, κατανάλωσης και αποθήκευσης ενέργειας στο HAN, μοιράζεται τις λειτουργίες με το ESI για εντολές ελέγχου παράδοσης ή συμβάντα από βοηθητικά προγράμματα σε έξυπνες συσκευές και συλλέγει όλους τους τύπους πληροφοριών από συσκευές HAN. Ωστόσο, για τη διαχείριση αυτού του δικτύου, το σπίτι είναι εξοπλισμένο με οθόνη In-Home (IHD). Το IHD παρέχει μια διεπαφή στο σπίτι του πελάτη, με όλες τις συσκευές HAN συνδεδεμένες σε αυτό. Μπορεί να δείξει τις καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας αυτών των συσκευών και θα παρέχει στους πελάτες έλεγχο φορτίου στις συσκευές τους. Ένας άλλος κινητήρας που μπορεί να συνδεθεί με το σπίτι είναι το Plug-in ηλεκτρικό όχημα (PEV). Η ενσωμάτωση μεγάλου αριθμού PEV στο δίκτυο είναι μια πρόκληση που πρέπει να λάβει υπόψη το Smart Grid [8].



Εικόνα2-5: Αρχιτεκτονική Smart Grid βασισμένη στις τεχνολογίες επικοινωνίας [8].

Το NAN (Neighborhood Area Network – δίκτυο γειτονιάς) είναι μια συλλογή πολλαπλών HAN για τη συλλογή δεδομένων ανίχνευσης. Επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων από πελάτες σε μια γειτονιά για μετάδοση σε μια εταιρεία ηλεκτρισμού. Το NAN μπορεί επίσης να ονομάζεται Δίκτυο Πεδίου (Field Area Network- FAN) όταν συνδέεται με συσκευές πεδίου όπως έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές (IED). Οι έξυπνοι μετρητές στέλνουν δεδομένα στη μονάδα συλλογής δεδομένων (Data Collection Unit -

DCU) στα σύνορα μεταξύ HAN και NAN. Το DCU είναι ο εξοπλισμός που είναι υπεύθυνος για την ανάκληση των δεδομένων μέτρησης από ένα σετ Έξυπνων Μετρητών και μεταδίδει τις πληροφορίες στο Head End System (HES). Αυτό αργότερα είναι ένα κεντρικό σημείο συλλογής δεδομένων για το δίκτυο AMI [8][17].

Το WAN (Wide Area Network – Δίκτυο ευρείας περιοχής) παρέχει επικοινωνία μεταξύ του ηλεκτρικού δικτύου και των υποσταθμών. Υποστηρίζει εφαρμογές παρακολούθησης, ελέγχου και προστασίας σε πραγματικό χρόνο, οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν στην αποφυγή κλιμακωτών διακοπών με πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο που σχετίζονται με την κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου. Παρέχει επίσης συνδέσμους επικοινωνίας για κορμούς Smart Grid και καλύπτει αποστάσεις που είναι σε μεγάλη απόσταση από το NAN και το κέντρο ελέγχου. Το WAN αποτελείται από πολλαπλά στοιχεία και συστήματα [8].

Ένα από τα κύρια συστήματα στο δίκτυο WAN είναι το Σύστημα Διαχείρισης Δεδομένων Μετρητών (Meter Data Management System – MDMS), το οποίο είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση και την επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνονται από τις μέτρησεις πριν τα καταστήσει διαθέσιμα για άλλες εφαρμογές [18]. Οι έξυπνοι μετρητές μεταφέρουν τα συλλεγμένα πρωτογενή δεδομένα σε MDMS μέσω ενός δικτύου αμφίδρομης επικοινωνίας. Επιπλέον, το MDMS διαθέτει δυνατότητες όπως διαχείριση όλων των ειδών μετρητών (ηλεκτρικό, φυσικό αέριο, θερμότητα), μετάδοση δεδομένων εκτός από τα τιμολόγια και ενεργοποίηση/απενεργοποίηση ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό το σύστημα συνδέεται με ένα άλλο σημαντικό σύστημα, το Σύστημα Διαχείρισης Διανομής (DMS), το οποίο αποτελεί μια συλλογή εφαρμογών που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση, τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος διανομής και αποτελεί μια προσπάθεια διαχείρισης της πολυπλοκότητάς του [19]. Ο απώτερος στόχος ενός DMS είναι να ενεργοποιήσει ένα Smart Grid, αυτοθεραπευόμενο σύστημα διανομής και να προσφέρει βελτιώσεις στην αξιοπιστία και την ποιότητα του εφοδιασμού, την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα της λειτουργίας του συστήματος. Σήμερα τα συστήματα DMS βασίζονται στο υπάρχον σύστημα Εποπτικού Ελέγχου και Απόκτησης Δεδομένων (Supervisory Control And Data Acquisition - SCADA), το οποίο χρησιμοποιείται γενικά για απομακρυσμένο χειρισμό για να επιτρέψει στους διεκπεραιωτές να δουν τις αποτυχίες του συστήματος και να διευκολύνουν τις απομακρυσμένες αλλαγές [22]. Τέλος, το Σύστημα Αυτοματισμού Διανομής (DAS), είναι υπεύθυνο για τον αυτοματισμό του υποσταθμού, τον αυτοματισμό τροφοδοσίας και τον αυτοματισμό πελατών. Έτσι, παρέχει στις επιχειρήσεις παροχής ηλεκτρισμού τη δυνατότητα να παρακολουθούν εξ αποστάσεως τον εξοπλισμό διανομής, να συλλέγουν πληροφορίες από ένα εκτεταμένο δίκτυο εξοπλισμού και αισθητήρων και, στη συνέχεια, να λαμβάνουν κατάλληλες ενέργειες ελέγχου, ακόμη και αυτόματα ή με ανθρώπινη επίβλεψη [8].

## 2.7 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο προσδιορίστηκε εννοιολογικά το Smart Grid, τα βασικά χαρακτηριστικά του, ο τρόπος λειτουργίας του και τα πλεονεκτήματά του. Από αυτή τη μελέτη συνοψίζεται ότι, το Smart Grid αποτελεί ένα περίπλοκο σύνολο εφαρμογών μέσω των οποίων παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια αξιοποιώντας την τεχνολογία των επικοινωνίας και της πληροφορικής επιτυγχάνοντας αμφίδρομη επικοινωνία και ροή ισχύος. Βασικό χαρακτηριστικό του Smart Grid αποτελεί ο εκσυγχρονισμός των παραδοσιακών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας με αυτοματοποιημένους ελέγχους και προστασία των συστημάτων. Επίσης, αναπόσπαστο μέρος των Smart Grids, εκτός από τα ζητήματα που σχετίζονται με την παραγωγή, διαχείριση και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελούν οι δυνατότητες που προσφέρονται στους τελικούς χρήστες ως προς την διαχείριση των οικιακών ηλεκτρικών συσκευών και την διαχείριση στην παραγωγή και κατανάλωση των πόρων με στόχο ένα βιώσιμο μέλλον.

Για να αναλυθεί και να κατανοηθεί σε βάθος το Smart Grid και το σύνολο των συστημάτων και τεχνολογιών που περιλαμβάνονται σε αυτό μελετήθηκε επίσης η αρχιτεκτονική των Smart Grids με έμφαση στο πεδίο των επικοινωνιών του δικτύου που αποτελεί μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις στην υλοποίηση των Smart Grid. Η αρχιτεκτονική επικοινωνίας Smart Grid, η οποία βασίζεται στις αρχιτεκτονικές που έχουν αναπτυχθεί από τους οργανισμούς που έχουν αναλάβει την ανάπτυξη προτύπων, ικανοποιεί τις λειτουργίες που πρέπει να πληροί ένα Smart Grid.

## Κεφάλαιο 3ο: Πρότυπα στα Smart Grids

### 3.1 Εισαγωγή

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές, τεχνικές και τεχνολογικές λύσεις για συστήματα Smart Grid που έχουν αναπτυχθεί ή βρίσκονται ακόμη σε φάση ανάπτυξης. Ωστόσο, η βασική πρόκληση είναι ότι το συνολικό σύστημα Smart Grid στερείται ευρέως αποδεκτών προτύπων και αυτή η κατάσταση εμποδίζει την ενοποίηση προηγμένων εφαρμογών, έξυπνων μετρητών, έξυπνων συσκευών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και περιορίζει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ τους. Η υιοθέτηση προτύπων διαλειτουργικότητας για το συνολικό σύστημα αποτελεί κρίσιμη προϋπόθεση για να γίνει πραγματικότητα ένα σύστημα Smart Grid. Η απρόσκοπτη διαλειτουργικότητα, η ισχυρή ασφάλεια πληροφοριών, η αυξημένη ασφάλεια νέων προϊόντων και συστημάτων, το συμπαγές σύνολο πρωτοκόλλων και η ανταλλαγή επικοινωνιών είναι μερικοί από τους στόχους που μπορούν να επιτευχθούν με τις προσπάθειες τυποποίησης του έξυπνου δικτύου [3].

Καθώς, λοιπόν, το Smart Grid θα χαρακτηρίζεται από αμφίδρομη ροή ισχύος στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και από πληροφορίες στο δίκτυο επικοινωνίας, ένα από τα πιο απαιτητικά ζητήματα για την επίτευξη της απρόσκοπτης αμφίδρομης ροής πληροφοριών, αποτελεί η τυποποίηση των νέων τεχνολογικών εξελίξεων και η εναρμόνιση τους με τα υπάρχοντα πρότυπα και τις πρακτικές [5].

Έχουν προταθεί διάφορα πρότυπα για την καθοδήγηση της ανάπτυξης του Smart Grid και ιδιαίτερα των υποδομών επικοινωνίας και πληροφόρησης. Μετά την παροχή του πρώτου επίσημου ορισμού του Smart Grid από τον νόμο ενεργειακής ανεξαρτησίας και ασφάλειας του 2007 (Energy Independence and Security Act of 2007 – ENISA), ξεκίνησαν οι προσπάθειες τυποποίησης από διάφορους φορείς. Το 2011, η IEEE παρουσίασε το IEEE 2030 ως τον οδικό χάρτη και τις κατευθυντήριες γραμμές για τα Smart Grid Smart Grids και το NIST παρέχει το ITU-T G.hn ως πρότυπο για επικοινωνίες υψηλής ταχύτητας μέσω γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας, τηλεφωνικών γραμμών και ομοαξονικών καλωδίων. Τα τελευταία χρόνια μέχρι τώρα, τα ιδρύματα τυποποίησης όπως IEEE, IEC, NIST, ANSI, ITU-T και άλλα, αναπτύσσουν σταδιακά και ολοκληρώνουν τυποποιήσεις [21].

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι οργανισμοί NIST, ANSI, IEEE, IEC καθώς και σε άλλους οργανισμούς, οι οποίοι έχουν αναλάβει την ανάπτυξη προτύπων για την τυποποίηση των επικοινωνιών και των τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να εφαρμοστούν στις διάφορες εφαρμογές των Smart Grid καλύπτοντας διαφορετικές απαιτήσεις. Επίσης σε αυτό το κεφάλαιο προσεγγίζονται οι προδιαγραφές και οι τεχνολογίες που καλύπτουν τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί ή μπορεί να χρησιμοποιηθούν στα Smart Grid.

### 3.2 Οργανισμοί προτύπων (NIST, ANSI, IEEE, IEC)

#### 3.2.1 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Το IEEE είναι μία από τις μεγαλύτερες επαγγελματικές ενώσεις στον κόσμο για την πρόοδο της τεχνολογίας που επικεντρώνεται στην τυποποίηση διαλειτουργικότητας των Smart Grid [22]. Το IEEE έχει προτείνει έναν αριθμό προτύπων που σχετίζονται με την επικοινωνιακή υποδομή στο Smart Grid, συμπεριλαμβανομένων των P1901, P2030, C37.1, 1379, 1547 και 1646 [21][23].

Συνοπτικά, το IEEE P1901 ορίζει πρότυπα για PLC υψηλής ταχύτητας για οικιακές, βοηθητικές εφαρμογές και εφαρμογές Smart Grid. Το IEEE P2030 ως το πρώτο πρότυπο IEEE παρέχει έναν οδικό χάρτη και κατευθυντήριες γραμμές για το Smart Grid και θεωρεί τα συστήματα ισχύος, την τεχνολογία

επικοινωνιών και την τεχνολογία πληροφοριών ως τρεις ολοκληρωμένες αρχιτεκτονικές προοπτικές του Smart Grid [21]. Σημειώνεται ότι, το IEEE P2030 είναι το πρώτο πρότυπο IEEE που παρέχει έναν χάρτη οδηγιών και οδηγίες για την καλύτερη κατανόηση και τον ορισμό της διαλειτουργικότητας των Smart Grid [22]. Το IEEE C37.1 παρέχει πρότυπα επικοινωνίας και πληροφόρησης για συστήματα SCADA και αυτοματισμού στους ηλεκτρικούς υποσταθμούς. Λαμβάνει υπόψη τη βάση της λειτουργικότητας, της απόδοσης και των απαιτήσεων του δικτύου. Το IEEE 1379 παρέχει οδηγίες εφαρμογής και οδηγίες για την επικοινωνία IED και RTU στους ηλεκτρικούς υποσταθμούς. Το IEEE 1547 παρέχει πρότυπα για τα SG με διασυνδεδεμένους καταναμημένους πόρους. Αυτό το πρότυπο λαμβάνει υπόψη τρία μέρη του SG, π.χ., το σύστημα ισχύος, την ανταλλαγή πληροφοριών και τη δοκιμή συμμόρφωσης. Από την πλευρά της επικοινωνίας, αυτό το πρότυπο λαμβάνει υπόψη την ανταλλαγή πληροφοριών και τις απαιτήσεις της για σκοπούς παρακολούθησης και ελέγχου του συστήματος ισχύος. Το IEEE 1646 αφορά τις απαιτήσεις επικοινωνίας των διαφόρων κατηγοριών ηλεκτρικών υποσταθμών. Ο χρόνος παράδοσης πληροφοριών και η καθυστέρηση είναι οι πιο σημαντικές παράμετροι σε αυτό το πρότυπο [21]. Περισσότερες πληροφορίες για την χρήση των προτύπων αυτών σε διάφορες εφαρμογές των Smart Grids, καθώς και των απαιτήσεων παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια.

### 3.2.2 International Electrotechnical Commission (IEC)

Η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (International Electrotechnical Commission - IEC) είναι ο διεθνής οργανισμός ανάπτυξης ηλεκτρικών προτύπων που εστιάζει στις γενικές απαιτήσεις των αρχιτεκτονικών Smart Grid και των προσπαθειών Smart Grid στην ηλεκτρική βιομηχανία με τη δημιουργία του IEC Smart Grid Strategic Group το 2008. Το IEC Smart Grid Strategic Group έχει περιγράψει και προσδιορίσει πάνω από 100 πρότυπα IEC [22] (συμπεριλαμβανομένων των 60870, 61850, 61968, 61970 και 62351 [21]) και εξετάζει 44 συστάσεις, 12 τομείς εφαρμογής και έξι γενικά θέματα [22].

Συνοπτικά, το IEC 61970 και το IEC 61968 είναι τα πρότυπα μοντέλων αναφοράς για την ενσωμάτωση πληροφοριών, διαφορετικών παλαιών συσκευών και εφαρμογών στο δίκτυο διανομής και για την επίτευξη επιτυχημένης ανάπτυξης Smart Grid [22]. Ουσιαστικά, αποτελούν πρότυπα για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών συσκευών και δικτύων του Smart Grid [21]. Ένα άλλο σημαντικό πρότυπο είναι το IEC 61850, το οποίο είναι ένα πρότυπο αυτοματισμού ηλεκτρικού υποσταθμού και περιλαμβάνει μοντελοποίηση δεδομένων, γρήγορη μεταφορά συμβάντων, σχήματα αναφοράς και αποθήκευση δεδομένων [21][22]. Από την άλλη πλευρά, το πρότυπο IEC 62351 καλύπτει τα ζητήματα ασφάλειας που σχετίζονται με τη διαχείριση του συστήματος ισχύος και τη American National Standards Institute (ANSI)

Το Αμερικανικό Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων (American National Standards Institute - ANSI) είναι το συντονιστικό ινστιτούτο των προτύπων και του συστήματος αξιολόγησης της συμμόρφωσης των ΗΠΑ που προωθεί τη διεθνή χρήση των προτύπων των ΗΠΑ και προστατεύει την πολιτική και την τεχνική θέση των ΗΠΑ σε διεθνείς και περιφερειακούς οργανισμούς τυποποίησης [22].

### 3.2.3 National Institute of Standards and Technology (NIST)

Αρχικά, το Συμβούλιο Αρχιτεκτονικής Grid Wise® (Grid Wise® Architecture Council - GWAC) δημιουργήθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ για να προωθήσει και να επιτρέψει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των πολλών οντοτήτων που αλληλεπιδρούν με το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Επίσης, το Ινστιτούτο Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας (Electric Power Research Institute- EPRI) ξεκίνησε επίσης το έργο εκσυγχρονισμού του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας που ονομάζεται Intelligrid®. Για να συνδυάσει όλες αυτές τις προσπάθειες με την επιτυχή ενσωμάτωση των

αναδύμενων τεχνολογιών, η κυβέρνηση των ΗΠΑ έχει αναθέσει έργα στο Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (National Institute of Standards and Technology – NIST) [5].

Το NIST ήταν υπεύθυνο για τον έλεγχο της ανάπτυξης προσπαθειών τυποποίησης, πρωτοκόλλων και μοντέλων για την παροχή διαλειτουργικών, αξιόπιστων και ασφαλών υπηρεσιών και συστημάτων για τα Smart Grid. Με αυτό το πλαίσιο, το NIST παρουσιάζει ένα εννοιολογικό μοντέλο αναφοράς για την αρχιτεκτονική έξυπνων δικτύων, ένα αρχικό σύνολο 75 προσδιορισμένων προτύπων Smart Grid, τις προτεραιότητες για πρόσθετα πρότυπα, τα αρχικά βήματα για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο των σχεδίων δράσης Smart Grid [22].

Το NIST έχει παράσχει μια σειρά προτύπων και πλαισίων που σχετίζονται με την υποδομή επικοινωνίας Smart Grid. Η ειδική δημοσίευση 1108 ορίζει το εννοιολογικό μοντέλο αναφοράς του Smart Grid και εστιάζει στις απαιτήσεις και την εφαρμογή της επικοινωνιακής υποδομής του Smart Grid. Η έκθεση 7628 αφορά τα θέματα ασφάλειας πληροφοριών του Smart Grid [21].

#### 3.2.4 Άλλοι οργανισμοί προτύπων

Αρκετοί διεθνείς και εθνικοί οργανισμοί σε όλο τον κόσμο έχουν παράσχει πρότυπα για την επικοινωνιακή υποδομή του Smart Grid. Τα πρότυπα που παρέχονται από οργανισμούς όπως ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) (π.χ. ISO 16484-5, ISO/IEC 14543-3 και ISO/IEC/IEEE 18880), International Council on Large Electric Systems, Ευρωπαϊκή εντολή τυποποίησης M/441 και ομάδα συντονισμού έξυπνων μετρητών, εντολή τυποποίησης SG M/490 σε ευρωπαϊκούς οργανισμούς τυποποίησης (European Standardization Organizations- ESOs) για την υποστήριξη της ανάπτυξης ευρωπαϊκών Smart Grid, Ιαπωνική Επιτροπή Βιομηχανικών Προτύπων, και την 3-Generation Partnership Project (3GPP) είναι άλλα πρότυπα για τα συστήματα επικοινωνίας στο Smart Grid [21].

Σημαντικά για το Smart Grid είναι επίσης ο Τομέας Τυποποίησης Τηλεπικοινωνιών της ITU (Telecommunication Standardization Sector - ITU-T). Η ομάδα εστίασης ITU-T Smart Grid έχει παράσχει δύο πρότυπα G.HNEM, ως πρότυπα τεχνολογίας PLC στενής ζώνης γνωστά ως ITU-T G.9955 και ITU-T G.9956 για επικοινωνία με γραμμή ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται σε εναλλασσόμενο και συνεχές ρεύμα χαμηλής τάσης και γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας μέσης τάσης σε συχνότητες κάτω των 500 kHz [21].

Επίσης, το International Society of Automotive Engineers (SAE) έχει παράσχει διάφορα πρότυπα για την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων. Το πρότυπο SAE J2293 αφορά τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ ηλεκτρικής ενέργειας και ηλεκτρικών οχημάτων. Το SAE J2836 τυποποιεί την επικοινωνία μεταξύ ηλεκτρικής ενέργειας και ηλεκτρικών οχημάτων. Το SAE J2847 διευκολύνει την ανταλλαγή μηνυμάτων επικοινωνίας μεταξύ των PEV και των στοιχείων του δικτύου ισχύος [21].

### 3.3 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο έγινε μια σύντομη αναφορά στους οργανισμούς ανάπτυξης προτύπων, που έχουν αναλάβει να αναπτύξουν πρότυπα για το Smart Grid, το κάθε ένα από τα οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικές εφαρμογές των Smart Grid εξυπηρετώντας διαφορετικούς και υποστηρίζοντας διαφορετικές απαιτήσεις. Για κάθε οργανισμό γίνεται αναφορά στα σχετικά πρότυπα που έχει αναπτύξει, τα οποία ταξινομούνται στα επόμενα κεφάλαια βάσει των περατώσεων χρήσης, καθώς και βάσει των απαιτήσεων Smart Grid. Αυτό που αξίζει να αναφερθεί σε αυτό το σημείο ως συμπέρασμα είναι ότι, όλοι οι οργανισμοί έχουν καταβάλει σημαντική προσπάθεια στην ανάπτυξη των προτύπων μέσω των οποίων μπορούν να καλυφθούν οι ανάγκες και οι απαιτήσεις των δικτύων, ενώ κάθε

οργανισμός έχει αναλάβει και επικεντρωθεί στην ανάπτυξη προτύπων για διαφορετικές και προκαθορισμένες λειτουργίες.

## Κεφάλαιο 4ο: Περιπτώσεις χρήσης Ευφυούς Δικτύου (UseCases of Smart Grid)

### 4.1 Εισαγωγή

Όπως έχει αντιληπτό από τα προηγούμενα κεφάλαια, το Smart Grid αποτελεί ένα περίπλοκο σύστημα, το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο εφαρμογών. Οι βασικές περιπτώσεις χρήσης των Smart Grid περιλαμβάνουν τα συστήματα αυτοματισμού των υποσταθμών (Substation Automation Systems – SAS), τα συστήματα έξυπνης μέτρησης (Smart Metering), τα ηλεκτρικά οχήματα (Electric Vehicle – EV), τα συστήματα καταναμημένων ενεργειακών πόρων (Distributed Energy Resources – DER) και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Renewable). Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια αναλυτική περιγραφή για κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις χρήσης των Smart Grid, δίνοντας έμφαση στον εννοιολογικό προσδιορισμό τους, στον τρόπο λειτουργίας τους και στις απαιτήσεις επικοινωνίας που περιλαμβάνει κάθε μια από αυτές.

### 4.2 Αναφορά στο use case – substation automation

Οι υποσταθμοί αποτελούν βασικά στοιχεία ενός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και όλες οι συσκευές τους παρακολουθούνται, ελέγχονται και προστατεύονται από συστήματα αυτοματισμού υποσταθμών (Substation Automation Systems - SAS). Τα SAS συλλέγουν τα δεδομένα και εκτελούν ενέργειες σε αυτά επιτρέποντας την ισχυρή δρομολόγηση της ισχύος από τις γεννήτριες στα φορτία μέσω του πολύπλοκου δικτύου γραμμών μεταφοράς [24].

Το δίκτυο επικοινωνίας διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο ώστε τα SAS να έχουν πλήρη έλεγχο και παρακολούθηση των συνθηκών λειτουργίας και των επιδόσεων των υποσταθμών σε πραγματικό χρόνο. Ένα εξαιρετικά αξιόπιστο, επεκτάσιμο, ασφαλές και οικονομικά αποδοτικό δίκτυο επικοινωνίας αποτελεί προϋπόθεση για την αποφυγή πιθανών διαταραχών, όπως διαταραχές και διακοπές ρεύματος [24].

Οι τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας, είναι οι τεχνολογίες επικοινωνίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για SAS. Η κυψελοειδής τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απομακρυσμένη παρακολούθηση του εξοπλισμού του υποσταθμού. Το GPRS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση μη κρίσιμης ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των DER. Το ασύρματο τοπικό δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παρακολούθηση, προστασία και έλεγχο των DER, ειδικά για απομακρυσμένους μικρούς υποσταθμούς και DER, όπου οι απαιτήσεις ρυθμού δεδομένων και οι ραδιοπαρεμβολές είναι συγκριτικά λιγότερες.

Οι απαιτήσεις επικοινωνίας του αυτοματισμού υποσταθμών διαμορφώνονται από τα επικίνδυνα ηλεκτρικά περιβάλλοντα. Οι ενσύρματες τεχνολογίες χρειάζονται υψηλή προστασία από τα προβληματικά ρεύματα στο έδαφος, επομένως προτιμώνται κυρίως οι ασύρματες τεχνολογίες ή οι τεχνολογίες οπτικών ινών. Από την άλλη πλευρά, οι απαιτήσεις λανθάνοντος χρόνου πρέπει να είναι χαμηλές, π.χ. μικρότερες από 100 ms, για να αποφευχθεί η λήξη χρόνου της επικοινωνίας.

### 4.3 Αναφορά στο use case – smart metering

Βασικό συστατικών των Smart Grid Smart Grids αποτελούν οι έξυπνοι μετρητές [1]. Η έξυπνη μέτρηση (smart metering) είναι ο πιο σημαντικός μηχανισμός που χρησιμοποιείται στο Smart Grid για τη λήψη πληροφοριών από τις συσκευές δικτύου και τις συσκευές των τελικών χρηστών, ενώ παράλληλα

ελέγχεται η συμπεριφορά των συσκευών [6]. Δηλαδή, ένα έξυπνος μετρητής εκτελεί λεπτομερείς μετρήσεις στις εγκαταστάσεις των πελατών και να τις αναφέρει στις επιχειρήσεις παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Οι έξυπνοι μετρητές και οι πληροφορίες που δημιουργούν θα παρέχουν την σύνδεση που επιτρέπει στα εξαρτήματα ενός έξυπνου δικτύου να συνεργάζονται αποτελεσματικά και αποδοτικά. Μια σημαντική αλλαγή παραδείγματος στη λειτουργία, τη διαχείριση και τη συμπεριφορά της ενεργειακής βιομηχανίας θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω της έξυπνης μέτρησης. Με στόχο την ανταπόκριση σχεδόν σε πραγματικό χρόνο σε πιθανά προβλήματα του δικτύου, η ροή επικοινωνίας μεταξύ εκατομμυρίων χώρων οικιακών πελατών θα είναι επίσης αμφίδρομη και σε πολλά επίπεδα [1].

Η Προηγμένη Υποδομή Μέτρησης (Advanced Metering Infrastructure- AMI) είναι ένας βασικός παράγοντας στο Smart Grid [25], τα οποία ουσιαστικά αποτελούν συστήματα αυτόματης μέτρησης και είναι κατασκευασμένα σε συστήματα αυτόματης ανάγνωσης μετρητών (Automatic Meter Reading - AMR). Αυτά τα συστήματα θεωρούνται ευρέως ως μια λογική στρατηγική για την υλοποίηση των Smart Grid Smart Grids [6].

Η AMI είναι η αρχιτεκτονική για αυτοματοποιημένες, αμφίδρομες επικοινωνίες μεταξύ ενός έξυπνου μετρητή και του κεντρικού συστήματος μιας εταιρείας ηλεκτρικής ενέργειας [6] [25]. Ειδικότερα, η AMI δημιουργεί ένα αμφίδρομο δίκτυο επικοινωνίας μεταξύ έξυπνων μετρητών και συστημάτων διαχείρισης και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και την ενοποίηση προηγμένων αισθητήρων, έξυπνων μετρητών, συστημάτων παρακολούθησης, υλικού υπολογιστών, λογισμικού και συστημάτων διαχείρισης δεδομένων, επιτρέποντας έτσι τη συλλογή και διανομή πληροφοριών μεταξύ των μετρητών και της εταιρείας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο συμμετοχή των καταναλωτών στη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας [22][26]**Error! Reference source not found.****Error! Reference source not found.****Error! Reference source not found.**

Ένας έξυπνος μετρητής είναι ένας προηγμένος μετρητής που προσδιορίζει την κατανάλωση ενέργειας με πολύ περισσότερες λεπτομέρειες από έναν συμβατικό μετρητή και επικοινωνεί τις πληροφορίες που συλλέγονται πίσω στο βοηθητικό πρόγραμμα για σκοπούς παρακολούθησης φορτίου και χρέωσης. Οι καταναλωτές μπορούν να ενημερωθούν για το πόση ενέργεια χρησιμοποιούν, ώστε να μπορούν να ελέγχουν την κατανάλωση ενέργειας και τις επακόλουθες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα [25]. Με πιο απλά λόγια, ένας έξυπνος μετρητής είναι συνήθως ένας ηλεκτρικός μετρητής που καταγράφει την κατανάλωση σε διαστήματα μιας ώρας ή λιγότερο και στέλνει αυτές τις πληροφορίες τουλάχιστον καθημερινά πίσω στο βοηθητικό πρόγραμμα για σκοπούς παρακολούθησης και χρέωσης. Επίσης, ένας έξυπνος μετρητής έχει τη δυνατότητα να αποσυνδέει-επανασυνδέει εξ αποστάσεως και να ελέγχει τις συσκευές και τις συσκευές του χρήστη για τη διαχείριση φορτίων και απαιτήσεων στα μελλοντικά «έξυπνα κτίρια».

Η AMI δεν σημαίνει μόνο τη φυσική ανάπτυξη έξυπνων μετρητών, αλλά είναι επίσης ένα πολύπλοκο δίκτυο επικοινωνίας και μια πολύπλοκη υποδομή πληροφορικής, που περιλαμβάνει πολλά συστήματα, όπως ένα σύστημα διαχείρισης δεδομένων μετρητών, που χειρίζεται τον τεράστιο όγκο δεδομένων και διαχειρίζεται τα ακατέργαστα δεδομένα για τη δημιουργία σημαντικών πληροφοριών και μηνυμάτων για τους πελάτες, βοηθώντας τους να χρησιμοποιούν την ενέργεια με έξυπνο τρόπο [22].

Η AMI έχει ήδη κερδίσει μεγάλη έλξη στον κλάδο, με τα πλεονεκτήματα στην ακρίβεια και τη βελτίωση της διαδικασίας της on-line ανάγνωσης και ελέγχου των μετρητών. Ως εκ τούτου, η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών, οι διαδραστικές υπηρεσίες για τη ρύθμιση της ζήτησης ενέργειας, η αποφυγή απατών που σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια και οι πιο έγκαιρες και ακριβείς υπηρεσίες τιμολόγησης είναι τα πλεονεκτήματα των συστημάτων AMI [22]. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι, οι τεχνολογίες απαιτούν μια υποδομή επικοινωνίας για την παροχή διασυνδεσιμότητας. Ως εκ τούτου, τα

τρωτά σημεία που εκθέτουν άλλα συστήματα διαδικτυακής εργασίας θα οδηγήσουν τελικά σε απειλές για την ασφάλεια των συστημάτων AMI [25].

Η επιλογή της τεχνολογίας επικοινωνίας για την AMI εξαρτάται από την κάλυψη και τον αριθμό των πελατών ανά περιοχή, τη διαθεσιμότητα της σύνδεσης στο Διαδίκτυο, την αναμενόμενη ενεργειακή απόδοση, την επεκτασιμότητα, τον απαιτούμενο ρυθμό δεδομένων και την αναμενόμενη καθυστέρηση επικοινωνίας [22].

Ουσιαστικά, από την οπτική γωνία του καταναλωτή, η έξυπνη μέτρηση προσφέρει μια σειρά από πιθανά οφέλη. Για παράδειγμα, οι τελικοί χρήστες είναι σε θέση να εκτιμήσουν τους λογαριασμούς και έτσι να διαχειριστούν την κατανάλωση ενέργειας για να μειώσουν τους λογαριασμούς. Από την πλευρά μιας εταιρείας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να χρησιμοποιήσει έξυπνους μετρητές για να πραγματοποιήσει τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο, κάτι που προσπαθεί να ενθαρρύνει τους χρήστες να μειώσουν τις απαιτήσεις τους σε περιόδους αιχμής φορτίου ή να βελτιστοποιήσουν τις ροές ισχύος σύμφωνα με τις πληροφορίες που αποστέλλονται από τις πλευρές της ζήτησης.

### **4.4 Αναφορά στο use case – electric vehicle**

Τα ηλεκτρικά οχήματα (electric vehicles) μπορεί να είναι μια από τις βασικές λύσεις για το αυξανόμενο κόστος ενέργειας, την αύξηση των τιμών του πετρελαίου και τα ζητήματα της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η αποθήκευση ενέργειας φαίνεται η βασική τεχνολογία για την υλοποίηση της τεχνολογίας των ηλεκτρικών οχημάτων [22].

Για να γίνει αυτή η τεχνολογία πρακτική και πραγματική, θα πρέπει να κατασκευάζονται όλο και περισσότεροι σταθμοί φόρτισης. Μία από τις προκλήσεις είναι επίσης ο χρόνος φόρτισης των EV. Υπάρχουν κάποιες μελέτες για αυτό το θέμα. Για παράδειγμα, τα πρότυπα SAE J2293, SAE J2836, SAE J2847 (τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο) έχουν αναπτυχθεί για σκοπούς μεταφοράς ενέργειας και επικοινωνίας μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και του ηλεκτρικού δικτύου. Μία από τις προτεινόμενες μεθόδους για τη μείωση του χρόνου φόρτισης είναι η αύξηση της τάσης και του ρεύματος φόρτισης. Ωστόσο, αυτό μπορεί να προκαλέσει αύξηση της χωρητικότητας, της ασφάλειας, του μεγέθους και του κόστους των φορτιστών, γεγονός που μπορεί να περιορίσει την εξαιρετικά γρήγορη φόρτιση υψηλής χωρητικότητας. Η τοπική αποθήκευση ενέργειας μπορεί να αποτελέσει λύση για αυτό το ζήτημα, η οποία θα μειώσει τις επενδύσεις και θα αυξήσει την απόδοση του ηλεκτρικού συστήματος [22].

Η επικοινωνιακή υποδομή θα πρέπει να παρέχει αξιοπιστία, αποδεκτούς χρόνους απόκρισης και κατάλληλη απόδοση. Από αυτή την άποψη, οι τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας μέσω γραμμής ισχύος, GSM, GPRS και 3G μπορούν να παρέχουν εναλλακτικές λύσεις για εφαρμογές φόρτισης EV. Η εκτιμώμενη απαίτηση καθυστέρησης είναι μεταξύ 2 δευτερολέπτων έως 5 λεπτά και η απαίτηση εύρους ζώνης τόσο για σκοπούς εξισορρόπησης φορτίου όσο και για σκοπούς χρέωσης θα πρέπει να είναι μεταξύ 9,6 έως 56 Kbps [22][30].

### **4.5 Αναφορά στο use case – DER**

Οι νέες απαιτήσεις της κοινωνίας και του περιβάλλοντος μετατρέπουν την παλαιού τύπου ιδέα παραγωγής και μετάδοσης ενέργειας σε ένα μαζικό καταναμημένο τοπίο παραγωγής ενέργειας, το οποίο ενσωματώνει έναν καταναμημένο αριθμό μεταβλητών και μικρών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτά τα συστήματα καλούνται καταναμημένοι ενεργειακοί πόροι (Distributed Energy Resources – DER) και περιλαμβάνουν εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως αιολικές και ηλιακές εγκαταστάσεις [25].

Αναλυτικότερα, οι καταναμημένοι ενεργειακοί πόροι αποτελούν ένα σύστημα με μικρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία λειτουργεί κοντά στους καταναλωτές και στις εγκαταστάσεις των παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας. Οι καταναμημένοι πόροι που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μια αποτελεσματική λύση του κεντρικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το DER είναι απλό σε λειτουργία, λιγότερο περίπλοκο και φιλικό προς το περιβάλλον. Η ενοποίηση των DER με το Smart Grid επηρεάζει την απόδοση του συστήματος σχετικά με τις απώλειες, το προφίλ τάσης, την αξιοπιστία και την βιωσιμότητα. Ωστόσο, η αβέβαιη και εξαρτώμενη από τις καιρικές συνθήκες ενσωμάτωση των DER που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο Smart Grid δημιουργεί επιπρόσθετες προκλήσεις [7].

Αξίζει να αναφερθεί ότι, τα DER έχουν αυξηθεί σημαντικά λόγω της αυξανόμενης τάσης προς τα ηλιακά πάνελ ταράτσας και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της αιολικής ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πλεονεκτικές λόγω των χαμηλότερων εκπομπών άνθρακα και λόγω του χαμηλότερου κόστους εγκατάστασης το DER γίνεται όλο και πιο δημοφιλές. Ωστόσο, ορισμένες από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας απαιτούν συσκευές αποθήκευσης ενέργειας για περιόδους χαμηλής παραγωγής [6].

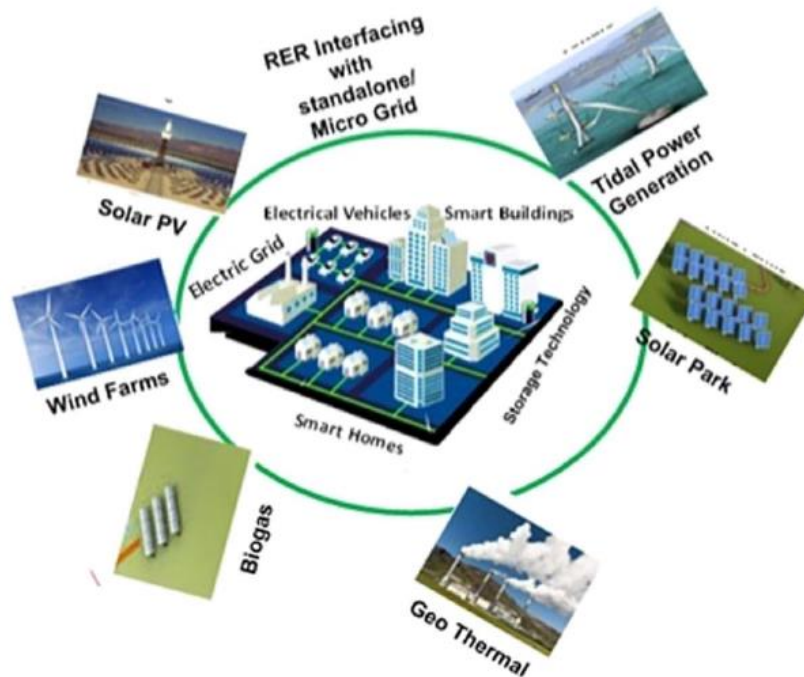
#### 4.6 Αναφορά στο use case – renewable

Γενικότερα, παρατηρείται μια αύξηση στην ενσωμάτωση των καταναμημένων σταθμών παραγωγής ηλιακής και αιολικής ενέργειας στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που δεν θα προκαλέσει πρόσθετες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Θα υπάρξει μεγαλύτερη ανάπτυξη plug-in υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (PHEV) για την αποφυγή εκπομπών από συμβατικούς κινητήρες του τομέα των μεταφορών και η ενσωμάτωση μονάδων αποθήκευσης, εκθέσεων καιρού, παρακολούθησης της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο και εξισορρόπησης φορτίου δικτύου στο σύστημα για την πρόληψη των ελλείψεων όταν οτιδήποτε μπορεί να απειλήσει τη διαδικασία παραγωγής ενέργειας, για παράδειγμα όταν ο άνεμος σταματά να φυσάει. Με αυτές τις επενδύσεις, εκτιμάται ότι θα υπάρξει ετήσια μείωση των εκπομπών CO που ισοδυναμεί με 60 έως 211 εκατομμύρια μετρικούς τόνους CO το 2030 [22].

Η βελτίωση και η πρόοδος στην τεχνολογία ηλεκτρονικών ισχύος παρείχε μια ελεγχόμενη και απλή ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο Smart Grid. Η χρήση της έννοιας της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο Smart Grid παρέχει καλύτερη βιώσιμη και αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια με χαμηλό κόστος, σε σύγκριση με το συμβατικό ηλεκτρικό δίκτυο. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν μια ισχυρή δυνατότητα να τροφοδοτούν την αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια. Τα σχέδια των μοντέλων διασύνδεσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο Smart Grid, χρειάζονται παραλλαγές ανάλογα με την τοποθεσία και άλλους παράγοντες της εγκατεστημένης τοποθεσίας [7].

Είναι σημαντικό επίσης να αναφερθεί ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι εξαιρετικά αβέβαιες στη φύση και εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες. Οι απαιτούμενες παραλλαγές και η αβέβαιη φύση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συμβάλλουν στην πολυπλοκότητα της ολοκλήρωσης των συστημάτων που περιλαμβάνουν αυτές τις μορφές ενέργειας [7].

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν: 1) Ηλιακά Φωτοβολταϊκά (Solar Photo-Voltaic - PV), 2) Παραγωγή Αιολικής Ενέργειας (Wind Energy generation) και (γ) Βιομάζα (Biomass) [7]. Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζονται ορισμένες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως αυτές μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα Smart Grid.



Εικόνα 4-1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε Smart Grid [7].

Στο Smart Grid η διασύνδεση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τεχνολογία μετατροπέα ισχύος. Το δυναμικό παραγωγής ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας απαιτεί μια σωστά ενσωματωμένη ελεγχόμενη δομή. Το αποκεντρωμένο σύστημα είναι πιο ασφαλές και αξιόπιστο αντί για το κεντρικό σύστημα. Η κύρια πρόκληση που αντιμετωπίζει η ολοκλήρωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η βελτιστοποίηση, καθώς οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πολύ δυναμικά και εξαιρετικά πολύπλοκα συστήματα. Οι κύριες ανησυχίες και παράγοντες που επηρεάζουν την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι: (α) η αξιοπιστία, (β) η ποιότητα ισχύος, (γ) η απόδοση και (δ) το προφίλ τάσης. Η αβέβαιη φύση αυτών των πηγών ενέργειας οδηγεί σε διακυμάνσεις τάσης και είναι η κύρια πρόκληση για την ενσωμάτωση τους στο Smart Grid [7].

#### 4.7 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκαν οι βασικές περιπτώσεις χρήσης του Smart Grid. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η αυτοματοποίηση των υποσταθμών, η έξυπνη μέτρηση, τα συστήματα καταναεμημένων ενεργειακών πόρων, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τα ηλεκτρικά οχήματα.

Οι υποσταθμοί αποτελούν βασικό στοιχείο ενός ηλεκτρικού δικτύου, όπου στόχος τους είναι η συλλογή δεδομένων και η δρομολόγηση του ρεύματος μέσω των γραμμών του δικτύου. Η αυτοματοποίηση των υποσταθμών ως μέρος της ιδέας του Smart Grid επιτρέπει την παρακολούθηση και την διαχείριση τους σε πραγματικό χρόνο γεγονός που απαιτεί αξιόπιστο και επεκτάσιμο, οικονομικά αποδοτικό και ασφαλές δίκτυο, το οποίο θα έχει χαμηλή καθυστέρηση, ώστε να μην υπάρξει κάποια διακοπή στην επικοινωνία.

Η έξυπνη μέτρηση αποτελεί επίσης βασικό στοιχείο του Smart Grid, καθώς αποτελεί την αρχική ιδέα στην ανάπτυξη τους. Η έξυπνη μέτρηση επιτρέπει στους τελικούς χρήστες να διαχειρίζονται τις ηλεκτρικές συσκευές τους απομακρυσμένα και να παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Αυτές οι λειτουργίες μαζί με την ευαισθητοποίηση των χρηστών θα οδηγήσουν στην καλύτερη διαχείριση της ενέργειας από τους ίδιους τους χρήστες μειώνοντας το κόστος των

λογαριασμών και υποστηρίζοντας την βιωσιμότητα του περιβάλλοντος. Αυτό επίσης απαιτεί διαθεσιμότητα στο διαδίκτυο και συγκεκριμένες απαιτήσεις στην καθυστέρηση της επικοινωνίας.

Επίσης, στο αυξημένος κόστος της ενέργειας, στην αύξηση του πετρελαίου και στον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη μπορούν να συμβάλλουν τα ηλεκτρικά οχήματα. Στην περίπτωση των ηλεκτρικών οχημάτων οι απαιτήσεις επικοινωνίας δεν υψηλές ενώ παράλληλα σχετικά πρότυπα έχουν αναπτυχθεί. Η μεγαλύτερη πρόκληση στην ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων είναι η αποθήκευση ενέργειας.

Τέλος, ιδιαίτερα σημαντική είναι η ανάπτυξη των DER, καθώς μέσω αυτών γίνεται η διαχείριση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και αποτελεί την τάση της εποχής. Το ζήτημα που προκύπτει στην περίπτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί η αστάθεια της ενέργειας, καθώς τα περισσότερα είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες.

Για κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις χρήσης Smart Grid, οι οργανισμοί ανάπτυξης προτύπων έχουν αναπτύξει συγκεκριμένα πρότυπα, ώστε να υποστηρίξουν την λειτουργία τους. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται αυτά τα πρότυπα, τα οποία έχουν κατηγοριοποιηθεί βάσει των περιπτώσεων χρήσης Smart Grid που παρουσιάστηκαν σε αυτό το κεφάλαιο.

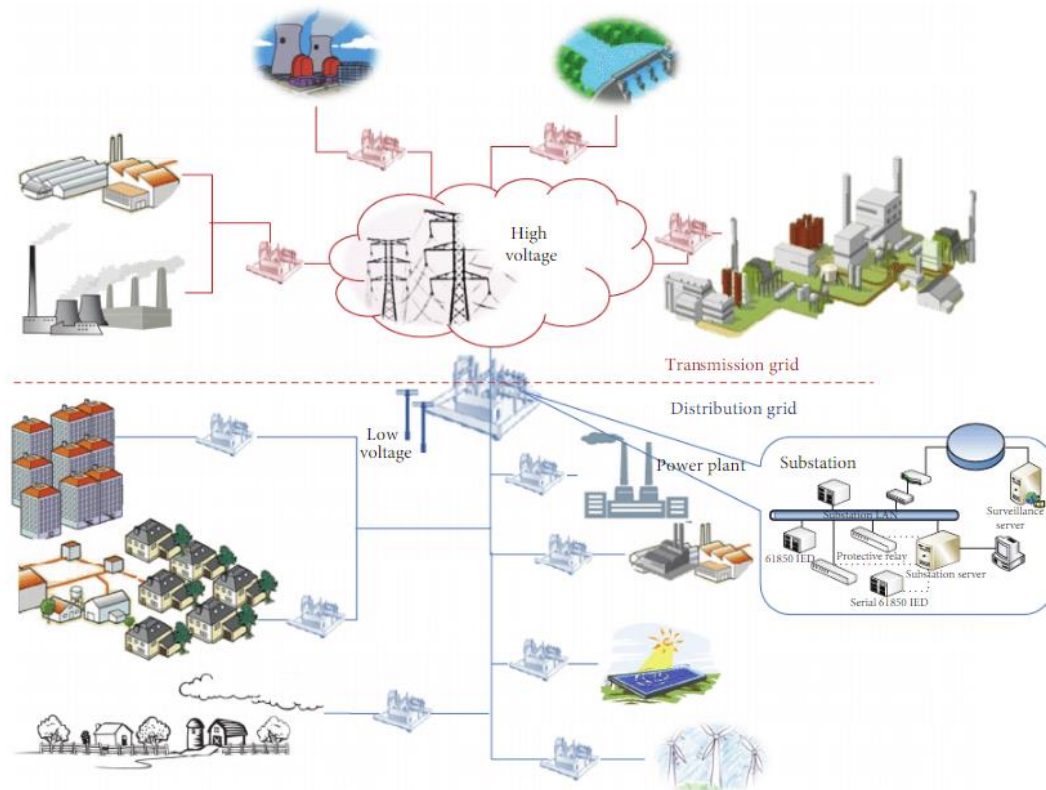
## Κεφάλαιο 5ο: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς τις περιπτώσεις χρήσης

### 5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο κατηγοριοποιούνται τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί ή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών των διάφορων εφαρμογών που περιλαμβάνονται σε ένα Smart Grid. Ειδικότερα, αυτό το κεφάλαιο επικεντρώνεται στην κατηγοριοποίηση των προτύπων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον αυτοματισμό των υποσταθμών, τις έξυπνες μετρήσεις, τα έξυπνα οχήματα, τους καταναμημένους ενεργειακούς πόρους και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που περιλαμβάνονται σε ένα Smart Grid.

### 5.2 Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case substation automation

Τα πιθανά οφέλη του έξυπνου δικτύου μπορούν να ταξινομηθούν σε ενεργειακή απόδοση, οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, αξιοπιστία και ασφάλεια ενέργειας, καθώς και ασφάλεια στον κυβερνοχώρο. Προκειμένου να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι μέσω ενός Smart Grid, είναι απαραίτητο να μετατραπεί η υποδομή επικοινωνιών του σε υποσταθμούς διανομής και μεταφοράς σε πραγματικό χρόνο. Τα τρέχοντα συστήματα Εποπτικού Ελέγχου και Απόκτησης Δεδομένων (SCADA), που βρίσκονται μέσα στον υποσταθμό, δεν θα μπορούσαν να εξελιχθούν για να υποστηρίξουν τη νοημοσύνη επόμενης γενιάς. Έτσι, οι απαιτήσεις για αυτοματισμό υποσταθμών (SA) αυξάνονται, επειδή οι υποσταθμοί θεωρούνται ως κρίσιμης σημασίας υποδομή αφού χρειάζονται για τη διασύνδεση πολλών συστημάτων όπως φαίνεται στην Εικόνα 5-1[31].



Εικόνα 5-1: Αυτοματισμός υποσταθμού σε ένα Smart Grid [31].

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται λεπτομέρειες για τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί για την υποστήριξη του αυτοματισμού των υποσταθμών, καθώς επίσης και πρότυπα που χρησιμοποιούνται για τα συστήματα Εποπτικού Ελέγχου και Απόκτησης Δεδομένων (SCADA) στους υποσταθμούς των Smart Grids. Αρχικά δίνεται ένας συνοπτικός πίνακας (Πίνακας 5-1) με την κατηγοριοποίηση των προτύπων που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση του αυτοματισμού των υποσταθμών.

Πίνακας 5-1: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case substation automation

Πρότυπο	Πεδία εφαρμογής	Περιγραφή	Χαρακτηριστικά
<b>IEC 61850-90-1</b>	Επικοινωνίες, Χαρτογράφηση επικοινωνιών [32]	Αυτό το πρότυπο παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση σχετικά με τις διάφορες πτυχές που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη χρήση του IEC 61850 για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των υποσταθμών[32]ορίζοντας τις απαιτήσεις επικοινωνίας [5].	<p>Η τεχνική έκθεση ορίζει περιπτώσεις χρήσης που [32]:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- απαιτούν ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ υποσταθμών</li> <li>- περιγράφει τις απαιτήσεις επικοινωνίας μεταξύ των υποσταθμών [5]</li> <li>- δίνει κατευθυντήριες γραμμές για τις υπηρεσίες επικοινωνίας και την αρχιτεκτονική επικοινωνίας που θα χρησιμοποιηθούν στις εφαρμογές</li> <li>- ορίζει τα δεδομένα ως προϋπόθεση για διαλειτουργικές εφαρμογές</li> <li>- περιγράφει τη χρήση και τις βελτιώσεις της γλώσσας διαμόρφωσης SCL</li> </ul>
<b>IEC 60870-5</b>	Επικοινωνία, Μοντέλο πληροφοριών [32]	Βασίζεται πλήρως στα πρότυπα IEC60870-1 έως IEC 60870-5-5 και χρησιμοποιεί τυπική ασύγχρονη σειριακή διεπαφή καναλιού τηλε-	<p>Καθορίζει [5]:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- τις συνθήκες λειτουργίας,</li> <li>- τις ηλεκτρικές διεπαφές,</li> </ul>

		<p>ελέγχου [5] [32]. Παρέχει ένα προφίλ επικοινωνίας για την αποστολή βασικών μηνυμάτων μεταξύ δύο συστημάτων.</p> <p>Ουσιαστικά, ορίζει το σύστημα για τηλεέλεγχο, ειδικά μεταξύ δύο υποσταθμών ισχύος [5].</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- τις απαιτήσεις απόδοσης και</li> <li>- τα πρωτόκολλα μετάδοσης δεδομένων.</li> </ul>
<b>IEC 62271</b>	Επικοινωνίες [5]	<p>Αναπτύχθηκε για την υποστήριξη της ψηφιακής επικοινωνίας για την αντικατάσταση της καλωδίωσης [5].</p>	<p>Υποστηρίζει την ψηφιακή επικοινωνία [5]:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- στον πίνακα διανομής υψηλής τάσης και</li> <li>- στον εξοπλισμό ελέγχου.</li> </ul> <p>Υποστηρίζει την συμμόρφωση με τα πρότυπα της σειράς 61850, τα οποία υποστηρίζουν την ασύγχρονη επικοινωνία μεταξύ υποσταθμών.</p>
<b>IEC 62439-3</b>	Επικοινωνίες [5]	<p>Καθορίζει δύο πρωτόκολλα που βασίζονται στον διπλασιασμό του τοπικού δικτύου, ώστε να παρέχουν απρόσκοπτη ανάκτηση του δικτύου [5].</p>	<p>Χρησιμοποιείται στα δίκτυα αυτοματισμού υψηλής διαθεσιμότητας που οι επικοινωνίες τους βασίζονται στην τεχνολογία Ethernet.</p>
<b>IEC/IEEE 60255-24</b>	Επικοινωνίες	<p>Παρέχει μια κοινή μορφή για τα αρχεία δεδομένων και το μέσο ανταλλαγής των δεδομένων, όπως δεδομένα σφάλματος, δοκιμής και προσομοίωσης στον υποσταθμό. Περιλαμβάνει ζητήματα που σχετίζονται</p>	

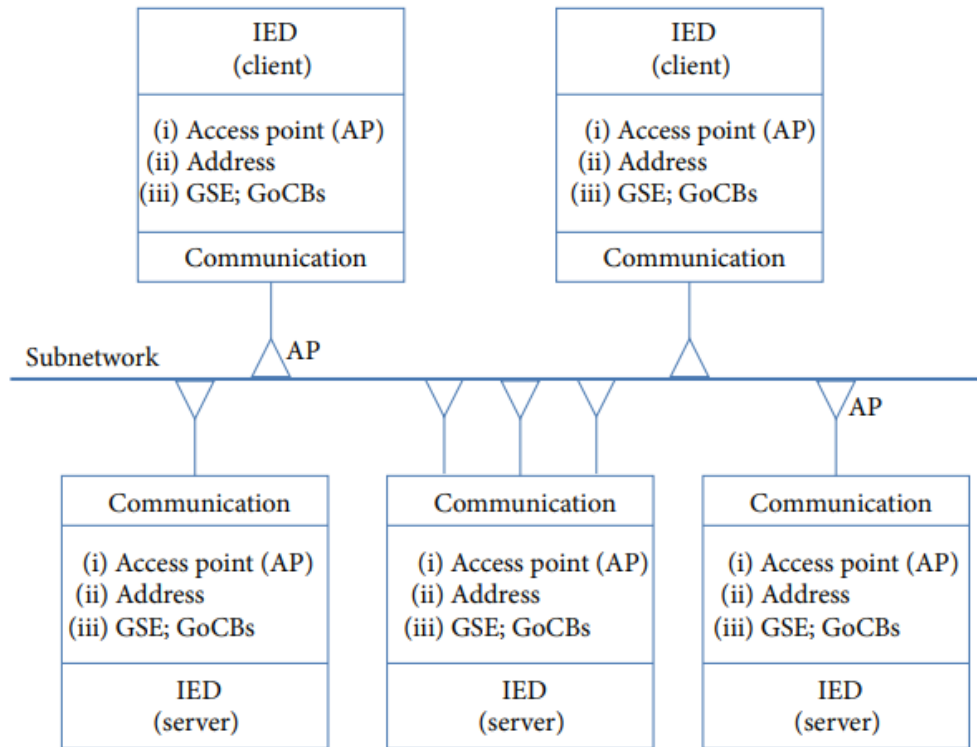
		με το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων από τη δειγματοληψία, τα φίλτρα και την μετατροπή των δεδομένων [5].	
<b>IEEE 1588.2008</b>	Επικοινωνίες, Φυσική απόδοση	Πληροί τις απαιτήσεις ακρίβειας χρονισμού των εφαρμογών αυτοματισμού των υποσταθμών[5].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Απαιτούνται ελάχιστοι πόροι και</li> <li>- επιτυγχάνεται υψηλή ακρίβεια συγχρονισμού ετερογενών ρολογιών [32]</li> <li>- μειώνοντας τις απαιτήσεις για καλωδίωση, καθώς</li> <li>- δεν υπάρχει η ανάγκη δικτύου συγχρονισμού [5].</li> </ul>
<b>IEEE C37.1</b>	Επικοινωνίες, Φυσική απόδοση [32]	Υποστηρίζει τους αυτοματισμούς σε ένα υποσταθμό, καθορίζοντας, την αρχιτεκτονική και την λειτουργία του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των διεπαφών ανθρώπου μηχανής, καθώς και ζητήματα υλοποίησης. καθορίζει επίσης τις απαιτήσεις αξιοπιστίας, συντήρησης, διαθεσιμότητας, ασφάλειας και επεκτασιμότητας [15].	Καθορίζει [32]: <ul style="list-style-type: none"> <li>- τους τύπους, τα περιεχόμενα και τη χρήση μηνυμάτων.</li> <li>- τους τύπους και τις μορφές των δεδομένων.</li> </ul>

### 5.2.1 IEC 61850-1 έως 10

Το IEC 61850 είναι ένα ευέλικτο, ανοιχτό πρότυπο που ορίζει την επικοινωνία μεταξύ συσκευών σε συστήματα αυτοματισμού μεταφοράς, διανομής και υποσταθμών. Για να καταστεί δυνατή η απρόσκοπτη επικοινωνία δεδομένων και η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των συνολικών δικτύων διανομής, στόχος είναι να αυξηθεί το εύρος του IEC 61850 σε ολόκληρο το ηλεκτρικό δίκτυο και να παρέχεται η συμβατότητά του με το κοινό μοντέλο πληροφοριών (Common Information Model - CIM) για εφαρμογές παρακολούθησης, ελέγχου και προστασίας [3].

Αναλυτικότερα, το πρότυπο αυτό περιλαμβάνει μια ιεραρχία τεσσάρων επιπέδων, το επίπεδο διεργασίας, το επίπεδο σταθμού, το δίαυλο διεργασίας, και το σταθμό λεωφορείων. Το επίπεδο διεργασίας περιλαμβάνει του εξοπλισμούς με τους διακόπτες (όπως, ενεργοποιητές, CT/PT, και απομακρυσμένο I/O. Το επίπεδο πύλης (bay level) περιλαμβάνει τον έλεγχο και την ασφάλεια για τις ευφυείς ηλεκτρικές συσκευές, καθώς και τον έλεγχο για διαφορετικές πύλες [5][1][25]. Οι λειτουργίες, στις οποίες απαιτούνται δεδομένα από περισσότερα από ένα σημεία, υλοποιούνται στο επίπεδο της πύλης. Ο δίαυλος διεργασίας (process bus) διευκολύνει την κρίσιμη χρονικά επικοινωνία ανάμεσα στις ευφυείς ηλεκτρονικές συσκευές και στον έλεγχο της διεργασίας στον κύριο εξοπλισμό του υποσταθμού, όπως τιμές δειγματοληψίας, δυαδικά σήματα κατάστασης ή δυαδικά σήματα ελέγχου. Τέλος, ο δίαυλος σταθμού (bus station) διευκολύνει την επικοινωνία με το επίπεδο του διαύλου πύλης, καθώς και την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών πυλών [5]. Ουσιαστικά, το πρότυπο IEC 61850 χρησιμοποιείται για τους αυτοματισμούς των υποσταθμών και τον αυτοματισμό της διανομής εντός ενός δικτύου FAN για επικοινωνία μηχανή προς μηχανή (M2M) [1][6]. Οι απαιτήσεις καθυστέρησης των δεδομένων σε ένα δίκτυο FAN μπορεί να είναι από 3 έως 10 ms[1][22]. Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61850, η επικοινωνία μεταξύ διαλειτουργικών ευφύων συσκευών ηλεκτρικής ενέργειας θα βασίζεται στο πρωτόκολλο του διαδικτύου (Internet Protocol - IP) και στα πρότυπα Ethernet [1].

Ειδικότερα, το IEC 61850 έχει χωριστεί σε δέκα διαφορετικά τμήματα. Τα πρώτα πέντε περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τις έννοιες και την ιδεολογία των προτύπων. Οι άλλες ενότητες χωρίζονται περαιτέρω σε διάφορα μέρη που περιέχουν πληροφορίες για υπηρεσίες, χαρτογράφηση δεδομένων, Abstract Communication Service Interface (ACSI), Substation Configuration Description Language (SCL), MMS και δοκιμές. Το έβδομο και το όγδοο μέρος είναι οι πιο σημαντικές ενότητες, επειδή το μέρος 7 δίνει μια επισκόπηση της αρχιτεκτονικής επικοινωνίας και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των IED (Εικόνα 5-2), περιγράφει τις σχέσεις μεταξύ άλλων τμημάτων ολόκληρου του προτύπου και ορίζει τον τρόπο επίτευξης διαλειτουργικότητας. Κάθε κατασκευαστής συσκευής, ο οποίος είναι συνεργάτης δικτύου επικοινωνίας με βάση το IEC 61850, πρέπει να προσαρμόσει τα προϊόντα του στους ορισμούς και τις απαιτήσεις που δίνονται στο πρότυπο [31].



Εικόνα 5-2: Δίκτυο επικοινωνίας IEC 61850 [31]

### 5.2.2 IEC 61850-90-1

Αυτό το πρότυπο παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση σχετικά με τις διάφορες πτυχές που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη χρήση του IEC 61850 για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των υποσταθμών [32]. Αναλυτικότερα, η τεχνική έκθεση ορίζει περιπτώσεις χρήσης που απαιτούν ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ υποσταθμών, περιγράφει τις απαιτήσεις επικοινωνίας, δίνει κατευθυντήριες γραμμές για τις υπηρεσίες επικοινωνίας και την αρχιτεκτονική επικοινωνίας που θα χρησιμοποιηθούν, ορίζει τα δεδομένα ως προϋπόθεση για διαλειτουργικές εφαρμογές και περιγράφει τη χρήση και τις βελτιώσεις της γλώσσας διαμόρφωσης SCL [32]. Δηλαδή, το πρότυπο 61850-90-1 ορίζει τις απαιτήσεις επικοινωνίας και τις κατευθυντήριες γραμμές για την επικοινωνία μεταξύ των υποσταθμών και την σχετική αρχιτεκτονική για εφαρμογές όπως η διαφορική προστασία γραμμής ή απόστασης μέσω σχεδίου διαδρομών αποκλεισμού και μεταφοράς, των σχημάτων επανορθωτικών ενεργειών (remedialaction schemes - RAS), τον εντοπιστή σφαλμάτων και άλλα [5].

### 5.2.3 IEC 60870-5

Το πρότυπο IEC 60870-5, που εκπονήθηκε από την IEC TC57 το 1995, ορίζει το σύστημα για τηλεέλεγχο, ειδικά μεταξύ δύο υποσταθμών ισχύος. Καθορίζει τις συνθήκες λειτουργίας, τις ηλεκτρικές διεπαφές, τις απαιτήσεις απόδοσης και τα πρωτόκολλα μετάδοσης δεδομένων. Το IEC 60870-5 παρέχει ένα προφίλ επικοινωνίας για την αποστολή βασικών μηνυμάτων μεταξύ δύο συστημάτων. Το IEC 60870-5-101 χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση, τον έλεγχο και τις σχετικές λειτουργίες του συστήματος ισχύος. Βασίζεται πλήρως στα πρότυπα IEC60870-1 έως IEC 60870-5-5 και χρησιμοποιεί τυπική ασύγχρονη σειριακή διεπαφή καναλιού τηλε-ελέγχου. Επίσης είναι κατάλληλο για τις πολλαπλές διαμορφώσεις όπως point-to-point, star κ.λπ. Αυτό το πρότυπο ακολουθεί την αρχιτεκτονική

βελτιωμένης απόδοσης (Enhanced Performance Architecture - EPA) στο OSI layer-3. Παρέχει επίσης μια λίστα ελέγχου όπως ρυθμός baud, διαδικασία μετάδοσης ζεύξης, βασικές λειτουργίες εφαρμογής για την επιλογή των συσκευών σε σχέση με την προοπτική του πρωτοκόλλου [5].

#### **5.2.4 IEC 62271-3**

Το πρότυπο IEC 62271-3 προτείνει την ψηφιακή επικοινωνία, αντικαθιστώντας τη μεταλλική παράλληλη καλωδίωση, η οποία μπορεί να ενσωματωθεί στον πίνακα διανομής υψηλής τάσης, τον εξοπλισμό ελέγχου και τα συκροτήματά τους ή μπορεί να είναι εξωτερικός εξοπλισμός, ώστε να παρέχεται συμμόρφωση με τα πρότυπα της σειράς IEC 61850, τα οποία υποστηρίζουν την επικοινωνία των υποσταθμών [5].

#### **5.2.5 IEC 62439-3**

Το πρότυπο IEC 62439-3 ισχύει για δίκτυα αυτοματισμού υψηλής διαθεσιμότητας που βασίζονται στην τεχνολογία ISO/IEC 8802-3 ή IEEE 802.3, δηλαδή στην τεχνολογία Ethernet. Καθορίζει δύο πρωτόκολλα πλεονασμού που βασίζονται στον διπλασιασμό του τοπικού δικτύου (LAN), τα οποία μπορούν να παρέχουν απρόσκοπτη ανάκτηση του δικτύου ή της υποδομής του δικτύου σε περίπτωση μεμονωμένης αποτυχίας μιας ζεύξης ή ενός μεταγωγέα στο δίκτυο [5].

#### **5.2.6 IEC/IEEE 60255-24**

Το πρότυπο IEC/IEEE 60255-24 παρέχει μια κοινή μορφή για τα αρχεία δεδομένων και το μέσο ανταλλαγής των δεδομένων, τα οποία απαιτούνται για τους διάφορους τύπους δεδομένων που ανταλλάσσονται, όπως δεδομένα σφάλματος, δοκιμής και προσομοίωσης στον υποσταθμό. Επίσης, περιλαμβάνει ζητήματα που σχετίζονται με το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων από τη δειγματοληψία, τα φίλτρα και την μετατροπή των δεδομένων. Σε αυτό το πρότυπο καθορίζονται επίσης τα αρχεία για την ανταλλαγή των δεδομένων και την οργάνωση τους [5].

#### **5.2.7 IEEE C37.118**

Το πρότυπο IEEE C37.118 υποστηρίζει τους αυτοματισμούς σε ένα υποσταθμό. Συγκεκριμένα, καθορίζει την αρχιτεκτονική και την λειτουργία του συστήματος σε έναν υποσταθμό, συμπεριλαμβανομένων των διεπαφών ανθρώπου μηχανής, καθώς και ζητήματα σχετικά με την υλοποίηση. Το πρότυπο αυτό καθορίζει επίσης τις απαιτήσεις για την αξιοπιστία, την συντήρηση, τη διαθεσιμότητα, την ασφάλεια, την επεκτασιμότητα και την δυνατότητα αλλαγής [15].

#### **5.2.8 IEEE 1588.2008**

Το πρότυπο IEEE 1588.2008 είναι σημαντικό για σκοπούς αυτοματισμού του υποσταθμού (substation automation), καθώς πληροί τις απαιτήσεις ακρίβειας χρονισμού των τρεχουσών εφαρμογών αυτοματισμού των υποσταθμών. Επίσης, με τη χρήση αυτού του πρωτοκόλλου οι απαιτήσεις υποδομής καλωδίωσης μειώνονται, καθώς δεν υπάρχει ανάγκη αποκλειστικού δικτύου για πληροφορίες συγχρονισμού χρόνου [5]. Το πρωτόκολλο μπορεί να εφαρμοστεί σε συστήματα που επικοινωνούν μέσω τοπικών δικτύων που υποστηρίζουν multicast μηνύματα, συμπεριλαμβανομένου, του Ethernet. Το πρωτόκολλο επιτρέπει σε ετερογενή συστήματα που περιλαμβάνουν ρολόγια ποικίλης εγγενούς ακρίβειας, ανάλυσης και σταθερότητας να συγχρονίζονται με ένα κύριο ρολόι. Το πρωτόκολλο υποστηρίζει ακρίβεια συγχρονισμού σε όλο το σύστημα στο εύρος μικρότερου δευτερολέπτου με ελάχιστους πόρους υπολογιστών δικτύου και τοπικού ρολογιού. Η προεπιλεγμένη συμπεριφορά του

πρωτοκόλλου επιτρέπει την εγκατάσταση και λειτουργία απλών συστημάτων χωρίς να απαιτείται η διοικητική προσοχή των χρηστών [32].

### 5.3 Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case – Smart Metering

Η έξυπνη μέτρηση είναι ο πιο σημαντικός μηχανισμός που χρησιμοποιείται στα Smart Grid για την λήψη πληροφοριών από τις συσκευές του δικτύου και τις συσκευές των τελικών χρηστών, ενώ παράλληλα, γίνεται έλεγχος της συμπεριφοράς των συσκευών. Οι έξυπνοι μετρητές υποστηρίζουν αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του μετρητή και του κεντρικού συστήματος και η διαχείριση τους μπορεί να γίνει απομακρυσμένα **Error! Reference source not found.** Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται στα Smart Grid και ειδικότερα στην περίπτωση της έξυπνης μέτρησης.

Πίνακας 5-2: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case smart metering

Πρότυπο	Πεδία εφαρμογής	Περιγραφή	Χαρακτηριστικά
<b>ANSI C12.18</b>	Μοντέλο πληροφοριών, Επικοινωνίες, Φυσική απόδοση [32]	Περιγράφει τα κριτήρια που απαιτούνται για επικοινωνίες μεταξύ μιας συσκευής και ενός πελάτη μέσω μιας οπτικής θύρας [32]	Το πρωτόκολλο σχεδιάστηκε για τη μεταφορά δεδομένων σε μορφή πίνακα. Οι ορισμοί του πίνακα βρίσκονται στους πίνακες δεδομένων ANSIC12.19 [32].
<b>ANSI C12.19</b>	Μοντέλο πληροφοριών [32]	Αυτό το πρότυπο ορίζει μια δομή πίνακα για δεδομένα εφαρμογών βοηθητικού προγράμματος που πρέπει να διαβιβάζονται μεταξύ μιας τελικής συσκευής και οποιασδήποτε άλλης συσκευής [32].	προσδιορισμός μοντέλων και μορφών για τα δεδομένα μέτρησης από τις τελικές συσκευές [1][21].
<b>ANSI C12.22</b>	Μοντέλο πληροφοριών, επικοινωνίες, κυβερνοασφάλεια [32]	χρησιμοποιείται για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας ανάμεσα στις μονάδες επικοινωνίες και τους έξυπνους μετρητές (smart meters), μέσω ενός πρωτοκόλλου	προσδιορισμός πρωτοκόλλων για την διασύνδεση των δικτύων επικοινωνίας και την επικοινωνία των δεδομένων από τις έξυπνες

		μεταφοράς πίνακα δεδομένων βάσει του προτύπου ANSI C12.19 εφαρμόζοντας κρυπτογράφηση AES για ισχυρή και ασφαλή επικοινωνία, διασφαλίζοντας την εμπιστευτικότητα και την ακεραιότητα των δεδομένων [3].	μετρήσεις εντός του δικτύου [1][21].
<b>IEC 61968-9</b>	Επικοινωνίες [32]	ενοποίηση συστημάτων μέτρησης, το οποίο περιλαμβάνει παραδοσιακά χειροκίνητα συστήματα και συστήματα αυτόματης ανάγνωσης μετρητών και διαχείριση δεδομένων μετρητών, συστήματα με άλλα εταιρικά συστήματα και επιχειρηματικές λειτουργίες εντός του πεδίου εφαρμογής του IEC 61968[34] [32].	καθορίζει τις διαπαφές και το περιεχόμενο πληροφοριών για την ανάγνωση και των έλεγχου των έξυπνων μετρητών [34].
<b>IEEE 1701.2011</b>	Μοντέλο πληροφοριών, Επικοινωνίες, Φυσική απόδοση [32]	Υποστηρίζει το πρωτόκολλο επικοινωνίας οπτικής θύρας για τη συμπλήρωση των πινάκων δεδομένων του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Παρέχει περιβάλλον πολλαπλών πηγών και "plug and play" για τα εκατομμύρια των συσκευών μέτρησης χρησιμοποιώντας τη διεπαφή οπτικής θύρας ANSI Type 2[32].	Αυτό το πρότυπο επιλύει τα προβλήματα που σχετίζονται με συστήματα μίας πηγής και με συστήματα πολλαπλών πηγών που βασίζονται σε ιδιόκτητα πρωτόκολλα επικοινωνιών [32][33].
<b>IEEE 1702.2011</b>	Μοντέλο πληροφοριών,	πρωτόκολλο επικοινωνίας τηλεφωνικού μόντεμ που	Επιλύει τα προβλήματα που σχετίζονται με

Επικοινωνίες, Φυσική απόδοση [32]	συμπληρώνει τους πίνακες δεδομένων της εταιρίας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας [32] <b>Error! Reference s</b> <b>ource not found..</b>	συστήματα μίας πηγής και με συστήματα πολλαπλών πηγών που βασίζονται σε ιδιόκτητα πρωτόκολλα επικοινωνιών [32].
-----------------------------------	---	---

### 5.3.1 ANSI C12.18

Το πρότυπο ANSI C12.18 περιγράφει τα κριτήρια που απαιτούνται για επικοινωνίες μεταξύ μιας συσκευής (device C12.18) και ενός πελάτη (client C12.18) μέσω μιας οπτικής θύρας. Αυτό το πρότυπο παρέχει λεπτομέρειες για την πλήρη υλοποίηση ενός μοντέλου 7 επιπέδων (του μοντέλου OSI). Το πρωτόκολλο που καθορίζεται σε αυτό το έγγραφο σχεδιάστηκε για τη μεταφορά δεδομένων σε μορφή πίνακα. Οι ορισμοί του πίνακα βρίσκονται στους πίνακες δεδομένων ANSI C12.19 Utility Industry End Device. Ο πελάτης C12.18 μπορεί να είναι μια συσκευή ανάγνωσης χειρός, ένας φορητός υπολογιστής, ένα σύστημα κύριου σταθμού ή κάποια άλλη συσκευή ηλεκτρονικής επικοινωνίας. Η συσκευή C12.18 είναι μια συσκευή ηλεκτρονικής επικοινωνίας που εφαρμόζει μια οπτική θύρα τύπου ANSI 2 για επικοινωνία σύμφωνα με τις προδιαγραφές πρωτοκόλλου αυτού του προτύπου. Ως επικοινωνίες σημείου-προς-σημείο ορίζεται η επικοινωνία μεταξύ του πελάτη C12.18 (reader or master) και της συσκευής C12.18 (server or apparatus) μέσω μιας ενιαίας οπτικής διεπαφής [32].

### 5.3.2 ANSI C12.19

Αυτό το πρότυπο ορίζει μια δομή πίνακα για δεδομένα εφαρμογών βοηθητικού προγράμματος που πρέπει να διαβιβάζονται μεταξύ μιας τελικής συσκευής και οποιασδήποτε άλλης συσκευής. Δεν καθορίζει ούτε τα κριτήρια σχεδιασμού της συσκευής ούτε προσδιορίζει τη γλώσσα ή το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά αυτών των δεδομένων. Οι πίνακες που ορίζονται σε αυτό το πρότυπο αντιπροσωπεύουν μια δομή δεδομένων που θα χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά των δεδομένων, όχι απαραίτητα τη μορφή αποθήκευσης δεδομένων που χρησιμοποιείται μέσα στην τελική συσκευή. Υπάρχουν δύο εκδόσεις αυτού του προτύπου, επειδή οι κατασκευαστές παράγουν και δοκιμάζουν μετρητές και στις δύο εκδόσεις [32].

### 5.3.3 ANSI C12.22

Το πρότυπο ANSI C12.22 χρησιμοποιείται για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας ανάμεσα στις μονάδες επικοινωνίας και τους έξυπνους μετρητές (smart meters), μέσω ενός πρωτοκόλλου μεταφοράς πίνακα δεδομένων βάσει του προτύπου ANSI C12.19 εφαρμόζοντας κρυπτογράφηση AES για ισχυρή και ασφαλή επικοινωνία, διασφαλίζοντας την εμπιστευτικότητα και την ακεραιότητα των δεδομένων [3]. Ουσιαστικά μέσω του προτύπου C12.19 προσδιορίζονται τα μοντέλα και οι μορφές των δεδομένων μέτρησης από τις τελικές συσκευές και με το πρότυπο C12.22 προσδιορίζεται η διασύνδεση των πρωτοκόλλων για τη διασύνδεση στα δίκτυα επικοινωνίας, δηλαδή, την επικοινωνία των δεδομένων που λαμβάνονται από τις έξυπνες μετρήσεις εντός ενός δικτύου [1][21].

### 5.3.4 IEC 61968-9

Το πρότυπο 61968-9 αναπτύχθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων συντήρησης ενός συστήματος. Στην περίπτωση των έξυπνων μετρήσεων, το πρότυπο αυτό καθορίζει τις διεπαφές και το περιεχόμενο πληροφοριών για την ανάγνωση και τον έλεγχο των έξυπνων μετρητών [34]. Αναλυτικότερα, το πρότυπο αυτό καθορίζει το περιεχόμενο πληροφοριών ενός συνόλου τύπων μηνυμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη πολλών επιχειρηματικών λειτουργιών που σχετίζονται με την ανάγνωση και τον έλεγχο του μετρητή. Οι τυπικές χρήσεις των τύπων μηνυμάτων περιλαμβάνουν ανάγνωση μετρητών, χειριστήρια, συμβάντα, συγχρονισμό δεδομένων πελατών και εναλλαγή πελατών. Ο σκοπός του IEC 61968-9 είναι να ορίσει ένα πρότυπο για την ενοποίηση συστημάτων μέτρησης, το οποίο περιλαμβάνει παραδοσιακά χειροκίνητα συστήματα και συστήματα αυτόματης ανάγνωσης μετρητών και διαχείριση δεδομένων μετρητών, συστήματα με άλλα εταιρικά συστήματα και επιχειρηματικές λειτουργίες εντός του πεδίου εφαρμογής του IEC 61968 **Error! Reference source not found.**

## 5.4 Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case – Electric Vehicle

Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να είναι μια από τις βασικές λύσεις για το αυξανόμενο κόστος ενέργειας, την αύξηση των τιμών του πετρελαίου και τα ζητήματα της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η αποθήκευση ενέργειας φαίνεται η βασική τεχνολογία για την υλοποίηση της τεχνολογίας των ηλεκτρικών οχημάτων. Ωστόσο, η ανάπτυξη σταθμών φόρτισης και ο χρόνος φόρτισης αποτελούν μερικές από τις βασικές προκλήσεις [22]. Υπάρχουν ορισμένα πρότυπα, τα οποία έχουν αναπτυχθεί για τους σκοπούς μεταφοράς ενέργειας και επικοινωνίας των ηλεκτρικών οχημάτων και του ηλεκτρικού δικτύου. Τα πρότυπα αυτά παρουσιάζονται σε αυτή την ενότητα.

Πίνακας 5-3: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case electric vehicle

Πρότυπο	Πεδία εφαρμογής	Περιγραφή / Χαρακτηριστικά
SAE J2293	Επικοινωνία	Τυποποίηση μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα [3][21].
SAE J2836	Επικοινωνία	επικοινωνία μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων (με plug-in [3]) και του ηλεκτρικού δικτύου για μεταφορά ενέργειας και άλλες εφαρμογές [3][21].
SAE J2847	Επικοινωνία	Υποστηρίζει μηνύματα επικοινωνίας μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων (με Plug-in [3]) και των στοιχείων δικτύου [3][21].

<b>IEEE 2030.2011</b>	Επικοινωνίες, κατευθυντήριες γραμμές και πρακτικές	Περιλαμβάνει το σύνολο των όρων που χρησιμοποιούνται για τον μηχανισμό, τις συσκευές και τις απαιτήσεις σχεδιασμού των ηλεκτρικών οχημάτων [6].
-----------------------	--	---

#### 5.4.1 SAE J2293

Το πρότυπο SAE J2293 χρησιμοποιείται για την τυποποίηση μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα [3][21].

#### 5.4.2 SAE J2836

Το πρότυπο SAE J2836 υποστηρίζει περιπτώσεις χρήσης για επικοινωνία μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων (με plug-in [3]) και του ηλεκτρικού δικτύου για μεταφορά ενέργειας και άλλες εφαρμογές [3][21].

#### 5.4.3 SAE J2847

Το πρότυπο SAE J2847 υποστηρίζει μηνύματα επικοινωνίας μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων (με Plug-in [3]) και των στοιχείων δικτύου [3][21].

#### 5.4.4 IEEE 2030.2011

Το IEEE Std 2030 παρέχει εναλλακτικές προσεγγίσεις και βέλτιστες πρακτικές για την επίτευξη διαλειτουργικότητας έξυπνου δικτύου. Είναι το πρώτο ολοκληρωμένο πρότυπο IEEE για τη διαλειτουργικότητα των έξυπνων δικτύων που παρέχει έναν οδικό χάρτη που στοχεύει στη δημιουργία του πλαισίου για την ανάπτυξη ενός εθνικού και διεθνούς σώματος προτύπων της IEEE που βασίζεται σε διατομεακούς τεχνικούς κλάδους σε εφαρμογές ισχύος και ανταλλαγή πληροφοριών και έλεγχο μέσω επικοινωνιών [32]. Τα πρότυπα IEEE P2030.1 προσθέτει λεπτομέρειες στις οδηγίες που παρέχονται στο πρότυπο IEEE P2030. Συγκεκριμένα, το IEEE P2030.1 περιλαμβάνει το σύνολο των όρων που χρησιμοποιούνται για τον μηχανισμό, τις συσκευές και τις απαιτήσεις σχεδιασμού των ηλεκτρικών οχημάτων [6].

#### 5.4.5 IEEE 1701.2011

Το IEEE 1707.2011 υποστηρίζει το πρωτόκολλο επικοινωνίας οπτικής θύρας για τη συμπλήρωση των πινάκων δεδομένων του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Παρέχει περιβάλλον πολλαπλών πηγών και “plug and play” για τα εκατομμύρια των συσκευών μέτρησης χρησιμοποιώντας τη διεπαφή οπτικής θύρας ANSI Type. Αυτό το πρότυπο επιλύει τα προβλήματα που σχετίζονται με συστήματα μίας πηγής και με συστήματα πολλαπλών πηγών που βασίζονται σε ιδιόκτητα πρωτόκολλα επικοινωνιών [32].

### 5.5 Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case– DER

Οι Κατανεμημένοι Ενεργειακοί Πόροι (DER) έχουν αυξηθεί σημαντικά λόγω της αυξανόμενης τάσης προς τα ηλιακά πάνελ ταράτσας και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της αιολικής ενέργειας. Ωστόσο, ορισμένες από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας απαιτούν συσκευές αποθήκευσης ενέργειας για περιόδους χαμηλής παραγωγής [6]. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η

κατηγοριοποίηση των προτύπων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων.

Πίνακας 5-4: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case DER

Πρότυπο	Πεδία εφαρμογής	Περιγραφή / Χαρακτηριστικά
<b>IEC 61850-7-420</b>		Περιλαμβάνει το μοντέλο πληροφοριών για την επικοινωνία των DER όπως σε ένα αιολικό πάρκο, φωτοβολταϊκά συστήματα, συστήματα κυψελών καυσίμου, συνδυασμένη θερμότητα και ισχύς κ.λπ. Αυτά τα συστήματα είναι ενσωματωμένα στις πληροφορίες κοινής ωφελείας και στα συστήματα αυτοματισμού [5][32].
<b>IEEE 1547.3.-2007</b>	Μοντέλο πληροφοριών, επικοινωνίες [32]	Καθορισμός προτύπων για την διασύνδεση των κατανεμημένων πόρων και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας [5][6][21].

### 5.5.1 IEC 61850

Το πρότυπο IEC 61850, το οποίο αρχικά στόχευε στον αυτοματισμό του υποσταθμού, έχει επεκταθεί για να καλύπτει την παρακολούθηση και τον έλεγχο των DER. Περιλαμβάνει ένα καθορισμένο μοντέλο δεδομένων, μέσω του οποίου επιτρέπει σε έναν συσσωρευτή DER, (όπως ένα εικονικό εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας), να επικοινωνεί με ένα ευρύ φάσμα DER [25]. Ειδικότερα, η έκδοση IEC 61850-7-420 περιλαμβάνει το μοντέλο πληροφοριών για την επικοινωνία των DER όπως ένα αιολικό πάρκο, φωτοβολταϊκά συστήματα, συστήματα κυψελών καυσίμου, συνδυασμένη θερμότητα και ισχύς κ.λπ. Αυτά τα συστήματα είναι ενσωματωμένα στις πληροφορίες κοινής ωφελείας και στα συστήματα αυτοματισμού [5].

### 5.5.2 IEEE 1547.3-2007

Η έκδοση IEEE 1547.3.-2007 είναι ένας οδηγός IEEE για την παρακολούθηση, την ανταλλαγή πληροφοριών και τον έλεγχο των κατανεμημένων πόρων που συνδέονται με συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας [5][6][21]. Προσδιορίζει τις προδιαγραφές που απαιτούνται σε παγκόσμιο επίπεδο για την διασύνδεση των κατανεμημένων πόρων συμπεριλαμβανομένων των κατανεμημένων παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας και της υποδομής αποθήκευσης ενέργειας, κάτι που είναι απαραίτητο για την

υλοποίηση των στόχων ενός ευφυούς δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας [1]. Με απλά λόγια το IEEE 1547.3 λαμβάνει υπόψη τρία μέρη των συστημάτων το σύστημα ισχύος, την ανταλλαγή πληροφοριών και τη δοκιμή συμμόρφωσης [15][21]. Στο τμήμα του συστήματος ισχύος, το πρότυπο καθορίζει τις απαιτήσεις για διαφορετικές τεχνολογίες μετατροπής ισχύος και τις απαιτήσεις για τη διασύνδεσή τους για την παροχή ποιοτικών υπηρεσιών ηλεκτρικής ενέργειας. Το τμήμα ανταλλαγής πληροφοριών καθορίζει τις απαιτήσεις για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του συστήματος ισχύος μέσω δικτύων δεδομένων. Καθώς ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύπλοκο σε εξαρτήματα και λειτουργίες, το πρότυπο περιγράφει μια ποικιλία δοκιμών για να εγγυηθεί ότι ένα εφαρμοσμένο σύστημα θα λειτουργεί όπως αναμένεται [15].

## 5.6 Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς tousecase - renewable

Οι παραγωγοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και μπορούν να ενσωματωθούν στα Smart Grids επιτυγχάνοντας αποτελεσματική διαχείριση και αποθήκευση [3]. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα πρότυπα που επιτρέπουν την διασύνδεση και την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές με το δίκτυο ηλεκτρονικής ενέργειας.

Πίνακας 5-5: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς το use case - renewable

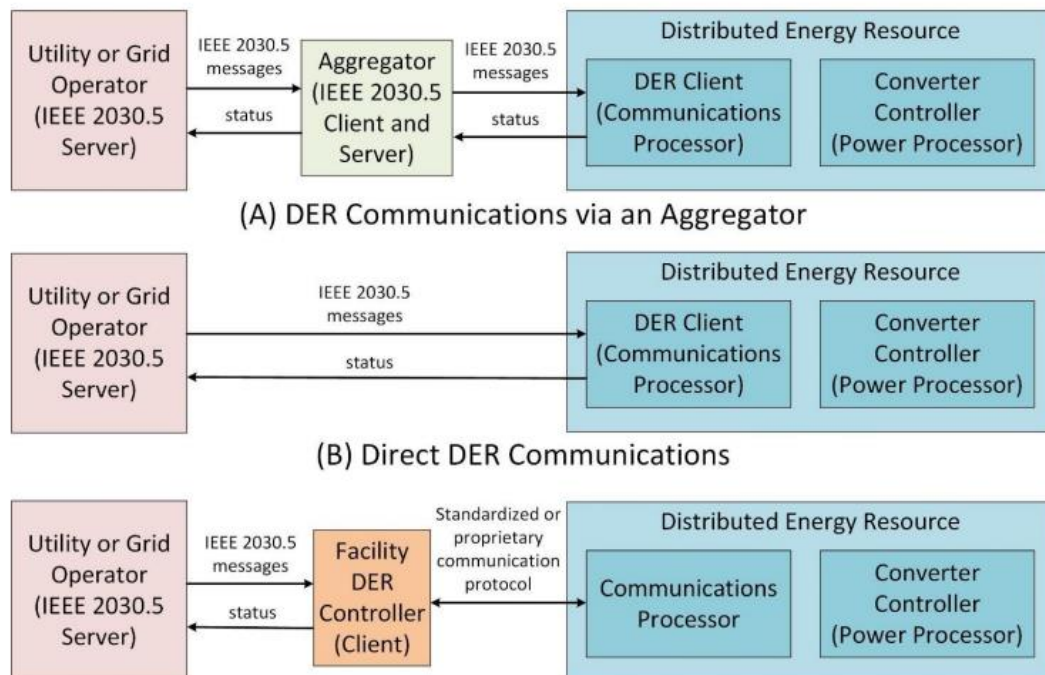
Πρότυπο	Πεδία εφαρμογής	Περιγραφή / Χαρακτηριστικά
<b>IEEE P2030.2</b>	Κατευθυντήριες γραμμές	Προσθέτει τις λεπτομέρειες στο πρότυπο IEEE 2030.2011 σχετικά διακριτά και υβριδικά συστήματα αποθήκευσης ενέργεια στην υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας [6].
<b>IEEE 1547.3</b>	Μοντέλο πληροφοριών, επικοινωνίες [32]	Καθορισμός προτύπων για την διασύνδεση των κατανεμημένων πόρων και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας [6].

### 5.6.1 IEEE P2030.2&IEEE 2030.5

Το IEEE P2030.2 προσθέτει τις λεπτομέρειες στο πρότυπο IEEE 2030.2011 σχετικά διακριτά και υβριδικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, τα οποία είναι ενσωματωμένα με την υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας ως ανανεώσιμες πηγές [6].

Το IEEE 2030.5 ισχύει για επικοινωνίες μεταξύ του βοηθητικού προγράμματος και των συστημάτων DER μέσω συνδέσεων μέσω ενός συσσωρευτή ή απευθείας συνδέσεων με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σε απευθείας συστήματα χωρίς οντότητα συγκέντρωσης, είτε ο μετατροπέας είτε μια ξεχωριστή μονάδα ελέγχου μπορεί να είναι ο πελάτης IEEE 2030.5. Αυτές οι τρεις περιπτώσεις

φαίνονται στην Εικόνα 5-3, όπου το DER αποτελείται από μια μονάδα επικοινωνίας και τον μετατροπέα ισχύος [36].



Εικόνα 5-3: Περιπτώσεις επικοινωνίας εταιρίας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με συστήματα DER [36].

## 5.6.2 IEEE 1547

Το πρότυπο IEEE 1547 καθορίζει τα πρότυπα για τη διασύνδεση των καταναμημένων πόρων και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας [6].

## 5.7 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται σε διάφορες περιπτώσεις χρήσης στο πλαίσιο ενός Smart Grid. Τα πρότυπα έχουν αναπτυχθεί από αναγνωρισμένους οργανισμούς για την κάλυψη διαφορετικών αναγκών και την υποστήριξη διαφορετικών λειτουργιών. Ειδικότερα, για τον αυτοματισμό των υποσταθμών έχει αναπτυχθεί το πρότυπο IEC 61850-90-1, το οποίο υποστηρίζει την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των υποσταθμών, το IEC 62271 υποστηρίζει την ψηφιακή επικοινωνία (στο πλαίσιο αντικατάστασης της καλωδίωσης) και συμμορφώνεται επίσης με τα πρότυπα της σειράς IEC 61850. Για την κάλυψη των απαιτήσεων υψηλής διαθεσιμότητας των δικτύων υποσταθμού, χρησιμοποιείται το πρότυπο IEC 62271 για την επικοινωνία μέσω καλωδίου Ethernet. Επίσης, για την συγχρονισμό των ρολογιών για τις συσκευές ενός υποσταθμού έχει αναπτυχθεί το πρότυπο IEEE 1588.2008, το οποίο εξαλείφει την ανάγκη για χρήση επιπρόσθετου δικτύου συγχρονισμού. Για ζητήματα συμβατότητας, έχει αναπτυχθεί το πρότυπο IEC/IEEE 60255-24 μέσω του οποίου παρέχεται μια κοινή μορφή για τα αρχεία δοκιμών και σφαλμάτων που προκύπτουν σε έναν υποσταθμό. Τέλος, για τον καθορισμό της αρχιτεκτονικής και όλων των απαιτήσεων ενός υποσταθμού έχει αναπτυχθεί το πρότυπο IEEE C37.1.

Για την περίπτωση των έξυπνων μετρητών έχουν αναπτυχθεί τα πρότυπα της σειράς ANSIC12 για την υποστήριξη της επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών έξυπνης μέτρησης. Αναλυτικότερα, το πρότυπο ANSIC12.18 περιγράφει τα κριτήρια για την επικοινωνία μεταξύ μιας συσκευής C12.18 και ενός

πελάτη (client) C12.18 μέσω οπτικής θύρας. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω πινάκων δεδομένων, οι οποίοι ορίζονται από το πρότυπο ANSIC12.19. Ενώ για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας μεταξύ των μονάδων επικοινωνίας και των έξυπνων μετρητών έχει αναπτυχθεί το πρότυπο C12.22, στο οποίο επίσης χρησιμοποιούνται οι πίνακες δεδομένων βάσει του προτύπου ANSIC12.19. Ουσιαστικά, μέσω αυτών των προτύπων επιτυγχάνεται η λήψη μετρήσεων από τις έξυπνες συσκευές μέτρησης. Επίσης, για την περίπτωση των έξυπνων μετρητών μπορεί να χρησιμοποιηθεί το πρότυπο IEC 61968-9 για την ανάγνωση και τον έλεγχο των έξυπνων μετρητών, καθώς αποτελεί ένα πλαίσιο απαιτήσεων για την συντήρηση ενός συστήματος.

Για την επίτευξη των αναγκών επικοινωνίας στην περίπτωση των ηλεκτρικών οχημάτων έχει αναπτυχθεί ένα σύνολο προτύπων από την SAE, τα οποία υποστηρίζουν διαφορετικές επικοινωνίες και διαφορετικές ανάγκες επικοινωνίας. Χαρακτηριστικά, το SAEJ2293 τυποποιεί την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από τον πάροχο στα ηλεκτρικά οχήματα, το SAEJ 2836 υποστηρίζει την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας ανάμεσα στα ηλεκτρικά οχήματα και το ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ το SAEJ2847 υποστηρίζει τα μηνύματα επικοινωνίας ανάμεσα στα ηλεκτρικά οχήματα και τα στοιχεία του ηλεκτρικού δικτύου. Επίσης, για τις ανάγκες των εφαρμογών στην περίπτωση των ηλεκτρικών οχημάτων χρησιμοποιείται το πρότυπο IEEE P2030.1, το οποίο περιλαμβάνει τις απαιτήσεις για τον μηχανισμό, τις συσκευές και τον σχεδιασμό των ηλεκτρικών οχημάτων,

Για την υποστήριξη των DER έχει επεκταθεί το πρότυπο IEC 61850 (το οποίο αναπτύχθηκε αρχικά για την υποστήριξη των υποσταθμών), στην έκδοση IEC 61850-7-420 για την κάλυψη των αναγκών παρακολούθησης και ελέγχου των DER που συνδέονται στους υποσταθμούς. Επίσης, από την IEEE έχει αναπτυχθεί το πρότυπο 1547.3-2007 για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των DER που συνδέονται στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος, για την επίτευξη των εφαρμογών με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχει αναπτυχθεί το πρότυπο IEEE P2030.2, το οποίο υποστηρίζει τα υβριδικά συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, καθώς επίσης και το πρότυπο IEEE 1547 για την διασύνδεση των DER με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

## Κεφάλαιο 6ο: Απαιτήσεις προτύπων Ευφυούς Δικτύου (Requirements of Smart Grid)

### 6.1 Εισαγωγή

Η υποδομή επικοινωνίας μεταξύ παραγωγής, μεταφοράς και διανομής και κατανάλωσης ενέργειας απαιτεί αμφίδρομες επικοινωνίες, διαλειτουργικότητα μεταξύ προηγμένων εφαρμογών και αξιόπιστες και ασφαλείς επικοινωνίες από άκρο σε άκρο με χαμηλές καθυστερήσεις και επαρκές εύρος ζώνης. Επιπλέον, η ασφάλεια του συστήματος θα πρέπει να είναι αρκετά ισχυρή ώστε να αποτρέπει τις επιθέσεις στον κυβερνοχώρο και να παρέχει σταθερότητα και αξιοπιστία του συστήματος με προηγμένους ελέγχους [3].

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι σημαντικότερες απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί ένα Smart Grid με έμφαση στο επίπεδο των επικοινωνιών που αποτελεί ένα από τα βασικά συστατικά των συστημάτων Smart Grid. Συνοπτικά οι σημαντικότερες απαιτήσεις των Smart Grids περιλαμβάνουν την αξιοπιστία, τον ρυθμό των δεδομένων και των συγχρονισμό του χρόνου, την διαλειτουργικότητα μεταξύ συσκευών και συστημάτων, την ασφάλεια και την επεκτασιμότητα.

### 6.2 Αναφορά στην απαίτηση - Αξιοπιστία (Reliability)

Η αξιοπιστία του συστήματος έχει γίνει μια από τις απαιτήσεις με τις περισσότερες προτεραιότητες για τις επιχειρήσεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Η γήρανση των υποδομών ηλεκτρικής ενέργειας και η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και της ζήτησης αιχμής είναι μερικοί από τους λόγους που δημιουργούν ζητήματα αναξιοπιστίας για το ηλεκτρικό δίκτυο [3]. Ωστόσο, τα δίκτυα επικοινωνίας στα συστήματα ισχύος Smart Grid είναι υπεύθυνα για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των καταναλωμένων συσκευών ισχύος για να βοηθήσουν τη λειτουργία των συστημάτων διαχείρισης. Επομένως, η αξιοπιστία των δικτύων επικοινωνίας συνδέεται με την αξιοπιστία των συστημάτων διαχείρισης ενέργειας. Τα συστήματα ισχύος δεν μπορούν να λειτουργήσουν σωστά εκτός εάν οι επικοινωνίες μεταξύ ευφυών ηλεκτρονικών συσκευών μεταφέρονται όπως αναμένεται [15].

Τα δίκτυα επικοινωνίας δεν αναπτύσσονται εκτενώς στα παραδοσιακά συστήματα ισχύος. Ως εκ τούτου, οι προηγούμενες ερευνητικές προσπάθειες για την αξιοπιστία των συστημάτων ισχύος έχουν επικεντρωθεί κυρίως στον εντοπισμό προβλημάτων αξιοπιστίας, στον ορισμό των μετρήσεων αξιοπιστίας και στην αξιολόγηση μοντέλων αξιοπιστίας για συσκευές ισχύος [15]. Η αξιοποίηση των σύγχρονων και ασφαλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας, των τεχνολογιών επικοινωνίας και πληροφοριών, ταχύτερες και πιο ισχυρές συσκευές ελέγχου, ενσωματωμένες έξυπνες συσκευές (IED) για ολόκληρο το δίκτυο από τον υποσταθμό και τον τροφοδότη έως τους πόρους των πελατών, θα ενισχύσουν σημαντικά την αξιοπιστία και την ευρωστία του συστήματος. Η διαθεσιμότητα της δομής επικοινωνίας βασίζεται στην προτιμώμενη τεχνολογία επικοινωνίας. Οι ασύρματες τεχνολογίες με περιορισμένο εύρος ζώνης και ασφάλεια και μειωμένο κόστος εγκατάστασης μπορούν να είναι μια καλή επιλογή για μεγάλης κλίμακας αναπτύξεις Smart Grid. Από την άλλη πλευρά, οι ενσύρματες τεχνολογίες με αυξημένη χωρητικότητα, αξιοπιστία και ασφάλεια μπορεί να είναι δαπανηρές. Για την παροχή αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας του συστήματος ταυτόχρονα με το κατάλληλο κόστος εγκατάστασης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια υβριδική τεχνολογία επικοινωνίας σε συνδυασμό με ενσύρματες και ασύρματες λύσεις [3]. **Error! Reference source not found.**

Ένα άλλο ζήτημα αξιοπιστίας αποτελεί ο χρόνος ανταπόκρισης, των μηνυμάτων. Καθώς, τα μηνύματα ενδέχεται να καθυστερήσουν, να τροποποιηθούν ή να χαθούν κατά τη διάρκεια μεταδόσεων σε δίκτυα.

Τα δίκτυα επικοινωνίας θα πρέπει να σχεδιάζονται και να υλοποιούνται λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα πιθανά προβλήματα μετάδοσης, ώστε να διασφαλίζεται ότι κάθε μήνυμα φθάνει στον προορισμό του σωστά και έγκαιρα. Πολλά προβλήματα δικτύου μπορεί να οδηγήσουν σε μη ικανοποιητικές μεταδόσεις μηνυμάτων, συμπεριλαμβανομένων για παράδειγμα συμφορήσεων δικτύου, σφαλμάτων πρωτοκόλλου και διακοπής συνδέσεων. Οι μηχανισμοί ιεράρχησης μηνυμάτων και δέσμευσης πόρων μπορεί να βοηθήσουν στον μετριασμό της συμφορήσης του δικτύου για να επιτρέψουν την έγκαιρη παράδοση των πιο σημαντικών μηνυμάτων. Για την αποφυγή σφαλμάτων πρωτοκόλλου και διαταραχών σύνδεσης, απαιτούνται περιοδικοί έλεγχοι συντήρησης δικτύου για τον εντοπισμό και τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων δικτύου. Επιπλέον, απαιτούνται επίσης μηχανισμοί έγκαιρης ανίχνευσης για την ανακάλυψη προβλημάτων σύνδεσης δικτύου, ώστε να μπορούν να επιλυθούν άμεσα [15].

### **6.3 Αναφορά στην απαίτηση - Ρυθμός δεδομένων, Συγχρονισμός χρόνου (Data rate, Time Synchronization)**

Η επικοινωνιακή υποδομή στο Smart Grid θα ενσωματώσει πολλές τεχνολογίες δικτύου και θα λάβει μια ιεραρχική και υβριδική σύνθεση. Διαφορετικοί τύποι δικτύων χρησιμοποιούνται για την παροχή ευκολιών επικοινωνίας σε διαφορετικά τμήματα ή περιοχές του δικτύου και διασυνδέονται για να σχηματίσουν ολόκληρη την υποδομή. Η καθυστέρηση που παρουσιάζεται από ένα μήνυμα αποτελείται από πολλά στοιχεία καθώς το μήνυμα ταξιδεύει μέσα σε κάθε υποδίκτυο και μέσω των διεπαφών μεταξύ των υποδικτύων [15].

Για ορισμένους τύπους μηνυμάτων στις επικοινωνίες συστημάτων ισχύος, υπάρχουν κρίσιμες απαιτήσεις χρονισμού για τις μέγιστες επιτρεπόμενες καθυστερήσεις μετάδοσης. Η αξιοπιστία του δικτύου επικοινωνίας θα πρέπει να ελέγχεται υπό αυτά τα αυστηρά χρονικά όρια. Επομένως, ο ορισμός και η αξιολόγηση της αξιοπιστίας βασίζονται στις αντίστοιχες απαιτήσεις χρονισμού. Για παράδειγμα, τα μηνύματα προστασίας του συστήματος ισχύος πρέπει να παραδοθούν σωστά μέσα σε ένα χρονικό πλαίσιο τόσο μικρό όσο 3 ms. Μια αποδεκτή λύση αξιοπιστίας θα πρέπει επομένως να εγγυάται ότι τα μηνύματα που αναμεταδίδονται ή αναδρομολογούνται φτάνουν στις προβλεπόμενες συσκευές προορισμού εντός 3 ms από τη στιγμή που θα σταλεί το πρώτο επιχειρούμενο μήνυμα. Τυχόν καθυστερημένα μηνύματα που λαμβάνονται μετά από αυτό το χρονικό διάστημα 3 ms δεν εξυπηρετούν τον σκοπό της αξιοπιστίας. Ως εκ τούτου, είναι δύσκολο να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αξιοπιστίας του δικτύου επικοινωνίας [15].

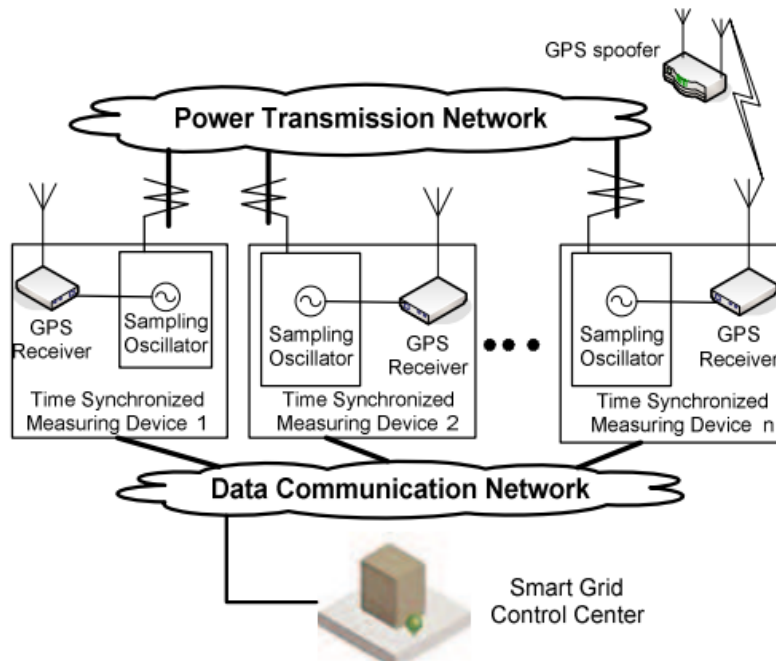
Η καθυστέρηση επικοινωνίας στο Smart Grid ορίζεται ως το χρονικό διάστημα μεταξύ της αποστολής ενός μηνύματος στην πηγή IED και της λήψης του μηνύματος στον IED προορισμού. Η μέτρηση γίνεται από άκρο σε άκρο μεταξύ των δύο εφαρμογών που εκτελούνται στο σύστημα πηγής και προορισμού. Καθώς οι συσκευές ηλεκτρικής ενέργειας δεν έχουν από μόνες τους δυνατότητα επικοινωνίας, κάθε ηλεκτρική συσκευή συνδέεται με ένα ενσωματωμένο σύστημα υπολογιστή για να χρησιμεύσει ως διεπαφή επικοινωνίας με την υποδομή δικτύου. Η ηλεκτρική συσκευή και το ενσωματωμένο σύστημα υπολογιστή σχηματίζουν μαζί ένα IED. Τα βήματα επεξεργασίας μηνυμάτων σε ένα IED περιλαμβάνουν: (i) τον αναλογικό-ψηφιακό μετατροπέα, ο οποίος μετατρέπει μια μέτρηση κατάστασης σε ψηφιακά δεδομένα, (ii) τη CPU, η οποία επεξεργάζεται τα δεδομένα μέτρησης, (iii) τη δομή του σημείου ρύθμισης, η οποία αποθηκεύει τα τρέχοντα δεδομένα μέτρησης και (iv) τη στοίβα πρωτοκόλλου δικτύου, η οποία μορφοποιεί το μήνυμα και το στέλνει στο δίκτυο [15].

Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι διαθέσιμες τεχνολογίες δικτύου δεν σχεδιάστηκαν με την απόδοση καθυστέρησης επικοινωνίας ως πρώτη προτεραιότητα και ως εκ τούτου ενδέχεται να μην είναι πάντα

σε θέση να ανταποκριθούν στις αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης των επικοινωνιών του συστήματος ισχύος [15].

Για να γίνει πιο κατανοητός ο συγχρονισμός, στο άρθρο [38] προσδιορίστηκε μια πιθανή επίθεση σε WAMS στο Smart Grid, επινοημένη επίθεση συγχρονισμού χρόνου (Time Synchronization Attack - TSA). Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να επισημανθεί ξανά ότι, οι συσκευές παρακολούθησης διανέμονται σε ολόκληρο το δίκτυο ηλεκτρισμού, των οποίων τα δεδομένα μετρήσεων ανατροφοδοτούνται στο κέντρο ελέγχου με διάφορες καθυστερήσεις μετάδοσης. Για να αποκτήσει κανείς μια ακριβή κατάσταση λειτουργίας του συστήματος, το κέντρο ελέγχου πρέπει να ευθυγραμμίσει όλες τις μετρήσεις που συλλέγονται στον τομέα χρόνου, που ονομάζεται συγχρονισμένη παρακολούθηση χρόνου.

Δεδομένου ότι το σήμα του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης (global positioning system - GPS) είναι εξαιρετικά ακριβές και σταθερό για τον χρονισμό χωρίς επιπλέον υποδομή επικοινωνίας, οι συσκευές παρακολούθησης χρονικού συγχρονισμού που βασίζονται στο GPS έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό στο σύστημα παρακολούθησης έξυπνου δικτύου. Η Εικόνα 6-1 απεικονίζει τη συγχρονισμένη παρακολούθηση χρόνου σε Smart Grid. Υπάρχουν  $n$  συσκευές συγχρονισμένης μέτρησης χρόνου (time synchronized measuring devices - TSMD) εγκατεστημένες σε ολόκληρο το σύστημα έξυπνου δικτύου και καθεμία από αυτές είναι εξοπλισμένη με δέκτη σήματος GPS. Σημειώστε ότι το TSMD είναι μια γενική αντίληψη, η οποία θα μπορούσε να είναι οποιαδήποτε συσκευή μέτρησης που απαιτεί συγχρονισμό χρόνου. Οι παράμετροι κατάστασης λειτουργίας του δικτύου, όπως η συχνότητα και η τάση, δειγματοληπτούνται περιοδικά και η δειγματοληψία ενεργοποιείται από το σήμα χρονισμού GPS από τον δέκτη GPS. Για να αντιμετωπιστούν οι διαφορετικές καθυστερήσεις μετάδοσης δεδομένων των διαφορετικών μετρήσεων, είναι απαραίτητο να γίνει επισύναψη των χρονικών τιμών κατά τις οποίες γίνεται δειγματοληψία των μετρήσεων. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται χρονική σφραγίδα. Το κέντρο ελέγχου ευθυγραμμίζει τις μετρήσεις που συλλέγονται σύμφωνα με τις χρονικές τους σφραγίδες και αναλύει την κατάσταση του συστήματος για μελλοντικές ενέργειες ελέγχου [38].

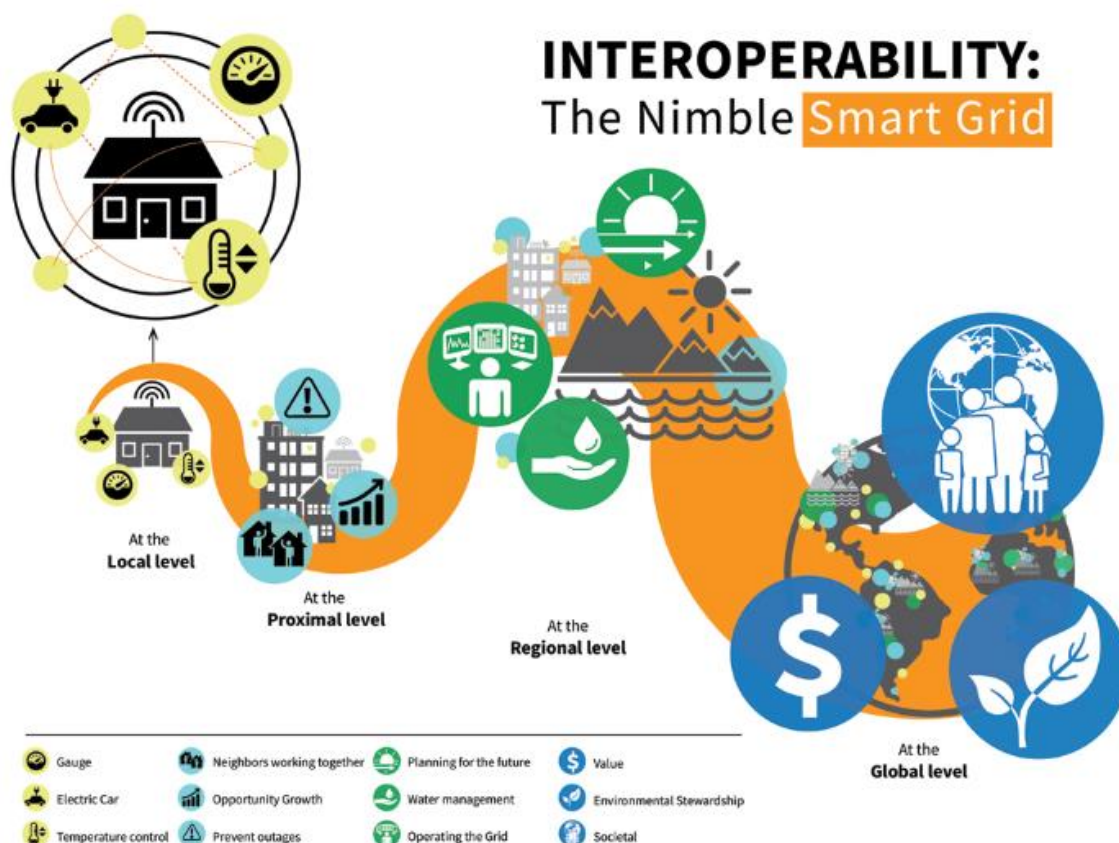


Εικόνα 6-1: Απεικόνιση χρονικής συγχρονισμένης παρακολούθησης σε Smart Grid με spoofer GPS [38]

#### 6.4 Αναφορά στην απαίτηση - Διαλειτουργικότητα (Interoperability)

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των Smart Grids είναι η διασύνδεση ενός δυναμικά μεγάλου αριθμού ανόμοιων δικτύων διανομής ενέργειας, πηγών παραγωγής ενέργειας και καταναλωτών ενέργειας. Τα στοιχεία καθεμιάς από αυτές τις οντότητες απαιτούν έναν τρόπο επικοινωνίας που θα είναι ανεξάρτητος από το φυσικό μέσο που χρησιμοποιείται και επίσης ανεξάρτητος από τους κατασκευαστές και τον τύπο των συσκευών. Η αρχιτεκτονική επικοινωνίας του μελλοντικού έξυπνου δικτύου δεν έχει ακόμη καθοριστεί. Ως αποτέλεσμα, πολλαπλές τεχνολογίες και πρότυπα επικοινωνίας θα μπορούσαν να συνυπάρχουν σε διαφορετικά μέρη του συστήματος. Για παράδειγμα, ασύρματα μικρής εμβέλειας όπως Bluetooth ή UWB θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη διασύνδεση μεταξύ μετρητών και συσκευών τελικού πελάτη, το IEEE 802.15.4 (ZigBee) και το IEEE 802.11 (Wi-Fi) θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για διεπαφές έξυπνων μετρητών στο σπίτι και τοπικό δίκτυο και ασύρματη κινητής τηλεφωνίας (π.χ. τεχνολογίες GPRS, UMTS ή 4G όπως 802.16m και LTE) θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη διεπαφή μεταξύ των μετρητών και του κεντρικού συστήματος [1][40][39].

Επομένως, δεδομένου ότι πολλά διαφορετικά πρωτόκολλα και τεχνολογίες επικοινωνίας θα χρησιμοποιηθούν στο Smart Grid, και το καθένα από αυτά πιθανότατα θα χρησιμοποιεί τα δικά του πρωτόκολλα και αλγόριθμους, η υλοποίηση της διαλειτουργικότητας δεν είναι εύκολη [6] **Error! Reference source not found.** Για το σκοπό αυτό, η διαλειτουργικότητα είναι απαραίτητη για έξυπνες συσκευές μέτρησης, συστήματα και αρχιτεκτονικές επικοινωνιών που υποστηρίζουν έξυπνα δίκτυα [1].



Εικόνα 6-2: Διαλειτουργικότητα σε Smart Grid [39]

Μπορεί να θεωρηθεί ότι σε ένα σύνθετο σύστημα όπως το Smart Grid, απαιτούνται ετερογενείς τεχνολογίες επικοινωνίας για την κάλυψη των διαφορετικών αναγκών του συστήματος. Επομένως, σε

αντίθεση με τη συμβατική τυποποίηση τηλεπικοινωνιών όπως το IEEE 802.11n ή το 3GPP LTE, η τυποποίηση των επικοινωνιών για το Smart Grid σημαίνει διαλειτουργικότητα των διεπαφών, των μηνυμάτων και των ροών εργασίας. Αντί να εστιάσουμε ή να ορίσουμε μια συγκεκριμένη τεχνολογία, είναι πιο σημαντικό να επιτευχθεί συμφωνία για τη χρήση και την ερμηνεία διεπαφών και μηνυμάτων που μπορούν να γεφυρώσουν απρόσκοπτα διαφορετικά πρότυπα ή τεχνολογίες. Με άλλα λόγια, ένας από τους κύριους στόχους της τυποποίησης της επικοινωνίας για τα Smart Grid είναι η διασφάλιση της διαλειτουργικότητας μεταξύ των διαφορετικών στοιχείων του συστήματος αντί ο καθορισμός αυτών των στοιχείων (μετρητές, συσκευές ή πρωτόκολλα) [1][41].

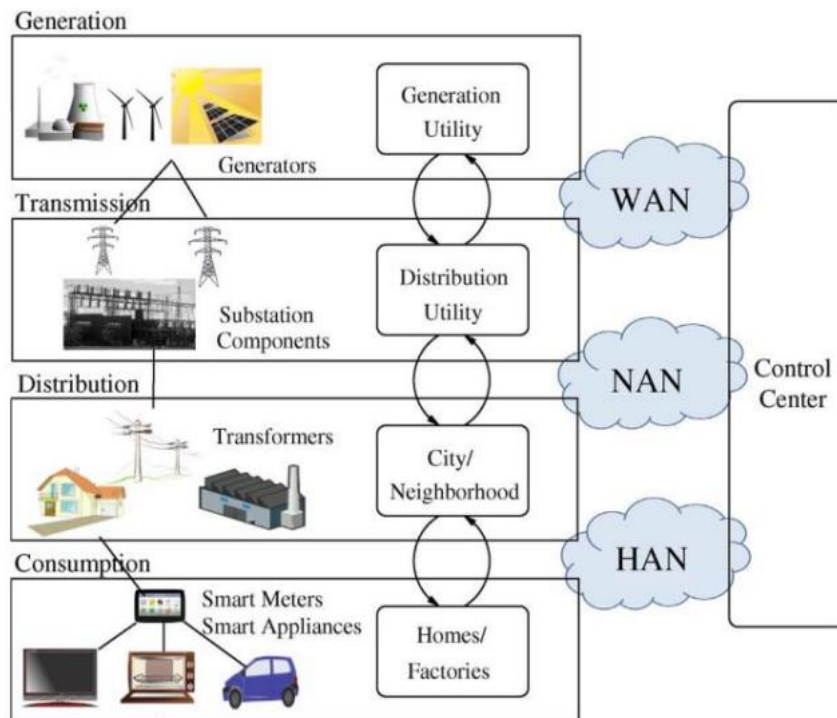
### **6.5 Αναφορά στην απαίτηση - Ασφάλεια (Security)**

Η ασφάλεια των επικοινωνιών είναι ένα ερευνητικό ζήτημα εξίσου σημαντικό με την αξιοπιστία του δικτύου σχετικά με τη σωστή λειτουργία της διαχείρισης του συστήματος ισχύος. Σε αντίθεση με την αξιοπιστία, τα προβλήματα ασφάλειας προκύπτουν από κακόβουλες ανθρώπινες συμπεριφορές και ως εκ τούτου είναι πιο δύσκολο να επιλυθούν. Καθώς τα δίκτυα επικοινωνίας αναλαμβάνουν τις ευθύνες για την ανταλλαγή πληροφοριών που χρησιμοποιούνται στη διαχείριση ενέργειας, θα μπορούσαν να γίνουν στόχοι επιθέσεων που επιχειρούν να παραμορφώσουν τις λειτουργίες διαχείρισης. Οι επιτιθέμενοι μπορούν ενδεχομένως να αποκομίσουν χρηματικά οφέλη ή απλώς να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές στα συστήματα ισχύος. Επομένως, είναι απαραίτητη η προστασία των δικτύων επικοινωνίας από επιθέσεις στον κυβερνοχώρο [15].

Η ασφαλής αποθήκευση και μεταφορά πληροφοριών είναι εξαιρετικά ζωτικής σημασίας για τις επιχειρήσεις παραγωγής και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά για λόγους χρέωσης και ελέγχου του δικτύου. Για να αποφευχθούν οι επιθέσεις στον κυβερνοχώρο, θα πρέπει να αναπτυχθούν αποτελεσματικοί μηχανισμοί ασφάλειας και θα πρέπει να γίνουν προσπάθειες τυποποίησης όσον αφορά την ασφάλεια του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας[3]. Ωστόσο, η ανάλυση και η εφαρμογή της ασφάλειας του Smart Grid είναι ένα δύσκολο έργο, ειδικά όταν λαμβάνεται υπόψη η κλίμακα των πιθανών ζημιών που θα μπορούσαν να προκληθούν από επιθέσεις στον κυβερνοχώρο[1].

Για παράδειγμα, η προστασία από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση και απόρριψη είναι μια ζωτική απαίτηση για τα δεδομένα χρήσης και ελέγχου που κοινοποιούνται εντός του συστήματος, με την προϋπόθεση ότι οι κρίσιμες λειτουργίες του συστήματος απαιτούν τα δεδομένα να είναι αξιόπιστα τόσο από τους παρόχους υπηρεσιών κοινής ωφέλειας όσο και από τους πελάτες. Η παροχή τέτοιων υπηρεσιών ασφαλείας μπορεί να μην είναι ασήμαντη, καθώς μπορεί να περιλαμβάνει την ενσωμάτωση διαφορετικών τομέων ασφάλειας πληροφοριών, όπως πρωτόκολλα ασφαλούς επικοινωνίας, υλικό/λογισμικό που δεν παραβιάζεται και ρυθμιστικά πλαίσια για τον έλεγχο πρόσβασης [1].

Η ανάγκη για προστασία της ασφάλειας στον κυβερνοχώρο δεδομένων Smart Grid προκύπτει από την ανάγκη διασύνδεσης στοιχείων Smart Grid με ένα αμφίδρομο δίκτυο επικοινωνίας, έτσι ώστε οι προμηθευτές ενέργειας και οι πελάτες να μπορούν να ανταλλάσσουν πληροφορίες με διαδραστικό τρόπο, σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η δυνατότητα θα μπορούσε να βοηθήσει στην ενεργοποίηση λειτουργιών όπως η μείωση φορτίου, η διαχείριση της κατανάλωσης, η κατανεμημένη αποθήκευση ενέργειας (π.χ. σε ηλεκτρικά αυτοκίνητα) και η κατανεμημένη παραγωγή ενέργειας (π.χ. από ανανεώσιμες πηγές) [1].



Εικόνα 6-3: Οπτική ασφαλείας στο δίκτυο επικοινωνίας Smart Grid [42]

Για να γίνει πιο κατανοητή η απαίτηση της ασφάλειας σε ένα Smart Grid και πως μπορεί αυτή να επιτευχθεί στο ακόλουθο σχήμα στην Εικόνα 6-3 παρουσιάζεται μια οπτική ασφαλείας για το δίκτυο επικοινωνίας Smart Grid όπως προτείνεται στο [42].

Το παραπάνω σχήμα στην Εικόνα 6-3 δείχνει ότι τα Smart Grid αποτελούνται από τέσσερα στοιχεία: Παραγωγή, Μετάδοση, Διανομή και Κατανάλωση (όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2). Στο στοιχείο κατανάλωσης, οι πελάτες χρησιμοποιούν ηλεκτρικές συσκευές (π.χ. έξυπνες συσκευές, ηλεκτρικά οχήματα) και η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας θα μετρηθεί από μια βελτιωμένη συσκευή μέτρησης, που ονομάζεται έξυπνος μετρητής. Ο έξυπνος μετρητής είναι ένα από τα βασικά στοιχεία της προηγμένης υποδομής μέτρησης (AMI). Ο μετρητής μπορεί να εντοπίζεται και να αλληλεπιδρά με μια πύλη δικτύου οικιακής περιοχής (HAN). Για απλή απεικόνιση, συμβολίζεται ένας έξυπνος μετρητής στο σχήμα ως πύλη ενός HAN. Ένα δίκτυο γειτονικής περιοχής (NAN) σχηματίζεται κάτω από έναν υποσταθμό, όπου φιλοξενούνται πολλαπλά HAN. Τέλος, μια εταιρεία κοινής ωφέλειας μπορεί να αξιοποιήσει ένα δίκτυο ευρείας περιοχής (WAN) για τη σύνδεση καταναλωμένων NAN.

## 6.6 Αναφορά στην απαίτηση - Επεκτασιμότητα (Scalability)

Ένα Smart Grid θα πρέπει να είναι επαρκώς επεκτάσιμο ώστε να διευκολύνει τη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου. Σε ένα Smart Grid περιλαμβάνονται πολλοί έξυπνοι μετρητές, έξυπνοι αισθητήρες, κόμβοι, έξυπνοι συλλέκτες δεδομένων και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εντάσσονται στο δίκτυο επικοινωνιών. Ως εκ τούτου, το έξυπνο δίκτυο θα πρέπει να χειρίζεται την επεκτασιμότητα με την ενσωμάτωση προηγμένων διαδικτυακών υπηρεσιών, αξιόπιστων πρωτοκόλλων με προηγμένες λειτουργίες, όπως λειτουργίες αυτοδιαμόρφωσης και διάφορες πτυχές ασφάλειας [3].

## 6.7 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο μελετήθηκαν οι απαιτήσεις των συστημάτων που περιλαμβάνονται σε ένα Smart Grid, οι απαιτήσεις αυτές περιλαμβάνουν την αξιοπιστία, τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων, η

διαλειτουργικότητα, η ασφάλεια και η επεκτασιμότητα. Συνοψίζοντας αυτό το κεφάλαιο, γίνεται κατανοητό ότι, το νέο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, Smart Grid, διαφέρει θεμελιωδώς από το σημερινό σύστημα διαχείρισης ενέργειας. Το δίκτυο επικοινωνιών θα είναι απαραίτητο συστατικό στο νέο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να είναι αποτελεσματική η διαχείριση ενέργειας. Ειδικότερα, η καθυστέρηση επικοινωνίας είναι η πιο κρίσιμη μέτρηση απόδοσης δικτύου. Για την αποτελεσματική προστασία του συστήματος ισχύος, το δίκτυο επικοινωνίας πρέπει να εγγυάται τη σωστή παράδοση μηνυμάτων εντός του απαιτούμενου χρονικού περιθωρίου. Η αξιοπιστία και η ασφάλεια της επικοινωνίας πρέπει να παρέχονται με τον περιορισμό καθυστέρησης. Η αξιοπιστία και η ασφάλεια είναι επομένως πολύ σημαντικά ζητήματα στο δίκτυο επικοινωνίας ενός Smart Grid.

Για την κάλυψη αυτών των απαιτήσεων, οι οργανισμοί ανάπτυξης προτύπων έχουν σχεδιάσει και δημοσίευση πρότυπα, τα οποία μπορούν να συμβάλλουν στην κάλυψη αυτών των απαιτήσεων και στον περιορισμό των ζητημάτων ασφαλείας. Όλα αυτά τα πρότυπα παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο, τα οποία κατηγοριοποιούνται βάσει της κάθε απαίτησης για το Smart Grid.

## Κεφάλαιο 7ο: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς τις απαιτήσεις

### 7.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η κατηγοριοποίηση των προτύπων βάσει των διαφορετικών απαιτήσεων ενός Smart Grid. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η χρήση των προτύπων σχετικά με τις απαιτήσεις αξιοπιστίας, ρυθμού δεδομένων και συγχρονισμού χρόνου, διαλειτουργικότητας και ασφαλείας.

### 7.2 Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς την απαίτηση - Αξιοπιστία (Reliability)

Η παροχή της αξιοπιστίας του συστήματος έχει γίνει μια από τις απαιτήσεις με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα για τις επιχειρήσεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Αξιοποιώντας μεταξύ άλλων τα σύγχρονα και ασφαλή συστήματα πρωτόκολλα επικοινωνίας ενός Smart Grid μπορεί να ενισχυθεί σε σημαντικό βαθμό η αξιοπιστία του συστήματος. Όπως αναφέρεται αναλυτικότερα στο προηγούμενο κεφάλαιο, για την παροχή αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας του συστήματος ταυτόχρονα με το κατάλληλο κόστος εγκατάστασης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια υβριδική τεχνολογία επικοινωνίας σε συνδυασμό με ενσύρματες και ασύρματες λύσεις [5]. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στο πρότυπο OpenADR, το οποίο μπορεί να παρέχει αξιοπιστία σε ένα δίκτυο Smart Grid, παρόλα αυτά σε κάθε επίπεδο θα πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα αξιοπιστίας.

#### 7.2.1 Open ADR

Το Open ADR είναι μια προσπάθεια έρευνας και ανάπτυξης προτύπων που ορίζεται ως μια πλήρως αυτοματοποιημένη απόκριση ζήτησης με χρήση ανοιχτών προτύπων, ανεξάρτητων από πλατφόρμα και διαφανών τεχνολογιών ή συστημάτων λογισμικού από άκρο σε άκρο. Το Open ADR αναπτύχθηκε αρχικά στο Lawrence Berkeley Labs, ένα κυβερνητικό ερευνητικό εργαστήριο των ΗΠΑ [3]. Η υιοθέτηση του Open ADR στο Smart Grid είναι πολύ σημαντική για την παροχή αποτελεσματικής ανάπτυξης δυναμικής τιμολόγησης, απόκρισης ζήτησης και αξιοπιστίας του δικτύου [3].

Πίνακας 7-1: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς την απαίτηση Αξιοπιστία (Reliability)

Πρότυπο	Πεδίο Εφαρμογής	Περιγραφή και Χαρακτηριστικά
Open ADR	Ανταλλαγή πληροφοριών	<p>Σκοπός του είναι η οικονομική διαχείριση της αυξημένης ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια και τον έλεγχο της κατανάλωσης ενέργειας από τις επιχειρήσεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και από τους ίδιους τους πελάτες.</p> <p>Βασικό χαρακτηριστικό αυτού του προτύπου είναι η ανταλλαγή πληροφοριών με αξιοπιστία και ασφάλεια.</p>

### 7.3 Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς την απαίτηση - Ρυθμός δεδομένων, Συγχρονισμός χρόνου (Datarate, Time Synchronization)

Το ψηφιακά σύστημα που βασίζονται στο πρότυπο IEC 61850 (το οποίο υπενθυμίζεται ότι αποτελεί ένα από τα βασικά πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί για τα Smart Grid) απαιτούν συγχρονισμό χρόνου υψηλής ακρίβειας στην περιοχή μονοψήφιων μικροδευτερόλεπτων [5]. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται για τον συγχρονισμό χρόνου στα συστήματα των Smart Grid.

Πίνακας 7-2: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς την απαίτηση Ρυθμός δεδομένων, Συγχρονισμός χρόνου (Datarate, Time Synchronization)

Πρότυπο	Πεδίο Εφαρμογής	Περιγραφή και Χαρακτηριστικά
IRIG-B	Αυτοματισμός υποσταθμών, Επικοινωνία	Χρησιμοποιείται για τις απαιτήσεις συγχρονισμού ρολογιού στους υποσταθμούς των Smart Grid Smart Grids. Η χρήση αυτού του προτύπου απαιτεί ειδική υποδομή καλωδίωσης [5].
IEEE 1588	Επικοινωνία	Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις απαιτήσεις συγχρονισμού ρολογιού σε δίκτυα και υπολογιστές μικρής χωρητικότητας. Με αυτό το πρότυπο, αν και χρησιμοποιεί καλωδίωση Ethernet, μειώνονται οι απαιτήσεις καλωδίωσης, καθώς δεν υπάρχει η ανάγκη για δίκτυο συγχρονισμού [5].
IEEE C37.238	Επικοινωνία, Αυτοματισμός	Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό ενός κοινού προφίλ του προτύπου IEEE 1588 [5].

#### 7.3.1 IRIG-B

Μία από τις καθιερωμένες τεχνολογίες συγχρονισμού χρόνου που μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις ακρίβειας συγχρονισμού χρόνου (μέχρι 1 μασ) χρησιμοποιεί το σήμα IRIG-B. Ο κώδικας χρόνου (timecode) IRIG-B χρησιμοποιείται επί του παρόντος ευρέως ως πρωτόκολλο συγχρονισμού χρόνου σε συστήματα αυτοματισμού υποσταθμών. Αυτό το πρωτόκολλο είναι απλό στην εφαρμογή και παρέχει ακρίβεια μικροδευτερόλεπτου. Το IRIG-B έχει ρυθμό παλμού 100 παλμών ανά δευτερόλεπτο με μέτρηση δείκτη 10 χιλιοστών του δευτερολέπτου στο χρονικό πλαίσιο του ενός δευτερολέπτου. Περιέχει πληροφορίες εποχής και έτους σε μορφή BCD (BinaryCodeDecimal) και (προαιρετικά)

δευτερόλεπτα της ημέρας σε SBS (απευθείας δυαδικά δευτερόλεπτα). Το μειονέκτημα του IRIG – B είναι ότι απαιτεί ειδική υποδομή καλωδίωσης για την υλοποίησή του. Επίσης, απαιτείται εσωτερική οπτική απομόνωση μεταξύ των συσκευών και του κύριου ρολογιού για την αποφυγή βρόχων γείωσης [5].

### **7.3.2 IEEE 1588**

Το πρότυπο IEEE 1588 περιλαμβάνει ένα πρωτόκολλο συγχρονισμού ρολογιού ακριβείας για δικτυωμένα συστήματα μέτρησης και ελέγχου, το οποίο είναι γνωστό επίσης ως PTPv2 (Precision Time Protocol version 2). Το πρότυπο αυτό αναπτύχθηκε για να προσφέρει καλύτερη ακρίβεια και επεκτασιμότητα σε σύγκριση με τις τεχνολογίες συγχρονισμού χρόνου που χρησιμοποιούνται σήμερα, όπως το NTP (Network Time Protocol - Πρωτόκολλο ώρας δικτύου) και το IRIG-B (ένα σειριακό πρωτόκολλο υψηλής ακριβείας). Έχει σχεδιαστεί για να συγχρονίζει κατανεμημένα ρολόγια με ακρίβεια υπο μικροδευτερολέπτου σε δίκτυο επικοινωνίας μεταγωγής πακέτων, με σχετικά χαμηλή χωρητικότητα δικτύου και υπολογιστών. Οι παραδοσιακές τεχνολογίες συγχρονισμού διανέμουν μόνο μια κοινή συχνότητα, το αναθεωρημένο PTP διευκολύνει επίσης τη διανομή κοινής συχνότητας, κοινής ευθυγράμμισης φάσης και κοινής ώρας της ημέρας (time-of-day TOD). Το IEEE 1588 PTPv2 είναι σημαντικό για σκοπούς αυτοματισμού υποσταθμού, καθώς πληροί τις απαιτήσεις ακριβείας χρονισμού των τρεχουσών εφαρμογών αυτοματισμού υποσταθμών. Επίσης, με τη χρήση αυτού του πρωτοκόλλου οι απαιτήσεις υποδομής καλωδίωσης μειώνονται καθώς δεν υπάρχει ανάγκη αποκλειστικού δικτύου για πληροφορίες συγχρονισμού χρόνου. Αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί το ίδιο μέσο Ethernet με τις επικοινωνίες δεδομένων για την επικοινωνία πληροφοριών συγχρονισμού χρόνου [5][43].

### **7.3.3 IEEE C37.238**

Αυτό το πρότυπο καθορίζει ένα κοινό προφίλ για χρήση του IEEE 1588 σε εφαρμογές προστασίας συστημάτων ισχύος, ελέγχου, αυτοματισμού και επικοινωνίας δεδομένων, χρησιμοποιώντας αρχιτεκτονικές επικοινωνιών Ethernet. Είναι επίσης γνωστό ως “PowerProfile” («Προφίλ ισχύος») για χρήση του προτύπου PTPv2 [5].

## **7.4 Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς την απαίτηση - Διαλειτουργικότητα (Interoperability)**

Η υιοθέτηση προτύπων διαλειτουργικότητας για το συνολικό σύστημα αποτελεί κρίσιμη προϋπόθεση για να γίνει πραγματικότητα το σύστημα Smart Grid. Η απρόσκοπτη διαλειτουργικότητα αποτελεί ένα βασικό στόχο που μπορεί να επιτευχθεί μέσω των προσπαθειών τυποποίησης ενός Smart Grid [3]. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών συστημάτων και συσκευών.

Πίνακας 7-3: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς την απαίτηση Διαλειτουργικότητα (Interoperability)

<b>Πρότυπο</b>	<b>Πεδίο Εφαρμογής</b>	<b>Περιγραφή και Χαρακτηριστικά</b>
G3-PLC	Επικοινωνία	Χρησιμοποιείται για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας μεταξύ των συσκευών με ασφάλεια [3].
ISA100.11a	Επικοινωνία, Αυτοματισμός	Χρησιμοποιείται για την διαλειτουργικότητα μεταξύ των συσκευών από διαφορετικούς προμηθευτές [3].
IEEEP2030	Μεταφορά δεδομένων	Αυτό το πρότυπο καθορίζει τους μηχανισμούς για την ανταλλαγή μηνυμάτων, τα σφάλματα των μηνυμάτων και τα χαρακτηριστικά ασφαλείας των μηνυμάτων [3][32].
ANSIC12.22	Μεταφορά δεδομένων, υποσταθμοί, ασφάλεια.	Χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων σε μορφή πίνακα ANSIC12.19 μέσω των δικτύων για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας για τους υποσταθμούς. Παρέχει επίσης τους μηχανισμούς ασφαλείας [3].
ITU-TG.9955 και G.9956	Επικοινωνία, Επίπεδο εφαρμογής	Αυτά τα πρότυπα ITU-T υποστηρίζουν επικοινωνίες εσωτερικού και εξωτερικού χώρου σε γραμμές χαμηλής τάσης, γραμμές μέσης τάσης, μέσω μετασχηματιστή χαμηλής τάσης σε μέση τάση και μέσω μετασχηματιστών μέσης τάσης σε χαμηλής τάσης ηλεκτρικών γραμμών τόσο στις αστικές όσο και στις αγροτικές επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων [3]
IEC 1377-2012	Μεταφορά δεδομένων, Μοντέλο πληροφοριών.	Παρέχονται πίνακες για την υποστήριξη αισθητήρων αερίου, νερού και ηλεκτρισμού και σχετικών συσκευών. Παρέχονται επίσης πίνακες για

		τη διαμόρφωση και τη διαχείριση του δικτύου με αναφορά στο συνοδευτικό πρότυπο IEEE Std 1703TM - 2012[32].
--	--	--

#### 7.4.1 G3-PLC

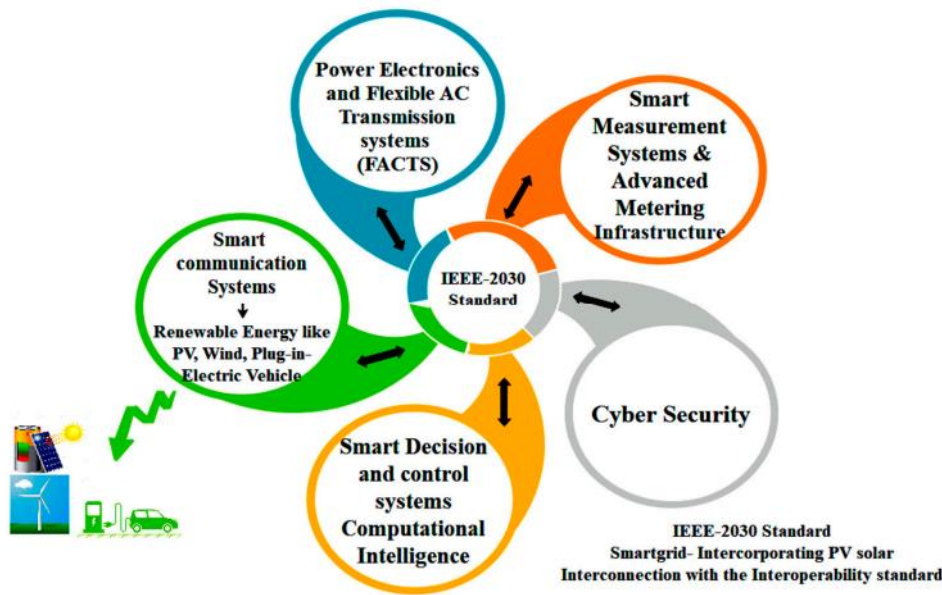
Το G3-PLC είναι μια προδιαγραφή επικοινωνιών ηλεκτρικού ρεύματος που κυκλοφόρησε από το ERDF και τη Maxim που στοχεύει να παρέχει διαλειτουργικότητα, ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και ευρωστία και να μειώσει το κόστος υποδομής σε εφαρμογές Smart Grid [3].

#### 7.4.2 ISA100.11a

Το ISA100.11a είναι ένα ανοιχτό πρότυπο για ασύρματα συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού που αναπτύχθηκε από τη Διεθνή Εταιρεία Αυτοματισμού (International Society of Automation - ISA). Το ISA100.11a εστιάζει στις απαιτήσεις ευρωστίας, ασφάλειας και διαχείρισης δικτύου της ασύρματης υποδομής και των συσκευών χαμηλής κατανάλωσης που παρέχουν εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας. [1].

#### 7.4.3 IEEE P2030

Το IEEE P2030 είναι ένας οδηγός για τη διαλειτουργικότητα των Smart Grid. Βασικά, το IEEE P2030 μπορεί να γίνει κατανοητό ως ένα ενιαίο έγγραφο για τη διαλειτουργικότητα του Smart Grid. Το πρότυπο αυτό είναι υπεύθυνο για την απρόσκοπτη μεταφορά δεδομένων με αμφίδρομο τρόπο επικοινωνίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την αξιόπιστη παροχή ισχύος και τις εφαρμογές από την πλευρά του πελάτη [3]. Ουσιαστικά, καθορίζει τους μηχανισμούς για την ανταλλαγή μηνυμάτων εφαρμογής, τα ακριβή μηνύματα που ανταλλάσσονται, συμπεριλαμβανομένων των μηνυμάτων σφάλματος, και τα χαρακτηριστικά ασφαλείας που χρησιμοποιούνται για την προστασία των μηνυμάτων της εφαρμογής [32].



Εικόνα 7-1: Σχηματικό πρότυπο διαλειτουργικότητας Smart Grid [44]

Στο σχηματικό πρότυπο στην Εικόνα 7-1 φαίνεται ότι το Smart Grid αποτελείται από διάφορους τομείς όπως παρουσιάζεται από το πρότυπο διαλειτουργικότητας IEEE 2030.

#### 7.4.4 ANSIC12.22

Το ANSIC12.22 ορίζει ένα πρωτόκολλο για τη μεταφορά δεδομένων πίνακα ANSIC12.19 μέσω δικτύων για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας μεταξύ των μονάδων επικοινωνίας και των έξυπνων μετρητών χρησιμοποιώντας κρυπτογράφηση AES για την ενεργοποίηση ισχυρών, ασφαλών επικοινωνιών, συμπεριλαμβανομένης της εμπιστευτικότητας και της ακεραιότητας των δεδομένων [3].

#### 7.4.5 ITU-TG.9955 και G.9956

Τα δύο πρότυπα ITU-TG.9955 και G.9956 περιέχουν την προδιαγραφή φυσικού επιπέδου και την προδιαγραφή επιπέδου σύνδεσης δεδομένων, αντίστοιχα, για πομποδέκτες στενής ζώνης επικοινωνιών OFDM powerline για επικοινωνίες μέσω ηλεκτρικών γραμμών εναλλασσόμενου ρεύματος και συνεχούς ρεύματος σε συχνότητες κάτω των 500 kHz. Αυτά τα πρότυπα ITU-T υποστηρίζουν επικοινωνίες εσωτερικού και εξωτερικού χώρου σε γραμμές χαμηλής τάσης, γραμμές μέσης τάσης, μέσω μετασχηματιστή χαμηλής τάσης σε μέση τάση και μέσω μετασχηματιστών μέσης τάσης σε χαμηλής τάσης ηλεκτρικών γραμμών τόσο στις αστικές όσο και στις αγροτικές επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων [3].

#### 7.4.6 IEEE 1377-2012

Επίπεδο εφαρμογής πρωτοκόλλου επικοινωνίας μετρήσεων Utility Industry (Πίνακες δεδομένων τελικής συσκευής): Σε αυτό το πρότυπο παρέχονται κοινές δομές για την κωδικοποίηση δεδομένων στην επικοινωνία μεταξύ Τελικών Συσκευών (μετρητές, οικιακές συσκευές, κόμβοι IEEE 1703) και συστήματα συλλογής και ελέγχου επιχειρήσεων Utility χρησιμοποιώντας δυαδικούς κώδικες και Περιεχόμενο επεκτάσιμης γλώσσας σήμανσης (XML). Οι απαιτήσεις Advanced Metering Infrastructure (AMI) και Smart Grid αντιμετωπίζονται όπως προσδιορίζονται από το Office of Electricity Delivery and Energy Reliability του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ και από την Smart Metering Initiative του Υπουργείου Ενέργειας του Οντάριο (Καναδάς) και του Measurement Canada [32]. Εκτίθενται σύνολα

πινάκων που ομαδοποιούνται σε ενότητες που αφορούν ένα συγκεκριμένο σύνολο χαρακτηριστικών και σχετική λειτουργία, όπως Χρόνος χρήσης, Προφίλ φόρτωσης, Ασφάλεια, Ποιότητα ισχύος και άλλα.

### **7.5 Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς την απαίτηση - Ασφάλεια (Security)**

Όπως περιγράφεται αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο η ασφάλεια σε επίπεδο εφαρμογής, υλικού και δικτύου αποτελεί ένα από τα βασικότερα ζητήματα για την διασφάλιση της λειτουργίας και της αξιοπιστίας των συστημάτων. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί από τους διεθνείς οργανισμούς ανάπτυξης προτύπων για την υποστήριξη των απαιτήσεων ασφαλείας σε διάφορες περιπτώσεις χρήσης των συστημάτων που περιλαμβάνονται σε ένα Smart Grid.

Πίνακας 7-4: Κατηγοριοποίηση των προτύπων ως προς την απαίτηση Ασφάλεια (Security)

Πρότυπο	Πεδίο Εφαρμογής	Περιγραφή και Χαρακτηριστικά
IEC 62351	Ασφάλεια	<p>Το IEC 62351 ορίζει την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο για τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που ορίζονται από το IECTC 57, συγκεκριμένα τη σειρά IEC 60870-5, τη σειρά IEC 60870-6, τη σειρά IEC 61850, τη σειρά IEC 61970 και τη σειρά IEC 61968 [3][5].</p> <p>Ουσιαστικά, το πεδίο εφαρμογής της σειράς IEC 62351 είναι η ασφάλεια των πληροφοριών για λειτουργίες ελέγχου συστημάτων ισχύος [5].</p>
IEEEEC37.118	Ασφάλεια, Επικοινωνία	<p>Η υιοθέτηση του IEEEEC37.118.2 στη σουίτα IEC 61850 αποσκοπεί στην ασφάλεια των δεδομένων και τον προσδιορισμό των απαραίτητων μηχανισμών για την επικοινωνία των υποσταθμών [3].</p>
IEEE 1686-2013	Ασφάλεια	<p>Ορίζει τις λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά προστασίας της ασφάλειας που πρέπει να παρέχονται στις έξυπνες [5][32] συσκευές των υποσταθμών για την προσαρμογή των προγραμμάτων Προστασίας Υποδομής Ζωτικής Σημασίας (Critical Infrastructure Protection - CIP).</p>

### 7.5.1 IEC 62351

Το IEC 62351 ορίζει την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο για τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που ορίζονται από το IECTC 57, συγκεκριμένα τη σειρά IEC 60870-5, τη σειρά IEC 60870-6, τη σειρά IEC 61850, τη

σειρά IEC 61970 και τη σειρά IEC 61968 [3][5]. Η ασφάλεια είναι μια σημαντική ανησυχία για τα Smart Grid, τα οποία είναι ιδιαίτερα ευάλωτα σε επιθέσεις λόγω της αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών και του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας [3]. Το πρότυπο IEC 62351 προτείνει την ασφάλεια για την επικοινωνία των δεδομένων κατά την διαχείριση του συστήματος ισχύος. Το πεδίο εφαρμογής της σειράς IEC 62351 είναι η ασφάλεια των πληροφοριών για λειτουργίες ελέγχου συστημάτων ισχύος [5].

### 7.5.2 IEEEC37.118

Το πρότυπο IEEEC37.118 και τα μέρη του καθορίζουν μόνο μηνύματα, το περιεχόμενο/δομή του και κάποια βασική επικοινωνία ελέγχου/εντολών. Η υιοθέτηση του IEEEC37.118.2 στη σουίτα IEC 61850 αποσκοπεί στην παροχή μεθόδων διαμόρφωσης, χαρτογράφησης και λειτουργίας επικοινωνίας, τηλεχειριστηρίων και μηχανισμών ασφαλείας σε μια ευρεία περιοχή [3]. Η εφαρμογή αυτού του προτύπου δεν σχετίζεται μόνο με την ασφάλεια, αλλά το πρότυπο αυτό περιλαμβάνουν τους απαραίτητους μηχανισμούς ασφαλείας για την επικοινωνία των υποσταθμών.

### 7.5.3 IEEE 1686-2013

Το πρότυπο IEEE 1686 ορίζει τις λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά προστασίας της ασφάλειας που πρέπει να παρέχονται στις έξυπνες συσκευές των υποσταθμών για την προσαρμογή των προγραμμάτων Προστασίας Υποδομής Ζωτικής Σημασίας (Critical Infrastructure Protection - CIP). Συγκεκριμένα, το πρότυπο περιλαμβάνει τις καταστάσεις για την ασφάλεια, τους μηχανισμούς ελέγχου και τις ενδείξεις συναγερμού που παρέχονται από τον προγραμματιστή μιας έξυπνης συσκευής σχετικά με τις δραστηριότητες πρόσβασης, λειτουργίας, διαμόρφωσης, αναθεώρησης υλικού και λογισμικού, καθώς και ανάκτησης δεδομένων από τις έξυπνες συσκευές [5] [32]. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι επικοινωνίες με σκοπό την προστασία του συστήματος ισχύος (τηλεπροστασία) δεν αναφέρονται σε αυτό το πρότυπο [32].

## 7.6 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε η κατηγοριοποίηση των προτύπων, όπως αυτά έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται για τη κάλυψη των διάφορων απαιτήσεων ενός Smart Grid. Για την επίτευξη της αξιοπιστίας, εντοπίζεται το πρότυπο OpenADR, το οποίο χρησιμοποιείται για την αξιόπιστη ανταλλαγή πληροφοριών τόσο για την επιχείρηση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας όσο και για τον έλεγχο της κατανάλωσης από τον πελάτη. Αξίζει να αναφερθεί, ότι υπάρχουν και άλλα πρότυπα, τα οποία χρησιμοποιούνται για διαφορετικούς σκοπούς σε ένα Smart Grid, ωστόσο περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά για την ενίσχυση της αξιοπιστίας του συστήματος ή των επικοινωνιών.

Για την επίτευξη του συγχρονισμού του χρόνου των ρολογιών στα συστήματα αυτοματισμού του υποσταθμού χρησιμοποιούνται, τα πρότυπα IRIG-B, IEEE 1588 και IEEE C37.238, τα οποία καλύπτουν τις απαιτήσεις συγχρονισμού και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με την αρχιτεκτονική του δικτύου.

Για τις απαιτήσεις της διαλειτουργικότητας σε διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης των Smart Grid εντοπίζονται τα πρότυπα G3-PLC, ISA100.11a, IEEEP2030, ANSIC12.22, ITU-T G.9955 και G.9956 και IEC 1377-2012. Ειδικότερα, τα πρότυπα αυτά καλύπτουν τις απαιτήσεις διαλειτουργικότητας στις επικοινωνίες, στη μεταφορά δεδομένων, στους αυτοματισμούς και τον καθορισμό του μοντέλου πληροφοριών. Κάθε πρότυπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη διαφορετικών αναγκών.

## Κεφάλαιο 7

Για την κάλυψη των διάφορων απαιτήσεων ασφαλείας εντοπίζονται τα πρότυπα IEC 6235, IEEE C37.118 και IEEE 1686-2013, όπου το κάθε ένα από αυτά χρησιμοποιείται για την κάλυψη διαφορετικών αναγκών ασφαλείας σε ένα Smart Grid. Αξίζει να σημειωθεί, ότι και άλλα πρότυπα τα οποία έχουν αναπτυχθεί για τις διάφορες εφαρμογές των Smart Grid περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά για την ενίσχυση της ασφάλειας του συστήματος ή των επικοινωνιών.

## Κεφάλαιο 8ο: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης

Στην εργασία αυτή μελετήθηκαν αρχικά τα βασικά χαρακτηριστικά, οι τεχνολογίες επικοινωνίας, καθώς οι αρχιτεκτονικές επικοινωνίας για τα Smart Grid. Αντικείμενο της μελέτης αποτέλεσε η μελέτη των περιπτώσεων χρήσης και οι απαιτήσεις των Smart Grid, καθώς και η κατηγοριοποίηση των προτύπων βάσει αυτών των δύο χαρακτηριστικών. Από την ολοκλήρωση αυτής της μελέτης προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα, τα οποία παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο.

Το Smart Grid αποτελεί την εξέλιξη των παραδοσιακών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα Smart Grid αποτελείται από ένα πολύπλοκο σύνολο εφαρμογών για την παραγωγή και την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιώντας τις σύγχρονες τεχνολογίες επικοινωνίας και των πληροφοριακών συστημάτων επιτυγχάνοντας μια αμφίδρομη σχέση σε επίπεδο επικοινωνιών, αλλά και σε επίπεδο ροής ισχύος. Βασικό χαρακτηριστικό των Smart Grid αποτελούν η διαχείριση των ηλεκτρικών συσκευών της παραγωγής και της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τους ίδιους τους χρήστες.

Βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη και την υλοποίηση των Smart Grid αποτελεί η ανάπτυξη και η εφαρμογή προτύπων, τα οποία θα μπορούν να υποστηρίξουν την ενοποίηση των προηγμένων εφαρμογών των έξυπνων μετρητών και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επιτυγχάνοντας την διαλειτουργικότητα μεταξύ τους. Διεθνείς οργανισμοί ανάπτυξης προτύπων, (με τον κάθε οργανισμό να επικεντρώνεται σε συγκεκριμένα πεδία εφαρμογής του Smart Grid), έχουν καταβάλει σημαντική προσπάθεια στην ανάπτυξη προτύπων για την κάλυψη των επικοινωνιακών αναγκών μεταξύ των διαφόρων εφαρμογών σε ένα Smart Grid.

Βάσει των διάφορων περιπτώσεων χρήσης Smart Grid πραγματοποιήθηκε κατηγοριοποίηση των προτύπων. Από αυτή τη διαδικασία διαπιστώθηκε ότι οι οργανισμοί έχουν αναπτύξει πρότυπα για τις διάφορες λειτουργίες σε κάθε περίπτωση χρήσης Smart Grid. Όλες αυτές οι περιπτώσεις χρήσης περιλαμβάνουν ένα σύνολο απαιτήσεων αξιοπιστίας, ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, συγχρονισμού ώρας, διαλειτουργικότητας, ασφάλειας και επεκτασιμότητας. Για κάθε μια από αυτές τις απαιτήσεις έχουν αναπτυχθεί διαφορετικά πρότυπα, ενώ ορισμένα πρότυπα τα οποία έχουν αναπτυχθεί για την υποστήριξη συγκεκριμένων λειτουργιών υποστηρίζουν επίσης ορισμένες απαιτήσεις ασφαλείας και διαλειτουργικότητας.

Σε μελλοντική έρευνα θα είχε ενδιαφέρον να μελετηθεί η αρχιτεκτονική των επικοινωνιών για ένα Smart Grid και να αναπτυχθεί – προταθεί ένα συγκεκριμένο αρχιτεκτονικό πλαίσιο το οποίο θα περιλαμβάνει την αντιστοίχιση των προτύπων για το κάθε πεδίο που περιλαμβάνει αυτή η αρχιτεκτονική.

Πίνακας 8-1: Συγκεντρωτικός πίνακας προτύπων για Smart Grid

Πρότυπο	Πεδία εφαρμογής	Use Cases / Απαιτήσεις	Αναφορές
IEC 61850-90-1	Επικοινωνίες, Χαρτογράφηση επικοινωνιών [32]	Use Case: Substation Automation	[3][5] [32]
IEC 60870-5	Επικοινωνία, Μοντέλο πληροφοριών [32]	Use Case: Substation Automation	[5] [32]
IEC 62271	Επικοινωνίες [5]	Use Case: Substation Automation	[5]
IEC 62439-3	Επικοινωνίες [5]	Use Case: Substation Automation	
IEC/IEEE 60255-24	Επικοινωνίες	Use Case: Substation Automation	[5]
IEEE 1588.2008	Επικοινωνίες, Φυσική απόδοση	Use Case: Substation Automation	[5] [32]
IEEE C37.1	Επικοινωνίες, Φυσική απόδοση [32]	Use Case: Substation Automation	[15][32]
ANSI C12.18	Μοντέλο πληροφοριών, Επικοινωνίες, Φυσική απόδοση [32]	Use Case: Smart Metering	[32]
ANSI C12.19	Μοντέλο πληροφοριών [32]	Use Case: Smart Metering	[1][21] [32]
ANSI C12.22	Μοντέλο πληροφοριών, επικοινωνίες, κυβερνοασφάλεια [32]	Use Case: Smart Metering	[1] [3][21][32]
IEC 61968-9	Επικοινωνίες [32]	Use Case: Smart Metering	[32] [34][35]
IEEE 1701.2011	Μοντέλο πληροφοριών, Επικοινωνίες, Φυσική απόδοση	Use Case: Smart Metering	[1] [3][21] [32] [33]

IEEE 1702.2011	Μοντέλο πληροφοριών, Επικοινωνίες, Φυσική απόδοση [32]	Use Case: Smart Metering	[1] [3] [32] [33]
SAE J2293	Επικοινωνία	Use Case: Electric Vehicle	[3][21]
SAE J2836	Επικοινωνία	Use Case: Electric Vehicle	[3][21]
SAE J2847	Επικοινωνία	Use Case: Electric Vehicle	[3][21]
IEEE 2030.2011	Επικοινωνίες, κατευθυντήριες γραμμές και πρακτικές	Use Case: Electric Vehicle	[6] [32]
IEC 61850-7-420	Μοντέλο πληροφοριών, επικοινωνίες [32]	Use Case: DER	[5][25][32].
IEEE 1547.3.-2007	Μοντέλο πληροφοριών, επικοινωνίες [32]	Use Case: DER	[1][6][5][15] [21] [32]
IEEE P2030.2	Κατευθυντήριες γραμμές	Use Case: renewable	[6][36]
IEEE 1547.3	Μοντέλο πληροφοριών, επικοινωνίες [32]	Use Case: renewable	[6]
OpenADR	Ανταλλαγή πληροφοριών	Απαίτηση: Αξιοπιστία (Reliability)	[3]
IRIG-B	Αυτοματισμός υποσταθμών, Επικοινωνία	Απαίτηση: Συγχρονισμός ώρας (Time Synchronization)	[5]
IEEE 1588	Επικοινωνία	Απαίτηση: Συγχρονισμός ώρας (Time Synchronization) <i>Use Case: Substation Automation</i>	[5][43]

IEEE C37.238	Επικοινωνία, Αυτοματισμός	Απαίτηση: Συγχρονισμός ώρας (Time Synchronization)  <i>Use Case: Substation Automation</i>	[5]
G3-PLC	Επικοινωνία	Απαίτηση: Διαλειτουργικότητα (Interoperability)	[3]
ISA100.11a	Επικοινωνία, Αυτοματισμός	Απαίτηση: Διαλειτουργικότητα (Interoperability)	[3]
IEEEP2030	Μεταφορά δεδομένων	Απαίτηση: Διαλειτουργικότητα (Interoperability)	[3][32]
ANSIC12.22	Μεταφορά δεδομένων, υποσταθμοί, ασφάλεια.	Απαίτηση: Διαλειτουργικότητα (Interoperability)	[3]
ITU-TG.9955 και G.9956	Επικοινωνία, Επίπεδο εφαρμογής	Απαίτηση: Διαλειτουργικότητα (Interoperability)	[3]
IEC 1377-2012	Μεταφορά δεδομένων, Μοντέλο πληροφοριών.	Απαίτηση: Διαλειτουργικότητα (Interoperability)	[32]
IEC 62351	Ασφάλεια	Απαίτηση: Ασφάλεια (Security)	[3][5]
IEEEC37.118	Ασφάλεια, Επικοινωνία	Απαίτηση: Ασφάλεια (Security)	[3]
IEEE 1686-2013	Ασφάλεια	Απαίτηση: Ασφάλεια (Security)	[5][32]

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Z. Fan, P. Kulkarni, S. Gormus, C. Efthymiou, G. Kalogridis, M. Sooriyabandara, Z. Zhu, S. Lambotharan, and W. H. Chin, "Smart Grid communications: overview of research challenges, solutions, and standardization activities," *IEEE communications surveys & tutorials*, vol. 15., no. 1, pp. 21-38, Jan. 2012.
- [2] D. Lindley, "The energy storage problem," *Nature*, vol. 463, Jan. 2010.
- [3] V. C. Güngör, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergüt., C. Buccella, C. Ceacati, and G. P. Hancke, "Smart Grid technologies: communication technologies and standards," *IEEE transactions on industrial informatics*, vol. 7, no. 4, pp. 529-539, Nov. 2011.
- [4] N. S. Nafi, K. Ahmed, M. A. Gregory, and M. Datta, "A survey of Smart Grid architectures, applications, benefits and standardization," *Journal of network and computer applications*, vol. 76, pp. 23-36, 2016.
- [5] M. G. Kanabar, I. Voloh, and D. McGinn, "Reviewing Smart Grid Standards for Protection, Control, and Monitoring Applications," presented at 65th Annual conference for protective relay engineers, College Station, TX, USA, 2012.
- [6] X. Fang, S. Misra, G. Xue, and D. Yang, "Smart Grid – the new and improved power grid: a survey," *IEEE communications surveys & tutorials*, vol. 14, no. 4, pp. 944-980, 4<sup>th</sup> Quarter 2012.
- [7] N. Shaukat, S.M. Ali, C.A. Mehmood, B. Khan, M. Jawad, U. Farid, Z. Ullah, S.M. Anwar, and M. Majid, "A survey on consumers empowerment, communication technologies, and renewable generation penetration within Smart Grid," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 81, pp. 1453-1475, 2018.
- [8] Z. Soufiane, B. Slimane, and E. Abdeslam, "A synthesis of communication architectures and services of Smart Grid systems," presented at 3rd International conference on systems of collaboration (SysCo), Casablanca, Morocco, 2016.
- [9] National Institute of Standards and Technology. NIST framework and roadmap for smart grid interoperability standards, release 1.0, January 2010. [Online]. Available: [http://www.nist.gov/publicaffairs/releases/upload/smartgrid\\_interoperability\\_final.pdf](http://www.nist.gov/publicaffairs/releases/upload/smartgrid_interoperability_final.pdf).
- [10] The Smart Grid: An Introduction, 2010. U.S. Department of Energy (DOE), Technical Report. [Online] Available: [http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE\\_SG\\_Book\\_Single\\_Pages%281%29.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE_SG_Book_Single_Pages%281%29.pdf).
- [11] West Virginia Smart Grid Implementation Plan (WV SGIP) Project: APERC Report on Assessment of As-Is Grid by Non-Utility Stakeholders, December 2009.
- [12] NIST Framework And Roadmap For Smart Grid Interoperability Standards, 2010. NIST (ed.).
- [13] IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads, 2011. IEEE Std 2030, pp. 1-126.
- [14] Fang, X., Misra, S., Xue, G., Yang, D., 2012. Smart grid - the new and improved power grid: a survey. *Commun. Surv. Tutor.*, IEEE 14, 944–980.

- [15] K. Wang, X. Xu, H. Li, P. Li, D. Zeng, and S. Guo, "A Survey on Energy Internet Communications for Sustainability," *IEEE transactions on sustainable computing*, vol. 2, no. 2, pp. 231-254, Jul.-Sep. 2017.
- [16] Tong, Jizhou, Weiqing Sun, and Lingfeng Wang. "An information flow security model for home area network of smart grid." *Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems (CYBER)*, 2013 IEEE 3rd Annual International Conference on. IEEE, 2013.
- [17] Popovic, Zoya, and V. Cackovic. "Advanced metering infrastructure in the context of smart grids." *Energy Conference (ENERGYCON)*, 2014 IEEE International. IEEE, 2014.
- [18] ITU-T, "Smart Grid overview" deliverable, FOCUS GROUP ON SMART GRID Smart-O-34Rev.4, 2011.11
- [19] Ekanayake, Janaka, et al. *Smart grid: technology and applications*. John Wiley & Sons, 2012.
- [20] Bruno, Sergio, et al. "Unbalanced three-phase optimal power flow for smart grids." *Industrial Electronics, IEEE Transactions on* 58.10 (2011): 4504-4513.
- [21] M. Ghorbanian, S. H. Dolatabadi, M. Masjedi, and P. Siano, "Communication in Smart Grids: a comprehensive review on the existing and future communication and information infrastructures," *IEEE systems journal*, vol. 13, no. 4, pp. 4001-4014, Dec. 2019.
- [22] V. G. Gungor, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergut, C. Buccella, C. Cecati, and G. P. Hancke, "A survey on Smart Grid potential applications and communication requirements," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 9, no. 1, pp. 28-42, Feb. 2013.
- [23] S. Goldfisher and S. Tanabe, "IEEE 1901 access system: An overview of its uniqueness and motivation," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 10, pp. 150–157, Oct. 2010.
- [24] T.V. Arun, L. Lathesh, and A.R. Suhas, "Substation Automation System," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 7, no. 5, May, 2016.
- [25] Y. Yan, Y. Qian, H. Sharif, and D. Tipper, "A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements and Challenges," *IEEE communications surveys & tutorials*, vol. 15, no. 1, pp. 5-20, Feb. 2012.
- [26] V. C.Gungor, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergut, C.Buccella, C.Cecati, and G. P. Hancke, "Smart Grid and Smart Houses: Key players and pilot projects," *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 6, no. 4, Dec. 2012.
- [27] S. Paudyal, C. Canizares, and K. Bhattacharya, "Optimal operation of distribution feeders in smart grids," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 10, pp. 4495–4503, Oct. 2011.
- [28] T. Sauter and M. Lobashov, "End-to-End communication architecture for smart grids," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 4, pp. 1218–1228, Apr. 2011.
- [29] A. Zaballos, A. Vallejo, and J. M. Selga, "Heterogeneous communication architecture for the smart grid," *IEEE Network*, vol. 25, no. 5, pp. 30–37, Sep.–Oct. 2011.
- [30] *Communications Requirements of Smart Grid Technologies*. Washington, DC: Dept. Energy, 2010.
- [31] O. Khaled, A. Marín, F. Almenares, P. Arias and D. Díaz, "Analysis of secure TCP/IP profile in 61850 based substation automation system for smart grids," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Article ID 5793183, 2016.
- [32] E. Y. Song, C. Nguyen, and A. Gopstein, "Review of Smart Grid Standards for Testing and Certification Landscape Analysis," *National Institute of Standards and Technology, Tech. Note (NIST TN) 2042*, Apr. 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.2042>

- [33] IEEE SA, "IEEE Standards Activities in the Smart Grid Space (ICT Focus)," IEEE, 2021.
- [34] K. Wang, X. Xu, H. Li, P. Li, D. Zeng, and S. Guo, "A Survey on Energy Internet Communications for Sustainability," IEEE transactions on sustainable computing, vol. 2, no. 2, pp. 231-254, Jul.-Sep. 2017.
- [35] A. Rock, "Smart grid standards-meter reading and control using IEC 61968-9," 2010. [Online]. Available: <http://www.archrock.com/blog/tag/iec/>
- [36] J. Obert, P. Cordeiro, J. Johnson, G. Lum, T. Tansy, M. Pala, and R. Ih, "Recommendations for trust and encryption in DER interoperability standards," Sandia National Laboratories, SANDIA REPORTSAND2019-1490, Feb. 2019.
- [37] V. C. Gungor, D. Sahin, T. Kocak, and S. Ergüt, "Smart grid communications and networking," Türk Telekom, Tech. Rep. 11316-01, Apr. 2011.
- [38] Z. Zhang, S. Gong, A.D. Dimitrovski, and H. Li., "Time synchronization attack in smart grid part i: impact and analysis," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 4, no. 1, pp. 87-98, Jan. 2013.
- [39] A. Gopstein, "The grid transformation forum | An introduction to the NIST Smart Grid interoperability framework," EE Online, [Online]. Available: <https://electricenergyonline.com/energy/magazine/1303/article/The-Grid-Transformation-Forum-An-Introduction-to-the-NIST-Smart-Grid-Interoperability-Framework.htm>
- [40] M/441 EN, "Standardization mandate to CEN, CENELEC and ETSI in the field of measuring instruments for the development of an open architecture for utility meters involving communication protocols enabling interoperability," European Commission - Enterprise and Industry Directorate-General, 2009.
- [41] Smart Meters Co-ordination Group (SM-CG), "Interim response report to M/441," Dec. 2009
- [42] F.K. Banaseka, P.K. Kudjo, and A.K. Wornyo, "A survey of new development in cyber security and networks," Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST), vol. 4, no. 1, Jan. 2017.
- [43] IEEE Standard for a precision clock synchronization protocol for networked measurement and control systems, IEEE Std 1588-2008.
- [44] S.P. Sunddararaj, S.S. Rangarajan, and S. Gopalan, "Neoteric fuzzy control stratagem and design of chopper fed multilevel inverter for enhanced voltage output involving plug-in electric vehicle (pev) applications," electronics, vol. 8, no. 1092, 2019.