

Τ.Ε.Ι. ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ - ΣΠΑΡΤΗ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε.
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΈΞΥΠΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ (SMART
GRIDS) ΚΑΙ Η ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΑ ΚΥΒΕΡΝΟ-ΦΥΣΙΚΑ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (CYBER PHYSICAL SYSTEMS)

Επιβλέπων Καθηγητής: Μακροδημήτρης Γεώργιος

Φοιτητής: Δάγκαρης Παναγιώτης

ΑΜ: 2008110

Σπάρτη, Ιούνιος 2014

Copyright © Δάγκαρης Γεώργιος Παναγιώτης, 2014.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightsreserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Τ.Ε.Ι. Πελοποννήσου.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ

1.

2.

3.

Υπεύθυνη Δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς, είτε παραφρασμένες. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Πελοποννήσου.

Ο συγγραφέας,

Δάγκαρης Παναγιώτης

Ευχαριστίες

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κύριο Μακροδημήτρη Γεώργιο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την ανάθεση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες απευθύνω σε όλους τους καθηγητές που είχα όλα τα χρόνια της μέχρι στιγμής ακαδημαϊκής μου ζωής, για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν και με έκαναν καλύτερο άνθρωπο.

Τέλος οφείλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υπομονή τους και την κοπέλα μου για την στήριξή της με αποτέλεσμα να είναι πηγή έμπνευσης για μένα.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	7
Περίληψη.....	13
Εισαγωγή.....	15
Κεφάλαιο 1 Κυβερνο-φυσικά συστήματα.....	19
1.1 Εισαγωγή στα κυβερνο-φυσικά συστήματα.....	19
1.2 Τι οδήγησε τον άνθρωπο στην ανάγκη για κυβερνο-φυσικά συστήματα.....	19
1.3 Τομείς εφαρμογής των κυβερνο-φυσικών συστημάτων.....	21
1.3.1 Ο τομέας της ενέργειας.....	21
1.3.2 Ο τομέας των μεταφορών.....	22
1.3.3 Ο τομέας της υγείας.....	24
1.3.4 Ο τομέας της ασφάλειας συστημάτων.....	25
1.4 Πώς ορίζονται τα κυβερνο-φυσικά συστήματα.....	26
Κεφάλαιο 2 Εφαρμογές των κυβερνο-φυσικών συστημάτων.....	31
2.1 Εισαγωγή στις εφαρμογές κυβερνο-φυσικών συστημάτων.....	31
2.2 Εφαρμογές στην υγεία.....	31
2.3 Εφαρμογές στην ενέργεια.....	34
2.3.1 Κτήριο μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου.....	34
2.3.2 Έξυπνες συσκευές.....	36
2.3.3 Έξυπνοι μετρητές και συστήματα διαχείρισης της ενέργειας.....	37
2.4 Εφαρμογές στις μεταφορές.....	38
2.4.1 Εφαρμογές στο αυτοκίνητο.....	38
2.4.2 Εφαρμογές στα τρένα.....	39
2.4.3 Εφαρμογές στα ποδήλατα.....	40
2.4.4 Εφαρμογές για αεροπλάνα.....	41
Κεφάλαιο 3 Έξυπνα Δίκτυα Ηλεκτρονικής Ενέργειας.....	43
3.1 Εισαγωγή.....	43
3.2 Αναγκαιότητα ανάπτυξης και χρήσης του Smart Grid.....	43
3.3 Ανάπτυξη του Smart Grid.....	44
3.4 Λειτουργικά χαρακτηριστικά του Smart Grid.....	44
3.5 Τα δομικά συστατικά του Smart Grid.....	47
3.5.1 Έξυπνοι μετρητές.....	47
3.5.2 Κέντρα διαχείρισης του ελέγχου.....	48
3.5.3 Έξυπνο δίκτυο διανομής.....	50

3.6 Τομείς εφαρμογής Smart Grid.....	52
3.6.1 Επαναφορτιζόμενα ηλεκτρικά οχήματα.....	53
3.6.2 Συμμετοχή του καταναλωτή.....	56
3.6.3 Έξυπνο Σπίτι (Smart Home)	60
3.6.4 Παραγωγή, διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας.....	66
3.7 Εξέλιξη σε παγκόσμιο επίπεδο του Smart Grid.....	68
3.7.1 Αυστραλία	68
3.7.2 Καναδάς.....	71
3.7.3 Ευρωπαϊκή Ένωση	73
3.7.4 Ιαπωνία.....	77
3.8 Επίλογος	80
Κεφάλαιο 4 Προκλήσεις στην ανάπτυξη του Smart Grid.....	81
4.1 Εισαγωγή	81
4.2 Τεχνικές προκλήσεις.....	81
4.2.1 Έλλειψη κατάλληλης τεχνολογίας	82
4.2.2 Συμπληρωματική με την παρούσα τεχνολογία.....	82
4.2.3 Η έλλειψη της διαλειτουργικότητας	83
4.2.4 Η ασφάλεια των νέων τεχνολογιών	84
4.2.5 Σκεπτικισμός σχετικά με τις δυνατότητες και τη μελλοντική εξέλιξη της νέας τεχνολογίας	85
4.3 Οικονομικές προκλήσεις	86
4.3.1 Αδυναμία προσέλκυσης επενδύσεων	86
4.3.2 Αβεβαιότητα μακροπρόθεσμης δυνατότητας κέρδους.....	87
4.3.3 Αβεβαιότητα εσόδων	88
4.4 Γνωστικά-θεσμικά εμπόδια.....	89
4.4.1 Έλλειψη της γνώσης	89
4.4.2 Ρυθμιστικές ελλείψεις.....	90
4.4.3 Απουσία των κεντρικών φορέων συντονισμού	91
4.5 Εμπόδια αφομοίωσης της νέας τεχνολογίας	92
4.5.1 Έλλειψη πληροφοριών	92
4.5.2 Οικονομικά εμπόδια των καταναλωτών.....	93
4.5.3 Εμπόδια στην εγκατάσταση έξυπνων μετρητών	93
4.6 Επίλογος	95
Κεφάλαιο 5 Ασφάλεια στο Smart Grid.....	96

5.1	Ορισμός ασφάλειας	96
5.2	Κυριότερες προκλήσεις	96
5.3	Κύριες ιδιότητες ασφάλειας	97
5.4	Τρόποι αντιμετώπισης του θέματος της ασφάλειας	99
5.5	Κίνδυνοι στο Smart Grid	99
5.6	Κύριοι τύποι επιθέσεων	101
5.7	Επιθέσεις φυσικές, ηλεκτρονικές και συνδυασμός των δύο αυτών.....	103
5.7.1	Φυσικές απειλές	103
5.7.2	Ηλεκτρονικές απειλές	104
5.7.3	Συνδυασμένες απειλές	104
5.7	Κατηγοριοποίηση επιθέσεων σύμφωνα με το κίνητρο, τον αριθμό των επιτιθέμενων και τον στόχο	104
5.8	Τύποι φορτίου προσβάσιμοι μέσω Διαδικτύου και θέματα ασφάλειας ασυρμάτων δικτύων και έξυπνων μετρητών	105
5.9	Υπολογισμός κατάστασης, επίθεσης φορτίου και συνέπειες	107
5.10	Μεθοδολογία μια επίθεσης	109
5.11	Πρόγραμμα απόκρισης σε έκτακτη ζήτηση	110
5.13	Σύστημα εντοπισμού εισβολέων	111
5.14	Μηχανισμός εντοπισμού ανωμαλιών	112
5.15	Ταυτότητα, διαχείριση κλειδιών και κρυπτογράφηση	113
5.16	Προστασία προσωπικών πληροφοριών.....	114
5.17	Επίλογος	115
Κεφάλαιο 6	Χρήσιμα συμπεράσματα	117
6.1	Εισαγωγή	117
6.2	Συμπεράσματα της χρήσης κυβερνο-φυσικών συστημάτων	117
6.3	Συμπεράσματα της χρήσης του Smart Grid	118
6.4	Μελλοντικές εξελίξεις	120
6.5	Επίλογος	121
Πίνακας	Λέξεων.....	122
Βιβλιογραφία	123

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1Κυβερνο-φυσικά συστήματα	276
Εικόνα 2Λειτουργία CardioNet.....	33
Εικόνα 3HAN(Home Area Network) NAN(Neighborhood Area Network)	101
Εικόνα 4Denial-of-Service (DoS).....	102
Εικόνα 5 Man-in-the-middle	102
Εικόνα 6 Spoofing.....	103
Εικόνα 7 Eavesdropping	103
Εικόνα 8Σύστημα εντοπισμού εισβολέων	112

Περίληψη

Θέμα της παρούσης πτυχιακής εργασίας είναι: "Μελέτη της χρήσης των Έξυπνων Δικτύων (Smart Grids) και η ασφάλειά τους στα Κυβερνο-φυσικά Συστήματα (Cyber - Physical Systems)". Οι στόχοι της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι δύο, αφενός μεν η ακριβής παρουσίαση των κυβερνο-φυσικών συστημάτων και αφετέρου η ανάλυση των χαρακτηριστικών τομέων εφαρμογής των συστημάτων αυτών.

Επιπροσθέτως, θα περιγραφεί ο τρόπος βάσει του οποίου τα συστήματα αυτά μετατρέπουν τα ήδη υπάρχοντα ενεργειακά δίκτυα σε έξυπνα δίκτυα παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας ώστε να ανταποκρίνονται επαρκώς στην αντιμετώπιση του σύγχρονου κρίσιμου προβλήματος της ολοένα αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης.

Παρότι τα παραδοσιακά ενσωματωμένα συστήματα είναι πράγματι ικανά να εκτελέσουν μεγάλη ποικιλία εργασιών, στην πράξη όμως διαπιστώνεται ότι δεν είναι αποδοτικά και παρίσταται η ανάγκη για μία μεγάλη εύρους μετεξέλιξη.

Το επόμενο βήμα στον τομέα των υπολογιστικών συστημάτων θα είναι τα κυβερνο-φυσικά συστήματα και ως εκ τούτου οι επιστήμονες παγκοσμίως μελετούν και επιδιώκουν να κατασκευάσουν τα κατάλληλα εκείνα συστήματα τα οποία να μπορούν να συνδυάζουν την επιστήμη της πληροφορικής, δυνατότητες υπολογισμών και διατύπωσης, αλλά και δεδομένα, που θα συλλέγονται με ποικίλους τρόπους απευθείας από το φυσικό περιβάλλον.

Στα κυριότερα πεδία εφαρμογής των κυβερνο-φυσικών συστημάτων κατατάσσονται η παραγωγή, η διαχείριση και μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και οι υπηρεσίες υγείας, που έχουν ως στόχο να βελτιώσουν τους όρους διαβίωσης των ασθενών.

Ένας άλλος τομέας, εκτός των όσων αναφέρθηκαν, είναι και αυτός των μεταφορών, όπου τα κυβερνο-φυσικά συστήματα θα έχουν ευρύτατη εφαρμογή στην βελτίωση των λειτουργιών και της απόδοσης των μέσων μεταφοράς, καθώς και την εξασφάλιση της ασφάλειας των επιβατών.

Παρόλα αυτά, τα σπουδαιότερα επιτεύγματα έχουν πραγματοποιηθεί στον ενεργειακό τομέα, όπου την πρωτεύουσα θέση κατέχει το ευφυές δίκτυο παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας (smart grid).

Το smart grid είναι ένα έξυπνο εκσυγχρονισμένο δίκτυο ενέργειας που θα επιτρέπει την αμφίδρομη ροή ενέργειας και πληροφορίας από τον πελάτη προς τον ενεργειακό πάροχο και αντιστρόφως θα αξιοποιεί αποδοτικότερα την καθαρή ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές και θα μπορεί να επιλύει ή να προλαμβάνει τα προβλήματα τεχνικής φύσεως, που προκύπτουν από μόνα τους και χωρίς την ανθρώπινη βοήθεια.

Τη μεγαλύτερη πρόοδο πάνω στο smart grid έχουν σημειώσει οι Η.Π.Α. και ακολουθούν άλλες χώρες, όπως η Αυστραλία, ο Καναδάς, η Ιαπωνία και η Ευρωπαϊκή Ένωση.

Το smart grid, όπως και κάθε σπουδαίο τεχνολογικό επίτευγμα, έχει και αυτό τις προκλήσεις και τα τεχνικά του προβλήματα, που προσδοκείται να επιλυθούν στο μέλλον.

Συμπερασματικά, μέσω των κυβερνο-φυσικών συστημάτων και ιδιαιτέρως του smart grid, αναμένεται μια επανάσταση στον τρόπο αλληλεπίδρασης μεταξύ των ανθρώπων και των μηχανών, αλλά και στον τρόπο χρήσης της ηλεκτρονικής ενέργειας.

Εισαγωγή

Η ανάγκη εξεύρεσης νέων τρόπων παραγωγής και διαχείρισης της ενέργειας οδήγησε την επιστημονική έρευνα στη δημιουργία των σημερινών κυβερνο-φυσικών συστημάτων υψηλής δυναμικής, αλλά και υψηλού βαθμού πολυπλοκότητας. Η δυναμική των κυβερνο-φυσικών συστημάτων αποδεικνύεται σήμερα πολύ μεγαλύτερη, από όση είχε εκτιμηθεί αρχικά.

Γενικά, μέσω των κυβερνο-φυσικών συστημάτων, επιδιώκεται η κατασκευή νέων αξιόπιστων συστημάτων βιομηχανικής παραγωγής, τα οποία μπορούν να προσαρμοστούν ιδιαίτερα δυναμικά στις ειδικές απαιτήσεις της παραγωγής και της ανάπτυξης. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο για την επικοινωνία και τον τεχνολογικό πολιτισμό θα διαδραματίσει η ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας πολύπλοκων τεχνολογικών συστημάτων δικτύωσης και αποδοχής.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως κύριο σκοπό την ανάλυση της λειτουργίας των κυβερνο-φυσικών συστημάτων και των βασικών πεδίων εφαρμογής τους, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο τα συστήματα αυτά δίνουν λύσεις σε σημαντικά ζητήματα της καθημερινής ζωής, π.χ. στην υγεία, τις μεταφορές, την παραγωγή και την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο κεφάλαιο 1 αναλύεται η ανάγκη των ανθρώπων για την ύπαρξη και λειτουργία των κυβερνο-φυσικών συστημάτων και πώς αυτοί άρχισαν την μελέτη και την προσπάθεια να τα συνθέσουν. Εν συνεχεία θα οριστεί το τί συνιστά το κυβερνο-φυσικό σύστημα και τί το ενσωματωμένο και θα προσδιοριστεί η διαφορά τους. Στο τέλος θα αναφερθούν εν συντομία οι κυριότεροι τομείς των κυβερνο-φυσικών συστημάτων.

Στο κεφάλαιο 2 θα αναφερθούν μερικές σημαντικές προσπάθειες στους κυριότερους τομείς των κυβερνο-φυσικών συστημάτων. Εν συνεχεία θα αναλυθούν εφαρμογές στην υγεία, την ενέργεια και τις μεταφορές. Συγκεκριμένα στον τομέα της υγείας θα παρουσιαστεί μια εφαρμογή για ένα σύστημα τεχνητής καρδιάς, ένα ιατρικό σύστημα παρακολούθησης ασθενών και παροχής υπηρεσιών υγείας και οι ιατρικές συσκευές απευθείας σύνδεσης και λειτουργίας. Στον ενεργειακό τομέα θα παρουσιαστούν οι ευφυείς μετρητές, οι έξυπνες συσκευές καθώς και τα κτήρια μηδενικού ενεργειακού

ισοζυγίου. Τέλος στον τομέα των μεταφορών θα παρουσιαστούν εφαρμογές στο αυτοκίνητο, το τρένο, το αεροσκάφος και το ποδήλατο.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται λεπτομερής ανάπτυξη και παρουσίαση του smart grid. Θα προηγηθεί μια αναφορά στην αναγκαιότητα της ύπαρξης και της ανάπτυξης του smart grid. Εν συνεχεία θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα δομικά του συστατικά, τα λειτουργικά του χαρακτηριστικά, οι λειτουργίες που αυτό εκτελεί και οι κυριότεροι τομείς της εφαρμογής του. Ακολούθως θα παρουσιαστούν συγκεκριμένες εφαρμογές σε αυτούς τους τομείς και θα αναλυθούν περαιτέρω μέσω παραδειγμάτων κάποια από τα χαρακτηριστικά τους. Τέλος θα παρουσιαστούν παρόμοιες προσπάθειες ανάπτυξης συστημάτων με την αμερικάνικη μέθοδο σε άλλες περιοχές του κόσμου.

Στο κεφάλαιο 4 θα αναφερθούν οι προκλήσεις και τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται κατά την ανάπτυξη του smart grid. Επίσης θα παρουσιαστούν τα εμπόδια σχετικά με το smart grid αυτό καθεαυτό, αλλά και εμπόδια που δημιουργούνται από τους διάφορους εμπλεκόμενους με αυτό (καταναλωτές, οργανισμούς, επιχειρήσεις και κυβερνήσεις). Τα εμπόδια αυτά έχουν ταξινομηθεί σε τέσσερες βασικές κατηγορίες: Στην πρώτη βρίσκονται τα εμπόδια τεχνικής φύσεως αλλά και δυσκολίες ανάπτυξης του smart grid. Στη δεύτερη οι οικονομικές προκλήσεις, που σχετίζονται με τις επιχειρήσεις και την έλλειψη επενδύσεων στις σχετικές τεχνολογίες. Στην τρίτη κατηγορία τα εμπόδια γνωστικής και τεχνικής φύσεως. Τα εμπόδια αυτά δημιουργούνται κυρίως λόγω της έλλειψης των σχετικών νόμων και ρυθμίσεων, δεδομένου ότι ένα τέτοιο εγχείρημα είναι πρωτόγνωρο, αλλά και λόγω της έλλειψης συντονισμού από έναν ορισμένο κεντρικό οργανισμό, π.χ. IEEE. Τέλος, στην τελευταία κατηγορία εντάσσονται τα εμπόδια αφομοίωσης της νέας τεχνολογίας από τους ίδιους τους καταναλωτές οι οποίοι έχουν μέχρι στιγμής εξοικειωθεί με τα συμβατικά ηλεκτρικά δίκτυα και το συγκεκριμένο τρόπο κατανάλωσης ενέργειας.

Στο κεφάλαιο 5 θα αναφερθούμε στην ασφάλεια στο Smart Grid. Θα αναφερθούν κίνδυνοι που δημιουργούνται, τύποι επιθέσεων. Ακόμα σημαντικές προκλήσεις και τρόποι αντιμετώπισης ασφάλειας, όπως σύστημα εντοπισμού εισβολών ή μηχανισμός εντοπισμού ανωμαλιών. Τέλος θα αναφερθούμε στην προστασία προσωπικών πληροφοριών καθώς και ιδιωτικότητας.

Στο κεφάλαιο 6 ανακεφαλαιώνονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την χρήση των κυβερνο-φυσικών συστημάτων και ειδικότερα του smart grid. Παράλληλα θα καταβληθεί προσπάθεια να καταδειχθούν τομείς βελτίωσης και να προβλεφθούν οι μελλοντικές εξελίξεις των συστημάτων αυτών.

Κεφάλαιο 1 Κυβερνο-φυσικά συστήματα

1.1 Εισαγωγή στα κυβερνο-φυσικά συστήματα

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούν οι λόγοι και οι ανάγκες, ένεκα των οποίων κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία των κυβερνο-φυσικών συστημάτων και θα αναλυθούν τα πλεονεκτήματα τα οποία παρουσιάζουν σε σχέση με τα πιο κλασικά πληροφοριακά συστήματα. Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί ο σκοπός της εργασίας, ο οποίος είναι η κατάδειξη της αναγκαιότητας των κυβερνο-φυσικών συστημάτων, ώστε να δοθεί λύση στα προβλήματα ανεπάρκειας που αντιμετωπίζει το λογισμικό στην σύγχρονη εποχή, για να μπορέσει να συμβαδίσει με τις δυνατότητες που παρέχονται από το υλικό. Θα αναφερθούν οι διάφοροι τομείς στους οποίους βρίσκονται τα κυβερνο-φυσικά συστήματα πολλαπλές εφαρμογές. Στο τέλος του κεφαλαίου θα οριστεί τί είναι ένα κυβερνο-φυσικό σύστημα και θα γίνει σύγκριση με τα ήδη υπάρχοντα συστήματα εν χρήσει και εξέταση του πότε ένα ενσωματωμένο σύστημα αποτελεί κυβερνο-φυσικό σύστημα και πότε όχι και ποιά είναι τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά με τα οποία εντάσσονται στην κατηγορία των κυβερνο-φυσικών συστημάτων.

1.2 Τι οδήγησε τον άνθρωπο στην ανάγκη για κυβερνο-φυσικά συστήματα

Το διαδίκτυο, παρά την ανάπτυξη του κρίθηκε ως παρωχημένο και ανεπαρκές σύστημα διότι παραμένει ένα ευδιάκριτο χάσμα ανάμεσα στον ψηφιακό κόσμο μέσω του οποίου διαβιβάζονται και τροποποιούνται οι πληροφορίες, και στον φυσικό κόσμο στον οποίο ζουν οι άνθρωποι. Μετά την πάροδο των δύο τελευταίων δεκαετιών σημειώθηκε μία ψηφιακή επαναστατική αλλαγή, που άλλαξε ριζικά την βιομηχανία. Αυτή η αλλαγή προήλθε από την αναγκαιότητα για θεμελιώδης οικονομικές και τεχνολογικές τάσεις μακροπρόθεσμες, που ήγειραν την απαίτηση για ένα ευρύ όσο και ποικίλο φάσμα νέων δυνατοτήτων. Παρέχεται πλέον η δυνατότητα ενσωμάτωσης της πληροφορικής και των δυνατοτήτων επικοινωνίας σε κάθε τύπο αντικειμένου και δομών στο φυσικό περιβάλλον με τεράστιες κοινωνικές και επωφελείς οικονομικές επιπτώσεις.

Τα συστήματα τα οποία θα γεφυρώσουν το χάσμα μεταξύ του ψηφιακού κόσμου των υπολογιστών και των επικοινωνιών με το φυσικό αναφέρονται ως κυβερνο-φυσικά συστήματα. Τα κυβερνο-φυσικά συστήματα είναι φυσικά και μηχανικά συστήματα των οποίων οι λειτουργίες παρακολουθούνται συντονίζονται, ελέγχονται ενσωματώνονται σε ένα υπολογιστικό και επικοινωνιακό πυρήνα. Αυτή η σύνδεση ψηφιακού και φυσικού κόσμου εκδηλώνεται ως ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, ξεκινώντας από τον νάνο-κόσμο έως μεγάλης κλίμακας και ευρείας περιοχής συστήματα[1].

Τα κυβερνο-φυσικά συστήματα αναμένεται να αλλάξουν δραστικά τον τρόπο που άνθρωποι θα αλληλεπιδρούν και θα ελέγχουν το φυσικό τους περιβάλλον όπως προηγουμένως το διαδίκτυο μετέτρεψε τον τρόπο αλληλεπίδρασης και επικοινωνίας μεταξύ των ανθρώπων και έφερε επανάσταση στην παροχή και πρόσβαση της πληροφορίας και αλλαγή του τρόπου αγοροπωλησίας προϊόντων και υπηρεσιών.

Μέσω της χρήσης των κυβερνο-φυσικών συστημάτων αναμένεται να βρει βέλτιστη λύση ένας μεγάλος αριθμός προκλήσεων και δυσκολιών, όπως είναι η υπερθέρμανση του πλανήτη, η αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας, η αυξανόμενη αίτηση για παροχή ιατρικών υπηρεσιών κ.λπ..

Η αναγκαιότητα για δραστικές αλλαγές σε τομείς, που ενδεικτικά αναφέρθηκαν παραπάνω, όπως την ενέργειας έχει επανειλημμένα κατά την διάρκεια συνεδριάσεων και συμποσίων στα παγκόσμια φόρουμ.

Αναφέρουμε ως παράδειγμα ότι κατά την συνεδρίαση του παγκόσμιου Επιχειρηματικού Συμβουλίου στο Πεκίνο για την βιώσιμη ανάπτυξη τον Μάρτιο του 2006, ο George David ανέφερε ότι πλέον του 90% της ενέργειας που προέρχεται από ορυκτούς πόρους δεν αξιοποιείται ενεργειακά και ότι η ανθρωπότητα θα αντιμετωπίσει παρόμοια προβλήματα στο μέλλον, τα οποία θα μπορούσε να επιλυθούν μέσω της χρήσης των κυβερνο-φυσικών συστημάτων. Στο συμπόσιο του ιδρύματος υγιεινής στο Rensselaer των Η.Π.Α., ο επικεφαλής του κέντρου ερευνών Jacobson παρατήρησε ότι τα πράσινα κτήρια παρουσιάζουν μεγάλες προοπτικές βελτίωσης. Υποστήριξε ότι είναι τεχνολογικά δυνατό να επιτευχθεί μηδενικό ισοζύγιο στην κατανάλωση ενέργειας στα κτήρια, αν συνδυαστεί η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων με την παραγωγή ενέργειας μέσω ανανεώσιμων πηγών από το ίδιο κτήριο, όπως φωτοβολταϊκά πάνελ, αιολική ενέργεια, γεωθερμία

και άλλες. Όμως για να έχει επιτυχία ένα τέτοιο εγχείρημα απαιτείται η απόλυτη ενσωμάτωση του ψηφιακού με το φυσικό κόσμο μέσω ενός κυβερνο-φυσικού συστήματος[2].

Από όσα αναφέρθηκαν προκύπτει η αναγκαιότητα όχι μόνο της αναπαράστασης του φυσικού κόσμου από την υπολογιστική επιστήμη, αλλά με την χρήση πλέον των κυβερνο-φυσικών συστημάτων έφτασε η ώρα της εξέλιξης της επιστήμης των υβριδικών συστημάτων, η οποία θα αποτελεί ταυτόχρονα τόσο υπολογιστική όσο και φυσική αναπαράσταση και αλληλεπίδραση του φυσικού περιβάλλοντος, που θα παρέχει ένα ενοποιημένο πλαίσιο αξιόπιστης ροής της πληροφορίας και της ενέργειας.

1.3 Τομείς εφαρμογής των κυβερνο-φυσικών συστημάτων

Οικυριότεροι τομείς εφαρμογής των κυβερνο-φυσικών συστημάτων είναι ο τομέας την ενέργειας, των μεταφορών, της υγείας και της ασφάλειας συστημάτων.

1.3.1 Ο τομέας της ενέργειας

Η τρέχουσα παραγωγή και μεταφορά ενέργειας συντελείται από ένα παλαιό και παρωχημένο δίκτυο όπου η ενέργεια η οποία παράγεται και μεταφέρεται, στηρίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στα ορυκτά καύσιμα.

Όμως, λόγω της σταδιακής μείωσης των διαθέσιμων ορυκτών καυσίμων και της αυξανόμενης περιβαλλοντικής ευαισθησίας, δίδεται πλέον μεγαλύτερη έμφαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αλλά και στα απαιτούμενα μέσα για την παραγωγή και αποθήκευση της ενέργειας. Αυτή η αλλαγή οδηγεί μελλοντικά σε ολοένα και ποιο ετερογενή ενεργειακά συστήματα τόσο ως προς τα είδη των πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούν, όσο και στις τοποθεσίες τους και τις δυνατότητες ισχύος που αυτά προσφέρουν. Για τέτοια συστήματα θα καταστεί αναγκαίο να είναι περισσότερο αυτόνομα όσον αναφορά στις επιθυμίες και στις ανάγκες των χρηστών τους, όπως τότε και πόση ενέργεια θα καταναλώνεται ημερησίως, πόση ενέργεια θα παράγεται και πόση θα προσφέρεται η θα ζητείται από το κοινά διασυνδεδεμένο δίκτυο διανομής. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται η τάση της αυξανόμενης ζήτησης για "πράσινες επενδύσεις", κυρίως στον ιδιωτικό τομέα, με παροχή κινήτρων από το κράτος για την παραγωγή και για την αποδοτικότερη κατανάλωση ενέργειας, που

οδηγεί σε ένα μεγάλο αριθμό ετερογενών συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Για τέτοια συστήματα όπως είναι η οικιακοί ηλιακοί συλλέκτες, οι οικιακές ανεμογεννήτριες, τα συστήματα γεωθερμίας κ.λ.π., το σύστημα του συντονισμού τους στο πλαίσιο ενός κοινού δικτύου είναι ιδιαίτερα απαιτητικό.

Παράλληλα, ο έλεγχος του δικτύου διανομής και η δυναμική αλληλεπίδραση των χρηστών με το κοινό δίκτυα υξάνει την πολυπλοκότητα του προβλήματος και δυσκολεύει την υλοποίηση προς την κατεύθυνση αυτή. Ίσως η μεγαλύτερη καινοτομία όσον αφορά στα κυβερνο-φυσικά συστήματα στον τομέα της παροχής ενέργειας, το οποίο αναπτύσσεται στις Η.Π.Α. και θα επιτρέψει την μεταφορά ενέργειας αλλά και πληροφορίες με αμφίδρομο τρόπο σε οποιοδήποτε σημείο όλης της χώρας. Ο βασικός στόχος είναι η χρησιμοποίηση της τεχνολογίας της πληροφορίας προκειμένου να μεταδίδεται ηλεκτρική ενέργεια με αξιόπιστο, ασφαλή και αποδοτικό τρόπο. Για αυτούς τους λόγους έχει αποσπάσει το χαρακτηρισμό του ενεργειακού δικτύου.

Παραδείγματα εφαρμογών που σχετίζονται άμεσα με το έξυπνο δίκτυο μεταφοράς ενέργειας αποτελούν μεταξύ άλλων η φόρτιση υβριδικών αυτοκινήτων, που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια, η καλύτερη χρήση και διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας, που χρησιμοποιούν οι καταναλωτές μέσω της διαδραστικής συμμετοχής των ίδιων των καταναλωτών, η εξοικονόμηση ενέργειας μέσω έξυπνων συσκευών και βελτίωση της αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

1.3.2 Ο τομέας των μεταφορών

Ο τομέας των μεταφορών αποτελεί βασικό πεδίο εφαρμογής των κυβερνο-φυσικών συστημάτων. Σε συστήματα αυτής της κατηγορίας, ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην ανάπτυξη εκείνων που έχουν ως κύριο γνώμονα την ασφάλεια των επιβατών και των πεζών. Καθώς το κόστος των ενσωματωμένων τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών διαρκώς μειώνεται, εδραιώθηκε η μαζική χρήση τους σε διάφορα συστήματα μηχανικής, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι δυνατότητες τους σε αυτονομία και διασύνδεση- επικοινωνία. Στα περισσότερα μέσα μεταφοράς επίγεια θαλάσσια ή εναέρια χρησιμοποιούνται πλέον μαζικά τέτοια ενσωματωμένα συστήματα. Η διαρκής αύξηση της χρήσης κυβερνο-φυσικών υποδομών σε εφαρμογές εντός και εκτός των μέσων αυτών δίνει τη δυνατότητα ώστε στο εγγύς

μέλλον να κατασκευαστούν μέσα, που θα μπορούν να "συνδέονται" μέσω ασύρματων δικτύων, με τόσο μεταξύ τους όσο και με την περιβάλλουσα υποδομή.

Υπάρχει η εκτίμηση ότι θα δοθεί η δυνατότητα να αλλάξει στην μελλοντική εφαρμογή των κυβερνο-φυσικών συστημάτων σε οχήματα, ο τρόπος μεταφοράς κάνοντάς τον ποιο αποδοτικό και ποιο ασφαλή. Τέτοια οχήματα θα αποκτήσουν ικανότητες, όπως να συντονίζουν την κυκλοφορία, να προβλέπουν και να προλαμβάνουν συγκρούσεις, να αυξάνουν την κυκλοφοριακή απόδοση και την βελτίωση της αποδοτικότητας των καυσίμων και επιπλέον θα μπορούν να επιλέγουν εναλλακτικά δρομολόγια χρησιμοποιώντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και αξιοποιώντας πληροφορίες, όπως είναι κυκλοφοριακή συμφόρηση σε τοπικό ή παγκόσμιο επίπεδο. Έτσι οι αποφάσεις των ανθρώπων χειριστών των οχημάτων θα αποβλέπουν στην βέλτιστη και ασφαλέστερη οδική συμπεριφορά.

Σχετικά με το αυτοκίνητο, που είναι το ποιο διαδεδομένο μέσο μεταφοράς διεξάγονται έρευνες για την δημιουργία κυβερνο-φυσικών συστημάτων, τα οποία, κάνοντας χρήση της τεχνολογίας των συνδεδεμένων οχημάτων (CVtech) θα προσπαθήσουν να ελαττώσουν σε σημαντικό βαθμό τα προβλήματα ασφάλειας και αποδοτικότητας των συστημάτων μεταφοράς[3]. Τον προηγούμενο αιώνα η κύρια λειτουργία των αυτοκινήτων ήταν η αποτελεσματική μετακίνηση των ανθρώπων. Άρα η βασική πρόκληση ήταν η δημιουργία οχημάτων ποιο ασφαλών και αξιόπιστων για να μπορούν να ικανοποιήσουν την ανάγκη για κινητικότητα των κοινωνιών. Το αυτοκίνητο εξελίχθηκε σε κυρίαρχο μέσο μεταφοράς ανθρώπων και εμπορευμάτων σε μεγάλες αποστάσεις. Καθώς έχει αυξηθεί η πολυπλοκότητα των απαιτήσεων για μετακίνηση και έχει εξελιχθεί ήδη δυνατότητα μεταφοράς των ανθρώπων στους προορισμούς με ασφάλεια και αξιοπιστία, συν-αυξήθηκε ανάλογα και η πολυπλοκότητα της τεχνολογίας κατασκευής στον τομέα των αυτοκινήτων. Τα οχήματα έχουν πλέον αναπτυχθεί από αμιγώς φυσικά συστήματα, που βασίστηκαν στους νόμους της μηχανικής και της χημείας σε ποιο εξελιγμένα συστήματα που ενσωματώνουν ηλεκτρονικά εξαρτήματα και συστήματα ελέγχου με κύριο στόχο την υψηλότερη απόδοση και ασφάλεια.

Κατά αυτόν τον τρόπο τα μελλοντικά αυτοκίνητα, έχοντας την δυνατότητα να επικοινωνούν με άλλα οχήματα όσο και με τις κατάλληλες οδικές υποδομές και με προσωπικές συσκευές επικοινωνίας, θα μπορούν να προσαρμόζονται ανάλογα με το

εκάστοτε εξωτερικό περιβάλλον, με άμεσο αποτέλεσμα την αποφυγή της πυκνής κίνησης και των συγκρούσεων μεταξύ τους.

1.3.3 Ο τομέας της υγείας

Ο τομέας της υγειονομικής περίθαλψης και των υπηρεσιών υγείας ανήκει στους σπουδαιότερους τομείς εφαρμογής των κυβερνο-φυσικών συστημάτων.

Λόγο της αύξησης του προσδόκιμου ζωής και της μέσης ηλικίας των πληθυσμών των χωρών, με αποτέλεσμα την διόγκωση του αριθμού των ηλικιωμένων, τα συστήματα υγείας των περισσότερων χωρών πιέζονται όλο και περισσότερο. Έτσι αυξάνονται οι απαιτήσεις σε υγειονομικό προσωπικό και πόρους, με συνέπεια να δυσκολεύει η κάλυψη τους. Αυτές οι ανάγκες πιθανόν να οδηγήσουν και σε μείωση της ποιότητας υγειονομικής περίθαλψης, λόγω της αύξησης του κόστους των υπηρεσιών υγείας αν δεν υπάρξει αποτελεσματική αντιμετώπιση. Το αυξανόμενο ποσοστό ανθρώπων ηλικίας άνω των 65 ετών των Η.Π.Α. και άλλων ανεπτυγμένων χωρών, προοιωνίζει μεγάλες αλλαγές στον τρόπο διαβίωσης και υγειονομικής περίθαλψης. Ενδεικτικά αναφέρονται παραδείγματα λύσεων, όπως η ανάπτυξη υπηρεσιών με τη χρήση τηλεματικής για κατοίκων παρακολούθηση των ασθενών και μαζική εφαρμογή υπό βοήθητικών συσκευών, που να διαδραματίσουν έναν όλο και πιο σημαντικό ρόλο στον τρόπο ζωής των ασθενών στην υποβοήθηση διαβίωσης τους και στην παροχή νοσοκομειακών υπηρεσιών, την μείωση τραυματισμών και μια σειρά άλλων υπηρεσιών. Εκτιμάται ότι η δυνατότητα της τηλε-παρουσίας μέσω πολλαπλών συσκευών, που μπορούν να λειτουργήσουν εξ' αποστάσεως μπορεί να έχει ευεργετικές επιπτώσεις στην ζωή των συγκεκριμένων ανθρώπων.

Για να επιτευχθεί όμως κάτι τέτοιο πρέπει να αλλάξει η παγιωμένη νοοτροπία, που οδηγεί στην έλλειψη εμπιστοσύνης του ασθενούς στην λειτουργία των συσκευών αυτών και την ορθότητα και την αξιοπιστία των πληροφοριών που θα μεταφερθούν. Θα πρέπει να δοθεί η δυνατότητα στον ασθενή να εμπιστευτεί ένα αριθμό πραγμάτων, όπως η ασφαλής χρήση των συσκευών τηλε-παρουσίας, η ορθή και ακριβής χρήση διαφόρων συσκευών καταγραφής συνδεδεμένων άμεσα με τον ασθενή, η έγκαιρη και αξιόπιστη μετάδοση πληροφοριών, η σταθερότητα του συνολικού συστήματος, το χαμηλό ρίσκο λήψης λανθασμένων πληροφοριών και τέλος η διασφάλιση του ιατρικού απορρήτου του ίδιου του ασθενούς.

1.3.4 Ο τομέας της ασφάλειας συστημάτων

Τα υπολογιστικά συστήματα πρέπει να είναι απολύτως ασφαλή για την ασφάλεια της οικονομίας μιας χώρας και την ποιότητα ζωής των κατοίκων. Η ανάπτυξη όμως των κυβερνο-φυσικών συστημάτων έχει και την αρνητική συνέπεια καινούργιων κινδύνων και απωλειών, καθώς τα νέα αυτά συστήματα γίνονται στόχος επιθέσεων μέσω του κυβερνοχώρου, αλλά και μέσω απευθείας επιθέσεων στις φυσικές συσκευές και τα αισθητήρια όργανα τους. Παράδειγμα τέτοιας επίθεσης θα αποτελούσε η κακόβουλη μεταβολή ενός λογισμού υπεύθυνου για την λειτουργία της συνδεσιμότητας και ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ οχημάτων, με συνέπεια τη διακοπή λειτουργίας των συστημάτων αυτών ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Μια τέτοια ενέργεια θα ήταν δυνατόν να προκαλούσε κυκλοφοριακό χάος, πολλαπλά και σοβαρά αυτοκινητιστικά ατυχήματα, παρεμπόδιση οχημάτων έκτακτης ανάγκης, αδυναμία εκτέλεσης εργασίας και άλλες σοβαρές συνέπειες. Επιπρόσθετα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι ασταθείς συνθήκες του φυσικού περιβάλλοντος, που μπορεί να προκαλέσουν φαινόμενα, όπως αλλοίωση ή καταστροφή ενός τμήματος των δεδομένων και δυσλειτουργία των φυσικών συσκευών.

Οι δύο που προαναφέρθηκαν οδήγησαν στη διεξαγωγή ερευνών για την ανάπτυξη και εφαρμογή κυβερνο-φυσικών συστημάτων, που θα εμποδίζουν, θα προλαμβάνουν και θα λειτουργούν ανεξάρτητα από αυτά τα φαινόμενα.

Από τα παραπάνω συνεπάγεται ότι ένα κυβερνο-φυσικό σύστημα, για να θεωρείται ασφαλές, θα πρέπει να λειτουργεί βάσει κάποιων συγκεκριμένων ιδιοτήτων, οι οποίες είναι: η ακεραιότητα, η διαθεσιμότητα και η αξιοπιστία, οι οποίες θα αναλυθούν στην συνέχεια[4].

Η ακεραιότητα ενός συστήματος διαπιστώνεται με την αξιοπιστία των δεδομένων και των πηγών, από τις οποίες αντλήθηκαν αυτά και διοχετεύτηκαν στο σύστημα ή προήλθαν από το σύστημα. Εάν ένας εξουσιοδοτημένος χρήστης λάβει ψευδή δεδομένα, τα οποία θα καταχωρηθούν ως αληθή, τότε παρατηρείται το φαινόμενο της εξαπάτησης. Συνεπώς η ιδιότητα της ακεραιότητας ενός συστήματος ορίζεται ως η ικανότητα της τήρησης των λειτουργικών στόχων μέσω της πρόληψης της ανίχνευσης και της επιβίωσης του συστήματος από επιθέσεις που έχουν στόχο την εξαπάτηση

όσον αφορά στις πληροφορίες που αποστέλλονται και λαμβάνονται από τους αισθητήρες, τους ελεγκτές και τους επεξεργαστές[4].

Η διαθεσιμότητα ενός συστήματος εκφράζεται ως η ικανότητα του να είναι προσβάσιμο και έτοιμο για χρήση οποιαδήποτε χρονική στιγμή απαιτηθεί. Η έλλειψη της ιδιότητας αυτής μπορεί να οδηγήσει ένα σύστημα σε φαινόμενα άρνησης υπηρεσιών, που μπορεί να εκτρέψει το σύστημα και τους χρήστες του σε άλλες απροσδιόριστες καταστάσεις. Συνεπώς η ιδιότητα της διαθεσιμότητας ενός κυβερνο-φυσικού συστήματος ορίζεται ως η ικανότητα διατήρησης των λειτουργικών του στόχων μέσω της πρόληψης και της επιβίωσης από επιθέσεις άρνησης υπηρεσίας στις πληροφορίες, που συγκεντρώνονται από δίκτυα αισθητήρων, από τις εντολές που δίνονται από τους χειριστές του και τις φυσικές ενέργειες που λαμβάνονται από τους επεξεργαστές του[4].

Εμπιστευτικότητα ενός συστήματος ορίζεται ως η ικανότητα να κρατά ασφαλείς τις πληροφορίες που αυτό διαχειρίζεται, από χρήστες που δεν έχουν την κατάλληλη εξουσιοδότηση. Η έλλειψη εμπιστευτικότητας μπορεί οδηγεί στο φαινόμενο της αποκάλυψης και διαρροής της πληροφορίας κατά το οποίο μια οντότητα μπορεί να προσπελάσει δεδομένα, στα οποία κανονικά δεν είχε πρόσβαση. Στα κυβερνο-φυσικά συστήματα, λοιπόν, η ιδιότητα της εμπιστευτικότητας θα πρέπει να εμποδίζει έναν κακόβουλο εισβολέα από τη δυνατότητα ανάκτησης ή και αλλοίωσης της κατάστασης του φυσικού τμήματος του συστήματος με το να κρυφακούει τα κανάλια επικοινωνίας, τόσο μεταξύ των αισθητήρων και των χειριστών, όσο και μεταξύ των χειριστών και των επεξεργαστών[4].

1.4 Πώς ορίζονται τα κυβερνο-φυσικά συστήματα

Μετά από την προηγηθείσα ανάλυση των βασικών τομέων εφαρμογής των κυβερνο-φυσικών συστημάτων, είναι εφικτή η διατύπωση ενός ορισμού για το τί είναι τελικά ένα κυβερνο-φυσικό σύστημα. Είναι σύνηθες το φαινόμενο να συγχέονται τα κυβερνο-φυσικά συστήματα με τα ενσωματωμένα. Στην πραγματικότητα πολλά ενσωματωμένα συστήματα μπορούν να αποτελέσουν μέρος ενός κυβερνο-φυσικού συστήματος. Συμπερασματικά τα κυβερνο-φυσικά συστήματα ορίζονται ως ολοκληρωμένα συστήματα, τα οποία ενσωματώνουν τις δυνατότητες του υπολογισμού της δικτύωσης και των φυσικών διεργασιών.

Οι ενσωματωμένοι υπολογιστές και τα δίκτυα κυβερνο-φυσικών συστημάτων παρακολουθούν και ελέγχουν τις φυσικές διεργασίες μέσω βρόγχων ανάδρασης, όπου οι φυσικές διεργασίες επηρεάζουν τους υπολογισμούς που διεξάγονται και αντιστρόφως. Οι δυνατότητες των συστημάτων σε οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο είναι υψηλότερες από αυτές των ήδη υλοποιημένων συστημάτων. Επίσης πραγματοποιούνται σημαντικές επενδύσεις σε παγκόσμιο επίπεδο για την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας[5].



Εικόνα 1Κυβερνο-φυσικά συστήματα

Η συγκεκριμένη τεχνολογία βασίζεται στην παλαιότερη τακτική των ενσωματωμένων συστημάτων, δηλαδή υπολογιστών και ενσωματωμένου λογισμικού σε συσκευές, των οποίων η κύρια λειτουργία δεν σχετίζεται με τον υπολογισμό, όπως αυτοκίνητα, ιατρικές συσκευές και επιστημονικά όργανα. Τα κυβερνο-φυσικά συστήματα ενσωματώνουν τις δυναμικές των φυσικών διεργασιών με αυτές του λογισμικού και της δικτύωσης, παρέχοντας αφηρημένα μοντέλα τεχνικής ανάλυσης και σχεδίασης για κάποιο ενοποιημένο σύνολο. Τελικά, όμως, τα κυβερνο-φυσικά συστήματα σχετίζονται με την τομή και όχι την ένωση του φυσικού κόσμου με τον ψηφιακό. Δεν επαρκεί μια ξεχωριστή κατανόηση των φυσικών και των υπολογιστικών εξαρτημάτων, αλλά μία κατανόηση των μεταξύ τους αλληλοεπιδράσεων. Ο σχεδιασμός τέτοιων συστημάτων απαιτεί κατανόηση των κοινών δυναμικών των υπολογιστών, του λογισμικού, των δικτύων και των φυσικών διεργασιών που οδηγεί σε αποδοτικά κυβερνο-φυσικά συστήματα. Ένα ενσωματωμένο σύστημα σε αντίθεση με τα κυβερνο-φυσικά συστήματα, έχει υλοποιηθεί με σκοπό να εκτελεί ή να υποβοηθάει μια ή περισσότερες αλλά πάντοτε πολύ συγκεκριμένες λειτουργίες και αποτελεί μέρος ενός μεγαλύτερου συστήματος. Πλείστα είναι τα παραδείγματα

εφαρμογών, όπως οποιαδήποτε συσκευή διαθέτει ένα ψηφιακό ρολόι και έναν μικρό ενσωματωμένο μικρό ελεγκτή του οποίου η μοναδική εργασία είναι η απεικόνιση του ρολογιού.

Τα σύγχρονα αυτοκίνητα διαθέτουν ενσωματωμένους υπολογιστές που ελέγχουν λειτουργίες, όπως ανάφλεξη, μπλοκάρισμα των τροχών κατά το φρενάρισμα και που χρησιμοποιούν ως είσοδο δεδομένα από ένα σύνολο διαφορετικών αισθητήρων.

Οι ενσωματωμένοι υπολογιστές σπάνια διαθέτουν κάποιο σύστημα I/O διεπαφής (interface), αλλά ακόμα και αν διαθέτουν πληκτρολόγιο και μια οθόνη απεικόνισης δεν είναι πάντοτε σε θέση να κάνουν χρήση πολλών διαφορετικών τύπων δεδομένων εισόδου και εξόδου. Παράδειγμα ενσωματωμένου συστήματος με δυνατότητα εισόδου και εξόδου αποτελεί ένας συναγερμός ασφαλείας με μια οθόνη απεικόνισης υγρών κρυστάλλων και ένα πληκτρολόγιο για την εισαγωγή κάποιου κωδικού. Εν κατακλείδι, ένα ενσωματωμένο σύστημα και ένας συνδυασμός υλικού και λογισμικού που διεκπεραιώνει μια συγκεκριμένη δραστηριότητα. Είναι δε φτιαγμένο να εκτελεί κάποιες εργασίες και είναι πλήρως ή μερικώς εξαρτημένο από ανθρώπινη παρέμβαση. Ακόμα είναι σχεδιασμένο, για να επιτελέσει έναν αριθμό δραστηριοτήτων με τον πιο αποδοτικό τρόπο και να αλληλοεπιδρά με στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος, όπως το να αισθάνεται τη θερμοκρασία, να ελέγχει και να οδηγεί ένα αυτοκίνητο κ.α. [5].

Ένα ενσωματωμένο σύστημα μπορεί να προσδιοριστεί ως ένα σύστημα ελέγχου ή ένα υπολογιστικό σύστημα σχεδιασμένο να εκτελεί ένα καθορισμένο έργο. Τα πιο κοινά παραδείγματα ενσωματωμένων συστημάτων περιλαμβάνουν συσκευές MP3, συστήματα πλοήγησης αεροσκαφών και συστήματα συναγερμού εναντίων κάποιου εισβολέα. Ένα ενσωματωμένο σύστημα μπορεί επίσης να οριστεί ως ένας υπολογιστής με ένα μοναδικό σκοπό. Τα περισσότερα ενσωματωμένα συστήματα αποτελούν εφαρμογές κρίσιμου χρόνου. Αυτό σημαίνει ότι το ενσωματωμένο σύστημα λειτουργεί σε ένα περιβάλλον όπου ο χρόνος αποτελεί παράγοντα υψίστης σημασίας και τα αποτελέσματα μιας ενέργειας είναι αξιοποιήσιμα μόνο αν έχουν λάβει χώρα εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου.

Ένα σύστημα αυτόματου πιλότου σε ένα αεροσκάφος είναι ενσωματωμένο σύστημα κρίσιμου χρόνου. Αν ο αυτόματος πιλότος ανιχνεύσει ότι η σωστή λειτουργία του αεροσκάφους για κάποιο λόγο τείνει να σταματήσει τότε θα πρέπει να προχωρήσει

στη λήψη μέτρων για την διόρθωση αυτού του φαινομένου μέσα σε χιλιοστά του δευτερολέπτου, αλλιώς τα αποτελέσματα θα είναι καταστροφικά. Ενώ το σύστημα ενός αυτόματου πιλότου αποτελεί ένα ενσωματωμένο σύστημα, παρόλα αυτά δεν είναι ένα κυβερνο-φυσικό σύστημα. Αντίθετα ένα καλοσχεδιασμένο σύστημα ελέγχου πτήσης που θα επιτρέπει ορισμένα καθορισμένα αίτια συντριβής του αεροσκάφους, αποτελεί ένα πολύ καλό παράδειγμα κυβερνο-φυσικού συστήματος.

Στα παραδοσιακά αεροσκάφη ο πιλότος ελέγχει το αεροσκάφος μέσω των μηχανικών και υδραυλικών κυκλωμάτων μεταξύ των οργάνων ελέγχου στο θάλαμο διακυβέρνησης και κινουμένων επιφανειών στα φτερά και την ουρά του αεροσκάφους. Σε ένα αεροσκάφος που κάνει χρήση του συστήματος Fly-by-wire οι εντολές που δίνει ο πιλότος διέρχονται πρώτα από ένα υπολογιστή πτήσης και στη συνέχεια αποστέλλονται ηλεκτρονικά μέσω ενός δικτύου σε επεξεργαστές τοποθετημένους στα φτερά και την ουρά του αεροσκάφους. Τα αεροσκάφη που διαθέτουν το σύστημα Fly-by-wire είναι μακράν ποιό ελαφρύτερα από τα παλαιότερα και ως εκ τούτου η απόδοση τους σχετικά με την κατανάλωση καυσίμων είναι πολύ μεγαλύτερη. Επίσης είναι ποιό αξιόπιστα από τα συμβατικά και επηρεάζουν τα νέα αεροσκάφη στο να περιλαμβάνουν το σύστημα Fly-by-wire. Στα αεροσκάφη με αυτό το σύστημα λόγω της μεσολάβησης ενός υπολογιστή μεταξύ των εντολών του πιλότου ή της ουράς του, ο υπολογιστής αυτός μπορεί να τροποποιήσει τις εντολές ελέγχου των πιλότων κάτω από ορισμένες συνθήκες[6].

Συνεπώς όπως προαναφέραμε ένα ενσωματωμένο σύστημα δεν συνιστά πάντα και ένα κυβερνο-φυσικό σύστημα. Όμως, ένα κυβερνο-φυσικό σύστημα είναι σε όλες τις περιπτώσεις και ένα ενσωματωμένο σύστημα.

Εκτιμάται ότι τα κυβερνο-φυσικά συστήματα στο άμεσο μέλλον θα αποτελέσουν την εξέλιξη των ενσωματωμένων συστημάτων.

Κεφάλαιο 2 Εφαρμογές των κυβερνο-φυσικών συστημάτων

2.1 Εισαγωγή στις εφαρμογές κυβερνο-φυσικών συστημάτων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν αλλά και θα αναλυθούν οι σημαντικότερες εφαρμογές των κυβερνο-φυσικών συστημάτων στους βασικότερους τομείς. Θα παρουσιαστούν διεξοδικά εφαρμογές στους τομείς της ενέργειας την υγείας και των μεταφορών με στόχο την ανάδειξη των νεοτερισμών που αυτές εισάγουν σε κάθε πεδίο, καθώς και τις αλλαγές που αναμένεται αυτά να προκαλέσουν στο σύγχρονο τρόπο ζωής.

Στον τομέα της υγείας εξελίσσεται η τάση των κατανεμημένων κυβερνο-φυσικών συστημάτων στις ιατρικές συσκευές, που θα μπορούν να διασυνδέονται μεταξύ τους και να αλληλεπιδρούν.

Στον χώρο των εφαρμογών της ενέργειας διαπιστώνεται ότι προέχει το έργο για το κτήριο μηδενικού ισοζυγίου ενέργειας, όπου εφαρμόζονται κυβερνο-φυσικά συστήματα στον έλεγχο κατανάλωσης ενέργειας και της παραγωγής της, με στόχο ένα τέτοιο κτήριο να παράγει όση ενέργεια απαιτείται να καταναλώσει σε ένα χρόνο.

Στο τέλος θα παρουσιαστούν οι εφαρμογές των κυβερνο-φυσικών συστημάτων στον τομέα των οδικών και αεροπορικών μεταφορών με στόχο την βελτίωση της ασφάλειας των μεταφορών, την καλύτερη χρήση των υποδομών και την αποφυγή καθυστερήσεων.

2.2 Εφαρμογές στην υγεία

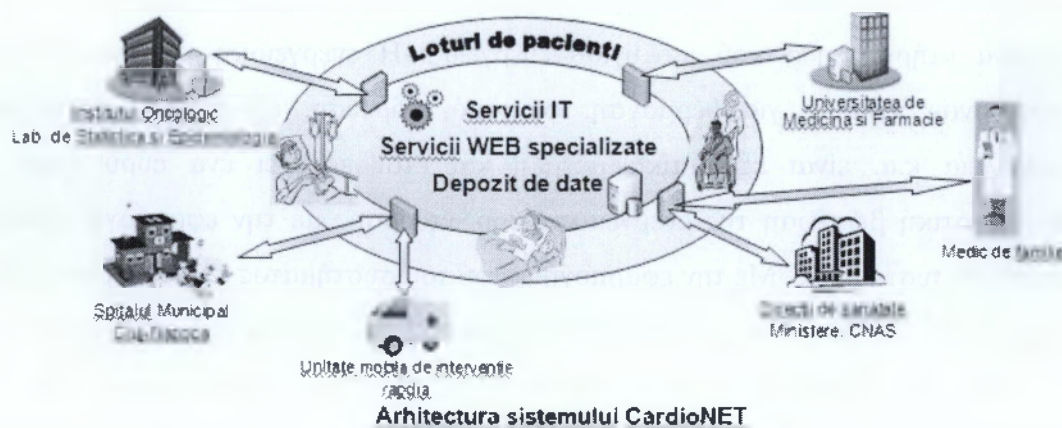
Η βιομηχανική παραγωγή ιατρικών συσκευών εμφανίζει μια εικόνα ραγδαίων εξελίξεων αξιοποιώντας τις δυνατότητες που παρέχουν το ενσωματωμένο λογισμικό και οι συνδεσιμότητα του δικτύου. Οι γιατροί και οι ασθενείς τους αντί για τις αυτόνομες συσκευές που σχεδιάζονται και χρησιμοποιούνται για θεραπεία ασθενών ανεξάρτητα η μία από την άλλη, θα πρέπει οι γιατροί και οι ασθενείς τους να εξοικειωθούν σύντομα με την χρήση κατανεμημένων κυβερνο-φυσικών συστημάτων, τα οποία θα ελέγχουν πολλές πλευρές της φυσιολογίας του ασθενούς. Ο συνδυασμός του ενσωματωμένου λογισμικού, υπεύθυνου για τον έλεγχο των συσκευών, των

δυνατοτήτων δικτύωσης και των περίπλοκων φυσικών δυναμικών των σωμάτων των ασθενών συνιστά την κατηγορία των ιατρικών κυβερνο-φυσικών συστημάτων(MCPS). Για την δημιουργία ασφαλών και αποτελεσματικών ιατρικών κυβερνο-φυσικών συστημάτων θα απαιτηθούν νέες διαδικασίες σχεδιασμού πιστοποίησης και επικύρωσης λόγω αύξησης του μεγέθους και της πολυπλοκότητας. Για το σχεδιασμό κυβερνο-φυσικών ιατρικών συστημάτων μεγαλύτερο ρόλο θα διαδραματίσει η τεχνολογία που βασίζεται σε μοντέλα. Τα μοντέλα θα πρέπει να καλύπτουν τις συσκευές και τις μεταξύ τους επικοινωνίες καθώς και τους ασθενείς και το προσωπικό νοσηλείας τους. Τέτοιο είναι το μοντέλο εικονικής καρδιάς(VirtualHeartModel) του πανεπιστημίου της Πενσυλβάνια των Η.Π.Α.. το μοντέλο αυτό προσομοιώνει τη λειτουργία της ανθρώπινης καρδιάς μέσω αυτόματων εκτεταμένου χρόνου και με τη χρήση του ηλεκτρικού συστήματος μετάδοσης της ανθρώπινης καρδιάς (humanheartelectrical conduction system)και των σημάτων που παράγονται μέσω αυτού κάνει έγκαιρη διάγνωση ασθενειών (π.χ. αρρυθμία). Το συγκεκριμένο πανεπιστήμιο έχει επίσης δημιουργήσει και ένα μοντέλο βηματοδότη με βάση τον εμφυτεύσιμο βηματοδότη για πειράματα και μετρήσεις. Το μοντέλο της εικονικής καρδιάς θα μπορούσε να εξελιχθεί και, αφού προσαρμοστεί στον βηματοδότη κάποιου ασθενούς, θα μπορεί να ενημερώνει τους γιατρούς για την κατάστασή του και για τυχόν προβλήματα της καρδιάς του που χρειάζονται άμεσα αντιμετώπιση.

Ένα άλλο σημαντικό επίτευγμα αποτελεί το κατανεμημένο πληροφοριακό σύστημα CardioNet που είναι αποτέλεσμα συνεργασίας του Πολυτεχνείου Cluj-Napoca και των τμημάτων Βιοστατιστικής και Πληροφορικής του Αντικαρκινικού Ινστιτούτου της Ρουμανίας.

Το σύστημα αυτό εκτελεί πλήθος λειτουργιών θέτει την ασθενή στο επίκεντρο και του παρέχει πολλές υπηρεσίες. Έχει στη διάθεσή του εργαλεία που εξασφαλίζουν την αλληλεπίδραση των γιατρών, των ασθενών, των νοσοκομείων, των εργαστηρίων και άλλων φορέων υγείας από απόσταση και εξασφαλίζει δια-λειτουργικότητα και ανταλλαγή δεδομένων με την μορφή XML αρχείων διαμέσου ενός λογικού Διαύλου Επικοινωνίας Υπηρεσιών Υγείας(logical domain bus). Πιο συγκεκριμένα οι λειτουργίες που παρέχει το σύστημα είναι:

1. Ανταλλαγή πληροφοριών ιατρικής φύσεως μεταξύ των επιμέρους εφαρμογών του μέσω δυνατοτήτων δικτύωσης.
2. Παροχή υπηρεσιών σε ασθενείς μέσω διαδικτύου (όπως αλληλεπίδραση με κάποιον γιατρό) με χρήση απλών περιηγητών ιστού.
3. Κεντρική διαδικτυακή πύλη για την παροχή ιατρικών υπηρεσιών ιστού όπως ο διαμοιρασμός δεδομένων του ιστορικού των ασθενών.
4. Παροχή τεχνικής λύσης καταναμημένου συστήματος με αυτόνομες ιατρικές εφαρμογές που μπορεί να υιοθετηθεί και να εφαρμοστεί από διάφορους υγειονομικούς φορείς.
5. Διευκόλυνση ασθενών των απόμακρων περιοχών και παρακολούθηση της υγείας τους και των δεδομένων του περιβάλλοντός τους, μέσω αισθητήρων προσαρμοσμένων είτε πάνω στον ασθενή ή στο περιβάλλον του και συνδεδεμένων ασύρματα με συσκευή PDA ή desktop που με τη σειρά της συνδέεται στο σύστημα CardioNet και μεταφέρει τα δεδομένα του ασθενή προς εξέταση[7].



Εικόνα 2 Λειτουργία CardioNet

Γίνεται μια σοβαρή προσπάθεια για την ανάπτυξη της δια λειτουργικότητας των ιατρικών συσκευών που θα βελτιώσει την ασφάλεια των ασθενών και θα αναπτύξει νέες θεραπείες. Η πρωτοβουλία της δια λειτουργικότητας των ιατρικών συσκευών απευθείας σύνδεσης και λειτουργίας καταγράφει και προβάλλει κλινικά σενάρια, στα οποία διαπιστώνεται ότι η δια λειτουργικότητα οδηγεί σε βελτιώσεις σε σχέση με τις ήδη υπάρχουσες πρακτικές [8].

2.3 Εφαρμογές στην ενέργεια

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξεταστούν οι σπουδαιότερες εφαρμογές των κυβερνο-φυσικών συστημάτων στον τομέα της ενέργειας. Θα αναφερθούμε στα κτήρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου (Net Zero Energy Buildings), τις έξυπνες συσκευές (smart appliances) και στους έξυπνους μετρητές (smart meters).

2.3.1 Κτήριο μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου

Διαρκώς αυξάνεται η χρήση των κυβερνο-φυσικών συστημάτων στο βασικό πεδίο της ενέργειας. Η εξυπνότερη διαχείριση της παραγωγής και της κατανάλωσης ενέργειας με αποδοτικότερο τρόπο είναι ο μείζων στόχος των συστημάτων αυτών. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα τέτοιου συστήματος που συνδυάζει την έξυπνη διαχείριση της καταναλισκόμενης ενέργειας με αυτήν της παραγόμενης, είναι τα έξυπνα κτήρια μηδενικού ισοζυγίου ενέργειας. Η ενεργειακή κατανάλωση ενός σύγχρονου κτηρίου για θέρμανση, φωτισμό, ύδρευση, εξαερισμό, επικοινωνία, ασφάλεια κ.α. είναι εξαιρετικά μεγάλη και έτσι παρέχει ένα ευρύ χώρο για αναγκαστική βελτίωση της ενεργειακής του απόδοσης με την εφαρμογή κυβερνο-φυσικού συστήματος. Με την εφαρμογή αυτού του συστήματος στα σύγχρονα κτήρια εγκαθίστανται πολύπλοκοι ενεργειακοί συνδυασμοί για την ρύθμιση του αέρα, νερού, θερμότητας, ασφάλειας του κτηρίου και την αλληλοεπίδραση τους. Τα υποσυστήματα των συστημάτων αυτών λειτουργούν συνδυαστικά με αισθητήρες ενσωματωμένους και ελεγκτικούς μηχανισμούς, ώστε οι πληροφορίες για την κατάσταση ενός υποσυστήματος να ενεργοποιούν ένα άλλο υποσύστημα για την άμεση λήψη λειτουργικών αποφάσεων. Βάση των στατιστικών, λόγω της υπάρχουσας κτηριακής υποδομής αξιοποιείται κατά προσέγγιση μόνο το 70% της καταναλισκόμενης ενέργειας. Προσιτό 40% των συνολικών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) που παράγεται ετησίως στις Ηνωμένες Πολιτείες, οφείλεται στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων. Παρίσταται, λοιπόν, επιτακτική η ανάγκη να κατασκευαστούν κτήρια, που θα λειτουργούν ως κυβερνο-φυσικά συστήματα, μέσω της ενσωμάτωσης και εφαρμογής της επεξεργασίας πληροφοριών για τον σχεδιασμό και την λειτουργία των κτηρίων. Οι ερευνητές επικεντρώνουν την έρευνα τους στην εξεύρεση τρόπου βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων. Πρωτεύων

στόχος για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων είναι η κατασκευή κτηρίων μηδενικού ισοζυγίων ενέργειας (zned). Το κτήριο μηδενικού ισοζυγίου ενέργειας παράγει με δικά του μέσα (ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) την συνολική ή περισσότερη ενέργεια από αυτή που θα καταναλώσει σε ένα χρόνο. Έτσι το ενεργειακό του ισοζύγιο θα παραμένει τουλάχιστον μηδενικό σε ετήσια βάση. Σε μια τέτοια περίπτωση, το δίκτυο ηλεκτρισμού θα ενεργεί απλώς ως ένας ενταμιευτής ενέργειας (energybuffer) ο οποίος θα επιτρέπει στην ενέργεια, που παράγεται μέσω ανανεώσιμων πηγών και που περισσεύει, να αποθηκεύεται και να χρησιμοποιείται όταν η τοπικά παραγόμενη ενέργεια του κτηρίου δεν επαρκεί να καλύψει τις ενεργειακές του ανάγκες. Αξιόλογο παράδειγμα χρήσης είναι η παραγωγή ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών ιδιαίτερα αποδοτικών όταν υπάρχει ηλιοφάνεια. Το φωτοβολταϊκό σύστημα θα παράγει την ενέργεια που υπερκαλύπτει την κατανάλωση της αναγκαίας ενέργειας του κτηρίου κατά την ημέρα και θα παρέχει το πλεόνασμα ενέργειας στο δίκτυο ηλεκτροδότησης, ενώ την νύχτα ή σε χαμηλή ηλιοφάνεια θα δέχεται την απαιτούμενη ενέργεια από το δίκτυο. Για να λειτουργεί αποτελεσματικά ένα κτήριο μηδενικού ισοζυγίου ενέργειας απαιτείται υψηλή ενεργειακή απόδοση καθώς και ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας μέσω ανανεώσιμων πηγών που θα βρίσκονται στο κτήριο. Το απαιτούμενο επίπεδο της ενεργειακή απόδοσης δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί μόνο με την βελτίωση της φυσικής υποδομής π.χ. κτηριακής μόνωσης ή χρήσης θερμομονωτικών παραθύρων ή ηλεκτρικών συσκευών υψηλής ενεργειακής απόδοσης, αλλά είναι αναγκαία η διασύνδεση του κτηρίου με έξυπνους αισθητήρες αλλά και με ένα κεντρικό σύστημα που θα έχει ως σκοπό την λήψη και αξιολόγηση των δεδομένων αυτών.

Ένα παράδειγμα εφαρμογής των κυβερνο-φυσικών συστημάτων στα κτήρια με στόχο την υλοποίηση του κτηρίου μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου συναντάμε στο πανεπιστήμιο του San Diego στην California που εφαρμόζει την τεχνολογία LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) επιδιώκοντας να μετατρέψει τα κτήρια του πανεπιστημίου σε κτήρια μηδενικού ισοζυγίου ενέργειας.

Η τεχνολογία LEED χωρίζεται σε τέσσερις τομείς:

A) Οι υπολογιστές καθώς και οι διακομιστές του πανεπιστημίου χρησιμοποιούν δύο αρχιτεκτονικές εξοικονόμησης ενέργειας με ονόματα Somniloquy και Sleepservers.

Αυτές οι αρχιτεκτονικές εφαρμογές εξοικονομούν ποσοστό ενέργειας από 60% έως 80% σε σχέση με αυτήν που καταναλώναν πριν.

Β) Με την χρήση των αποδοτικών λαμπτήρων LED η κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό μειώνεται. Μέσω ενός συστήματος διαχείρισης, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει διαφορετικά χρονικά διαστήματα στα οποία θα απενεργοποιείται ο φωτισμός αν δεν ανιχνευτεί κίνηση ανάλογα με την περιοχή φωτισμού και την ώρα.

Γ) Μειώνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις των μηχανικών υποσυστημάτων με το να προσαρμόζονται οι ρυθμίσεις του συστήματος ελέγχου του κλίματος για να γίνεται η προσαρμογή του κλιματισμού, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στην πραγματική ζήτηση αλλά και αντικατάσταση των υπάρχοντων ανεμιστήρων και αντλιών με αποδοτικότερες μονάδες. Χρήση κεντρικής διαχείρισης με τη βοήθεια αισθητήρων ανίχνευσης κίνησης και θερμοκρασίας. Έτσι επιτυγχάνεται μείωση κατανάλωσης της ενέργειας κατά 20%.

Δ) Τοποθέτηση συστοιχιών φωτοβολταϊκών στις οροφές των κτιρίων του Πανεπιστημίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε τοπικό επίπεδο.[9]

2.3.2 Έξυπνες συσκευές

Για την δημιουργία κυβερνο-φυσικών συστημάτων με στόχο την κατασκευή έξυπνων κτηρίων μηδενικού ισοζυγίου ενέργειας έχουμε ως αρωγή και την ανάπτυξη των έξυπνων συσκευών. Οι συσκευές αυτές μέσω ειδικών αισθητήρων, έξυπνων μετρητών και συσκευών συνδυάζονται με το έξυπνο δίκτυο παροχής ενέργειας. Ήδη σε αρκετές πόλεις των Η.Π.Α. οι συσκευές αυτές με νέο εξοπλισμό και λογισμικό είναι διαθέσιμες προς πώληση.

Το βασικό στοιχείο που επιτρέπει να λειτουργούν μαζί όλες οι αναδυόμενες τεχνολογίες είναι η διαδραστική σχέση μεταξύ των χειριστών του δικτύου των επιχειρήσεων παροχής ενέργειας, των ηλεκτρικών-ηλεκτρονικών συσκευών και των καταναλωτών. Οι εξελιγμένες ηλεκτρικές ή ηλεκτρονικές συσκευές που καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια είναι δυνατό να ελέγχονται από έναν κεντρικό υπολογιστή και να ρυθμίζονται έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στα σήματα που θα εκπέμπονται από τον εκάστοτε ενεργειακό πάροχο με σκοπό να ελαχιστοποιείται η χρήση τους σε περιόδους υψηλής

ενεργειακής ζήτησης, εξαιτίας της οποίας το ηλεκτρικό δίκτυο βρίσκεται υπό πίεση ή και η αύξηση των λειτουργιών τους τις ώρες που η ενέργεια είναι διαθέσιμη σε χαμηλότερο οικονομικό κόστος.

2.3.3 Έξυπνοι μετρητές και συστήματα διαχείρισης της ενέργειας

Οι έξυπνοι μετρητές προσφέρουν στον καταναλωτή και τον ενεργειακό του πάροχο ένα εξελιγμένο σύστημα διαχείρισης. Οι έξυπνοι μετρητές αντικαθιστούν τους παλαιούς μηχανικούς μετρητές, λειτουργούν ψηφιακά και επιτρέπουν την αυτοματοποιημένη μεταφορά πληροφοριών ανάμεσα στο σπίτι, στον καταναλωτή αλλά και στον ενεργειακό πάροχο. Οι έξυπνοι μετρητές παραδίδουν τα σήματα του ενεργειακού παρόχου, τα οποία στην συνέχεια θα ειδοποιούν τον καταναλωτή να μειώσει το κόστος ενέργειας. Επιπλέον παρέχουν στις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας περισσότερες πληροφορίες για το καταναλισκόμενο ποσό ενέργειας ανά εξυπηρετούμενη περιοχή.

Η πληροφορία για την ενέργεια των κατοικιών των καταναλωτών θα παίρνετε από αυτές, σε μια αμφίδρομη ροή μέσω των έξυπνων μετρητών και θα τυγχάνει επεξεργασίας δια μέσω ενός οικιακού συστήματος διαχείρισης ενέργειας (energy management system). Ένα οικιακό σύστημα διαχείρισης ενέργειας παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης, σε χρόνο πραγματικό, των πληροφοριών και μηνυμάτων χρέωσης και ανάλογης ρύθμισης, έτσι ώστε να χρησιμοποιεί αυτόματα η ισχύς όταν οι τιμές είναι χαμηλότερες. Έτσι επιλέγονται ρυθμίσεις σε συσκευές και εξοπλισμό, ώστε να απενεργοποιούνται αυτόματα, όταν υπάρχει κίνδυνος διακοπής της ηλεκτροδότησης λόγω υπερβολικής ενεργειακής ζήτησης. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η λειτουργία των συσκευών σε ώρες αιχμής, εξισορροπείται ο φόρτος ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο και προλαμβάνονται οι διακοπές ρεύματος.

Με τη χρήση εξελιγμένων δικτύων ηλεκτροδότησης τα συστήματα αυτά θα μπορούν να αλληλεπιδρούν με αυτά τα δίκτυα και να ενημερώνονται, σε πραγματικό χρόνο, για την κατάσταση της ενεργειακής ζήτησης, ώστε οι πολίτες να επιλέγουν τις ώρες μη αιχμής για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και να επιβραβεύονται βάση μιας ευνοϊκής τιμολογιακής πολιτικής.

2.4 Εφαρμογές στις μεταφορές

Τα κυβερνο-φυσικά συστήματα των μεταφορών όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροπλοΐα και οι σιδηρόδρομοι λειτουργούν παρέχοντας αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στους ελεγκτές του λογισμικού, των δικτύων επικοινωνίας και των φυσικών συσκευών. Τα πολύπλοκα αυτά κυβερνο-φυσικά συστήματα αποτελούνται από τρία τμήματα: το τμήμα δυναμικής και ελέγχου (DC), το τμήμα επικοινωνίας και τέλος το τμήμα υπολογισμού. Το πρώτο είναι κυρίως ένα σύστημα συνεχούς χρόνου, με σκοπό την μοντελοποίηση μέσω διαφορικών αλγεβρικών εξισώσεων, ή με τη βοήθεια φυσικών εξισώσεων για την πρόγνωση ενός συνόλου τροχιών[10].

2.4.1 Εφαρμογές στο αυτοκίνητο

Μία ομάδα ερευνητών του πανεπιστημίου Μασαχουσέτης στην εργασία της με θέμα "Cyber Physical Integration to Connect Vehicles for Transformed Transportation Safety and Efficiency", διερευνά ένα κατανεμημένο κυβερνο-φυσικό σύστημα, που με τη χρήση της τεχνολογίας συνδεδεμένων οχημάτων (CVtech) προσπαθεί να μειώσει τα προβλήματα που αφορούν την ασφάλεια καθώς και την αποτελεσματικότητα των οδικών μεταφορών. Τα οχήματα του μέλλοντος έχουν τη δυνατότητα να ενεργούν αυτόνομα καθώς επίσης θα επικοινωνούν με άλλα οχήματα, με τις οδικές υποδομές και με ορισμένες προσωπικές συσκευές επικοινωνίας. Επίσης τα οχήματα του μέλλοντος θα μπορούν να αλληλεπιδρούν με το εξωτερικό περιφερειακό περιβάλλον και να προσαρμόζονται ανάλογα με τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Η αμφίδρομη αυτή αλληλεπίδραση θα έχει ως συνέπεια την αποφυγή ατυχημάτων και τον μετριασμό της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Για την πραγμάτωση των ανωτέρω απαιτείται η μαζική ενσωμάτωση λειτουργιών δικτύωσης και αισθητήρων, υπολογιστικής νοημοσύνης και επικοινωνίας, σε πραγματικό χρόνο στις υπάρχουσες υποδομές μεταφορών, που συμπεριλαμβάνουν τα οχήματα αλλά και τον εξοπλισμό και των δύο πλευρών των οδικών αρτηριών.

Η έρευνα της ομάδας εργασίας των επιστημόνων του MITπραγματοεύεται δύο θέματα:

- Τη θεμελίωση νέων τεχνικών, την προώθηση βασικών θεωριών στον παραπάνω πεδίων με βασικές αρχές που ενσωματώνουν υπολογιστικές αλλά και φυσικές διεργασίες.
- Την ανάπτυξη μεθόδων και εργαλείων σχεδιάζοντας εναλλακτικές αρχιτεκτονικές, αλλά και μοντελοποιώντας ένα ενοποιημένο ηλεκτρονικό σύστημα του κυβερνοχώρου και των φυσικών στοιχείων[3].

Για να λάβει σάρκα και οστά η παραπάνω θεωρία απαιτούνται ανάλογες υποδομές αλλά και αντίστοιχα οχήματα. Με το αυτόνομο αυτοκίνητο πειραματίζεται η Google. Αυτή η εταιρία έχει κατασκευάσει ένα αυτόνομο αυτοκίνητο, που είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Αυτά τα αυτόνομα αυτοκίνητα εκτελούν δοκιμές σε δημόσιους δρόμους και τα χρησιμοποιούν όσοι θέλουν να ταξιδέψουν με αυτά. Ο πυρήνας του οχήματος είναι ένα λέιζερ το οποίο έχει τοποθετηθεί στην οροφή του οχήματος, που έργο του είναι να υπολογίζει τις αποστάσεις από το όχημα και να δημιουργεί ένα τρισδιάστατο χάρτη του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια το όχημα συνδυάζει μετρήσεις του λέιζερ με χάρτες υψηλής ανάλυσης και παράγει διαφορετικούς τύπους μοντέλων δεδομένων, που του δίνουν τη δυνατότητα να αποφεύγει τα εμπόδια και να κινείται σεβόμενο τους κανόνες οδικής κυκλοφορίας. Το όχημα εκτός από τη συσκευή λέιζερ έχει τέσσερα ραντάρ στους μπροστινούς αλλά και πισινούς αισθητήρες με τους οποίους βλέπει μακριά και κινείται ανάλογα. Ακόμα έχει μια φωτογραφική μηχανή που ανιχνεύει τα φανάρια, ένα GPS καθώς και ένα κωδικοποιητή τροχών, οι οποίοι καθορίζουν τη θέση του οχήματος και παρακολουθούν τις κινήσεις του. Η Google θα ήθελε να εξελιχτούν τα οχήματα της σε ένα κοινό αγαθό, δηλαδή οι άνθρωποι να χρησιμοποιούν τα οχήματα της όταν τα χρειάζονται. Ο ενδιαφερόμενος με ένα έξυπνο κινητό (SmartPhone) τηλέφωνο θα καλούσε ένα αυτοκίνητο που θα ερχόταν να τον παραλάβει για να τον μεταφέρει στον προορισμό του[11].

2.4.2 Εφαρμογές στα τρένα

Οι εφαρμογές των κυβερνο-φυσικών συστημάτων έχουν επεκταθεί και βρίσκουν εφαρμογή και στα τρένα.

Το συμβατικό σύστημα ελέγχου μίας αμαξοστοιχίας περιλαμβάνει διάφορα συστατικά τα ποία συνδέονται με κανάλια επικοινωνίας. Όμως το κυριότερο συστατικό του συστήματος είναι ο άνθρωπος- ελεγκτής ο οποίος καλείται να αποφασίζει για την ταχύτητα της αμαξοστοιχίας, για το χρονικό σημείο αλλαγής της

διακλάδωσης στις γραμμές ώστε να περάσει κάθε τρένο με ασφάλεια την κατάλληλη χρονική στιγμή. Το συστατικό του χιλιομετρική καταγράφει την ταχύτητα και την θέση της αμαξοστοιχίας. Ο ρυθμιστής της ταχύτητας παρακολουθεί και ρυθμίζει την ταχύτητα. για παράδειγμα όταν το όριο ταχύτητας είναι ρυθμισμένο στο 10 το τρένο μπορεί να φτάσει μέχρι 10 χιλιόμετρα ή αν είναι στο 0 το τρένο φρενάρει μέχρι να ακινητοποιηθεί με ασφάλεια. Η επικοινωνία με τις διασταυρώσεις γίνεται μέσω ραδιοκυμάτων, τα οποία προέρχονται από τον ελεγκτή.

Αυτό το κλασικό σύστημα μπορεί πλέον να μετασχηματιστεί σε ένα σύστημα κυβερνο-φυσικών συστημάτων, όπου τα τρένα και τα συστήματα ελέγχου θα είναι διακριτά και θα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Το τρένο θα επεξεργάζεται πληροφορίες που λαμβάνει από την υποδομή (σταθμούς, σήμανση κ.α.)για τη θέση τους, για ενδεχόμενες καθυστερήσεις κ.α.. Έτσι το τρένο βάσει αισθητήρων για την θέση του και την ταχύτητα του θα είναι σε θέση να ρυθμίζει αυτόνομα την ταχύτητα του ανάλογα με τις συνθήκες. Επιπλέον οι σταθμοί ελέγχου θα αλληλεπιδρούν με το δίκτυο και μέσω αισθητήρων θα παίρνουν πληροφορίες για την κατάσταση του δικτύου, το κυκλοφοριακό φορτίο κ.α. έτσι ώστε να κατευθύνουν τα τρένα αυτόματα στις σωστές διακλαδώσεις, ώστε να εκλείψει ο κίνδυνος ατυχημάτων και καθυστερήσεων[10].

2.4.3 Εφαρμογές στα ποδήλατα

Τα κυβερνο-φυσικά συστήματα έχουν εφαρμογή και σε απλούστερα οχήματα όπως είναι το ποδήλατο. Στην εργασία με θέμα στην εργασία "The Cyber-PhysicalBike: A Step Towards Safer Green Transportation"περιγράφεται η σχεδίαση ενός ποδηλάτου η οποία αποτελεί ένα κυβερνο-φυσικό σύστημα. Οι άξονές της σχεδίασης είναι τρεις:

1. Το σύστημα να εντοπίζει επακριβώς και να παρακολουθεί τα οχήματα που το πλησιάζουν από πίσω.
2. Το σύστημα να μπορεί να ειδοποιεί τον ποδηλάτη, μέσα σε εύλογο χρονικό διάστημα ώστε να πάρει τα κατάλληλα μέτρα για να αποφύγει το όχημα
3. Το σύστημα θα πρέπει να διακρίνει ανάμεσα στα οχήματα που προσεγγίζουν ένα ποδηλάτη, αν είναι η όχι σε τροχιά σύγκρουσης.

Ωστόσο πρέπει να αντιμετωπιστούν κάποιες σοβαρές προκλήσεις για την αυτόματη ανίχνευση των οχημάτων που πλησιάζουν από πίσω ένα ποδηλάτη. Σοβαρή

πρόκληση είναι οι περιορισμένοι πόροι που διατίθενται για ένα ποδήλατο. Επιπλέον τα ποδήλατα έχουν περιορισμό βάρους και μειωμένες ικανότητες δημιουργίας ισχύος. Βέβαια η ισχύς παρέχεται από τον ποδηλάτη. Η αστάθεια του ποδηλάτου αποτελεί μια ακόμα πρόκληση. Τέλος, μια επιπρόσθετη πρόκληση είναι και η σχεδίαση και η χρήση του ποδήλατου, ως ενός κυβερνο-φυσικού συστήματος και ο προσδιορισμός της κατεύθυνσης των κινουμένων κοντά στο ποδήλατο οχημάτων. Συμπερασματικά η εφαρμογή των κυβερνο-συστημάτων στο ποδήλατο αναμένεται να ενισχύσει σημαντικά την ασφάλεια των αναβατών τους [12].

2.4.4 Εφαρμογές για αεροπλάνα

Στις αεροπορικές μεταφορές, που όντως είναι ένα πολύ ευαίσθητο πεδίο είναι πολύ επιβεβλημένη η εφαρμογή των κυβερνο-φυσικών συστημάτων. Η αύξηση της εναέριας κυκλοφορίας στην σύγχρονη εποχή έχει δημιουργήσει πολλά και σημαντικά προβλήματα, ασφάλειας και καθυστερήσεων. Το πυκνό δίκτυο των αεροπορικών μεταφορών είναι ένα υπαρκτό πεδίο για την εφαρμογή ενός οργανωμένου συστήματος κυβερνο-φυσικών συστημάτων που θα εκτελεί όλες τις απαιτούμενες ενέργειες κατά την διάνυση μεγάλων αποστάσεων. Η αυξανόμενη πυκνότητα της εναέριας κυκλοφορίας απαιτεί μια ιεραρχημένη σειρά μηχανισμών διαχείρισης δικτύου για την άνοδο της αποτελεσματικότητας, που θα εξασφαλίζει παράλληλα και την ασφάλεια στο έδαφος και τον αέρα. Η αποφυγή των συγκρούσεων και των επικινδύνων για τις πτήσεις δυσμενών φυσικών φαινομένων επιβάλουν καθορισμό των αριθμητικών ορίων για τις ανά ώρα αναχωρήσεις και πυκνώνουν τις αφίξεις σε πολυσύχναστα αεροδρόμια. Για την αύξηση της πυκνότητας της πληροφορίας χωρίς όμως να επηρεάζεται η αναμονή των πτήσεων, η Dr. Ella Atkins του πανεπιστημίου στο Μίσιγκαν έχει μελετήσει μοντέλα για ταυτόχρονες αλλά μη παρεμβατικές ενέργειες κυκλοφορίας. Οι διαδικασίες που προτείνει είναι εφαρμόσιμες στα κλασικά αεροσκάφη, στα ελικοφόρα αεροσκάφη σύντομης προσγείωσης και στα μη επανδρωμένα οχήματα που μπορούν να μοιράζονται τον εναέριο χώρο με εμπορικά μεταφορικά αεροσκάφη κατά τις πτήσεις και την προσγείωση-απογείωση. Τελικά, αναπτύχθηκε μια τεχνολογία, η οποία ενσωματωμένη μέσα σε ένα προσαρμόσιμο στις βλάβες σύστημα ελέγχου θα επιτρέπει μια ασφαλή προσγείωση μόνο στην περίπτωση που το αεροσκάφος μπορεί ακόμα να ελεγχθεί [13].

Κεφάλαιο 3 Έξυπνα Δίκτυα Ηλεκτρονικής Ενέργειας

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα επιχειρηθεί μία διεξοδική ανάλυση των κυρίων λειτουργικών και καινοτομιών του έξυπνου δικτύου παραγωγής και διαχείρισης ενέργειας «Smart Grid». Θα διατυπωθεί ορισμός του έξυπνου δικτύου ως μία ενιαία οντότητα, θα εξαρτηθούν τα επιμέρους χαρακτηριστικά του, καθώς και οι εφαρμογές του οι οποίες είναι: το έξυπνο σπίτι «Smart Home», η άριστη διαχείριση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η βελτίωση της καταναλωτικής συνείδησης των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας και η εφαρμογή του στα ηλεκτρικά οχήματα.

Στη συνέχεια θα αναφερθούν τα επιμέρους στοιχεία, τα οποία διαμορφώνουν το έξυπνο δίκτυο, όπως: οι έξυπνοι μετρητές, το έξυπνο δίκτυο μεταφοράς και διαχείρισης και το κεντρικό σύστημα διαχείρισης δικτύου. Επιπλέον θα γίνει σαφής η αναγκαιότητα για την ανάπτυξη έξυπνων δικτύων παραγωγής και διανομής ηλεκτρονικής ενέργειας και θα επισημανθούν οι τάσεις για τις μελλοντικές εξελίξεις.

3.2 Αναγκαιότητα ανάπτυξης και χρήσης του Smart Grid

Η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται κατά τις τελευταίες δεκαετίες και παρουσιάζει θετικές τάσεις ανάπτυξης. Επιπλέον σημαντικά ποσά ενέργειας καταναλώνονται για οικιακή χρήση και βιομηχανική παραγωγή. Επιπροσθέτως στην αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο άμεσο μέλλον θα συντελούν η χρήση του ηλεκτρισμού για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων και η καθημερινή μετακίνηση. Επίσης αυξάνεται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από την αυξημένη χρήση των ηλεκτρικών συσκευών, που έχουν γίνει πιο προσιτές στο ευρύ κοινό. Ακόμη τα κοινά καταναλωτικά χαρακτηριστικά των περισσότερων καταναλωτών έχουν ως αποτέλεσμα να καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια κατά πλειοψηφία στα ίδια χρονικά διαστήματα και να διαφαίνεται ο κίνδυνος συχνών και μεγάλης κλίμακας διακοπών της ηλεκτροδότησης. Επίσης, λόγω της αυξημένης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας αναγκάζονται οι πάροχοι να προβαίνουν σε μεγάλες επενδύσεις, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος ηλεκτροδότησης. Όμως πρέπει να τονιστεί, ότι η εξάντληση των ορυκτών πόρων και οι αρνητικές επιδράσεις στην ατμόσφαιρα της καύσης υδρογονανθράκων οδηγούν σε γρήγορους ρυθμούς στη

μεγάλη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στην εν γένει ορθολογικότερη και αποδοτικότερη διαχείριση της ενέργειας.

Από τα αναφερθέντα προκύπτει επιτακτική η ανάγκη ανάπτυξης νέων έξυπνων δικτύων παραγωγής και διαχείρισης της ενέργειας αφού τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα δεν μπορούν να ανταποκριθούν επιτυχώς στο φαινόμενο της αυξανόμενης κατανάλωσης ενέργειας. Αυτή, λοιπόν, η αναγκαιότητα γέννησε την ιδέα της σύλληψης και εξέλιξης του Smart Grid.

3.3 Ανάπτυξη του Smart Grid

Σήμερα, σε σχέση με τα κράτη που επιδίδονται στην έρευνα και την ανάπτυξη έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων σε όλο τον κόσμο, οι Η.Π.Α έχουν πραγματοποιήσει την μεγαλύτερη πρόοδο.

Αυτή η εξέλιξη κρίνεται φυσιολογική, επειδή η παραγωγή, μεταφορά και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν τον κύριο μοχλό οικονομικής ανάπτυξης των Η.Π.Α. . Οι Η.Π.Α. και η Κίνα είναι οι μεγαλύτεροι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως και μάλιστα οι Η.Π.Α. παρουσιάζουν αυξητική κατανάλωση ρεύματος, το δε υπάρχον δίκτυό τους χρησιμοποιείται ήδη επί πολλές δεκαετίες.

Οι τεχνικές δυσκολίες και τα ακραία καιρικά φαινόμενα προκαλούν εκτεταμένες, συχνές και διαρκείς διακοπές του ηλεκτρικού ρεύματος, όπως η πρόσφατη διακοπή στη Νέα Υόρκη. Για το λόγω αυτό οι Η.Π.Α. συνέστησαν μια κυβερνητική επιτροπή, για να βελτιώσει το δίκτυο παραγωγής και διανομής του ηλεκτρικού ρεύματος.

3.4 Λειτουργικά χαρακτηριστικά του Smart Grid

Ένα δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας για να χαρακτηριστεί ως έξυπνο πρέπει να έχει τα εξής στοιχεία: την ψηφιακή τεχνολογία που επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ της επιχείρησης- παρόχου και των πελατών της, καθώς και τους αισθητήρες ελέγχου κατά μήκος των γραμμών μεταφοράς ενέργειας. Το έξυπνο δίκτυο μεταφοράς ενέργειας, όπως και το διαδίκτυο αποτελείται από μηχανισμούς ελέγχου, ηλεκτρονικούς υπολογιστές, δυνατότητες αυτοματισμού, καθώς και νέες τεχνολογίες και εξοπλισμό, που να μπορούν να επιδρούν με όλα τα παραπάνω.

Επιπλέον οι προαναφερθείσες τεχνολογίες θα έχουν στενή συνεργασία με το ηλεκτρικό δίκτυο για να ανταποκριθούν ψηφιακά στις ευμετάβολες απαιτήσεις των ανθρώπων για ηλεκτρική ενέργεια.

Μοναδική ευκαιρία αποτελεί το έξυπνο δίκτυο μεταφοράς ενέργειας όσον αφορά στον κλάδο της ενέργειας για την αύξηση της αξιοπιστίας, της διαθεσιμότητας και της αποτελεσματικότητας που θα συντελέσουν στην οικονομική και περιβαλλοντική υγεία των ανθρώπινων κοινωνιών.

Τα οφέλη που θα προκύψουν από την εφαρμογή του έξυπνου δικτύου μεταφοράς περιλαμβάνουν:

- Αποτελεσματικότερη μετάδοση της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ταχύτερη αποκατάσταση της ηλεκτρικής ενέργειας, μετά από ενεργειακές διαταραχές.
- μείωση των δαπανών διαχείρισης και εργασιών για τις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας και συνακόλουθη μείωση του κόστους εργασίας για τους καταναλωτές.
- Αύξηση της ενσωμάτωσης και λειτουργίας συστημάτων ανανεώσιμων πηγών μεγάλης κλίμακας ενέργειας.
- Αυξημένη χρήση συστημάτων παραγωγής ενέργειας από τους ίδιους τους καταναλωτές, ως και χρήση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Αύξηση και βελτίωση του επιπέδου ασφάλειας.

Σήμερα, μια διαταραχή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως μια διακοπή ηλεκτρικού ρεύματος, μπορεί να προκαλέσει αλυσιδωτή σειρά (ντόμινο) βλαβών, που μπορεί να επηρεάσουν το τραπεζικό σύστημα, τις μεταφορές, την ασφάλεια και τις επικοινωνίες. Μια διακοπή ηλεκτροδότησης τον χειμώνα, θα προκαλέσει έλλειψη θέρμανσης σε κατοικημένες περιοχές. Όμως ένα έξυπνο δίκτυο παροχής ενέργειας αντέχει ποιά πολύ σε τέτοια φαινόμενα και είναι προετοιμασμένο καλύτερα για την αντιμετώπιση εκτάκτων αναγκών, όπως σεισμοί, καταιγίδες, ηλιακές καταιγίδες και τρομοκρατικές επιθέσεις.

Το έξυπνο δίκτυο μεταφοράς ενέργειας, λόγω της δυνατότητας αμφίδρομης κίνησης μέσα στο δίκτυο, επιτρέπει την αυτόματη επαναδρομολόγηση της ενέργειας, όταν δεν

λειτουργεί ο εξοπλισμός ή γίνονται διακοπές ρεύματος. Αυτό ελαχιστοποιεί τις διακοπές και τις επιπτώσεις, όταν αυτές δεν μπορεί να αποφευχθούν.

Οι τεχνολογίες του έξυπνου δικτύου παροχής ενέργειας, όταν συμβούν διακοπές ηλεκτρικού ρεύματος, τις εντοπίζουν και τις απομονώνουν, πριν εξελιχθούν σε καταστάσεις διακοπής ηλεκτροδότησης μεγάλης κλίμακας. Οι νέες τεχνολογίες μπορούν να διασφαλίσουν, ότι η ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας θα επιτυγχάνεται πολύ γρήγορα στις έκτακτες ανάγκες, με το να κατευθύνουν την υπάρχουσα ενέργεια σε υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης, που έχουν υψηλό βαθμό προτεραιότητας.

Μια σημαντική λειτουργία που μπορεί να επιτελέσει το έξυπνο δίκτυο παροχής ενέργειας είναι η αξιοποίηση μέσω παραγωγής ενέργειας ιδιοκτησίας των καταναλωτών, όπως ηλιακά και αιολικά πάρκα, οικιακά φωτοβολταϊκά και ηλεκτρογεννήτριες με γνώμονα, σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης το κοινό συμφέρον.

Με τον συνδυασμό αυτών των πηγών <κατανεμημένης παραγωγής ενέργειας> μια κοινότητα δεν αναγκάζεται να διακόπτει την λειτουργία κοινωφελών και άλλων βασικών υπηρεσιών, όπως κέντρου υγείας, αστυνομικού τμήματος, των φαναριών και του τηλεφωνικού συστήματος κατά τις έκτακτες ανάγκες. Η εγκατάσταση έξυπνου δικτύου παροχής ενέργειας επιβάλλει την αναβάθμιση ή την αντικατάσταση παλαιότερων και παρωχημένων υποδομών ενέργειας. Επίσης ενισχύει την ευαισθητοποίηση των καταναλωτών σχετικά με την σύνδεση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας αι περιβάλλοντος.

Επιπλέον το έξυπνο δίκτυο ενέργειας ενισχύει την ασφάλεια των ενεργειακών συστημάτων των κρατών, που θα αντλούν μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας, ποιό ανθεκτικές σε επιθέσεις και φυσικές καταστροφές. Ένα άλλο λειτουργικό χαρακτηριστικό διαφοροποιεί το έξυπνο δίκτυο παραγωγής και διανομής ενέργειας από τα συμβατικά δίκτυα: το έξυπνο δίκτυο παρέχει στους χρήστες του την δυνατότητα του ελέγχου της ενεργειακής κατανάλωσης. Αυτό δίνει στον καταναλωτή τις πληροφορίες και τα εργαλεία για να μπορέσει να κάνει τις βέλτιστες επιλογές σχετικά με την ενεργειακή του κατανάλωση, αποκτώντας δυνατότητες συμμετοχής και ελέγχου άνευ προηγούμενου. Με το έξυπνο δίκτυο ο χρήστης θα διαθέτει σαφή και έγκαιρη εικόνα ανά πάσα στιγμή. Οι "έξυπνοι μετρητές" καθώς και άλλοι μηχανισμοί θα επιτρέπουν στον καταναλωτή να γνωρίζει πόση ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσε, για ποιο σκοπό και πότε καταναλώθηκε, καθώς και το συνολικό κόστος

της. Θα επιτρέπει ακόμα στον καταναλωτή να εξοικονομεί χρήματα καταναλώνοντας λιγότερη ενέργεια τις ώρες που αυτή κοστολογείται πιο ακριβά.

Μολονότι τα πιθανά οφέλη του έξυπνου δικτύου σχετίζονται με την οικονομία, την εθνική ασφάλεια και τους ενεργειακούς στόχους από την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, το έξυπνο δίκτυο βοηθάει τους καταναλωτές να εξοικονομήσουν χρήματα.

Τέλος μπορούν να εξοικονομούν ακόμα περισσότερα χρήματα από την παραγωγή δικής τους ηλεκτρικής ενέργειας.[14]

3.5 Τα δομικά συστατικά του Smart Grid

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούν αναλυτικά τα δομικά συστατικά που διαμορφώνουν το έξυπνο δίκτυο παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας και ιδίως στα συστατικά εκείνα τα οποία προσδίδουν την εξυπνάδα και τις αυξημένες δυνατότητες ελέγχου σε σχέση με τα συμβατικά δίκτυα. Τα στοιχεία αυτά είναι:

1. Οι έξυπνοι μετρητές κατανάλωσης-παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Τα κέντρα διαχείρισης και ελέγχου.
3. Τα συστατικά που προσδίδουν εξυπνάδα στο δίκτυο μεταφοράς όπως η διασυνδεδεμένοι αισθητήρες ελέγχου.

3.5.1 Έξυπνοι μετρητές

Πρακτικά οι έξυπνοι μετρητές αποτελούν ένα έξυπνο σύστημα διασύνδεσης μεταξύ του καταναλωτή και του ενεργειακού παρόχου. Λειτουργούν ψηφιακά και επιτρέπουν την πολύπλοκη και αυτοματοποιημένη μεταφορά πληροφοριών μεταξύ της εγκατάστασης του καταναλωτή και του ενεργειακού παρόχου. Μεταφέρουν τα σήματα από τον ενεργειακό πάροχο, στον καταναλωτή για να ενημερωθεί για το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει. Επίσης παρέχουν στους ενεργειακούς παρόχους ένα όγκο πληροφοριών για την ενέργεια που καταναλώνεται ή παράγεται ανά τομέα σε περιοχές, που αυτοί εξυπηρετούν. Αυτή η πληροφορία για την ενέργεια που καταναλώνεται η παράγεται από τους καταναλωτές λαμβάνεται σε μια αμφίδρομη ροή μέσω των έξυπνων μετρητών και υπόκειται σε επεξεργασία μέσω ενός οικιακού συστήματος διαχείρισης ενέργειας, που δίνει τη δυνατότητα σε κάθε χρήστη να την επεξεργαστεί σε ένα υπολογιστή ή σε συσκευή χειρός σε τέτοια

μορφή που εύκολα θα την κατανοήσει. Ένα οικιακό σύστημα διαχείρισης ενέργειας, επιτρέπει την παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης και οδηγεί στην λήψη αποφάσεως, όπως την απενεργοποίηση ιδιαίτερα ενεργοβόρων συσκευών σε περίοδο υψηλής χρέωσης.

3.5.2 Κέντρα διαχείρισης του ελέγχου

Το σύγχρονο ηλεκτρικό σύστημα μετάδοσης σε συνδυασμό με τις γιγάντιες γραμμές ισχύος και τους πύργους μετάδοσης λειτουργεί ως ένα σύστημα διασυνδεδεμένων ροών. Μέσω του συστήματος μεταφοράς κατά μήκος της διαδρομής διέρχεται η ηλεκτρική ενέργεια με την μικρότερη αντίσταση, συναντά πολλαπλές διαδρομές από τους σταθμούς παραγωγής προς τις πόλεις, που έχουν ανάγκη. Οι διαχειριστές του δικτύου, που έχουν ελάχιστο έλεγχο στο σύγχρονο σύστημά έχουν ως πρωτεύον καθήκον να βεβαιωθούν ότι παράγεται ισχύς ίση με αυτή που καταναλίσκεται. Σε αντίθετη, όμως, περίπτωση θα μπορούσε η τάση του δικτύου να μειωθεί με συνέπεια να γίνει το δίκτυο ασταθές. Οι διαχειριστές γνωρίζουν τις γραμμές που έχουν τεθεί σε λειτουργία και έχουν επίσης γνώση, όταν γίνεται μια παράκαμψη, για να προστατευτούν οι γραμμές από τις βλάβες, αλλά οι δυνατότητες ελέγχου που έχουν είναι περιορισμένες.

Πιθανών να παρατηρηθεί το φαινόμενο συγκέντρωσης της ενέργειας σε περιοχές του δικτύου και να προκληθούν διαταραχές, που υπό τις δυσμενέστερες συνθήκες θα μπορούσαν να καταλήξουν σε διακοπές ρεύματος επαναλαμβανόμενες. Το πρόβλημα γίνεται πιο περίπλοκο, επειδή οι πληροφορίες των διαχειριστών για την μεταφορά ενέργειας μέσα στο δίκτυο παροχής είναι περιορισμένες. Αυτές οι τεχνολογίες μειώνουν στο ελάχιστο την πιθανότητα εκτεταμένων διακοπών του ρεύματος και για αυτό καθιστούν το δίκτυο περισσότερο αξιόπιστο.

3.5.2.1 Μονάδες μέτρησης φάσης(Phaser Metric Units PMU)

Οι νέες τεχνολογίες του Smart Grid, που καλούνται Μονάδες Μέτρησης Φάσης(PMU) παρέχουν μια νέα λύση στο πρόβλημα παρακολούθησης και ελέγχου στο σύστημα μεταφοράς του ηλεκτρικού δικτύου. Λαμβάνουν μετρήσεις της ενεργειακής τάσης και του ηλεκτρικού ρεύματος πολλές φορές ανά δευτερόλεπτο,

ανά γεωγραφικό διαμέρισμα και παρέχουν απεικόνιση μιας στιγμής της κατάστασης λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Κατά αυτόν τον τρόπο οι διαχειριστές του δικτύου, χρησιμοποιώντας τις <Μονάδες Μέτρησης Φάσης> παρακολούθησης της κατάστασης του δικτύου, αποκτούν μια πιο λεπτομερή εικόνα, σε πραγματικό χρόνο, για τη λειτουργία του δικτύου. Ενώ αντίθετα, τα συμβατικά ηλεκτρικά δίκτυα κάνουν μετρήσεις μια φορά ανά δύο ή τέσσερα δευτερόλεπτα για το σύνολο του ηλεκτρικού δικτύου που παρακολουθούν.

Το σύστημα Smart Grid με τις συχνότερες μετρήσεις διευκολύνει τον εντοπισμό του είδους των διαταραχών, που πιθανών να προκαλέσουν εκτεταμένες διακοπές του ηλεκτρικού ρεύματος.

3.5.2.2 Αυτό-ιάσιμο ενεργειακό δίκτυο μεταφοράς

Οι τεχνολογίες του Smart Grid παρέχουν επιπλέον νέα μέσα ελέγχου του συστήματος μεταφοράς, καθώς τα νέα κυκλώματα υψηλής ισχύος λειτουργούν ως τρανζίστορ μεγάλης κλίμακας και προσφέρουν στο σύστημα μεταφοράς ένα νέο επίπεδο ελέγχου. Επιπλέον τα νέα ηλεκτρονικά κυκλώματα μετριάζουν τις ανεπιθύμητες ενεργειακές διαταραχές και έτσι αποφεύγεται η αντιπαραγωγική ροή του ρεύματος μέσω δικτύου, λόγω της οποίας προκαλείται μεγάλη σπατάλη ενέργειας. Επιπροσθέτως μια νέα αυτοματοποιημένη προσέγγιση, για τον έλεγχο του δικτύου παρέχει ο συνδυασμός των νέων τεχνολογιών μέτρησης και ελέγχου. Το ηλεκτρικό δίκτυο δεν παρακολουθείται πλέον από ανθρώπους- χειριστές, αλλά από ειδικό λογισμικό που εποπτεύει τα δίκτυα σε πραγματικό χρόνο για πιθανές διαταραχές ικανές να προκαλέσουν διακοπές ρεύματος και μπορεί επίσης να λαμβάνει μέτρα ελέγχου των ηλεκτρικών διαταραχών που εντοπίζει. Με τον τρόπο αυτό το ειδικό λογισμικό παρακολούθησης μπορεί να ενεργήσει είτε να μειωθούν οι διαταραχές στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είτε να ανα-δρομολογήσει τη μεταφορά ενέργειας μέσα στο δίκτυο. Εάν μία γραμμή ρεύματος πρέπει να τεθεί εκτός λειτουργίας το λογισμικό ελέγχου ανα-δρομολογεί την ενέργεια, ώστε να προκληθούν ελάχιστες διαταραχές και επιβαρύνσεις στο δίκτυο. Προσέτι το ιδανικό αυτό-ιάσιμο δίκτυο μπορεί να περιλαμβάνει ένα συνδυασμό παρακολούθησης του συστήματος μεταφοράς και του λογισμικού ελέγχου και ανάλογα μέτρα για τα τοπικά συστήματα, που δίνουν ισχύ

στα σπίτια και στις επιχειρήσεις. Τα μέτρα αυτά του συστήματος διανομής αναφέρονται ως <εξυπνάδα δικτύου διανομής-distribution intelligencer>.

3.5.2.3 Συντονισμός και έλεγχος μεταξύ διαφόρων ενεργειακών παροχών

Ενίστε συμβαίνει οι διακοπές ρεύματος να οφείλονται σε περιορισμένη επίγνωση της κατάστασης του δικτύου από τους διάφορους εμπλεκόμενους διαχειριστές του.

Σε περιοχές π.χ. της βορείου Αμερικής, η περιορισμένη ανταλλαγή δεδομένων και η ελάχιστη διαφάνεια μεταξύ των διαχειριστών δικτύου, δυσκολεύει τους μεμονωμένους διαχειριστές δικτύων να έχουν μια συνολική εικόνα της κατάστασης του δικτύου. Το Smart Grid με τα νέα πρότυπα που διευκολύνουν την αλληλοεπίδραση των συστημάτων δικτύου, καθιστά πιο εύκολη την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των περιφερειακών φορέων του δικτύου.

Οι διαχειριστές του δικτύου έχουν τη δυνατότητα να διερευνήσουν την κατάσταση του εθνικού δικτύου συνολικά και παράλληλα να διερευνήσουν σε τοπικό επίπεδο συγκεκριμένες λεπτομέρειες. Οι νέες τεχνολογίες μπορεί να προσφέρουν ταχύτητα πληροφορίες για τις διακοπές ρεύματος και για την ποιότητα ισχύος σε τοπικό και εθνικό επίπεδο, για την κατάσταση του δικτύου ανά ενεργειακό πάροχο.

3.5.3 Έξυπνο δίκτυο διανομής

<Εξυπνάδα Δικτύου Διανομής> είναι το τμήμα του Smart Grid που αντιστοιχεί στο σύστημα διανομής του παρόχου, δηλαδή: τα καλώδια οι διακόπτες και οι μετασχηματιστές που συνδέουν τον υποσταθμό με την οικία του πελάτη. Η ανίχνευση των διακοπών ρεύματος και η αντίδρασή της σε αυτές είναι ένα από τα βασικά συστατικά της εξυπνάδας του δικτύου διανομής. Σήμερα πολλοί ενεργειακοί πάροχοι ενημερώνονται από τους πελάτες τους για τις διακοπές ρεύματος, που επηρεάζουν τις περιοχές του δικτύου ηλεκτροδότησης. Η εξυπνάδα του δικτύου διανομής συνδυαζόμενη με τους έξυπνους μετρητές συντελεί στον άμεσο και ακριβή εντοπισμό των πηγών διακοπής ρεύματος, ώστε τα συνεργεία επισκευών να μεταβαίνουν γρήγορα και με ακρίβεια στην περιοχή που εμφανίστηκε το πρόβλημα. Μπορεί, όμως η απόκριση ενός ενεργειακού παρόχου στην περίπτωση διακοπής παροχής ρεύματος να βελτιωθεί περαιτέρω. Σήμερα, οι περισσότεροι ενεργειακοί πάροχοι εξαρτώνται από περίπλοκα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και την χειροκίνητη

ενεργοποίηση διακοπών, για να διατηρήσουν την ηλεκτροδότηση των περισσότερων πελατών τους, έστω και αν έχουν υποστεί φθορές ή ολική καταστροφή οι γραμμές μεταφοράς ενέργειας. Όμως, η προσέγγιση αυτή είναι οριακή, ενώ θα μπορούσε ένα αυτοματοποιημένο σύστημα να ανταποκριθεί με ταχύτερους ρυθμούς διατηρώντας την ηλεκτροδότηση περισσότερων πελατών. Με αισθητήρες που έχουν την δυνατότητα να υποδεικνύουν τα τμήματα δικτύου διανομής που υπολειτουργούν ή λειτουργούν ελαττωματικά και σε συνδυασμό με την αυτοματοποιημένη ενεργοποίηση διακοπών μέσω ενός έξυπνου συστήματος καθορισμού του τρόπου καλύτερης ανταπόκρισης σε μία διακοπή ρεύματος, είναι δυνατόν να επαναδρομολογηθεί η ενεργειακή ροή με καλύτερο τρόπο, ώστε μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα ή και σε χιλιοστά δευτερολέπτου να φτάνει σε περισσότερους πελάτες. Είναι ακόμα δυνατόν να καταστεί εφικτή μια αντίδραση του συστήματος στις ενεργειακές διαταραχές, τόσο ταχεία ώστε μόνον όσοι κατοικούν πλησίον του διαταραγμένου τμήματος να επηρεαστούν και παράλληλα η επαναδρομολόγηση της ενεργειακής τροφοδοσίας των άλλων πελατών θα είναι τόσο γρήγορη που θα αποτρέψει την διακοπή ρεύματος. Η ανωτέρω δυνατότητα είναι το πρώτο παράδειγμα της αυτό-ιάσιμης πτυχής του Smart Grid σε φάση λειτουργίας και αναφέρεται ως αυτοματισμός διανομής.(Distribution Automation) και είναι το παλαιότερο τμήμα του Smart Grid. Ο αυτοματισμός διανομής αρχικά εστιάστηκε μόνο στον έλεγχο των διακοπών μέσω τηλεχειρισμού. Όμως το Ινστιτούτο Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας των Η.Π.Α. πιστεύει ότι ο όρος έξυπνάδα δικτύου διανομής αντιστοιχεί σε ένα ευέλικτο σύστημα διανομής ενέργειας πλήρως ελεγχόμενο.[14]

Τελικά, η έξυπνάδα του δικτύου διανομής επιτυγχάνεται με το συνδυασμό των συστατικών του αυτοματισμού διανομής με έξυπνους αισθητήρες, με επεξεργαστές και με τις τεχνολογίες επικοινωνίας. Μελλοντικά, με την αναμενόμενη πλήρη ανάπτυξη της έξυπνάδας του δικτύου διανομής, θα μπορεί ένας ενεργειακός πάροχος να παρακολουθεί από απόσταση και να συντονίζει ιδικούς του πόρους για την διανομή ενέργειας στους πελάτες του με άμεσο αποτέλεσμα τη λειτουργία κατά βέλτιστο τρόπο, εφαρμόζοντας χειροκίνητο ή αυτόματο έλεγχο.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό στοιχείο της έξυπνάδας του δικτύου διανομής είναι το φαινόμενο, γνωστό ως <ισχύς αντίδρασης>. Σύμφωνα με αυτό, κρίνεται ως πιθανή μια άλλη εφαρμογή της έξυπνάδας του δικτύου διανομής, που είναι η δυνατότητα βελτιστοποίησης της ισορροπίας μεταξύ της πραγματικής ισχύος και της ισχύος

αντίδρασης. Ορισμένες συσκευές που θα αποθηκεύουν και απελευθερώνουν ενέργεια, όπως οι πυκνωτές ή που θα χρησιμοποιούν σπείρες καλωδίων για την επαγωγή μαγνητικών πεδίων, όπως είναι οι ηλεκτρικοί κινητήρες, μπορούν να προκαλούν αυξημένα ηλεκτρικά ρεύματα, χωρίς να καταναλώνουν πραγματική ισχύ. Σημειώνεται ότι μια καθορισμένη ποσότητα ισχύος αντίδρασης είναι επιθυμητή σε ένα ενεργειακό σύστημα. Όμως, μια υπερβολική ποσότητα μπορεί να προκαλέσει μεγάλης κλίμακας ροές ηλεκτρικού ρεύματος χωρίς κανένα σκοπό, ενώ προκαλούν απώλειες στην απόδοση, γιατί υπερθερμαίνουν τα καλώδια του συστήματος διανομής. Ένα έξυπνο σύστημα διανομής, όταν χρησιμοποιεί τα κατάλληλα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, μπορεί να διατηρεί το επιθυμητό επίπεδο ισχύος αντίδρασης στο σύστημα. Η εξυπνάδα ενός δικτύου διανομής βοηθάει στην προστασία και τον έλεγχο των γραμμών τροφοδοσίας. Αυτές οι γραμμές τροφοδοσίας μεταφέρουν ενέργεια και συνθέτουν το σύστημα διανομής ενέργειας. Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα οι περισσότερες γραμμές τροφοδοσίας προστατεύονται από διακόπτες ή ρελέ που δυσλειτουργούν(πέφτουν) όταν το ηλεκτρικό ρεύμα υψηλής τάσης διέρχεται μέσα από μια γραμμή και προκαλείται η πτώση από ένα σφάλμα στο σύστημα. Αυτά τα συστήματα προστασίας είναι συχνά ένας συνδυασμός διακοπών στιγμιαίας λειτουργίας με κατάλληλες ρυθμίσεις για υψηλές τάσεις και διακοπών που λειτουργούν βάση χρόνο-καθυστερήσης ή και από ρελέ με ειδικές ρυθμίσεις για πιο χαμηλές τάσεις. Τα συστήματα αυτά των αυτοματοποιημένων διακοπών και ρελέ είναι υπεύθυνα για την εξισορρόπηση του συστήματος διανομής, που θα επιτρέπουν στο σύστημα να λειτουργεί με ρεύμα υψηλής τάσης, όταν τούτο θεωρείται απαραίτητο αλλά και να προστατεύουν το σύστημα και τους ανθρώπους από ρεύμα όταν παρουσιαστεί κάποια βλάβη στο σύστημα.

Η εξυπνάδα διανομής δικτύου έχει τη δυνατότητα να ενσωματώσει πιο εξελιγμένους ανιχνευτές σφαλμάτων στο σύστημα για να ελαχιστοποιήσει την πιθανότητα ηλεκτροπληξίας ενός ανθρώπου, όταν έλθει σε επαφή με ηλεκτροφόρα καλώδια τα οποία δεν λειτουργούν.

Τέλος, η εξέλιξη της εξυπνάδας των δικτύων διανομής αναμένεται να κλιμακωθεί τα επόμενα χρόνια καθώς οι περισσότεροι ενεργειακοί πάροχοι ασχολούνται με αυτήν.

3.6 Τομείς εφαρμογής Smart Grid

Στην ενότητα αυτή θα γίνει αναφορά στους καθημερινούς τομείς εφαρμογής, καθώς και στον αντίκτυπο που έχει στον τρόπο ζωής ένα έξυπνο δίκτυο παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Θα γίνει επίσης αναφορά σε τομείς όπως των μεταφορών και των αλληλεπιδράσεων του δικτύου με τα επαναφορτιζόμενα ηλεκτρικά οχήματα, της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, του έξυπνου σπιτιού, των έξυπνων συσκευών και της εμπλοκής καταναλωτών με το δίκτυο.

3.6.1 Επαναφορτιζόμενα ηλεκτρικά οχήματα

Τα επαναφορτιζόμενα ηλεκτρικά οχήματα (Plugged in Electric Vehicles) διατίθενται σε όλες τις περιοχές των Η.Π.Α. . Αρκετές εταιρίες διαθέτουν στην αγορά ηλεκτρικά οχήματα. Η General Motors διαθέτει το επαναφορτιζόμενο υβριδικό αυτοκίνητο Chevrolet Volt. Οι εταιρίες Ford Motors και Nissan Motors διαθέτουν τα Ford Focus Electric και Nissan Leaf αντίστοιχα. Επίσης, έχουν ιδρυθεί εταιρίες που παράγουν επαναφορτιζόμενα ηλεκτρικά οχήματα πιο εξειδικευμένα. Η σημαντικότερη από αυτές είναι η Tesla Motors, που παράγει πολλά οχήματα τα οποία λειτουργούν μόνο με ηλεκτρική ενέργεια. Το Smart Grid θα διαθέτει τη αναγκαία υποδομή για την αποτελεσματική χρήση της γενιάς των επαναφορτιζόμενων ηλεκτρικών οχημάτων.

Τα επαναφορτιζόμενα ηλεκτρικά οχήματα:

- μπορούν να μειώσουν δραστικά την εξάρτηση του ανθρώπου από το πετρέλαιο,
- δεν μολύνουν τον αέρα της περιοχής, όπου κινούνται,
- εξαρτώνται από τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για να φορτίσουν τις μπαταρίες τους, με αποτέλεσμα την μόλυνση του περιβάλλοντος, καθώς εξαρτώνται από τα συμβατικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο ορυκτά καύσιμα,
- για να λειτουργήσουν με πιο οικολογικό τρόπο, πρέπει να φορτίζονται κατά την διάρκεια των πρώτων πρωινών ωρών όταν η ενεργειακή ζήτηση είναι ελαχιστη και η παραγωγή μέσω αιολικών πηγών έχει τη μέγιστη απόδοση.

Οι τεχνολογίες του Smart Grid θα αλληλεπιδρούν με κάθε φορτιζόμενο όχημα, για να το φορτίσουν στην βέλτιστη χρονική περίοδο. Επιπλέον ένα εξελιγμένο λογισμικό θα φροντίζει ώστε ένα επαναφορτιζόμενο ηλεκτρικό όχημα να είναι πλήρως φορτισμένο

και έτοιμο για χρήση σε περίπτωση ανάγκης, ο δε καταναλωτής θα μπορεί να απαιτεί την άμεση επαναφόρτιση του οχήματος όταν το χρειάζεται. Στο μέλλον τα επαναφορτιζόμενα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να συμβάλουν στην εξισορρόπηση της ενέργειας στο δίκτυο, εφόσον θα λειτουργούν ως κατανεμημένες πηγές αποθηκευμένης ενέργειας, με την ονομασία < όχημα στο δίκτυο > (vehicle to Grid "V2G"). Από ένα πλήθος μπαταριών συνδεδεμένων στο Smart Grid και διασκορπισμένων στην επικράτεια εξυπηρέτησης του δικτύου εξάγεται και συλλέγεται ενέργεια την οποία μπορεί ένας πάροχος δυνητικά να προσφέρει στο δίκτυο, σε περιόδους αυξημένης ενεργειακή ζήτησης και να αποφευχθούν έτσι πτώσεις τάσης του ρεύματος καθώς και επαναλαμβανόμενες διακοπές. Ακόμη τα επαναφορτιζόμενα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να συμβάλουν στην συνέχιση της λειτουργίας απομονωμένων τμημάτων του δικτύου κατά τις διακοπές ρεύματος. Θα μπορεί επίσης να βοηθήσει, ώστε να ενσωματωθούν μεταβλητές πηγές ενέργειας όπως η αιολική και η ηλιακή. Οικονομική ωφέλεια μπορούν να έχουν ιδιοκτήτες επαναφορτιζόμενων οχημάτων, που θα επιτρέπουν τη χρήση των μπαταριών τους. Ένα τέτοιο είναι και το Roadster S της Tesla Motors, που μπορεί να επαναφορτίσει την μπαταρία του σε οποιοδήποτε ηλεκτρικό αποδοχέα (πρίζα) αλλά όχι με την ίδια ταχύτητα γιατί αυτή εξαρτάται από την τάση του ρεύματος και τα καλώδια φόρτισης. Η ενέργεια που καταναλώνει το Roadster είναι περίπου 50 amps και διανύει απόσταση 380 χιλιομέτρων πριν από την επαναφόρτιση. Όταν η επαναφόρτιση γίνεται τις βραδινές ώρες, ου η ζήτηση είναι χαμηλή, τότε συμφέρει οικονομικά τον κάτοχο, λόγω φτηνότερης ενέργειας, ο οποίος πρέπει να εκμεταλλευτεί τις ρυθμίσεις του οχήματος για να το φορτίζει τις πιο συμφέρουσες ώρες.

Το όχημα φέρει στο εσωτερικό του μια οθόνη αφής από την οποία ο οδηγός ελέγχει την κατάσταση του οχήματος, την υπάρχουσα ποσότητα ενέργειας, την φόρτιση καθώς και να προβαίνει στην ρύθμιση όλων των λειτουργιών του οχήματος. Επίσης μέσω της οθόνης αφής ο οδηγός μπορεί να συνδέεται στο διαδίκτυο, να χρησιμοποιεί τις δυνατότητες πλοήγησης μέσω των χαρτών της Google αλλά και πληροφοριών για την κίνηση στον δρόμο, ώστε να έχει εικόνα των οχημάτων που ακολουθούν μέσω ενσωματωμένης κάμερας υψηλής ανάλυσης και να κάνει κλήσεις μέσω φωνητικών εντολών εάν το τηλέφωνο του έχει bluetooth. Από την εταιρία διατίθεται και μια εφαρμογή για Smart Phone που λέγεται και Tesla App και επιτρέπει στον χρήστη της

να καθορίζει τις ώρες φόρτισης του αυτοκινήτου του και να παρακολουθεί την ενεργειακή κατάσταση της μπαταρίας του κατά ή μετά την φόρτιση.

Η εταιρία PGE (Pacific Gas and Electric company) συνεργάζεται με την Tesla Motors για την εξέλιξη και την εφαρμογή της τεχνολογίας V2G (Vehicle to Grid), στα ηλεκτρικά οχήματα. Διεξάγεται δηλαδή έρευνα πάνω στην τεχνολογία έξυπνης φόρτισης (Smart charging technology), η οποία αποτελεί μια μορφή της τεχνολογίας V2G σχεδιασμένη έτσι, ώστε να επιτρέπει τη φόρτιση μέσω τηλεχειρισμού των ηλεκτρικών οχημάτων συνδεδεμένων στο ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτή η συνεργασία εκτιμάται ότι θα δώσει λύση στο πρόβλημα της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και να περιορίσει τον αντίκτυπο στο περιβάλλον λόγω των μετακινήσεων. Αρχικά οι δύο εταιρείες θα επιδιώξουν να υλοποιήσουν την έξυπνη φόρτιση οχημάτων (Smart charging) κατά την οποία τα ηλεκτρικά οχήματα θα φορτίζουν τις μπαταρίες τους χωρίς να μπορούν να επιστρέφουν ενέργεια στο δίκτυο. Κατά πρώτον θα υλοποιηθούν οι αυξημένες δυνατότητες που παρέχει το Smart Grid όπως ο έλεγχος τιμολογιακής πολιτικής, η ενημέρωση ωρών αιχμής και φόρτισης σε σταθμούς που υποστηρίζουν αυτό το δίκτυο. Οι δύο συνεργαζόμενες εταιρείες έχουν θέσει ως στόχο την μείωση του κόστους φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων και την υποστήριξη της αυξανόμενης διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Επιπλέον οι τελικοί χρήστες θα μπορούν να έχουν περισσότερη διαδραστική πληροφόρηση με το όχημά τους, διότι θα μπορούν να συνδεθούν ασύρματα με αυτό, παρακολουθώντας το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών τους ή να επιλέξουν οι ίδιοι την ώρα φόρτισής τους. Από τα πλεονεκτήματα χρήσης αυτής της τεχνολογίας το σημαντικότερο είναι η σταθεροποίηση του δικτύου, επειδή τα ηλεκτρικά οχήματα θα αποφεύγουν την φόρτισή τους κατά τις ώρες αιχμής. Ως βελτιωτικός σχεδιασμός της τεχνολογίας V2G προβλέπεται να επιτραπεί η παροχή ενέργειας από το όχημα προς το δίκτυο, οπότε τα οχήματα αυτά από καταναλωτές θα μετατραπούν σε παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι τα οχήματα μπορούν να αποθηκεύουν ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, όταν υπάρχει μεγάλη προσφορά ενέργειας και αντιθέτως θα επιστρέφει στο δίκτυο, όταν υπάρχει μεγάλη ζήτηση. Έτσι, λοιπόν, θα ενεργούν ως βοηθητικά συστήματα σταθεροποίησης του ηλεκτρικού δικτύου.[15][16][17]

3.6.1.1 Φόρτιση των επαναφορτιζόμενων οχημάτων

Η ύπαρξη επαρκών σταθμών φόρτισης θα είναι ο κύριος παράγοντας για την είσοδο και αποδοχή στην αγορά των επαναφορτιζόμενων ηλεκτρικών οχημάτων. Πολλοί φορείς σε διάφορες πόλεις των Η.Π.Α. χτίζουν σταθμούς φόρτισης και κάποιοι από αυτούς λαμβάνουν οικονομική βοήθεια από το υπουργείο ενέργειας, ενώ πολλοί δήμοι και εταιρίες ιδιωτικές επαναφορτίζουν τα αυτοκίνητα τους ως ένα βασικό κίνητρο για τη χρήση μη ρυπογόνων οχημάτων.

Εντωμεταξύ όσο περισσότερο αυξάνεται η διείσδυση στην αγορά των επαναφορτιζόμενων ηλεκτρικών οχημάτων, τόσο αυξάνεται και ο κίνδυνος απώλειας του προνομίου της δωρεάν φόρτισης, ενώ οι ιδιοκτήτες των σταθμών φόρτισης οφείλουν να βρουν ένα τρόπο χρέωσης των ιδιοκτητών των επαναφορτιζόμενων ηλεκτρικών οχημάτων. Οι τεχνολογίες του Smart Grid προσφέρουν μια πιθανή λύση στο πρόβλημα: με το Smart Grid κάθε επαναφορτιζόμενο ηλεκτρικό όχημα μπορεί να ταυτοποιηθεί από το σταθμό φόρτισης, όταν είναι συνδεδεμένος σε αυτόν και η ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται για την επαναφόρτιση να χρεωθεί αυτόματα στο λογαριασμό του. Περαιτέρω η τεχνολογία θα απλουστεύσει τον τρόπο χρέωσης των πελατών από τους ιδιοκτήτες-παρόχους αλλά και θα βοηθήσει τους κατόχους των επαναφορτιζόμενων ηλεκτρικών οχημάτων να φορτίζουν τα οχήματά τους χωρίς να χρειάζονται μετρητά ή πιστωτική κάρτα. Με αυτή την μέθοδο αλλάζει ο τρόπος συμμετοχής των καταναλωτών στην κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών.

3.6.2 Συμμετοχή του καταναλωτή

Το Smart Grid παρέχει πολλές δυνατότητες τόσο στον καταναλωτή για την εξοικονόμηση ενέργειας, όσο και στους ενεργειακούς παρόχους για τη λειτουργία ενός δικτύου πιο αποδοτικού, πιο αξιόπιστου και πιο αποτελεσματικού. Αλλά το Smart Grid μπορεί μέσω κάποιων ειδικών χαρακτηριστικών του να αλλάξει τις καταναλωτικές συνήθειες των χρηστών, όπως πχ την λειτουργία ενός πλυντηρίου πιάτων σε χρόνο που η τιμή της ενεργειακής μονάδας είναι φτηνότερη, ώστε οι καταναλωτές να έχουν οικονομικό όφελος, καθώς θα μειωθούν οι δαπάνες για την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν οι χρήστες. Αυτοί οι καταναλωτές οι οποίοι παράγουν δική τους ενέργεια θα μπορούν να έχουν θετικό πρόσημο στο ισοζύγιο παραγωγής-κατανάλωσης ενέργειας κερδίζοντας χρήματα περισσότερα από τα απαιτούμενα για τις ενεργειακές τους ανάγκες. Πολλοί πάροχοι προσφέρουν στους πελάτες τους οικονομικές λύσεις: για τους πελάτες π.χ. με κεντρικά συστήματα

κλιματισμού μπορούν οι πάροχοι να τοποθετήσουν στο κλιματιστικό έναν διακόπτη τηλεχειριζόμενο που ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί το κλιματιστικό ανάλογα με τις ώρες που η ενεργειακή ζήτηση είναι πολύ υψηλή (peak hours) ή δεν είναι. Σε αντάλλαγμα οι πελάτες λαμβάνουν πίστωση στον ηλεκτρικό τους λογαριασμό. Το Smart Grid επιτρέπει να λειτουργούν τέτοια προγράμματα με πιο έξυπνους και αποδοτικούς τρόπους, που θα εξασφαλίζουν μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας και θα μειώνουν την ταλαιπωρία των ιδιοκτητών κατοικιών και επιχειρήσεων. Στα προκύπτοντα οφέλη περιλαμβάνονται: τιμολόγηση ανάλογα με τις ώρες χρήσης, δικτυακές μετρήσεις και προγράμματα αποζημίωσης για τα επαναφορτιζόμενα ηλεκτρικά οχήματα.

3.6.2.1 Τιμολόγηση βάσει των ωρών χρήσης

Ένας καταναλωτής μπορεί να επωφεληθεί από τις δυνατότητες του Smart Grid, αν χρησιμοποιεί τα προγράμματα τιμολόγησης ανάλογα με τις ώρες χρήσης μιας συσκευής. Η λεγόμενη <τιμολόγηση βάσει ωρών χρήσης> διαμορφώνεται ανάλογα με την μεταβαλλόμενη ενεργειακή κατανάλωση-ζήτηση κατά την διάρκεια του εικοσιτετραώρου: στο μέσον της νύχτας είναι η χαμηλότερη και για το διάστημα από το μεσημέρι μέχρι τις εννέα μ.μ. η υψηλότερη. Όμως η ενεργειακή κατανάλωση ποικίλει ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και τα συμβαίνοντα γεγονότα κατά την διάρκεια εκείνης της χρονικής περιόδου.

Κατά την διάρκεια των ωρών αιχμής, όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη, πρέπει:

- Τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας και οι ενεργειακοί πάροχοι να εργαστούν σκληρότερα, για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες των καταναλωτών.
- Οι πάροχοι να απευθυνθούν ορισμένες φορές σε λιγότερο αποδοτικά και πιο ρυπογόνα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας ή να αγοράσουν ενέργεια από άλλους παρόχους με υψηλότερο κόστος.
- Οι πάροχοι να προκαλέσουν αλληπάλληλες διακοπές ρεύματος ή να μειώσουν την τάση του συστήματος, μία τακτική που ονομάζεται <βύθισμα>.

Εν κατακλείδι, η τιμολόγηση βάσει των ωρών χρήσης ενθαρρύνει τον χρήστη να καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης προσφέροντας του χαμηλότερη τιμή ενέργειας. Η ομοιόμορφη κατανομή της ζήτησης εξασφαλίζει μια σταθερή και αξιόπιστη ροή ηλεκτρικής ενέργειας, διαθέσιμη για όλους. Τα οικιακά συστήματα διαχείρισης ενέργειας θα βοηθήσουν τους καταναλωτές να αξιοποιήσουν στο έπακρο την τιμολόγηση βάσει των ωρών χρήσης. Ο καταναλωτής μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση μέσω του προσωπικού υπολογιστή του ή μιας φορητής συσκευής της χειρός (hand-held mobile device) και να ελέγχει το ύψος των τιμών, τις συσκευές που καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια και να ειδοποιείται για την αύξηση των τιμών, ώστε να απενεργοποιεί από απόσταση τις συσκευές, που δεν του χρειάζονται άμεσα, χωρίς να μειωθεί η ζήτηση και να <πέσουν> οι τιμές.

3.6.2.2 Μετρήσεις ισοζυγίου

Στις Η.Π.Α. , για τους καταναλωτές που παράγουν δική τους ενέργεια στις οικίες τους και που χρησιμοποιούν συστήματα, όπως εκείνο της παραγωγής ηλιακής ενέργειας, είναι διαθέσιμη ήδη η δυνατότητα μετρήσεων ισοζυγίου. Γενικά, οι μετρήσεις ισοζυγίου περιλαμβάνουν τη χρήση ενός μετρητή που καταγράφει τη ροή της παραγόμενης από τον κάθε καταναλωτή ηλεκτρικής ενέργειας και επιστρέφει στο δίκτυο ως πιστωτικές μονάδες. Ορισμένοι μηχανικοί μετρητές έχουν τη δυνατότητα να γυρίσουν προς τα πίσω, όμως σήμερα πλέον η πλειοψηφία των εταιριών χρησιμοποιεί τους ψηφιακούς μετρητές για τις μετρήσεις του σοζυγίου.

Οι καταναλωτές που διαθέτουν σήμερα συστήματα μέτρησης ισοζυγίου, έχουν τη δυνατότητα να συσσωρεύουν πιστωτικές μονάδες για την παραγωγή της επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας, εκείνης δηλαδή που τροφοδοτείται στο δίκτυο από τα ιδιόκτητα οικιακά συστήματα ενέργειας, η δε συσσώρευση τέτοιων μονάδων γίνεται σε μηνιαία βάση. Ακολούθως οι ιδιώτες παραγωγοί-καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς των πιστωτικών τους μονάδων στο επόμενο έτος ή λήψης μιας επιταγής για την επιπλέον ενέργεια που παρήγαγαν στη διάρκεια του έτους, από τον ενεργειακό τους πάροχο.

Το Smart Grid αναμένεται να βελτιώσει προσεχώς αυτά τα προγράμματα μετρήσεων ισοζυγίου. Δηλαδή ένας ενεργειακός πάροχος θα καταβάλει στον πελάτη του περισσότερα χρήματα για την ενέργεια που αυτός ο παραγωγός-πελάτης παρήγαγε

κατά τις περιόδους αυξημένης ενεργειακής ζήτησης ενώ θα πληρώνει πολύ λιγότερα για τη ενέργεια σε ώρες χαμηλής ζήτησης. Ένα τέτοιο σύστημα τιμολόγησης θα ενθαρρύνει τους καταναλωτές-παραγωγούς ενέργειας να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας σε περιόδους υψηλής ενεργειακής ζήτησης για να μεγιστοποιήσουν την ποσότητα ενέργειας που τροφοδοτείται στο δίκτυο.

3.6.2.3 Οικονομικά κίνητρα

Από το Smart Grid παρέχεται ένα πλήθος δυνατοτήτων που εξυπηρετούν τον στόχο της μεγαλύτερης και αποδοτικότερης αλληλεπίδρασης μεταξύ καταναλωτή και παρόχου σχετικά με την παραγωγή και κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Το Smart Grid προσφέρει πολλές νέες δυνατότητες στους καταναλωτές για εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας ή και άμεσο οικονομικό όφελος. Απαιτούνται και αλλαγές μικρές ή μεγάλες στον τρόπο που καταναλώνουν και διαχειρίζονται την ενέργεια οι καταναλωτές. Είναι πιθανόν να προσφέρουν οι ενεργειακοί πάροχοι οικονομικά κίνητρα στους καταναλωτές, ώστε να πεισθούν και να χρησιμοποιήσουν τις νέες δυνατότητες και να μεταβάλουν τις καθιερωμένες καταναλωτικές συνήθειες αλλά και με αυτόν τον τρόπο να μειώσουν οι πάροχοι το δικό τους αρνητικό αντίκτυπο στην ετήσια παραγωγή ρύπων διοξειδίου του άνθρακα. Οι έξυπνες συσκευές μπορούν επιπλέον να παράσχουν στον ενεργειακό πάροχο δυνατότητες, ώστε να μετατοπίσει την ενεργειακή ζήτηση σε ζώνες χαμηλής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (ζώνες μη αιχμής) καταλλήλως υλοποιούμενες ώστε να μην γίνεται αντιληπτό από τους καταναλωτές. Παραδείγματα: τα πλυντήρια πιάτων να αναστείλουν τη λειτουργία τους για τις ποιά βραδινές ώρες. Τα ψυγεία των καταναλωτών να αναβάλουν τον κύκλο απόψυξης τους. Το κλιματιστικά θα ήτο δυνατόν να μεγαλώσουν το χρόνο του κύκλου λειτουργίας τους ώστε να μειωθεί η ενεργειακή ζήτηση των καταναλωτών τις ώρες αιχμής της ζήτησης. Τέλος, ο φωτισμός ή η χρήση ηλεκτρικών συσκευών που η λειτουργία τους δεν είναι απαραίτητη, θα ήτο δυνατόν να εντοπίζονται και να απενεργοποιούνται. Αυτή η πρακτική προσφέρει άμεση και έμμεση οικονομική ωφέλεια ως αποτέλεσμα της μείωσης των λογαριασμών ηλεκτροδότησης. Επιπρόσθετα, ο καταναλωτής που μπορεί να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια πίσω στο δίκτυο σε ώρες αιχμής και να καταναλώνει σε ώρες μη αιχμής, θα έχει ένα επιπρόσθετο οικονομικό όφελος από τη διαφορά κόστους μονάδας σε αυτές τις διαφορετικές χρονικές περιόδους. Πιθανά οικονομικά κίνητρα περιλαμβάνει για τους

καταναλωτές και η χρήση των επαναφορτιζόμενων ηλεκτρικών οχημάτων ως πηγή αποθηκευμένης ενέργειας. Ένας πάροχος μπορεί να προσφέρει σε έναν καταναλωτή-ιδιοκτήτη επαναφορτιζόμενου ηλεκτρικού οχήματος χρηματικά κίνητρα για τη περιστασιακή άντληση ενέργειας από την μπαταρία του αυτοκινήτου του ως αντιστάθμισμα της μείωσης του κύκλου ζωής αυτής της μπαταρίας του οχήματός του εξαιτίας των διαδοχικών επαναφορτίσεων.

Οι νέες σημαντικές δυνατότητες που παρέχει πλέον το Smart Grid μπορεί να οδηγήσουν σε σύναψη συμφωνιών μεταξύ των ενεργειακών παρόχων και των πελατών τους για την εξεύρεση τρόπων εξοικονόμησης ενέργειας.

Τα προσφερόμενα οικονομικά κίνητρα μπορεί να ωθήσουν τους καταναλωτές να επενδύσουν σε νέες επικερδείς επιλογές, όπως π.χ. αν μια έξυπνη συσκευή αξιολογηθεί ως πηγή εσόδων μπορεί οι καταναλωτές να καταβάλουν επιπλέον χρήματα για να την αποκτήσουν. τα κίνητρα του ενεργειακού παρόχου μπορεί να οδηγήσουν τον καταναλωτή να επενδύσει σε ένα οικιακό σύστημα παραγωγής ενέργειας, π.χ. μια ανεμογεννήτρια ή φωτοβολταϊκά. Αυτές οι ενέργειες είναι βέβαιο ότι θα αποβούν επικερδείς για τον ενεργειακό πάροχο, τον καταναλωτή αλλά και τον τόπο διαμονής.

3.6.3 Έξυπνο Σπίτι (Smart Home)

Στη συνέχεια θα γίνει μια αναλυτική παρουσίαση της σπουδαιάς εφαρμογής της τεχνολογίας του Smart Grid στο έξυπνο σπίτι. Οι ενέργειες και τα μέσα με τα οποία προσδοκάται να επηρεάσει τις οικίες των καταναλωτών το Smart Grid συνοψίζονται στα εξής: στις Η.Π.Α. είναι διαθέσιμος προς πώληση ήδη ηλεκτρομηχανικός εξοπλισμός νέας γενιάς συμβατός με το Smart Grid καθώς και συσκευές λογισμικού ελέγχου, που είναι επίσης συμβατές με τις τεχνολογίες του Smart Grid για την εξοικονόμηση ενέργειας, την επίτευξη χαμηλότερων τιμών και τη συμβολή στην ομαλότερη και αποτελεσματικότερη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου. Ένα θεμελιώδες στοιχείο που δίνει τη δυνατότητα σε όλες τις τεχνολογίες του Smart Grid να λειτουργούν μαζί είναι η διαδραστική σχέση μεταξύ των χειριστών του δικτύου, των ενεργειακών παρόχων, των καταναλωτών και των συσκευών. Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να επιλέγουν συγκεκριμένους ελέγχους μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Θα μπορούν επίσης να ρυθμίζουν τις ηλεκτρικές συσκευές κατάλληλα,

ώστε να ανταποκρίνονται στα εκπεμπόμενα σήματα από τον εκάστοτε ενεργειακό πάροχο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της χρήσης τους στις ώρες αιχμής του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και ιδιαίτερα της ασκούμενης πίεσης λόγω της υψηλής ενεργειακής ζήτησης και αντίστοιχα την αύξηση των λειτουργιών εκείνων κατά τις ώρες διάθεσης της ενέργειας με χαμηλότερο οικιακό κόστος.

3.6.3.1 Έξυπνοι μετρητές και οικιακά συστήματα διαχείρισης της ενέργειας

Οι έξυπνοι μετρητές παρέχουν στο Smart Grid το σύστημα διασύνδεσης ανάμεσα στον ενεργειακό πάροχο και καταναλωτή του. Η μεγάλη καινοτομία των μετρητών αυτών είναι ότι λειτουργούν ψηφιακά και επιτρέπουν την αυτοματοποιημένη και πολύπλοκη μεταφορά πληροφοριών μεταξύ της οικίας του καταναλωτή και του ενεργειακού παρόχου διότι έχουν την υπευθυνότητα να καταγράφουν την καταναλισκόμενη ή παραγόμενη ενέργεια, αλλά και να μεταφέρουν τα αντίστοιχα σήματα για την επικοινωνία δικτύου-συσκευών. Η πληροφορία αυτή για τη ενέργεια που θα προέρχεται από τις κατοικίες των καταναλωτών και θα λαμβάνεται επίσης από αυτές σε μια αμφίδρομη ροή μέσω των έξυπνων μετρητών, θα τυγχάνει επεξεργασίας μέσω ενός οικιακού συστήματος διαχείρισης ενέργειας (EMS) που θα επιτρέπει σε κάθε καταναλωτή να το δει και να το κατανοήσει είτε στον υπολογιστή του είτε σε κάποια συσκευή χειρός. Ένα οικιακό σύστημα διαχείρισης ενέργειας επιτρέπει την λεπτομερή παρακολούθηση ενεργειακής κατανάλωσης για την καλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας. Ο καταναλωτής μέσω τον EMS μπορεί να παρατηρεί το ενεργειακό αποτύπωμα της εγκατάστασης του δηλαδή τον ενεργειακό αντίκτυπο των διαφόρων συσκευών και ηλεκτρονικών προϊόντων με την παρακολούθηση του ενεργειακού συστήματος διαχείρισης της ενέργειας του με ένα απλό άνοιγμα και κλείσιμο της κάθε συσκευής. Ένα οικιακό σύστημα διαχείρισης ενέργειας καθιστά δυνατή την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των πληροφοριών και των μηνυμάτων κόστους από το βοηθητικό πρόγραμμα καθώς και τη δημιουργία κατάλληλων ρυθμίσεων για την αυτόματη χρήση της ισχύος, όταν οι τιμές είναι χαμηλότερες. Επιπλέον παρέχετε η δυνατότητα να ρυθμίζονται οι συσκευές κατά τρόπο που να επιτρέπεται σε αυτές να απενεργοποιούνται αυτόματα, όταν π.χ. υπάρχει ιδιαίτερα υψηλή ζήτηση ενέργειας, η οποία θα μπορεί να προκαλέσει black out. Με τη δυνατότητα αυτή οι καταναλωτές μειώνουν τον αντίκτυπό τους στο

ηλεκτρικό δίκτυο και συμβάλλουν στην εξισορρόπηση του τοπικού ενεργειακού φόρτου, αλλά και στην πρόληψη γενικευμένων διακοπών του ρεύματος.

Τέτοιο σύστημα διαχείρισης διαθέτει η εταιρία STEM το οποίο μπορεί να ανταποκριθεί στις ανάγκες των επιχειρήσεων και των οικιακών καταναλωτών.

3.6.3.2 Το σύστημα STEM. Λειτουργία, συστατικά στοιχεία, οφέλη και πλεονεκτήματα

Το σύστημα STEM αποθηκεύει ενέργεια, όταν η ενεργειακή ζήτηση είναι χαμηλή, για να χρησιμοποιηθεί κατά τις ώρες αιχμής, όταν το ηλεκτρικό ρεύμα είναι ακριβό. Έτσι βοηθάει τους καταναλωτές να μειώσουν την ηλεκτρική ενέργεια, για να πετύχουν εξοικονόμηση. Στην πραγματικότητα δηλαδή λειτουργεί ως εξής: μετατοπίζει το χρονικό διάστημα κατά το οποίο καταναλώνεται ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο και παρέχει έτσι τη δυνατότητα στους καταναλωτές να επιδοθούν απερίσπαστοι στις δραστηριότητες τους. Το σύστημα STEM απαρτίζεται από τρία επιμέρους συστατικά: το Power tores, το Power Monitor και το Power Score.

Το Power tores αποτελεί τη διάταξη που αποθηκεύει την πλεονάζουσα ενέργεια. Αποτελείται από δομημένες διατάξεις που βοηθούν στην αποθήκευση έως 18kw/kw/i και τοποθετείται σε ειδικούς χώρους των εγκαταστάσεων του χρήστη.

Το Power Monitor είναι μικρή συσκευή μέτρησης που διαθέτει τις δυνατότητες επικοινωνίας και υπολογισμού, έχει δε ως κύρια λειτουργία την παρακολούθηση και απεικόνιση του ηλεκτρικού φορτίου με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Το Power Score είναι λογισμικό που στόχο έχει τον αποδοτικότερο έλεγχο των διατάξεων Power stores. Με τη χρήση του λογισμικού αυτού επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση οικονομίας και εγγυημένης απόδοσης και κατά το δυνατόν καλύτερης εξομάλυνσης της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Το σύστημα STEM το διαφοροποιεί η ικανότητα του να ενσωματώνει δεδομένα από διάφορες πηγές και να εφαρμόζει τεχνικές μηχανικής μάθησης. ούτος ώστε να παρέχει ιδιαίτερα ακριβείς προβλέψεις για τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα STEM μειώνει το κόστος την ενέργειας δρομολογώντας, όπου αυτό απαιτείται, την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη και αποφεύγει τις υψηλές χρεώσεις κατά τις ώρες αιχμής. Οι προβλέψεις του συστήματος STEM δίνουν δυνατότητα

στους διαχειριστές ενέργειας να κατανοήσουν τη σχέση ανάμεσα στη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας και του κόστους.

Τα πλεονεκτήματα του STEM είναι τα εξής:

1. Εξοικονόμηση χρημάτων μέσω της χρήσης της αποθηκευμένης ενέργειας και αποφυγής των υψηλών χρεώσεων κατά την διάρκεια ωρών αιχμής.
2. Μείωση κινδύνου λόγω εξάλειψης της ανάγκης για συνεχή παρακολούθηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και μείωση της ανησυχίας για πιθανές μελλοντικές αλλαγές των τιμών χρέωσης.
3. Ενεργειακή πρόβλεψη βάση στοιχείων και βελτιστοποίηση της διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας.
4. Συμβολή στην ομαλοποίηση της λειτουργίας και της μείωσης του φόρτου (Load) του ηλεκτρικού δικτύου μέσω της μείωσης της ενεργειακής ζήτησης σε ώρες αιχμής.

Το σύστημα STEM είναι συμβατό με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, ώστε να επιτρέπει στους ιδιοκτήτες-καταναλωτές να εκμεταλλευτούν απολύτως την ενέργεια που θα παραχθεί μέσω της αποθήκευσής της. Με τον τρόπο αυτό επιστρέφει για κατανάλωση ένα ποσό ενέργειας όταν αυτά (φωτοβολταϊκά) δεν έχουν την απαιτούμενη απόδοση λόγω καιρικών συνθηκών ή όταν αυξηθεί παροδικά η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.[18]

3.6.3.3 Έξυπνες συσκευές. Λειτουργικά χαρακτηριστικά και αποτελέσματα της χρήσης τους

Οι περισσότερες από τις ηλεκτρικές ή ηλεκτρονικές συσκευές που θα λειτουργούν στο έξυπνο σπίτι θα συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός δικτύου, το οποίο θα επιτρέπει στον καταναλωτή να διαχειρίζεται τη λειτουργία των συσκευών εξ αποστάσεως, μέσω του οικιακού συστήματος διαχείρισης ενέργειας κάθε οικίας. Για παράδειγμα, ένα οικιακό σύστημα διαχείρισης ενέργειας παρέχει στο ιδιοκτήτη τη δυνατότητα ενεργοποίησης συστημάτων όπως θέρμανσης ή ψύξης της οικίας, χωρίς αυτός να βρίσκεται εντός αυτής, επιτρέπει επίσης την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας π.χ. μιας αντλίας πισίνας ή της εξοικονόμησης ενέργειας, όπως π.χ. ενός πλυντηρίου πιάτων energy star.

Οι έξυπνες συσκευές μπορούν να ανταποκρίνονται σε μηνύματα από τον εκάστοτε ενεργειακό πάροχο για την αποφυγή κατανάλωσης ενέργειας σε ώρες μεγάλης αύξησης της ζήτησης. Ένα π.χ. έξυπνο κλιματιστικό μπορεί να παρατείνει ελαφρός το χρόνο του κύκλου λειτουργίας του προκειμένου να μειώσει τον ενεργειακό φόρτο που προκαλεί στο ενεργειακό δίκτυο. Το αποτέλεσμα από αυτή την ενέργεια δεν γίνεται άμεσα αισθητό από τον καταναλωτή, αλλά όμως τα εκατομμύρια των κλιματιστικών που ενεργούν έτσι, θα μπορούσαν να μειώσουν κατά πολύ τον φόρτο του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης ένα έξυπνο πλυντήριο και ένα έξυπνο ψυγείο θα μπορούσαν να αναβάλουν τους χρόνους πλυσίματος και ανάπτυξης αντίστοιχα κατά κάποιες ώρες, ώστε η λειτουργία τους να συμπέσει με τις ώρες χαμηλής ζήτησης ενέργειας. Είναι φυσικό αυτές οι έξυπνες συσκευές να ελέγχονται για την λειτουργία η την παύση τους απευθείας κατά την βούληση των καταναλωτών, για να παρακαμφθούν οι αυτόματοι έλεγχοι, όταν και όπου αυτό χρειάζεται. Αν π.χ. ο καταναλωτής αναγκαστεί να θέσει σε άμεση λειτουργία μια οικιακή ηλεκτρική συσκευή, μπορεί να το πράξει ανεξάρτητα από το κόστος αυτής της ενέργειας.

3.6.3.4 Η εταιρία Whirpool

Μέχρι σήμερα πρωτοπόρος στην ανάπτυξη των έξυπνων συσκευών είναι η εταιρία Whirpool και είναι η μοναδική παγκοσμίως που έχει ήδη διαθέσει στην αγορά μια σειρά έξυπνων συσκευών, που έχουν ως κύριο στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και τη διευκόλυνση των χρηστών τους. Η εταιρία Whirpool κατασκευάζει πλυντήρια πιάτων, πλυντήρια ρούχων-στεγνωτήρια, ψυγείοκαταψύκτες και άλλες έξυπνες ηλεκτρικές συσκευές. Το βασικό γνώρισμα που έχουν αυτές οι συσκευές είναι οι δυνατότητες διασύνδεσης που διαθέτουν με το Smart Grid μέσω της πλατφόρμας λογισμικού 6th Sense Live που έχουν.

Οι λευκές συσκευές συνδέονται μέσω αυτού του λογισμικού με το ασύρματο δίκτυο του χρήστη και ελέγχεται η έναρξη της λειτουργίας τους (on/off) μέσω έξυπνων κινητών, tablets ή υπολογιστών, που είναι επίσης συνδεδεμένα στο ίδιο δίκτυο. Αν ο καταναλωτής επιθυμεί αύξηση του ελέγχου στις οικιακές συσκευές, τότε πρέπει να χρησιμοποιήσει υποχρεωτικά την ειδική εφαρμογή My Smart Appliances app της εταιρίας, που θα είναι συμβατή τόσο με έξυπνα κινητά, όσο με προσωπικούς υπολογιστές. Με την εφαρμογή αυτή μπορεί να παρακολουθεί ανά πάσα στιγμή ο

καταναλωτής την ποσότητα ενέργειας που δαπανάει η κάθε συσκευή και την κατάσταση λειτουργίας της.

Σε κάθε περίπτωση σφάλματος ή άσκοπης χρήσης ενέργειας, ο καταναλωτής ειδοποιείται μέσω υπολογιστή, Smart-phone ή tablet του. Ο καταναλωτής μέσω του Smart phone ή του tablet μπορεί να ενεργοποιεί και να απενεργοποιεί αυτές τις συσκευές οποιαδήποτε στιγμή, να χρησιμοποιήσει τις νέες εφαρμογές που διαθέτουν, όπως π.χ. το πρόγραμμα Vacation Assistant σχετικά με την ενεργειακή κατανάλωση κάθε συσκευής, την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Με αυτές, λοιπόν, τις συσκευές μπορεί ο καταναλωτής να εξοικονομήσει χρήματα από το λογαριασμό του της ηλεκτρικής ενέργειας.[19][20][21][22][23][24]

3.6.3.5 Οικιακή παραγωγή ενέργειας. Το σπίτι μηδενικού ισοζυγίου ενέργειας <Net Zero Energy Home>

Χρήσιμο είναι σε αυτή την ενότητα να αναφερθούν οι τρόποι εκείνοι που οδηγούν προς την κατεύθυνση του σπιτιού μηδενικού ισοζυγίου ενέργειας. Καθώς οι καταναλωτές κατευθύνονται πλέον προς τα συστήματα παραγωγής ενέργειας τα οποία εγκαθίστανται στις οικίες τους, η διαδραστική ικανότητα του Smart Grid αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία. Είναι ήδη ευρέως διαθέσιμα ηλιακά ηλεκτρονικά συστήματα που τοποθετούνται στις στέγες των σπιτιών καθώς και ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους.

Επιπλέον οι εταιρίες έχουν αρχίσει να αναπτύσσουν οικιακά συστήματα κυψελών καυσίμου, τα οποία παράγουν θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια φυσικού αερίου. Το Smart Grid με το σύστημα των ελέγχων και των έξυπνων μετρητών που διαθέτει, βοηθά στην αποτελεσματική σύνθεση όλων αυτών των μικρού μεγέθους συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με το δίκτυο διανομής ενέργειας. Η σύνδεση αυτή των συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με το δίκτυο διανομής της παρέχει στοιχεία σχετικά με τη λειτουργία τους σε ενεργειακούς παρόχους αλλά και στους ιδιοκτήτες τους και γνωστοποιεί ανά πάσα στιγμή πόσο είναι το ενεργειακό πλεόνασμα που ανατροφοδοτείται στο δίκτυο σε σχέση με το απαιτούμενο για τις ενεργειακές ανάγκες του σπιτιού. Επιπροσθέτως οι καταναλωτές θα μπορούν να πουλήσουν την ενέργεια που παράγουν σε ώρες αιχμής κατά τις οποίες και οι τιμές αγοράς θα είναι αυξημένες και να αγοράζουν, όταν τους

συμφέρει. ενέργεια. Παράλληλα θα μπορούν να αποθηκεύουν το πλεόνασμα της ηλεκτρικής τους ενέργειας, όταν αυτό παράγεται σε ώρες μη αιχμής και να το προσφέρουν στο δίκτυο σε ώρες αιχμής.

Εκτός των παραπάνω θα μπορούν οι χρήστες να πωλούν την ενέργεια που παράγουν και στον πάροχο αλλά και στην κοινότητα όπου διαμένουν, με σκοπό η κοινότητα να χρησιμοποιεί την ηλιακή της συστοιχία ή τις συστοιχίες των γειτονικών συστημάτων, για να διατηρήσει τα φώτα της σε λειτουργία, ακόμη και όταν ο ενεργειακός πάροχος αδυνατεί να παράσχει ενέργεια. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται <ενεργειακή νησίδα>, που θα επιτρέπει σε ένα σπίτι να προμηθευτεί ενέργεια από μία σειρά κατανεμημένων πόρων, όπως τοπικά ηλιακά συστήματα παραγωγής ενέργειας, μικρά υδροηλεκτρικά και αιολικά συστήματα, μέχρις ότου ο ενεργειακός πάροχος κατορθώσει να αποκαταστήσει τη σύνδεση με το δίκτυο.

3.6.4 Παραγωγή, διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας

Ένας ακόμα σπουδαίος τομέας εφαρμογής του Smart Grid είναι αυτός της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το <έξυπνο δίκτυο> παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ανήκει στον τομέα της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται ώστε να εξελιχθούν τα συστήματα διανομής και χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας, για να συμβαδίσουν με την επιστημονική και τεχνολογική πρόοδο στον εικοστό πρώτο αιώνα εκμεταλλευόμενοι τις δυνατότητες τηλεχειρισμού και αυτοματισμού που προσφέρουν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Η τεχνολογία αμφίδρομης επικοινωνίας και η επεξεργαστική ισχύς των ηλεκτρονικών υπολογιστών, καθιστούν δυνατή την ανάπτυξη αυτών των συστημάτων. Τα συστήματα αυτά ήδη χρησιμοποιούνται στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας στον τομέα παραγωγής όπως σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και σε αιολικά πάρκα και στον τομέα της κατανάλωσης όπως σε σπίτια και επιχειρήσεις. Τα οφέλη τους είναι πολλά, όπως σημαντικές βελτιώσεις της ενεργειακής τους απόδοσης για το δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας και της ενεργειακής κατανάλωσης σε σπίτια και γραφεία. Τα τελευταία χρόνια η τάση αυτή αλλάζει, καθώς προσφέρονται διαρκώς περισσότερα προϊόντα για την βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας. Το ηλεκτρικό δίκτυο των Η.Π.Α. , που δημιουργήθηκε κατά την δεκαετία του 1890, βελτιωνόταν συνεχώς μέσω των νέων εφαρμογών της τεχνολογικής εξέλιξης. Σήμερα απαρτίζεται από εννέα χιλιάδες διακόσιες ηλεκτρικές

μονάδες, παράγει ενέργεια πλέον του ενός εκατομμυρίου μεγαβάτ και έχει μήκος γραμμών μεταφοράς περίπου τριακόσιες χιλιάδες χιλιόμετρα.

3.6.4.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ο πρόεδρος των Η.Π.Α. έχει διακηρύξει ότι είναι ανάγκη να εξασφαλίσει η χώρα το 25% της ηλεκτρικής ενέργεια που χρειάζεται από ανανεώσιμες πηγές μέχρι το 2025. Όμως ο ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξακολουθούν να παράγουν μόνο το 5% της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Στο πρόβλημα αυτό τη λύση μπορεί να δώσει η ανάπτυξη του Smart Grid. Όμως το συμβατικό δίκτυο των Η.Π.Α. είναι ο κυριότερος παράγοντας μειωμένης χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το σημερινό ηλεκτρικό δίκτυο παρουσιάζει δυσκολία προσαρμογής, όσον αφορά στις μεταβλητές πηγές ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή, που είναι οι ταχύτερα αναπτυσσόμενες πηγές ενέργειας. Οι πόροι παραγωγής ηλεκτρισμού μέσω ηλιακών, αιολικών και γεωθερμικών πηγών βρίσκονται στις περιφερειακές απομακρυσμένες περιοχές. Απαιτείται, συνεπώς, ένας ηλεκτρικός αγωγός ευρείας κλίμακας που θα έχει τις υποδομές, ώστε η ηλεκτρική ενέργεια να μεταφέρεται γρήγορα, εύκολα και αποτελεσματικά στα αστικά κέντρα. Επειδή οι πόροι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξάνουν συνεχώς τα ποσοστά της συνολικής ισχύς του δικτύου θα αυξηθεί ανάλογα και η δυσκολία ένταξής τους στις λειτουργίες του ηλεκτρικού δικτύου. Τελικώς, το Smart Grid θα είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει και να αξιοποιήσει καλύτερα τους ενεργειακούς πόρους και έχει καταστεί αναγκαία η εφαρμογή του. Τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη του Smart Grid συνοψίζονται στα εξής:

- Το Smart Grid μπορεί να προσφέρει στους διαχειριστές δικτύων νέα εργαλεία τα οποία θα συμβάλουν στην γρήγορη μείωση ζήτησης ενέργειας και ιδιαίτερα όταν η αιολική και ηλιακή ενέργεια παρουσιάζουν πτωτικές τάσεις.
- Διαθέτει μεγαλύτερες δυνατότητες αποθήκευσης ενέργειας, έτσι ώστε να απορροφάται η πλεονάζουσα αιολική και ηλιακή ενέργεια όταν αυτή δεν είναι απαραίτητη και μπορεί να διατίθεται όταν η παραγωγή αιολικής και ηλιακής ενέργειας παρουσιάζει πτωτική τάση λόγω περιορισμένης ηλιοφάνειας, νυχτερινών ωρών κτλ.

- Η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να δώσει λύση στην εξομάλυνση της μεταβλητότητας των ηλιακών και αιολικών φορέων, με άμεσο αποτέλεσμα την καλύτερη και αποδοτικότερη χρήση τους.
- Θα παρέχει κίνητρα στους καταναλωτές όχι μόνο να καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια, αλλά επιπλέον να παράγουν οι ίδιοι ενέργεια με τη χρήση ανανεώσιμων και φιλικών προς το περιβάλλον πηγών ενέργειας.
- Οι χρήστες θα έχουν μεγάλο όφελος αν πουλάνε τις ώρες αιχμής την ενέργεια που παράγουν και αν αγοράζουν σε ώρες χαμηλότερης ζήτησης, άρα και μικρότερου κόστους την ενέργεια που καταναλώνουν σε ώρες χαμηλότερης ζήτησης και μικρότερου κόστους ανά μονάδα ενέργειας. Με τη χρήση των έξυπνων μετρητών οι καταναλωτές θα γνωρίζουν την τιμή μονάδας και ανάλογα με τις ανάγκες τους να πουλάνε στο δίκτυο την ενέργεια που παράγουν.
- Οι καταναλωτές θα επιδοτούνται και οικονομικά από τους παρόχους τους στο να επενδύσουν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα πλαίσια μια γενικευμένης ενεργειακής πολιτικής της Ομοσπονδιακής Κυβέρνησης των Η.Π.Α. .
- Με την εφαρμογή των παραπάνω μέτρων η χρήση του Smart Grid στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα μεταβάλει το ποσοστό των πράσινων πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Πηγές, όπως η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμική ενέργεια, η βιομάζα και η υδροηλεκτρική ενέργεια μπορούν να αξιοποιηθούν από τους καταναλωτές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην επόμενη ενότητα θα παρατεθεί ένα παράδειγμα της παραπάνω αρχής στην αποδοτικότερη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και στην παραγωγή ενέργειας μικρής κλίμακας από ανανεώσιμες πηγές.[14]

3.7 Εξέλιξη σε παγκόσμιο επίπεδο του Smart Grid

3.7.1 Αυστραλία

Οι τοπικές κυβερνήσεις ενδιαφέρονται έντονα για τη δημιουργία ενός έξυπνου δικτύου ενεργειακής παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ο μη κερδοσκοπικός ανεξάρτητος οργανισμός Smart Grid Australia είναι αφιερωμένος

στον εκσυγχρονισμό του ηλεκτρικού συστήματος της Αυστραλίας. Διαδραματίζει καίριο ρόλο στην παροχή σημαντικών πληροφοριών και στη συνδρομή της Αυστραλιανής κυβέρνησης για την ανάληψη πρωτοβουλιών με στόχο την ανάπτυξη ενός έξυπνου ενεργειακού δικτύου. Με τη βοήθεια του Smart Grid Australia η Αυστραλιανή κυβέρνηση έθεσε σε εφαρμογή το πρόγραμμα <Smart Grid Smart City>(έξυπνο δίκτυο έξυπνη πόλη) στα πλαίσια της εθνικής πρωτοβουλίας ενεργειακής αποδοτικότητας(National Energy Efficiency Initiative). Η κυβέρνηση χρηματοδοτεί μέσω αυτού του προγράμματος το πρόγραμμα Smart Grid Smart City και αναπτύσσει μια ρυθμιστική μεταρρυθμιστική στρατηγική για την άρση τυχών εμποδίων και την βελτίωση των κινήτρων. Σκοπεύει έτσι στις επενδύσεις πάνω στον τομέα του Smart Grid και συμπεριλαμβάνονται μέτρα με σκοπό τη ρύθμιση της ενεργειακής ζήτησης καθώς και τιμολογήσεις βάση των ωρών ενεργειακής κατανάλωσης. Παράλληλα επανεξετάζει τον καθορισμό των δημοσίων πρωτοβουλιών, ώστε να προετοιμαστούν κατάλληλα τα δίκτυα της χώρας για την εξυπηρέτηση μεγαλύτερου αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων. Οι τοπικές κυβερνήσεις της Αυστραλίας δραστηριοποιούνται στον τομέα των έξυπνων ενεργειακών δικτύων.

Η κυβέρνηση της New South Wales εξετάζει αν οι αναδιαρθρώσεις στα δίκτυα διανομής ενέργειας μπορούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα για να αποφευχθεί ο κίνδυνος αύξησης του ηλεκτρικού ρεύματος.

Η κυβέρνηση του Queensland έχει εκδηλώσει ενδιαφέρον για το Smart Grid και συλλέγει προτάσεις από βιομηχανίες για την ανάπτυξη έξυπνου ενεργειακού δικτύου. Τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα εντάσσονται στο σχεδιασμό όλων των επιχειρήσεων διανομής ενέργειας της Αυστραλίας και οι περισσότερες από αυτές ασχολούνται με σχετικά έργα διαφορετικής εμβέλειας και κλίμακας.

Τα δύο κυριότερα έργα ανάπτυξης στην Αυστραλία είναι το Smart Grid Smart City, που αντανακλά το υψηλό επίπεδο συντονισμού και συνεργασίας κυβέρνησης και βιομηχανίας για τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα. Το άλλο έργο που ονομάζεται Intelligent Network Communities (<Κοινότητες Έξυπνου Δικτύου>) αντικατοπτρίζει το είδος του εκσυγχρονισμού του ενεργειακού δικτύου που ενδιαφέρει άμεσα τους ενεργειακού παρόχους, ένα έργο κρίσιμης σημασίας για την ανάπτυξη του Smart Grid.

3.7.1.1 Κοινότητες Έξυπνου Δικτύου (Intelligent Network Communities)

Στο πρόγραμμα αυτό η εταιρία-διανομέας ενέργειας Essential Energy διεξάγει ελέγχους πάνω στις λειτουργίες ανίχνευσης και απομόνωσης σφαλμάτων, αποκατάστασης βλαβών, παρακολούθησης της ποιότητας ισχύος και αυτοματισμού διανομής επί τη βάση ενός εμπορικού συστήματος διαχείρισης της ενεργειακής διανομής. (commercial distribution management system).

Η παρακολούθηση αυτή των υποσταθμών σε συνδυασμό με έλεγχο του φόρτου συστήματος και με διαδραστικούς μετατροπείς Volt/Var ελέγχων τεσσάρων τεταρτημορίων, καθιστούν το πρόγραμμα ένα ολοκληρωμένο έργο έξυπνου ενεργειακού δικτύου. Η εταιρία Essential Energy στα πλαίσια του προγράμματος διεξάγει δοκιμές σε προηγμένες υποδομές μετρήσεων της ενέργειας σε συγκεκριμένα προϊόντα και εκπαίδευση που απευθύνονται στους πελάτες της, καθώς και καταναεμημένη παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας. Το έργο βρίσκεται στο στάδιο της υλοποίησης.

3.7.1.2 Έξυπνο Δίκτυο Έξυπνη Πόλη (Smart Grid Smart City)

Το πρόγραμμα Smart Grid Smart City του οποίου η ολοκλήρωση αναμενόταν εντός του 2013, διεξάγει δοκιμές πάνω σε λύσεις αντιμετώπισης της ενεργειακής ζήτησης και των νέων τεχνολογιών παροχής ενέργειας, σε ένα περιβάλλον παραγωγής με πραγματικούς πελάτες. Είναι έργο επίδειξης (Demo Project) που συλλέγει πληροφορίες για τα οφέλη και το κόστος των διαφόρων τεχνολογιών, έξυπνων ενεργειακών δικτύων με άξονα τις ιδιαιτερότητες της Αυστραλίας. Οι πελάτες, ως μέρος των διεξαγομένων δοκιμών θα παρακολουθούν την ενεργειακή τους κατανάλωση και θα υπολογίζουν τα ενεργειακά κόστη και την εκπεμπόμενη ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου. Ως αντάλλαγμα θα λάβουν ένα οικιακό σύστημα διαχείρισης της ενέργειας, που θα τους παράσχει ασύρματο έλεγχο των ηλεκτρικών τους συσκευών. Στο ίδιο δίκτυο εντάσσονται επίσης και βελτιωμένες συσκευές παρακολούθησης και μέτρησης που θα βελτιώσουν την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα του δικτύου, την ενσωμάτωση της καταναεμημένης αποθήκευσης και παραγωγής ενέργειας, καθώς και την αύξηση της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων.

Το έργο περιλαμβάνει έξυπνους αισθητήρες, νέα back-end πληροφοριακά συστήματα, έξυπνους μετρητές και ένα δίκτυο επικοινωνιών. Τέλος η διευθύνουσα ομάδα θα εξετάσει τα οφέλη στην απόδοση του ενεργειακού συστήματος, τη διαφύλαξη του περιβάλλοντος και τα οφέλη για τους καταναλωτές και για την κοινωνία.[25]

3.7.2 Καναδάς

Πολλές επαρχίες του Καναδά (Ontario, Quebec, British Columbia) έχουν εφαρμόσει η προτίθενται να εφαρμόσουν την μαζική εγκατάσταση έξυπνων μετρητών. Πιλοτικά προγράμματα έξυπνου ενεργειακού δικτύου διεξάγονται στο Ontario και Quebec κ.α. και ενεργειακοί πάροχοι αναλαμβάνουν να εκτελέσουν έργα εκσυγχρονισμού του δικτύου, το οποίο εξετάζουν και ενσωματώνουν τις τεχνολογίες του Smart Grid. Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας, οι έξυπνοι μετρητές και οι πρωτοβουλίες για την <πράσινη ανάπτυξη> έχουν γίνει αντικείμενο πολιτικής αντιπαράθεσης και διχάζουν τους πολίτες, καθώς διάφορες ομάδες είναι αντίθετες στην εγκατάσταση και λειτουργία έξυπνων μετρητών εκφράζοντας ανησυχίες για την προστασία της προσωπικής ζωής και την ασφάλεια της δημόσιας υγείας.

Ο οργανισμός Smart Grid Canada πλαισιωμένος από ακαδημαϊκούς και μετόχους διαφόρων εταιριών, επιδιώκει να ευαισθητοποιήσει ακόμα περισσότερο τους πολίτες για το Smart Grid, να προωθήσει την έρευνα και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών ενέργειας και να στηρίξει τους πολιτικούς που υποστηρίζουν το Smart Grid. Τα ακολουθούντα προγράμματα δείχνουν τη γρήγορη υιοθέτηση των τεχνολογιών του Smart Grid από τους Καναδέζους και τα οποία προγράμματα έχουν ή σχεδόν ολοκληρωθεί. Το παράδειγμα του Καναδά αποτελεί ένα σπουδαίο σημείο αναφοράς να διδαχθούν τα κράτη και οι πολίτες και να πεισθούν για την αναγκαιότητα εφαρμογής των νέων τεχνολογιών του Smart Grid.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο από τα πιο αξιόλογα έργα του Καναδά με βάση τις τεχνολογίες του Smart Grid.

3.7.2.1 Δυναμική βαθμονόμηση γραμμής μεταφοράς (Transmission Dynamic Line Rating)

Ο οργανισμός Manitoba Hydro εγκατέστησε ένα σύστημα δυναμικής βαθμονόμησης γραμμής το έτος 2002 και κατόρθωσε να βελτιστοποιήσει τη δυνατότητα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Μετά την εγκατάσταση παρατηρήθηκε φαινόμενο αύξησης κατά 30% στη γραμμή μεταφοράς έναντι της στατικής βαθμονόμησης για ποσοστό 90% του συνολικού χρόνου. Με την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας ο οργανισμός Manitoba Hydro δεν χρειάστηκε να αυξήσει την δυνατότητα μεταφοράς ενέργειας με δημιουργία επιπρόσθετης γραμμής μεταφοράς

3.7.2.2 Σύστημα παρακολούθησης ευρείας περιοχής (Wide Area Control System)

Ο οργανισμός Hydro Quebec είναι υπεύθυνος για την σταθερότητα της τάσης στην περιοχή του Μόντρεαλ. Επειδή, όμως, οι δραστηριότητες περιορίζονται σε αυτή την περιοχή δημιουργεί σημαντικά εμπόδια για την ανταλλαγή ενέργειας με τις Η.Π.Α.. Ο οργανισμός, αφού αξιοποίησε τον ήδη υπάρχοντα εξοπλισμό του που περιλαμβάνει ένα σύγχρονο <Σύστημα παρακολούθησης ευρείας περιοχής> και ένα αξιόπιστο δίκτυο επικοινωνίας τα συνδύασε έτσι, ώστε να δημιουργήσει ένα σύστημα ελέγχου ευρείας περιοχής για την κατάσταση της ηλεκτρικής τάσης, ενσωματώνοντας σε αυτό διαλειτουργικούς διακόπτες, μονάδες μέτρησης φάσης και ανεξάρτητες μονάδες ενεργειακής απεικόνισης. Το σύστημα ευρείας παρακολούθησης του Hydro Quebec συνδέεται με ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας (Energy Management System) και συμβουλεύει προληπτικά τους χειριστές του συστήματος για το ενδεχόμενο γεωμαγνητικών καταιγίδων. Η αναπαραγωγή των περιπτώσεων σταθερότητας της τάσης μέσω προσομοίωσης χρησιμοποιώντας τα συστήματα PSS/E και ASTRE επιτρέπει την αξιολόγηση της απόδοσης της συνολικής αλυσίδας λειτουργιών των τηλεπικοινωνιών καθώς και ανίχνευση σημάτων ελέγχου συγχρονισμού και ακριβείας σε διάφορες τοποθεσίες. Το έργο αυτό έχει ως αποτέλεσμα την σταθεροποίηση της τάσης του δικτύου, αυξάνοντας έτσι το ποσοστό ενέργειας που ανταλλάσσεται με τις Η.Π.Α. .

3.7.2.3 Ontario Smart Metering Initiative

Η κυβέρνηση του Οντάριο, με την υιοθέτηση της πράσινης ενέργειας ως βασικού πυλώνα στρατηγικής για την οικονομική ανάπτυξή της έχει καταλάβει ηγετική θέση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στους έξυπνους μετρητές και την υιοθέτηση του Smart Grid.

Η κυβέρνηση ξεκίνησε την πρώτη εγκατάσταση έξυπνων μετρητών-πρωτοβουλία Ontario Smart Metering σε όλη την επαρχία και πλησιάζει προς την ολοκλήρωση της εγκατάστασης 4.500.000 έξυπνων μετρητών. Μαζί με τους μετρητές η κυβέρνηση εισήγαγε την υποχρεωτική τιμολόγηση βάση των ωρών κατανάλωσης. Το Οντάριο είναι η μεγαλύτερη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο, με υποχρεωτικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας βάση ωρών χρήσης. Πιλοτικά προγράμματα κατά την έναρξη εφαρμογής αυτών των μέτρων δείχνουν μέγιστο όφελος της τάξης 5%-8%. Βέβαια η αύξηση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας με την επίσπευση της τιμολόγησης βάση των ωρών χρήσης και η επιβαλλόμενη απόσβεση των επενδύσεων αύξησε το κόστος της ηλεκτροδότησης και προκάλεσε τη δυσφορία μεγάλης μερίδας καταναλωτών. Η κυβέρνηση του Οντάριο, για να αμβλύνει τη δυσκολία εισήγαγε πρόγραμμα εκπτώσεων για να βοηθήσει τους καταναλωτές με την αύξηση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας.[25]

3.7.3 Ευρωπαϊκή Ένωση

Η Ε.Ε. έχει θεσπίσει σχετική νομοθεσία για το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο και τους έξυπνους μετρητές και το πιο συγκεκριμένο παράδειγμα της νομοθεσίας αυτής αποτελεί η οδηγία 2009/752/EK που απαιτεί από τα κράτη- μέλη της Ε.Ε. να εγκαταστήσουν έξυπνα συστήματα μέτρησης της ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το 2020 εκεί που είναι αυτό εφικτό/ Τα διάφορα χαρακτηριστικά των παρόχων ηλεκτρικής ενέργειας ανάγκασαν τα μέλη της Ε.Ε. να αντιμετωπίζουν την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών και την απόσβεση του κόστους τους μεμονωμένα. Το τρίτο νομοθετικό πακέτο του 2002 για τους μετρητές περιλαμβάνει τις εξής οδηγίες: οδηγία 2005/89/EK (ασφάλεια του εφοδιασμού ενέργειας), οδηγία 2006/32/EK (αποδοτικότητα ενέργειας κατά την τελική χρήση και ενεργειακές οδηγίες) και τέλος οδηγία 2004/22/EK (όργανα μέτρησης της ενέργειας). Το 2011 το 10% των νοικοκυριών της Ε.Ε. εγκατέστησε κάποιο είδος έξυπνου μετρητή και αναμένεται ότι μέχρι το 2016 τα 100 εκατομμύρια. Η Ε.Ε. ασχολείται ενεργά με την εκπόνηση σχεδίων ανάπτυξης έξυπνου ενεργειακού δικτύου. Το 2009 η Ε.Ε. συνέστησε ομάδα ειδικών (Task force) για τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα με σκοπό την παροχή συμβουλών για την ακολουθητέα πολιτική και τις ρυθμιστικές ενέργειες που απαιτούνται καθώς και το συντονισμό για την εφαρμογή ενός έξυπνου δικτύου, εφαρμόζοντας την τρίτη δέσμη νομοθετικών μέτρων του 2009. Όλα σχεδόν τα κράτη-

μέλη της Ε.Ε. έκανα σημαντικές επενδύσεις για την δοκιμαστική ενσωμάτωση των τεχνολογιών των έξυπνων δικτύων και την εφαρμογή τους βάση του ενεργειακού πλαισίου. Η Ε.Ε. την τελευταία δεκαετία επένδυσε 300 εκατομμύρια ευρώ για την ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων ενεργειακού δικτύου. Το 2010 η Ε.Ε. συνέστησε την Ευρωπαϊκή Πρωτοβουλία Δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας (EEGI) για ένα 9ετές πρόγραμμα έρευνας και ανάπτυξης 2.000.000.000 ευρώ. Ο οργανισμός EDSO για το Smart Grid είναι μια ένωση των χειριστών συστημάτων διανομής ενέργειας, αποτελούμενη από 17 μέλη-κράτη της Ε.Ε. , που καλύπτει το 70% της παροχής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε. . Ο σύλλογος είναι αφοσιωμένος στην επιτυχία των στόχων της Ε.Ε. για την ενεργειακή αποδοτικότητα, την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου και την εξάπλωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Επιλαμβάνεται θεμάτων σχετικών με το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο. Τα έργα που παρουσιάζονται παρακάτω τα κατέστησε δυνατά αυτός ο οργανισμός EDSO για το Smart Grid:

a) Πρόγραμμα ADDRESS (Active Distribution network with full integration of Demand and distributed energy Resources)

Το έργο ADDRESS είναι ένα δοκιμαστικό πρόγραμμα που ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 2012. Το πρόγραμμα έχει υιοθετήσει μια προσέγγιση έχοντας ως γνώμονα την ενεργειακή ζήτηση και όχι την προσέγγιση βάσει ενεργειακής παραγωγής σε μια προσπάθεια να προσελκύσει την μικρής κλίμακας και εμπορικής φύσεως συμμετοχή των καταναλωτών στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, υιοθετώντας καινοτόμες εμπορικές συμφωνίες. Βασικά επιδιώκει την ενθάρρυνση των καταναλωτών να παρέχουν υπηρεσίες σε διαφορετικούς συμμετόχους στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας με βάση είτε τους μηχανισμούς τιμολόγησης ή τον όγκο των σημάτων. Την ανταλλαγή αυτή διευκολύνει τεχνολογία που εγκαθίσταται στην ιδιοκτησία του πελάτη ή στον ενεργειακό πάροχο . Στόχος του έργου είναι να βελτιωθεί η ευελιξία της συμπεριφοράς των καταναλωτών, η ενίσχυση της αξιοπιστίας, η ασφάλεια και της αποτελεσματικότητας του συστήματος και η δημιουργία βάσεων για την κερδοφόρα παραγωγή ενέργειας, η οποία θα οδηγεί σε αύξηση του ανταγωνισμού και μείωση των τιμών της ενέργειας.

b) GRID4EU

Το έργο Grid4EU έχει προγραμματιστεί να ολοκληρωθεί το 2016 και έχει ως προορισμό να προβάλει τις πιο σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις της Ευρώπης πάνω στο έξυπνο ενεργειακό δίκτυο. Το έργο, σε έξι περιοχές επίδειξης θα ενσωματώσει την αυξημένη κατανεμημένη παραγωγή ενέργειας, την παροχή της τρέχουσας ζήτησης στα δίκτυα διανομής ενέργειας και τη βελτίωση των δικτύων διανομής.

Το πρόγραμμα έχει ως στόχο:

- Να συνδράμει την ενσωμάτωση της κατανεμημένης παραγωγής στα δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης και να επιτύχει μεγαλύτερη αξιοπιστία, μικρότερους χρόνους ανάκαμψης(recovery time) και την αποφυγή άγνωστών υπερφορτώσεων.
- Να αξιολογήσει τις τεχνικές και μη τεχνικές απώλειες μέσω της σύγκρισης των ενεργειακών συνόλων των υποσταθμών με το σύνολο της συσσωρευμένης ενέργειας των πελατών, ανά ώρα.
- Να βελτιώσει τη διάδοση των πληροφοριών στους πελάτες και να μελετήσει τη συμπεριφορά τους κατά τον περιορισμών του συστήματος(τις ώρες αυξημένης λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων).
- Να ενισχύσει τους ελέγχους των δικτύων υψηλής τάσης μέσω της παρακολούθησης και αποτελεσματικής ανίχνευσης σφαλμάτων καθώς και της αυτόματης αποκατάστασης τους, και τέλος.
- Να αποδείξει ότι τα ήδη εγκατεστημένα δίκτυα με την προσθήκη έξυπνων μετρητών και τον συνδυασμό μονάδων θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας έχουν τη δυνατότητα να αναβαθμιστούν, ώστε να επιτρέπουν το φαινόμενο του αυτόματου islanding, της ενεργειακής νησίδας.

c) GREEN eMOTION

Το πρόγραμμα Green emotion έχει ως σκοπό την σύνδεση των υπό εξέλιξη περιφερειακών και εθνικών πρωτοβουλιών ηλεκτροκίνησης με την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων και τη σύγκριση διαφορετικών τεχνολογικών

προσεγγίσεων με σκοπό την εξασφάλιση της καλύτερης λύσης για την Ευρώπη. Επίσης θα δημιουργήσει μια εικονική αγορά για πλήρεις και χρεώσιμες συναλλαγές στον τομέα αυτό. Τα εννέα προγράμματα επίδειξης ανά την Ευρώπη ανήκουν σε διαφορετικό πεδίο εφαρμογής και περιλαμβάνουν υβριδικά οχήματα, σταθμούς φόρτισης συνεχούς ρεύματος(DC), βελτιστοποιημένη αμφίδρομη φόρτιση (Vehicle2Grid V2G,Battery2Grid B2G), χρεωστικά συστήματα ανάλογα με τις kWh, διασυνοριακή λειτουργία ενέργειας (energy roaming), ανταλλαγή μπαταριών, πολίτες αρμόδιους για τις υπηρεσίες ηλεκτρικής κινητικότητας, ηλεκτρικές μηχανές (e-motorcycles) και δοκιμές εναλλακτικών επιχειρηματικών μοντέλων. Το έργο, επιπλέον έχει ως σκοπό την επίδειξη της ενσωμάτωσης της ηλεκτροκίνησης στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και της συμβολής στη βελτίωση και την ανάπτυξη νέων ή υπαρχόντων ήδη προτύπων των διαφόρων διεπαφών (interfaces) που εφαρμόζονται σε αυτή. Επιπροσθέτως η υπεύθυνη ομάδα θα αξιολογήσει διαφορετικές λύσεις φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων καθώς και τι επιπτώσεις θα έχουν τα διάφορα ηλεκτρικά οχήματα στο ενεργειακό δίκτυο. Στόχος είναι να διαμορφωθούν νέα επιχειρηματικά μοντέλα που θα βασίζονται στη συμπεριφορά των καταναλωτών διαμέσου της προσέγγισης αυτής σε επίπεδο συστήματος. Το έργο προγραμματίστηκε να ολοκληρωθεί το 2015.

d) ECOGRID

Το ECOGRID είναι μία πρωτοβουλία ταχέων διαδικασιών (fast track) για την εφαρμογή έξυπνων ενεργειακών δικτύων βασισμένων στην ενεργειακή ζήτηση. Δύο χιλιάδες οικιακοί καταναλωτές θα εξοπλιστούν με έξυπνες οικιακές συσκευές οι οποίες χρησιμοποιώντας πύλες και «έξυπνους» ελεγκτές, θα διασυνδεθούν με το ηλεκτρικό δίκτυο. Οι συσκευές αυτές θα έχουν αντίστοιχες διεπαφές προς τους χρήστες με σκοπό την παρουσίαση των τιμών του ηλεκτρικού ρεύματος σε πραγματικό χρόνο στους καταναλωτές. Επίσης επιτρέπον στους καταναλωτές να προγραμματίσουν εκ των προτέρων τις δικές τους ενεργειακές ανάγκες ανάλογα με την ενεργειακή ζήτηση. Θα αναπτυχθεί μια νέα στρατηγική αγοράς πραγματικού χρόνου για να δώσει στους μικρής κλίμακας χρήστες της ηλεκτρικής ενέργειας και στις κατανεμημένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας νέες επιλογές και πιθανά οικονομικά οφέλη για την προσφορά επιπρόσθετων

υπηρεσιών εξισορρόπησης του δικτύου καθώς και άλλων βοηθητικών υπηρεσιών στους διαχειριστές των δικτύων. Η πρώτη περιοχή για την εφαρμογή του είναι το σκανδιναβικό σύστημα αγοράς ενέργειας. Το έργο αυτό σχεδιάστηκε να ολοκληρωθεί το 2014 και είναι το πρώτο του είδους του σε ένα ενεργειακό σύστημα όπου περισσότερο από το 50% των ενεργειακών του πόρων προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ως σκοπό έχει να προσφέρει καλύτερες υπηρεσίες εξισορρόπησης δικτύου στους χειριστές του καθώς και στους καταναλωτές και τους παραγωγούς μεγαλύτερες ευκαιρίες για συμμετοχή στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας μέσω διαδικασιών χειρισμού (operation) σε πραγματικό χρόνο λειτουργίας, αποθήκευσης και εξοικονόμησης ενέργειας.[25]

3.7.4 Ιαπωνία

Η Ιαπωνική κοινή γνώμη, μετά το ατύχημα στην Φουκουσίμα, άσκησε ισχυρή πίεση στην ηγεσία της χώρας για να εφαρμοστούν νέες τεχνολογίες παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η Ιαπωνική κυβέρνηση λόγω του άσχημου αντίκτυπου που προκάλεσε το ατύχημα και της κοινωνικής πίεσης αποφάσισε την χρήση έξυπνων μετρητών για να βελτιώσει την διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας. Η μεγαλύτερη ηλεκτροπαραγωγική εταιρία στη χώρα Tokyo Electric Power CO (TEPCO) που ευθύνεται για την πυρηνική καταστροφή της Φουκουσίμα, ανακοίνωσε το 2012 ότι θα διανέμει έξυπνους μετρητές στις περιοχές, όπου είναι πάροχος ενέργειας, μέσα στο έτος 2012. Αυτή είναι παράλληλα η Ιαπωνική κυβέρνηση για να παράσχει βοήθεια και να δώσει κατεύθυνση στους ενεργειακούς παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας αναπτύσσει προαπαιτούμενα και πρότυπα για τους έξυπνους μετρητές που θα εγκατασταθούν στη χώρα. Επιπλέον η κυβέρνηση από το 2008 προωθεί το πρόγραμμα <ECO MODEL CITIES> που συνδυάζει την παραγωγή ενέργειας νέας γενιάς νέας γενιάς μετά κοινωνικά συστήματα και χρησιμοποιεί τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, για να εξοικονομήσει ενέργεια το πρόγραμμα αυτό εφαρμόζει πιλοτικά διάφορα συστήματα σε μια συγκεκριμένη ομάδα πόλεων στην Ιαπωνία και αποτελείται από 3 προγράμματα:

- Πρόγραμμα Kansai Science City(Ηλεκτρικά οχήματα και εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών σε σπίτια) του προγράμματος Kita Kyushu City

- Πρόγραμμα Yokohama City (Συστήματα διαχείρισης της ενέργειας για τα σπίτια και τα κτήρια που ενσωματώνουν φωτοβολταϊκά και ηλεκτρικά οχήματα).
- Πρόγραμμα Toyota City (Λύσεις ανταπόκρισης στην ενεργειακή ζήτηση και χρήση ηλεκτρικών οχημάτων).

Οι παραπάνω τεχνολογίες κατευθύνονται και συνδυάζονται από τον οργανισμό Japan Smart Community Alliance που αντιπροσωπεύει απόψεις της βιομηχανίας του δημόσιου τομέα και της ακαδημαϊκής κοινότητας. Είναι ένα σημαντικό βήμα (Forum) για θέματα που αφορούν το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο.

Τα έργα που παρουσιάζονται παρακάτω είναι ένα δείγμα των δραστηριοτήτων του οργανισμού:

A. Ad hoc Communication Technology

Η ασύρματη τεχνολογία της εταιρίας Fujitsu επιτρέπει στον οργανισμό Kit Carson Electric να κατασκευάσει ένα δίκτυο έξυπνων μετρητών κόστους 30% μικρότερο σε σχέση με άλλους έξυπνους μετρητές. Ο οργανισμός Kit Carson παρέχει δεδομένα μετρήσεων σε διάστημα 15 λεπτών. Το σύστημα αυτό παρέχει λεπτομερέστερα τα στοιχεία των μετρητών ώστε οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας να συνειδητοποιήσουν τις συνήθειες τους που προκαλούν σπατάλη ηλεκτρικού ρεύματος και να μεταβάλλουν την καταναλωτική συμπεριφορά τους με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Το έργο αποτέλεσε τη βάση για τους έξυπνους μετρητές της εταιρίας Fujitsu

B. Hachinohe Microgrid Demonstration Project

Το έργο αυτό εκτελέστηκε στο νησί Aomori και εξέτασε την απόδοση ενός συστήματος της ενεργειακής προσφοράς και ζήτησης για την διαχείριση της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στο πλαίσιο ενός καθορισμένου εμπορικού δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με πραγματικούς χρήστες (ζήτηση 605kwh) σχετικά με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα νησί. Το πρόγραμμα διεξήχθη με επιτυχία στις επιχειρήσεις όλου του νησιού σε μια εβδομάδα και στηρίχθηκε 1--5 σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Συστήματα ελέγχου ενεργειακής ζήτησης και προσφοράς και ο συνδυασμός ανεμογεννητριών 20kw, φωτοβολταϊκών 130kw, συμπαραγωγής φυσικού αερίου 510kw, και μπαταριών 100kw παρέσχον επαρκή ενέργεια για 6 χρήστες. Το έργο αυτό προσφέρει λύσεις για το φαινόμενο

ενεργειακής νησίδας σε επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

a. Total Energy Solutions Test Bed Project

Η Panasonic το 2011 έθεσε σε εφαρμογή διετές πρόγραμμα που θα προσφέρει ενεργειακές λύσεις προσαρμοσμένες σε ένα κτήριο, με σκοπό να παραγάγει τοπική παραγωγή ενέργειας που θα καταναλωθεί στις εγκαταστάσεις του κτηρίου. Για την παραγωγή και αποθήκευση της ενέργειας θα συνδυαστούν φωτοβολταϊκά συστήματα εγκατεστημένα στην στέγη. Ένα ακόμα σύστημα θα υλοποιηθεί με το συνδυασμό έξυπνων μετρητών και ενός οικιακού συστήματος διαχείρισης ενέργειας. Κάθε νοικοκυριό θα έχει μια οθόνη απεικόνισης μέσα στο σπίτι ώστε ο χρήστης να βλέπει πόση ηλεκτρική ενέργεια, νερό ή αέριο χρησιμοποιούνται. Το σύστημα ανταπόκρισης στην ενεργειακή ζήτηση θα υλοποιηθεί με τεχνολογία Smart Energy Gateway που συνδέει τον έξυπνο μετρητή με τις διάφορες συσκευές του σπιτιού.

b. Energy Management System using Evsas parts of Yokohama Smart city Project

Συμμετοχή στα προγράμματα ECO-Model Cities της κυβέρνησης έχουν και άλλα έργα έξυπνου ενεργειακού δικτύου. Στη Γιοκοχάμα μία κοινοπραξία βιομηχανικών φορέων των εταιριών Nissan, Toshiba, Panasonic κ.α. εργάζονται για την ανάπτυξη προγραμμάτων έξυπνων πόλεων. Η εταιρία Nissan θα εισαγάγει στην πόλη 2000 ηλεκτρικά οχήματα μέχρι το τέλος του 2014 με στόχο της συμβολή στην μείωση των εκπομπών CO₂ στον τομέα των μεταφορών.

c. Miyako-Island Mega-Solar Demonstration Research Facility

Το πιλοτικό αυτό πρόγραμμα εκτελέστηκε στην Οκινάβα από τον οργανισμό Okinawa Electric Company και την Toshiba. Σκοπός του ήταν ο έλεγχος της ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μεγάλης κλίμακας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και η μελέτη του αντίκτυπου των φωτοβολταϊκών συστημάτων παραγωγής ενέργειας και των επαναφορτισμένων μπαταριών στην ευστάθεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Στόχος του έργου είναι η ομαλή ένταξη μεγάλης παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα για την διατήρηση της σταθερότητας του δικτύου και η προστασία του περιβάλλοντος από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στόχος του

επίσης ήταν να διατηρηθεί η σταθερότητα τάσης και η ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος.[25]

3.8 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάστηκαν τα βασικά συστατικά, οι λειτουργικές απαιτήσεις των έξυπνων δικτύων καθώς και η υλοποίησή τους σε όλο τον κόσμο. Αναφέρθηκαν βασικές εφαρμογές χρήσης των δικτύων αυτών και ο ρόλος που θα διαδραματίσουν μελλοντικά οι καταναλωτές στα πλαίσια της νέας τεχνολογίας. Έγινε φανερό ότι το Smart Grid απαιτεί αλλαγή νοοτροπίας παρόχων και χρηστών διότι η επιτυχία του εγχειρήματος θα εξαρτηθεί και από τη συμπεριφορά τους.

Για να καταστεί δυνατή και επιτυχής η μετάβαση από τα κλασικά στα έξυπνα δίκτυα παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να εντοπιστούν και μελετηθούν οι προκλήσεις που προκύπτουν από την εφαρμογή των έξυπνων δικτύων,

Κεφάλαιο 4 Προκλήσεις στην ανάπτυξη του Smart Grid

4.1 Εισαγωγή

Σο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν ήδη αναλυτικά οι προγραμματισμένες δραστηριότητες και πρωτοβουλίες σχετικά με την λειτουργία του Smart Grid στις Η.Π.Α. , αλλά και σε άλλες χώρες όμως, μέχρι σήμερα για την υλοποίηση αυτού τού έργου μόνο περιορισμένες πρωτοβουλίες έχουν αναληφθεί και λίγα σχέδια έχουν εκπονηθεί. Διάφοροι παράγοντες επιβραδύνουν την εφαρμογή των έξυπνων δικτύων παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με αποτέλεσμα να είναι εμφανής η έλλειψη προόδου στον τομέα υλοποίησης του Smart Grid. Ένας ανασταλτικός παράγοντας είναι ότι η τεχνολογία δεν έχει επαρκώς αναπτυχθεί έτσι ώστε να ανανεωθούν και να μεταμορφωθούν σε ευρεία κλίμακα τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα παροχής ενέργειας για να αξιοποιηθούν οι μεγάλες δυνατότητες του Smart Grid.

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται τα εμπόδια στην ανάπτυξη και την εφαρμογή του Smart Grid καθώς και οι βασικές προκλήσεις που χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης. Επιπλέον θα αναφερθούν και οι λόγοι που στους οποίους οφείλονται οι προκλήσεις και οι οποίοι είναι οι εξής: τεχνικοί, οικονομικοί, γνωστικοί, θεσμικοί, παράγοντες αφομοίωσης νέας τεχνολογίας και συμμετοχής των πελατών των ενεργειακών παρόχων.

4.2 Τεχνικές προκλήσεις

Οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων σχετίζονται με τον τεχνικό τομέα. Οι τεχνολογίες που αλληλεπιδρούν και πρέπει να συντελέσουν στην ανάπτυξη έξυπνων ενεργειακών δικτύων βρίσκονται σε πολύ πρώιμα στάδια ανάπτυξης. Επίσης δεν έχει ακόμα αποκρυσταλλωθεί ένας ακριβής και κοινά αποδεκτός ορισμός για να προσδιορίσει την ουσία του έξυπνου ενεργειακού δικτύου. Αυτή η ασάφεια των προδιαγραφών και η έλλειψη προτύπων εντείνει την αδυναμία προκαθορισμού των απαιτήσεων για ένα έξυπνο ενεργειακό δίκτυο που κατά συνέπεια δυσχεραίνει την ανάπτυξή του.

Γενικά οι προκλήσεις τεχνικής φύσεως κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες: έλλειψη κατάλληλης τεχνολογίας, έλλειψη διαλειτουργικότητας, συμπληρωματική στην υπάρχουσα τεχνολογία, ασφάλεια και μελλοντική εξέλιξη.

4.2.1 Έλλειψη κατάλληλης τεχνολογίας

Όλοι συμφωνούν ότι το σημαντικότερο εμπόδιο στην ανάπτυξη και εξέλιξη των έξυπνων ενεργειακών δικτύων είναι ότι όλα τα αναγκαία συστατικά και τα οποία απαρτίζουν τα έξυπνα δίκτυα δεν είναι ακόμα διαθέσιμα στην αγορά. Υπάρχει έλλειψη των καταλλήλων εξαρτημάτων και υποστηρικτικής υποδομής για να συνδεθούν τα έξυπνα αυτά δίκτυα με τα υπάρχοντα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να επιτευχθεί τελικά η < έξυπνάδα > των ενεργειακών δικτύων. Ένα αναγκαίο πρώτο βήμα για να εντοπιστούν τα εξαρτήματα για τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα είναι να τυποποιηθούν όλες οι εμπλεκόμενες πλευρές ενός έξυπνου δικτύου. Η Γερμανία χώρα της Ε.Ε. και οι Η.Π.Α. ήδη εφαρμόζουν ολοκληρωμένα προγράμματα καθορισμού των προτύπων για τα διάφορα συστατικά μέρη και τα υποσυστήματα που θα συγκροτούν το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο. Οργανώσεις όπως η IEC (International Electrotechnical Commission) και η CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) εργάζονται για την τυποποίηση των έξυπνων ενεργειακών δικτύων. Επίσης μεγάλες εταιρίες που δραστηριοποιούνται στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή των τηλεπικοινωνιακών δικτύων εργάζονται πάνω στις τεχνολογίες των έξυπνων ενεργειακών δικτύων. Η ανάπτυξη και τυποποίηση των προϊόντων καθώς και η διαδικασία υιοθέτησης και εφαρμογής των νέων τεχνολογιών καλύπτουν ένα μεγάλο χρονικό διάστημα.

4.2.2 Συμπληρωματική με την παρούσα τεχνολογία

Οι δυσκολίες που πρέπει να αρθούν για την ανάπτυξη και διεύρυνση της χρήσης των έξυπνων δικτύων είναι οι εξής: η εκτίμηση/άποψη των εταιριών ότι η νέα τεχνολογία παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας δεν είναι τεχνικά χρήσιμη, αλλά απεναντίας πλεοναστική. Επειδή οι εταιρίες κρίνουν ότι τα υπάρχοντα δίκτυα ενεργειακής παραγωγής και μεταφοράς καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες των καταναλωτών ακόμα και στις περιόδους αιχμής της ενεργειακής ζήτησης αποφεύγουν τις επενδύσεις για περαιτέρω ανάπτυξη των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Εφόσον η ζήτηση καλύπτεται οι ιδιοκτήτριες εταιρίες δεν έχουν ισχυρά κίνητρα ώστε να

επενδύσουν χρήματα σε νέες τεχνολογίες για να εξομαλύνουν τα φαινόμενα αιχμής της ζήτησης. Προφανώς οι εταιρίες-ιδιοκτήτες θα κάνουν επενδύσεις όταν τα ενεργειακά φορτία σε περιόδους αιχμής προσεγγίζουν με αυξανόμενη συχνότητα την μέγιστη δυνατότητα παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας για να μπορέσουν να διαχειριστούν τα φαινόμενα αυτά. Σε αυτό το στάδιο οι εταιρίες πρέπει να κληθούν και να αποφασίσουν αν τελικά θα λύσουν το πρόβλημα ενέργειας με βάση την κλασσική τεχνολογία ή τις νέες τεχνολογίες των έξυπνων δικτύων. Επίσης δυσκολίες δημιουργεί σχετικά με τη χρήση των κλασσικών δικτύων η ενσωμάτωση στο δίκτυο ποσοτήτων ενέργειας που παράγονται από τις ανανεώσιμες πηγές. Για το λόγο αυτό τόσο οι εταιρίες δικτύων ενέργειας όσο και οι επιστήμονες θεωρούν ως προαπαιτούμενη την τεχνολογία των έξυπνων δικτύων ενέργειας για την εκμετάλλευση της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, αλλά όμως απαιτούνται μεγάλες επενδύσεις. Προσέτι λείπει μια ολοκληρωμένη εικόνα και ένα σχέδιο για τη λύση αυτών των προβλημάτων.

Διαπιστώνεται τέλος, ότι η εγκατάσταση μεγάλης κλίμακας της τεχνολογίας έξυπνων δικτύων επιβραδύνεται διότι οι τεχνολογίες και ο εξοπλισμός είναι σε πειραματικό στάδιο και εκτός αγοράς και ακόμα διότι επικρατεί μια μεγάλη αβεβαιότητα για τα τμήματα που χρήζουν αναβάθμισης.

4.2.3 Η έλλειψη της διαλειτουργικότητας

Οι τεχνολογίες έξυπνων ενεργειακών δικτύων βασίζονται σε γεωγραφικά διασκορπισμένες συσκευές και επικοινωνούν μέσω ενός ή περισσοτέρων δικτύων επικοινωνίας. Αυτές οι συσκευές θα αναπτυχθούν από διαφορετικούς κατασκευαστές με την πάροδο του χρόνου. Συνεπώς η ύπαρξη τυποποιημένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας πλήθους συσκευών είναι θέμα υψίστης σημασίας. Συνεπώς η νέα τεχνολογία εμποδίζεται για την ευρεία υιοθέτηση των έξυπνων ενεργειακών συστημάτων επειδή λείπουν τα τυποποιημένα πρωτόκολλα στον τομέα της τυποποίησης, αλλά όμως είναι ένα εγχείρημα πολύ δύσκολο επειδή τα πολλά ανταγωνιστικά πρότυπα επικοινωνίας σε IT επίπεδο δυσκολεύουν και επιβραδύνουν μια συνολική συμφωνία. Ένα αξιόλογο πρότυπο επικοινωνίας που εξακολουθεί να αναπτύσσεται για να εξυπηρετήσει τα έξυπνα οικιακά δίκτυα είναι το IEC61850. Τις διεργασίες τυποποίησης των έξυπνων δικτύων περιπλέκει η εξέλιξη δύο σκελών εργασιών τυποποίησης: Πρώτο το σκέλος τυποποίησης πρωτοκόλλων επικοινωνίας

για τις συσκευές που αποτελούν δομικά συστατικά των ηλεκτρικών ενεργειακών δομικών στοιχείων. Δεύτερον το σκέλος εργασιών τυποποίησης της επικοινωνίας μεταξύ των κέντρων ελέγχου και των έξυπνων συσκευών που έχουν ήδη τοποθετηθεί στις εγκαταστάσεις των καταναλωτών.

Αυτά τα δύο σκέλη χρήζουν περαιτέρω βελτίωσης και συγχώνευσης.

4.2.4 Η ασφάλεια των νέων τεχνολογιών

Τα δίκτυα παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούνται από μια πληθώρα διαφορετικών συστατικών μερών, καταλαμβάνουν μεγάλη γεωγραφική έκταση και ως εκ τούτου είναι συστήματα μεγάλης κλίμακας. Όταν αυτό το πολύπλοκο τεχνικό σύστημα τροποποιείται, μπορεί να εμφανιστούν νέα αδύναμα σημεία που εγκυμονούν μεταβολή του συνόλου των κινδύνων που συνδέονται με αυτό. Ακόμα και αν οι τροποποιήσεις δεν καταστήσουν το σύστημα ποιο εύαλωτο σε αποτυχίες, όμως οι συνθήκες χρήσης του αλλάζουν διότι εμφανίζονται νέοι κίνδυνοι και πιθανές αποτυχίες. Η αβεβαιότητα επίσης, σχετικά με το μέγεθος των κινδύνων από την νέα τεχνολογία αποτελεί εμπόδιο για την εφαρμογή της. Οι απειλές π.χ. για την ασφάλεια του εξοπλισμού του διαδικτύου και το δεδομένο ότι οι έξυπνοι μετρητές αμφίδρομης επικοινωνίας επικοινωνούν με τα κέντρα ελέγχου με τον ίδιο τρόπο που επικοινωνούν οι web clients στους προσωπικούς υπολογιστές με τους εκάστοτε διακομιστές δικτύου δημιουργούν για τους καταναλωτές, το έστω και φανταστικό σενάριο, όπου οι έξυπνοι μετρητές και οι έξυπνες συσκευές ελέγχου θα μπορούσαν να υποστούν επιθέσεις παρόμοιες με εκείνες κατά των προσωπικών υπολογιστών. Επιθέσεις τύπου DOS(Denial Of Service) πάνω στους έξυπνους μετρητές αλλοιώνοντας δεδομένα τα οποία αυτοί επεξεργάζονται ή ακόμα και επιθέσεις κυβερνο-τρομοκρατών (cyber-terrorism) αποτελούν τις σημαντικότερες προκλήσεις, που θα κληθούν να αντιμετωπίσουν οι τεχνικοί ασφαλείας στο όχι και πολύ μακρινό μέλλον. Η αμφίδρομη λειτουργικότητα σε πολλά έξυπνα συστήματα ενεργειακών μετρήσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εξ αποστάσεως έλεγχο συσκευών στις εγκαταστάσεις των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας και αν η ασφάλεια αυτών των συστημάτων ενεργειακών μετρήσεων παραβιαστεί μπορούν να προκύψουν σοβαρές συνέπειες. Ανεξάρτητα από το πόσο είναι σοβαρή μια απειλή, το γεγονός ότι συζητείται ευρέως σημαίνει ότι θα υποχρεώσει τις εταιρίες-ιδιοκτήτες των ενεργειακών δικτύων, να εξοπλίσουν τα έξυπνα συστήματα ενεργειακών

μετρήσεων, με την κατάλληλη τεχνολογία για να τα προστατέψουν από επιθέσεις και να δώσουν εγγυήσεις στους καταναλωτές ότι τέτοιες επιθέσεις θα είναι ανεπιτυχείς. Το υψηλό κόστος παροχής αποτελεσματικής ασφάλειας και προστασίας στους καταναλωτές αλλά και στα συστήματα των έξυπνων δικτύων και μετρήσεων μπορεί να αποτελέσουν σοβαρό εμπόδιο για τους παρόχους να εγκαταστήσουν τις νέες τεχνολογίες έξυπνων ενεργειακών δικτύων. Το πολύπλοκο αυτό ενεργειακό σύστημα συνεπάγεται υψηλότερες και δαπανηρότερες απαιτήσεις για την κατασκευή του καθώς και αυτή η αυξημένη πολυπλοκότητα μεγεθύνουν την δημιουργία σφαλμάτων και τις συνέπειες τους. Τελικά, παρόλα αυτά, πρέπει να συναφή προβλήματα να επιλυθούν, γιατί διαφορετικά θα επιβραδύνουν και θα περιορίσουν την πρόοδο των έξυπνων ενεργειακών δικτύων.

4.2.5 Σκεπτικισμός σχετικά με τις δυνατότητες και τη μελλοντική εξέλιξη της νέας τεχνολογίας

Όσον αφορά στις δυνατότητες και τη μελλοντική εξέλιξη των έξυπνων ενεργειακών συστημάτων επικρατεί ένας έντονος προβληματισμός στους πολλούς εμπλεκόμενους φορείς, καθώς οι νέες τεχνολογίες που ενσωματώνονται στα νέα ενεργειακά δίκτυα δεν είναι επαρκώς δοκιμασμένες και συνεπώς περιβάλλονται από μια σοβαρή αβεβαιότητα. Ο σκεπτικισμός αυτός θεωρείται φυσιολογικός, αλλά και αναμενόμενος, αφού ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας είναι βασικό κοινωνικό αγαθό και προσφέρει ζωτικής σημασίας υπηρεσίες. Όμως όταν ο σκεπτικισμός καταντάει σε μία άγονη απόρριψη του εκάστοτε νέου, δεν είναι πλέον υγιής.

Οι μεγαλύτερες εταιρείες-πάροχοι ηλεκτρικού δικτύου έχουν διαπιστώσει, ότι τόσο η μετάβαση στα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα, όσο και η αυτοματοποίηση των ενεργειακών μετρητών, θα είναι το ίδιο δύσκολο. Οι εμπειρίες από την ανωτέρω εγκατάσταση πιστοποιούν ότι υπάρχουν πραγματικοί κίνδυνοι σε περιπτώσεις ενεργειακού κατακερματισμού κατά τις οποίες αναγκάζονται οι πάροχοι ενεργειακού δικτύου να επιλέξουν διαφορετικές λύσεις διαφορετικού βαθμού ωριμότητας. Ως παράδειγμα αναφέρονται τα προβλήματα που προκύπτουν, όταν ένας λ.χ. έξυπνος μετρητής επιδρά αμοιβαίως με ένα παλιό κέντρο ελέγχου δεν θα μπορέσει να επιτελέσει την εργασία για την οποία εγκαταστάθηκε, γεγονός που απαιτεί να είναι οι τεχνικές αποφάσεις οι πιο σωστές που επιλέχθηκαν. Εάν η εφαρμογή του έξυπνου ενεργειακού δικτύου ξεκινήσει βεβιασμένα και με στόχους ασαφής, τότε οι εταιρίες-

πάροχοι κινδυνεύουν να επιλέξουν τεχνικές λύσεις που δεν θα διορθώνουν τα μακροπρόθεσμα προβλήματα με αποτέλεσμα η πιθανή αντικατάσταση των αρχικών λύσεων με καλύτερες να προκαλέσει μεγάλη οικονομική σπατάλη.

Σε μια ελεύθερη οικονομία βασισμένη στην αγορά, το κράτος συνήθως δεν επιλέγει τις τεχνικές λύσεις που οι ανεξάρτητες εταιρείες-πάροχοι θα πρέπει να υιοθετήσουν, αλλά υποστηρίζει την έρευνα και την ανάπτυξη εξασφαλίζοντας την διάδοση της γνώσης για την τεχνολογία στους αρμόδιους φορείς, ώστε οι επιχειρήσεις-πάροχοι δικτύου να είναι ενημερωμένες για να μπορούν να λαμβάνουν ορθές επενδυτικές αποφάσεις.[26]

4.3 Οικονομικές προκλήσεις

Όταν επιτευχθεί πρόοδος στον τομέα της εγκατάστασης των έξυπνων ενεργειακών δικτύων και θα έχουν αρθεί ή αντιμετωπιστεί κατάλληλα τα τεχνικά εμπόδια, τότε θα καθοριστεί η ταχύτητα με την οποία θα υλοποιούνται τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα με βάση το πόσο πολύτιμες κρίνονται οι υπηρεσίες που παρέχονται από τα συγκεκριμένα δίκτυα, τόσο από την πλευρά των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και από την πλευρά της κοινωνίας. Και είναι, φυσικά, αναμενόμενο να προκύψει ένας αριθμός πιθανών οικονομικών και χρηματοδοτικών εμποδίων για την υιοθέτηση των τεχνολογιών των έξυπνων ενεργειακών δικτύων. Αυτά τα εμπόδια ομαδοποιούνται ως ακολούθως:

4.3.1 Αδυναμία προσέλκυσης επενδύσεων

Η προσέλκυση των αναγκαίων κεφαλαίων, τα οποία πρέπει να επενδυθούν σε έρευνα και ανάπτυξη είναι όντως ένα θεμελιώδες πρόβλημα. Οι εταιρείες-πάροχοι έχουν προϋπολογίσει ότι, ενώ τα δυνητικά οφέλη από τα έξυπνα δίκτυα θα εισπράξουν τόσο οι ενεργειακοί προμηθευτές όσο και οι πελάτες τους καθώς και η κοινωνία στο σύνολό της, όμως τα ανάλογα κόστη θα επιβαρύνουν εξολοκλήρου τις εταιρείες-παρόχους. Η οικονομική αυτή ανισορροπία συνιστά αυτομάτως ένα εμπόδιο σοβαρό. Οι τεχνολογίες των έξυπνων ενεργειακών δικτύων απαιτούν μεγαλύτερες επενδύσεις κεφαλαίων από ότι οι συμβατικές. Επειδή η τεχνολογία των έξυπνων ενεργειακών δικτύων είναι σχετικά νέα, συμβαίνει ώστε πολλά συστατικά τους να είναι σε πραγματικό στάδιο και να απέχουν αρκετά από την μαζική παραγωγή και

διάθεσή τους στην αγορά. Επιπροσθέτως, επειδή πολλά από αυτά τα συστατικά κατασκευάζονται σε μικρές ποσότητες, πωλούνται ποιά ακριβά. Από τα παραπάνω το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι ότι μια επένδυση σε ένα έξυπνο ενεργειακό δίκτυο, παρότι ενέχει μία αξία μακράς διάρκειας, καθώς αποτελεί ένα βήμα προς την σωστή κατεύθυνση να είναι πιο ακριβή από ό τι μία συμβατική λύση. Τα λανθάνοντα κόστη εις βάρος των εταιρικών περυσιακών στοιχείων εγείρουν, και δικαίως ανησυχίες για την εγκατάσταση των εξαρτημάτων. Άρα, δεν έχει νόημα από οικονομική άποψη, να αντικατασταθούν οι συμβατικές τεχνολογίες που δεν έχουν εξαντλήσει τον κύκλο ζωής τους, με συστατικά των έξυπνων ενεργειακών δικτύων. Τέλος, συμπεραίνεται ότι τα εμπόδια αυτά επιβραδύνουν τις αρχικές επενδύσεις για ένα εξυπνότερο δίκτυο και αυτό θα αποτελέσει πρόβλημα για τους κατασκευαστές εξοπλισμού για την εξεύρεση προς διάθεση των προϊόντων τους,

4.3.2 Αβεβαιότητα μακροπρόθεσμης δυνατότητας κέρδους

Όσον αφορά στη μετάβαση σε μια βιώσιμη κοινωνία τα έξυπνα δίκτυα μπορεί να αποδειχτούν ζωτικής σημασίας και πιθανότατα να παράσχουν σπουδαία οφέλη στις εταιρείες-παρόχους δικτύων, στους πελάτες τους και ιδιαίτερα στην κοινωνία η οποία θα ωφεληθεί επειδή θα καταστεί δυνατή, από τη χρήση της νέας τεχνολογίας, η εκπομπή χαμηλής ποσότητας άνθρακα. Οι πελάτες μπορούν να κερδίζουν χρήματα βάσει των λογαριασμών κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος, διότι τα έξυπνα δίκτυα τους δίνουν τη δυνατότητα να μειώσουν τη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος χωρίς να χρειάζεται απαραίτητα να μειώσουν την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος. Μπορούν, επίσης να χρησιμοποιούν ηλεκτρικά οχήματα για τις μετακινήσεις τους. Τα έξυπνα δίκτυα αποτελούν μια φτηνότερη εναλλακτική λύση σε σύγκριση με τις συμβατικές επεκτάσεις των ενεργειακών δικτύων για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας παραγωγής ενέργειας με χαμηλές εκπομπές άνθρακα, όπως με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Επίσης τα έξυπνα δίκτυα θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μικρότερη ανάγκη για επενδύσεις κεφαλαίου. Επειδή τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν φυσικά μονοπώλια οι επιχειρήσεις λειτουργούν βάσει ενός ρυθμιστικού πλαισίου σύμφωνα με το οποίο οι αποδόσεις των επενδύσεων ρυθμίζονται έτσι, ώστε να υπάρχει ένα συγκεκριμένο περιθώριο κέρδους το οποίο επηρεάζεται και από το ποσό των επενδύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί στο δίκτυο. Ακόμη, σύμφωνα με το ρυθμιστικό πλαίσιο, υπάρχει

αβεβαιότητα σχετικά με το ποιον τύπου επενδύσεις πρέπει να θεωρηθούν ότι υπηρετούν τη λειτουργία του δικτύου. Επίσης, νόμος υποχρεώνει τις εταιρίες-παρόχους να αναπτύξουν τα έξυπνα δίκτυα προς όφελος την κοινωνίας τα οποία θα καταστήσουν ευκολότερη την εκπλήρωση των υποχρεώσεων των εταιριών αυτών προς την κοινωνία.

Τα πλεονεκτήματα των έξυπνων δικτύων βασίζονται σε συγκρίσεις της αναμενόμενης απόδοσης των έξυπνων δικτύων και της πραγματικής των συμβατικών τεχνολογιών. Όμως, σε αυτή την σύγκριση υπάρχει ένας προβληματισμός, ότι, οι αναμενόμενες και οι πραγματικές αποδόσεις για τα έξυπνα δίκτυα δεν υπάρχουν ακόμα. Εάν η πραγματική απόδοση των έξυπνων δικτύων αποκλίνει σημαντικά από την αναμενόμενη απόδοση, η κερδοφορία των επενδύσεων στα έξυπνα δίκτυα μπορεί να αποδειχθεί ότι είναι πολύ διαφορετική από την αναμενόμενη και να προκύψει οικονομικό και τεχνικό κενό.

Για να αρθούν αυτοί οι προβληματισμοί είναι αναγκαίο να ληφθούν μέτρα ώστε να ελαχιστοποιηθούν αυτές οι αβεβαιότητες και να δημιουργηθεί ένα ευνοϊκό περιβάλλον εντός του οποίου οι εταιρείες-πάροχοι του δικτύου να καθορίσουν εάν η τρέχουσα απόδοση των τεχνολογιών των έξυπνων δικτύων θα ανταποκρίνεται στις υψηλές προσδοκίες τους και, εάν επομένως τους συμφέρει τελικά να επενδύσουν σε αυτές. Επιπλέον θα πρέπει να αναπτυχθούν τα επιμέρους συστατικά των έξυπνων δικτύων και να παραχθούν μαζικά για την μείωση του κόστους τους. Είναι αναγκαία επίσης η πραγματοποίηση έργων επίδειξης μεγάλης κλίμακας ώστε να εξαχθούν χρήσιμα οικονομικά συμπεράσματα από τη χρήση τους. Θα πρέπει προσέτι να δημιουργηθούν και οι μηχανισμοί εκείνοι μετάδοσης της γνώσης για την απόδοση των νέων τεχνολογιών των έξυπνων δικτύων στις εταιρείες-παρόχους δικτύου, οι οποίες σχεδιάζεται να τεθούν σε εφαρμογή. Τέλος, επιβεβλημένη κρίνεται η παγίωση ενός σταθερού ρυθμιστικού περιβάλλοντος, ώστε να μειωθούν οι αβεβαιότητες των εταιριών-παρόχων δικτύων.

4.3.3 Αβεβαιότητα εσόδων

Τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας είναι φυσικά μονοπώλια με αποτέλεσμα να υπόκεινται σε ανταγωνισμό οι εταιρείες-πάροχοι και να ρυθμίζονται οι αποδόσεις τους. Το νέο ρυθμιστικό πλαίσιο για τα δίκτυα ισχύει από το 2012 και επιτρέπει την

απόδοση επενδύσεων απαραίτητων για την υποστήριξη δραστηριοτήτων των εταιριών διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και τους επιτρέπει επίσης να εκτελούν ενεργειακές μετρήσεις και να επενδύουν σε νέες τεχνολογίες. Όμως, τα ασαφή κίνητρα του κανονισμού δεν ενθαρρύνουν αυτές τις εταιρίες να επενδύσουν σε εξυπνότερα δίκτυα. Όμως, οι τεχνολογίες των έξυπνων δικτύων είναι καθηλωμένες σε ένα πρώιμο στάδιο ανάπτυξης και πιθανόν να προτιμούν τις αποδεδειγμένες παραδοσιακές τεχνικές λύσεις.

Μάλλον απαιτούνται ειδικά κίνητρα για να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο. Ο νέος κανονισμός δίνει στις εταιρείες-παρόχους δικτύου μεγάλη ελευθερία κατά την λήψη επενδυτικών αποφάσεων και συνεπώς έχει αρθεί το εμπόδιο για την υιοθέτηση της νέας τεχνολογίας έξυπνων δικτύων. Σταδιακά προσδοκάται να εξαλειφθούν τα υπάρχοντα εμπόδια. Επιπλέον κάποια είδη επενδύσεων ενδέχεται να χρειαστούν μια ειδική χρηματοδότηση, αλλά όμως αυτές οι συγκεκριμένες χρηματοδοτικές απαιτήσεις θα αντιμετωπίζονται κατάλληλα από την κάθε φορά ρυθμιστική αρχή.[26]

4.4 Γνωστικά-θεσμικά εμπόδια

Πέραν των τεχνικών και οικονομικών εμποδίων για τη υιοθέτηση των έξυπνων δικτύων, υπάρχει και μια σειρά προκλήσεων, που χαρακτηρίζονται ως άυλες και εντάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

4.4.1 Έλλειψη της γνώσης

Μέχρι σήμερα το όραμα του έξυπνου ενεργειακού δικτύου δεν κατέστη δυνατό να υλοποιηθεί. Το πρόβλημα το δημιουργεί ένα γενικό έλλειμμα γνώσης των στελεχών και των εταιριών- παρόχων που δραστηριοποιούνται στον τομέα της ενέργειας και επιβραδύνει τη υιοθέτηση των έξυπνων δικτύων. Οι λόγοι συνοψίζονται στα εξής:

- Οι συμμετέχοντες στην αγορά ελάχιστα μόνο μπορούν να κατανοήσουν και να προβλέψουν ποιες θα είναι στο μέλλον οι πιθανές απαιτήσεις των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και πώς η τεχνολογία των έξυπνων δικτύων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ανταποκριθεί σε αυτές τις απαιτήσεις.

- Οι εταιρίες-πάροχοι ενέργειας ελάχιστα γνωρίζουν για τη συμπεριφορά των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τον τρόπο επηρεασμού τους στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.
- Εξαιτίας της λεπτομερειακής εξειδίκευσης οι μηχανικοί έχουν μεν πλήρη γνώση των επιμέρους μόνο στοιχείων ή των τμημάτων δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά όχι συνολική.
- Λίγα μόνον άτομα έχουν ευρεία γνώση για να μπορούν να σχηματίσουν μια πλήρη εικόνα και να προβλέψουν τα πιθανά οφέλη από τη χρήση της τεχνολογίας των έξυπνων δικτύων.

Η έλλειψη κατά συνέπεια ειδικών γνώσεων των τεχνολογιών των έξυπνων δικτύων και της ηλεκτρικής ενέργειας επιβραδύνει την υλοποίηση των έξυπνων δικτύων.

4.4.2 Ρυθμιστικές ελλείψεις

Τα ισχύοντα ρυθμιστικά πλαίσια συνήθως βασίζονται σε πραγματικά περιστατικά του παρελθόντος με κύριο στόχο να ρυθμίσουν τα αντίστοιχα περιστατικά του παρόντος. Αυτά τα πλαίσια ως επί το πλείστον δεν προσαρμόζονται επιτυχώς σε ταχείες αλλαγές και περιστάσεις, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να προβλεφθούν όταν διατυπώνονταν οι συγκεκριμένοι κανόνες. Αυτό ισχύει για όλα τα ρυθμιστικά πλαίσια, καθώς και για εκείνα που διέπουν τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας γενικότερα και των δραστηριοτήτων εταιρειών-παρόχων δικτύου ειδικότερα. Συνεπώς, το υφιστάμενο καθεστώς όλων των κανόνων που διέπουν τις δραστηριότητες των εταιρειών-παρόχων δικτύου, θεωρείται ότι μέχρι ενός βαθμού εμποδίζει την ευρεία υιοθέτηση των έξυπνων ενεργειακών δικτύων. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει με τις διαδικασίες έγκρισης υποδομών δικτύου. Ακόμα η υιοθέτηση του έξυπνου ενεργειακού δικτύου θα μπορούσε να επιβραδυνθεί, επειδή στο σύνολο των ρόλων του ισχύοντος ρυθμιστικού πλαισίου δεν περιλαμβάνονται και εξειδικευμένοι ρόλοι που μπορεί να απαιτηθούν σε μια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία θα βασίζεται στην τεχνολογία των έξυπνων δικτύων.

Όταν απελευθερώθηκε η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας χωρίστηκε σε δύο τομείς:

- a) στην ελεύθερη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η ηλεκτρική ενέργεια αγοράζεται και πωλείται, και

b) στη ρυθμιζόμενη αγορά μετάδοσης και διανομής της ενέργειας.

Εάν υιοθετηθούν τα έξυπνα δίκτυα μπορεί να προκύψουν νέοι φορείς και λειτουργίες τις αγοράς και πιθανόν να είναι δύσκολο να κατανεμηθούν στους φορείς αυτούς οι διάφοροι ρόλοι. Οι νέοι φορείς μπορεί να υπόκεινται σε ρυθμίσεις σχετικά με παραδοσιακούς ρόλους και αυτό μπορεί να επιβραδύνει την υιοθέτηση τεχνολογίας των έξυπνων δικτύων.

Η αποθήκευση ενέργειας μέσω μπαταριών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον περιορισμό των επιπέδων περίσσειας τάσης και επιπρόσθετων ηλεκτρικών ρευμάτων σε δίκτυα χαμηλής τάσης. Η αποθήκευση όμως την ενέργειας μέσω μπαταριών σε χαμηλά επίπεδα τάσης χρήζει προσοχής. Η λειτουργία της αποθήκευσης μέσω μπαταρίας είναι ένα είδος λειτουργίας δικτύου και θα πρέπει να ρυθμίζεται όπως οι άλλες δραστηριότητες της εταιρείας-παρόχου του δικτύου. Επίσης, η αποθήκευση μέσω μπαταρίας μπορεί να θεωρηθεί ως πηγή παραγωγής ενέργειας. Ο ιδιοκτήτης της μπαταρίας μπορεί να τη χρησιμοποιήσει για τη εξισορρόπηση δικτύου, αλλά παράλληλα και να ωφεληθεί οικονομικά πουλώντας ενέργεια όταν αυτή είναι ακριβή και αγοράζοντας όταν η ενεργειακή μονάδα <πέφτει>.

Τέλος, τα ρυθμιστικά πλαίσια τροποποιούνται συνεχώς είτε για την άρση εμποδίων, είτε για την ελαχιστοποίηση των συνεπειών από την υιοθέτηση της τεχνολογίας των έξυπνων δικτύων.

4.4.3 Απουσία των κεντρικών φορέων συντονισμού

Η μετάβαση από ένα συμβατικό δίκτυο σε ένα έξυπνο θα απαιτήσει σημαντικές επενδύσεις τόσο για εργασίες ανάπτυξης, όσο και για την εγκατάσταση εξοπλισμού. Θα χρειαστεί, επίσης, μια μακροπρόθεσμη σταθερότητα και μια ικανότητα πρόβλεψης των οφελών που θα αποκομίσουν από αυτές τις επενδύσεις με μια σχετική ακρίβεια. Όμως, δεν υπάρχει σήμερα φορέας υπεύθυνος για την παράδοση ενός εξυπνότερου δικτύου και ότι η μετάβαση θα συντελεστεί με ένα οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Τέλος, το γεγονός ότι διαφορετικοί παράγοντες είναι υπεύθυνοι για το δίκτυο μεταφοράς ενέργειας, τα τοπικά και τα περιφερειακά δίκτυα διανομής ενέργειας, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα εμπόδιο.[14]

4.5 Εμπόδια αφομοίωσης της νέας τεχνολογίας

Η αποδοτική λειτουργία και ανάπτυξη του έξυπνου δικτύου ενέργειας προϋποθέτει την ενεργό συμμετοχή των καταναλωτών, καθώς αποτελεί εν προκειμένω θεμελιώδες συστατικό. Είναι επίσης σημαντικό ότι και ο ρυθμός τοποθέτησης των έξυπνων δικτύων εξαρτάται κυρίως από την άμεση συμμετοχή των καταναλωτών σε αυτό το έργο. Λόγω, όμως, της έλλειψης μαζικής συμμετοχής των καταναλωτών στην κατασκευή των έξυπνων δικτύων θα είναι δύσκολο για τους καταναλωτές να συνειδητοποιηθούν από τα οφέλη που θα προέκυπταν σε μια αντίθετη περίπτωση, όπως είναι η μελέτη των φορτίων αιχμής, η διευκόλυνση μια μεγάλης κλίμακας ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών παραγωγής ενέργειας καθώς και η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης.

Όμως, η δημιουργία ενός τέτοιου περιβάλλοντος όπου οι καταναλωτές ενέργειας θα μπορούν να συμμετέχουν πιο ενεργά στην διαχείριση της ενεργειακής κατανάλωσης, αντιμετωπίζει μια σειρά από εμπόδια που ομαδοποιούνται ως ακολούθως:

4.5.1 Έλλειψη πληροφοριών

Εκείνοι οι οποίοι συμμετέχουν στην αγορά είναι αναγκαίο να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες, ώστε να έχουν τη δυνατότητα να προβούν σε δράσεις στη συγκεκριμένη αγορά γιατί η διαφάνεια είναι σημαντικό χαρακτηριστικό κάθε αγοράς με εύρυθμη λειτουργία. Οι πελάτες σήμερα κινούνται σε ένα περιβάλλον, όπου υπάρχει ένα εύρος επιλογών για προϊόντα και υπηρεσίες που μπορούν να αποκτήσουν. Είναι βέβαια φυσικό οι πελάτες να καταφεύγουν στις αγορές, όπου το όφελος της συμμετοχής τους είναι αντίστοιχο με την προσπάθεια που θα καταβάλουν, εφόσον στις αγορές αυτές έχουν τη δυνατότητα επιλογής. Αυτά βέβαια ισχύουν και για την αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι περισσότεροι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας αγνοούν επί του παρόντος τα οφέλη από τη ωριαία μέτρηση. Η εμπειρία των εταιριών παρόχων δικτύου, που έχουν προσπαθήσει να καταστήσουν ενήμερους τους πελάτες τους για τις ωριαίες μετρήσεις, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι: ορισμένες έννοιες για να γίνουν κατανοητές και αποδεκτές από τους πελάτες τους, πρέπει να αναπτυχθούν περαιτέρω

αναλυτικότερα, για να μπορέσουν να πείσουν τους πελάτες τους να συμμετέχουν στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με ένα ουσιαστικό τρόπο.

4.5.2 Οικονομικά εμπόδια των καταναλωτών

Στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας τα οικονομικά κίνητρα ενεργοποιούν τους πελάτες να αγοράσουν ηλεκτρική ενέργεια και μάλιστα ανάλογα προς την αξία και το μέγεθος των κινήτρων. Πολλοί προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας συνάπτουν με τους πελάτες τους συμβάσεις για περιόδους μακράς διάρκειας, στις οποίες οι τιμές είναι προκαθορισμένες. Αυτές οι συμβάσεις δίνουν στους πελάτες τους προβλέψιμα μηνιαία κόστη και μειώνουν το λογαριασμό κατά τις περιόδους αύξησης των τιμών στην αγορά. Άλλοι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας προσφέρουν ένα λογαριασμό υπολοίπου, που παρέχει στους καταναλωτές ένα σταθερό μηνιαίο κόστος. Αυτές οι συμβάσεις για τους πελάτες αυτών των εταιρειών, που δεν αντιδρούν στα μηνύματα χρέωσης ενέργειας, αποτελούν ένα εμπόδιο. Οι οικιακοί καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν μεταβλητές συμβάσεις τιμών, όπου ο όρος μεταβλητές σημαίνει ότι η τιμή της ενέργειας μεταβάλλεται κάθε μήνα. Οι πελάτες έχουν τη δυνατότητα μέσω της μείωσης της κατανάλωσης να επηρεάσουν το ενεργειακό κόστος. Δεν προσφέρονται επί του παρόντος ηλεκτρικά τιμολόγια που να ενθαρρύνουν τους πελάτες, να απομακρύνουν το φόρτο εργασίας του δικτύου, σε περιόδους πίεσης του ηλεκτρικού δικτύου. Για να αποκτήσουν οι πελάτες δυνατότητα συμμετοχής στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, θα πρέπει η κατανάλωση τους να μετράται σε ωριαία βάση. Τελικά, οι συμβάσεις για την ηλεκτρική ενέργεια και τη πρόσβαση στο ενεργειακό δίκτυο, πρέπει να τροποποιηθούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι καταναλωτές να έχουν ισχυρά κίνητρα για να στρέψουν την ενεργειακή ζήτηση από τις περιόδους αιχμής σε περιόδους μη αιχμής.

4.5.3 Εμπόδια στην εγκατάσταση έξυπνων μετρητών

Για την ενεργό συμμετοχή των καταναλωτών στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας καθοριστικής σημασίας είναι οι έξυπνοι μετρητές. Όμως τα εμπόδια για την υιοθέτηση των έξυπνων μετρητών είναι συνάμα και εμπόδια για την κατασκευή και εφαρμογή των έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων. Παρότι η μέτρηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι όντως μια απλή διαδικασία, όμως διάφοροι παράγοντες οδηγούν σε αμφισβήτηση σχετικά με την ποιότητα των ενεργούμενων μετρήσεων. Οι

αβεβαιότητες αυτές θεωρούνται εμπόδιο για την αποδοχή των έξυπνων μετρητών. Στην περίπτωση αμφίδρομης ενεργειακής ροής χρησιμοποιούνται δύο μετρητές, ένας ανά κατεύθυνση. Όταν οι καταναλωτές που έχουν ένα μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας, παράγουν αλλά και καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια, τότε προκύπτουν προβλήματα. Αν ένας παράγει και καταναλώνει ενέργεια αντίστοιχα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, τότε διαφορετικοί μετρητές δίνουν τελείως διαφορετικά αποτελέσματα. Για την λύση του σοβαρού αυτού προβλήματος απαιτείται η εύρεση μιας τυποποιημένης λύσης.

Από τα παραπάνω αναδεικνύεται η ανάγκη της προτυποποίησης των μετρητών έτσι ώστε να προσμετρούνται όλοι οι πιθανοί παράγοντες, όπως η παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, η συμβολή των καταναλωτών στην διαδικασία παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας για καταστεί δυνατή η υιοθέτηση τους από τους καταναλωτές. Ένα ακόμη εμπόδιο στην μαζική εγκατάσταση και αφομοίωση των έξυπνων μετρητών είναι ο έλεγχος και η πιστοποίησή του. Δηλαδή, οφείλουν οι κατασκευαστές ηλεκτρικού εξοπλισμού πριν πουλήσουν νέους μετρητές παραγωγής ή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας να τους ελέγξουν και να τους πιστοποιήσουν, μια διαδικασία όμως πολύ χρονοβόρα. Επίσης, για να αντικατασταθούν οι υπάρχοντες μετρητές με νέους έξυπνους απαιτείται ένα πολυετές χρονικό διάστημα. Οι εταιρείες πάροχοι δικτύου των έξυπνων μετρητών, θα μπορούν να διαθέτουν τελευταίως τους ποιο προηγμένους μετρητές, που θα επιτρέπουν την αμφίδρομη επικοινωνία και τη δυνατότητα ωριαίων μετρήσεων. Το ότι οι μετρητές καταλαμβάνουν το επίκεντρο του ενδιαφέροντος των πελατών, των προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας και των εταιρειών- παρόχων του δικτύου είναι μια μεγάλη πρόκληση. Επιπλέον, ο άμεσος έλεγχος των έξυπνων συσκευών και η μετάδοση σε πραγματικό χρόνο των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας, είναι λειτουργίες που μπορούν να υλοποιηθούν με τη χρήση διαφόρων υπάρχουσών τεχνολογιών χωρίς να χρειάζεται να είναι μέρος των λειτουργιών του μετρητή.

Από την έκθεση των παραπάνω προκύπτει ότι είναι επιτακτική η ανάγκη για άμεση τοποθέτηση των βασικών λειτουργικών χαρακτηριστικών που πρέπει να υποστηρίζουν οι έξυπνοι μετρητές με σκοπό να καταστεί δυνατή η άμεση ανάπτυξή τους καθώς και η μαζική εγκατάσταση στους τελικούς χρήστες. [26]

4.6 Επίλογος

Η αναφορά στο προηγούμενο κεφάλαιο των σημαντικότερων προκλήσεων που έχουν να αντιμετωπίσουν τα έξυπνα δίκτυα κατά την ανάπτυξη και αφομοίωσή τους από τους καταναλωτές ανέδειξε και τα σημεία στα οποία πρέπει να βελτιωθούν.

Για να μπορέσουν τα έξυπνα δίκτυα να κερδίσουν την εμπιστοσύνη των καταναλωτών πρέπει να αντιμετωπιστούν τα τεχνικά ζητήματα, όπως αυτό της ασφάλειας, όπου μπορεί στο μέλλον να υπάρξουν ιδιαίτερες προκλήσεις.

Το θέμα της προτυποποίησης των έξυπνων μετρητών και της λειτουργίας του δικτύου, πρέπει να αντιμετωπιστεί σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως το θέμα των τηλεπικοινωνιών για να υπάρξουν κοινά πρότυπα για τους κατασκευαστές και τους διαχειριστές.

Πρέπει ακόμα να αντιμετωπιστεί και το θέμα της παροχής κινήτρων στους τελικούς χρήστες, ώστε να διεισδύσει το δίκτυο στην αγορά. Για να πραγματοποιηθεί όμως αυτό πρέπει να τεθούν όμως σε κυκλοφορία και οι αντίστοιχες έξυπνες συσκευές. Τέλος, η ενεργός συμμετοχή των καταναλωτών θα αποτελέσει ένα παράγοντα ισχυρό στην γρήγορη και πιο αποδοτική αφομοίωση αυτών των δικτύων.

Κεφάλαιο 5 Ασφάλεια στο Smart Grid

5.1 Ορισμός ασφάλειας

Με τον όρο ασφάλεια οι ενεργειακοί μηχανικοί εννοούν την αντίσταση του κύριου όγκου του ηλεκτρικού δικτύου σε απροσδόκητες αναταραχές, όπως βραχυκυκλώματα ή μη αναμενόμενες απώλειες στοιχείων του συστήματος είτε λόγω φυσικών αιτιών, είτε ανθρώπινων φυσικών είτε ηλεκτρονικών επιθέσεων. Με τον όρο ασφάλεια δεν εννοούμε μόνο την αξιοπιστία του συστήματος ηλεκτρικής αλλά και την αξιοπιστία συστημάτων επικοινωνιών τα οποία ενσωματώνονται για να εξυπηρετήσουν το σύστημα ηλεκτρικής ισχύος. Περιλαμβάνει δηλαδή, ακόμη την πιθανότητα να χαθεί ολοκληρωτικά ένα συγκεκριμένο μήνυμα, τη χρήση πλεοναζόντων μονοπατιών επικοινωνίας, τον αναμενόμενο χρόνο καθυστέρησης στην παράδοση ενός μηνύματος και το εύρος ζώνης μετάδοσης. Ακόμα περιλαμβάνει και τη διαδικασία ανάθεσης προτεραιότητας σε ορισμένα μηνύματα στην περίπτωση που τα κανάλια επικοινωνίας είναι κατειλημμένα.

Εν κατακλείδι, με τον όρο ασφάλεια ορίζουμε και την προστασία πληροφορίας που περιλαμβάνει μέτρα για να διασφαλίσουν την ανωνυμία της ηλεκτρονικής πληροφορίας κατά τη μετάδοση αλλά και αποθήκευση στα ψηφιακά συστήματα. Κύρια σημασία έχουν οι πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με τις προσωπικές πληροφορίες των καταναλωτών καθώς και οι εντολές που χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν το ηλεκτρικό δίκτυο.

5.2 Κυριότερες προκλήσεις

Οι κυριότερες προκλήσεις όταν αναπτύσσει καινούριες λύσεις ασφάλειας δικτύου για τα συστήματα αυτοματισμού του ηλεκτρικού δικτύου είναι τέσσερις και είναι οι εξής:

- I. Αρκετά στοιχεία αυτοματισμού χρησιμοποιούν μόνον ιδιωτικά λειτουργικά συστήματα τα οποία σχεδιάζονται με κύριο σκοπό τον έλεγχο λειτουργικότητας και απόδοσης, αλλά όχι με σκοπό την ασφάλεια.
- II. Τα συστήματα αυτοματισμού χρησιμοποιούν τεχνολογίες και πρωτόκολλα που σχεδιάστηκαν με κύριο σκοπό την συνδεσιμότητα, χωρίς εξέταση της ασφάλειας στον κυβερνοχώρο.

- III. Αρκετά στοιχεία αυτοματισμού δημιουργήθηκαν με κύριο σκοπό τον έλεγχο της λειτουργικότητας και για αυτό το λόγο ίσως δεν έχουν επιπλέον υπολογιστική ισχύ ή χώρο μνήμης για να εκτελούν λειτουργικότητες ασφάλειας. Όμως το πρόβλημα είναι πως αυτά τα στοιχεία προορίζονται να λειτουργούν ίσως και πάνω από 30 χρόνια.
- IV. Το ηλεκτρικό δίκτυο ξέρει μια θεμελιώδη αλλαγή προς το έξυπνο δίκτυο, όπου αναδεικνύονται νέες εφαρμογές και νέες απαιτήσεις για τη επικοινωνία δεδομένων, όπως είναι το εύρος ζώνης, η καθυστέρηση και νέα πρωτόκολλα επικοινωνίας.

5.3 Κύριες ιδιότητες ασφάλειας

Για να θεωρηθεί ασφαλές το έξυπνο δίκτυο υπάρχουν τρεις κρίσιμες πλευρές ασφάλειας που είναι απαραίτητη η προστασία τους και είναι οι εξής:

- I. **Εμπιστευτικότητα:** πρόληψη μη εξουσιοδοτημένης αποκάλυψης πληροφοριών. Αυτό έχει ως ερμηνεία την διατήρηση της πληροφορίας ως μυστικής από μη εξουσιοδοτημένα πρόσωπα. Άρα οι ευαίσθητες πληροφορίες δεν αποκαλύπτονται σε μη εξουσιοδοτημένα άτομα είτε οντότητες είτε διαδικασίες. Λόγου χάρη, τα δεδομένα ηλεκτρονικής αγοράς και οι πληροφορίες συναλλαγής θεωρούνται ευαίσθητες πληροφορίες για αυτό το λόγο θα πρέπει να είναι προσβάσιμες μόνο από εξουσιοδοτημένους αντιπρόσωπους αγοράς και όχι από άλλες οντότητες, όπως για παράδειγμα διαχειριστές συστήματος. Τέλος δεν αφορά μόνο την προστασία από μη εξουσιοδοτημένη αποκάλυψη των δεδομένων αυτών καθαυτών, αλλά ακόμη και από την ύπαρξη των δεδομένων.
- II. **Ακεραιότητα:** πρόληψη μη εξουσιοδοτημένης μεταβολής πληροφοριών. Αυτό έχει ως ερμηνεία ότι τα δεδομένα που μεταφέρονται μες στο δίκτυο επικοινωνιών δεν πρέπει να τροποποιηθούν με κακόβουλο σκοπό. Ακόμα τα ευαίσθητα δεδομένα δεν πρέπει να διαγράφονται αλλά ούτε και να δημιουργούνται νέα δεδομένα με ένα μη εξουσιοδοτημένο και μη εντοπίσιμο τρόπο. Λόγου χάρη, ένας αντίπαλος δε θα έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει τα δεδομένα ενός αισθητήρα χωρίς να εντοπιστεί.
- III. **Διαθεσιμότητα:** είναι η ιδιότητα του να είναι προσπελάσιμες και χωρίς

ανατιολόγητη καθυστέρηση οι υπηρεσίες ενός πληροφοριακού συστήματος όταν τις χρειάζεται μια εξουσιοδοτημένη οντότητα. Τούτέστιν, οι εξουσιοδοτημένες οντότητες του δικτύου, όπως είναι οι χρήστες, πρέπει να έχουν τη δυνατότητα πρόσβασης στις υπηρεσίες του όταν τις χρειαστούν. Η υπηρεσία ασφάλειας αυτή είναι απαραίτητη όταν υπάρχει ένας κατελιμμένος κόμβος, με σκοπό την διασφαλιστεί της φυσιολογικής λειτουργίας του δικτύου. απομονώνεται ο κακός κόμβος αυτός.

Για το ηλεκτρικό δίκτυο, είναι το κυριότερο αντικείμενο ασφάλειας η διαθεσιμότητα. Για τα κρίσιμα συστήματα πραγματικού χρόνου, στο έξυπνο δίκτυο, εκτιμούν ότι η μέγιστη καθυστέρηση είναι 4 msec. Τα συστήματα παρακολουθούν ανελλιπώς την κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου διότι μια διακοπή στις επικοινωνίες τους μπορεί να προκαλέσει απώλεια ισχύος. Στο έξυπνο δίκτυο, το δεύτερο πιο κυριότερο αντικείμενο ασφάλειας είναι η ακεραιότητα. Η ποιότητα του ηλεκτρικού ρεύματος εξαρτάται από την ποιότητα υπολογισμού της τρέχουσας κατάστασης, συνεπώς και από την ποιότητα των δεδομένων που συναθροίζονται από τους διάφορους αισθητήρες. Οπότε, η μη εξουσιοδοτημένη τροποποίηση των δεδομένων είναι δυνατόν να προκαλέσει ζημιά στο ηλεκτρικό δίκτυο. Το τρίτο και τελευταίο αντικείμενο ασφάλειας είναι η εμπιστευτικότητα. Επίσης, η απώλεια της εμπιστευτικότητας προκαλεί μικρότερους κινδύνους από την απώλεια της διαθεσιμότητας ή της ακεραιότητας. Παρόλα αυτά, σε τομείς όπως η μυστικότητα των πληροφοριών των πελατών ή οι πληροφορίες ηλεκτρονικού εμπορίου, η εμπιστευτικότητα είναι η πιο σημαντική υπόλοιπες ιδιότητες.

Βέβαια εκτός από τις τρεις κρίσιμες πλευρές ασφάλειας που προείπαμε συστήνονται ακόμη τρεις δευτερεύουσες έννοιες ασφάλειας πληροφοριακών συστημάτων οι οποίες είναι οι εξής:

- I. **Εξουσιοδοτημένη χρήση:** μόνο εξουσιοδοτημένα άτομα μπορούν να χρησιμοποιούν το υπολογιστικό σύστημα ή τις περιφερειακές συσκευές του και πάντα μόνο σύμφωνα με προκαθορισμένο τρόπο.
- II. **Αυθεντικοποίηση μηνυμάτων:** είναι η επιθυμία να γνωρίζουμε με σιγουριά κατά τη λήψη ενός μηνύματος, μέσω δικτύου, αν το άτομο που το σύστημα αξιώνει ότι έστειλε το μήνυμα, έχει στείλει το μήνυμα.

III. **Αξιοπιστία και σιγουριά:** είναι η ασφάλεια σχετίζεται με την αξιοπιστία και τη βεβαιότητα καθώς έχει να κάνει με συστήματα που πρέπει να λειτουργούν κανονικά σε αντίξοες συνθήκες.

5.4 Τρόποι αντιμετώπισης του θέματος της ασφάλειας

Η πραγμάτωση των τριών χαρακτηριστικών, επιτυγχάνεται με τον σχεδιασμό τεχνολογιών ηλεκτρονικής ασφάλειας για προστασία, τον εντοπισμό και την απόκριση.

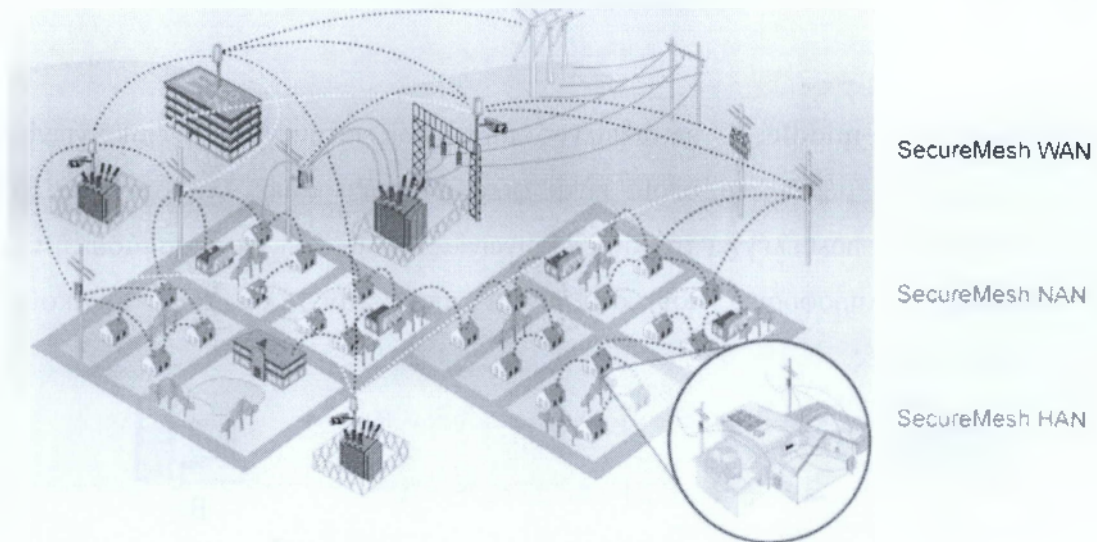
- a) **Συστήματα προστασίας:** περιλαμβάνουν στοιχεία ασφάλειας, όπως για παράδειγμα διαχείριση κλειδιών, πιστοποίηση αυθεντικότητας και εξουσιοδότηση, καθώς και περιμετρική άμυνα, η οποία αποσκοπεί στη διασφάλιση των ιδιοτήτων CIA απέναντι στις διάφορες επιθέσεις. Ένα καλό παράδειγμα είναι το εξής. Η κρυπτογράφηση παρέχει εμπιστευτικότητα και ακεραιότητα, η πιστοποίηση αυθεντικότητας και η συνόψιση μηνύματος παρέχει ακεραιότητα.
- b) **Συστήματα εντοπισμού:** αποτελούν μηχανισμοί αναγνώρισης κακόβουλων δραστηριοτήτων και επιθέσεων. Λόγου χάρη, τα συστήματα εντοπισμού εισβολέων αναζητούν κακόβουλες υπογραφές στο δίκτυο.
- c) **Συστήματα απόκρισης:** αποτελούν οι δυναμικές αλλαγές σε πολιτικές τοίχων προστασίας για να περιοριστεί η ροή από και προς τους αντιπάλους για να αντιμετωπιστεί μια επίθεση.

Εν κατακλείδι, θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα συστήματα τα συστήματα προστασίας, εντοπισμού και απόκρισης δημιουργούν ένα οικοσύστημα στο οποίο εκτελούνται ασφαλείς και αξιόπιστες λειτουργίες.

5.5 Κίνδυνοι στο Smart Grid

Το Smart Grid παρότι προσθέτει νέες λειτουργικότητες στο ηλεκτρικό δίκτυο, αυξάνει τους κινδύνους προς το σύστημα. Οι κίνδυνοι αυτοί σχετίζονται με τις απαιτούμενες επικοινωνίες, τα συστήματα αυτοματισμού καθώς και τη συλλογής δεδομένων. Το κύριο μέρος του Smart Grid θα είναι το δίκτυο επικοινωνιών του. Η κατασκευή του νέου δικτύου επικοινωνιών θα επιτευχθεί χρησιμοποιώντας διάφορα

μονοπάτια επικοινωνίας. Κάποια από αυτά είναι οι οπτικές ίνες, η ευρυζωνικότητα πάνω από γραμμές μεταφοράς ισχύος και οι ασύρματες τεχνολογίες. Ως σκοπό έχει την σύνδεση των στοιχείων του έξυπνου δικτύου μεταξύ τους, επιτρέποντας αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ τους και αυξάνοντας την πολυπλοκότητά του. Η ταχύτατη εξάπλωση των νέων τεχνολογιών, κυρίως των τεχνολογιών που σχετίζονται με το Διαδίκτυο, θα προσθέσουν νέες απειλές στην ασφάλεια του έξυπνου δικτύου. Οι εξελισσόμενες τεχνικές παρέχουν σημαντικά πλεονεκτήματα καθώς και δυνατότητες, αλλά παρόλα αυτά αυξάνουν ταυτόχρονα σημαντικά τα προβλήματα που σχετίζονται με την προστασία και τη διαθεσιμότητα των πληροφοριών. Εκτός από τις απειλές του κυβερνοχώρου (spyware, computer viruses) που απειλούν τα δίκτυα υπολογιστών και επικοινωνιών, η εισχώρηση νέων τεχνολογιών, όπως οι έξυπνοι μετρητές, οι αισθητήρες, άλλα υποδίκτυα και σημεία πρόσβασης μπορούν να δημιουργήσουν κι άλλα ευάλωτα σημεία ή ευπάθειες στο έξυπνο δίκτυο. Παρόλα αυτά, το έξυπνο δίκτυο δεν θα υποβληθεί μόνο σε νέους κινδύνους λόγω των ευάλωτων σημείων του δικτύου επικοινωνιών, αλλά και σε κινδύνους που θα κληρονομηθούν από το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο λόγω των φυσικών ευάλωτων σημείων αυτού. Η επίδραση των φυσικών επιθέσεων έχει ως αντίκτυπο το να σταματήσει η παραγωγή, η διανομή, και η μεταφορά της ηλεκτρικής ισχύος. Οι επιθέσεις κυβερνοχώρου μπορεί να επωφεληθούν την προσβασιμότητα μέσω των δικτύων HAN και NAN, σε μια προσπάθεια να αποκτήσουν απομακρυσμένη πρόσβαση, να θέσουν σε κίνδυνο ή να ελέγξουν ηλεκτρονικές συσκευές. Το έξυπνο δίκτυο αναμένεται να είναι ένας δελεαστικός στόχος για hacking, κλοπή υπηρεσιών, τρομοκρατίας καθώς και άλλων κακόβουλων επιθέσεων. Το θέμα της ασφάλειας έχει παγκόσμια αναγνωριστεί ως ένα μείζον θέμα με κυρίως καταστροφικές συνέπειες. Επίσης τα τείχη προστασίας δεν εξασφαλίζουν τέλεια ηλεκτρονική ασφάλεια και ως είναι τέλεια διαμορφωμένα. Αυτό γίνεται επειδή είναι αδύνατον να βρεθούν επιθέσεις που προέρχονται από μέσα καθώς και συνδέσεις μέσω της έμπιστης μεριάς.

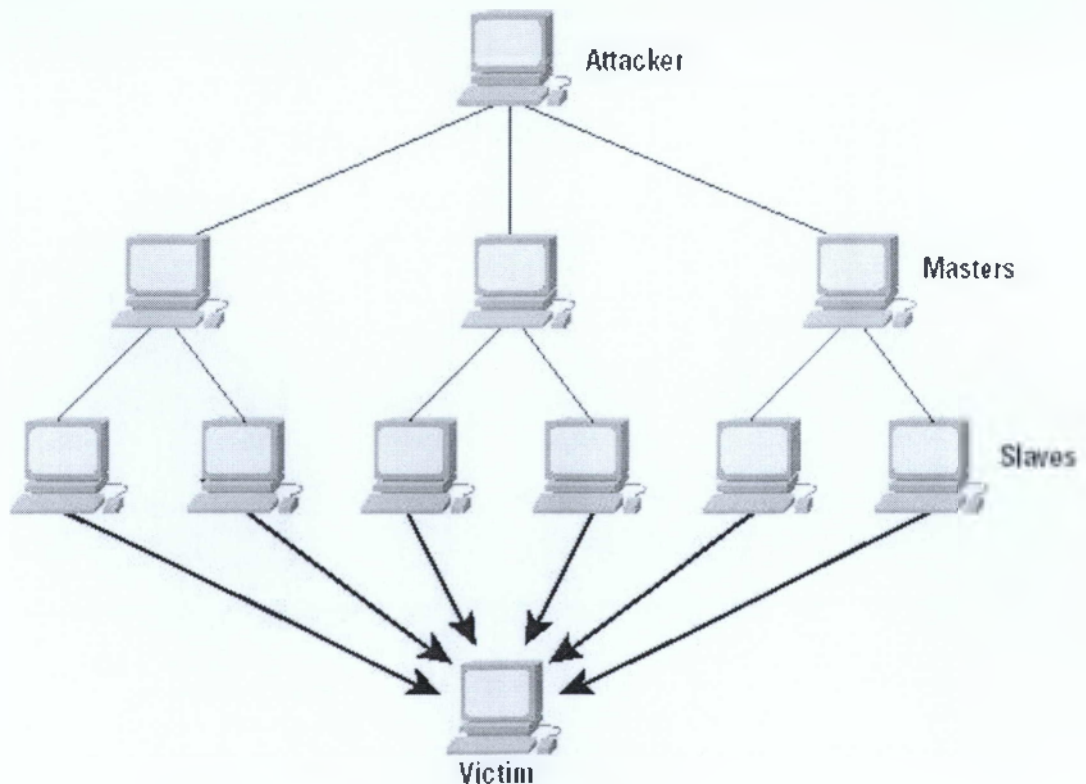


Εικόνα 3 HAN(Home Area Network) NAN(Neighborhood Area Network)

5.6 Κύριοι τύποι επιθέσεων

Οι κύριοι τύποι των επιθέσεων είναι τέσσερεις και είναι οι εξής:

- Denial-of-Service (DoS):** είναι η επίθεση όπου ο επιτιθέμενος αρνείται στην πηγή την πρόσβαση στον προορισμό.(άρνηση παροχής υπηρεσιών).



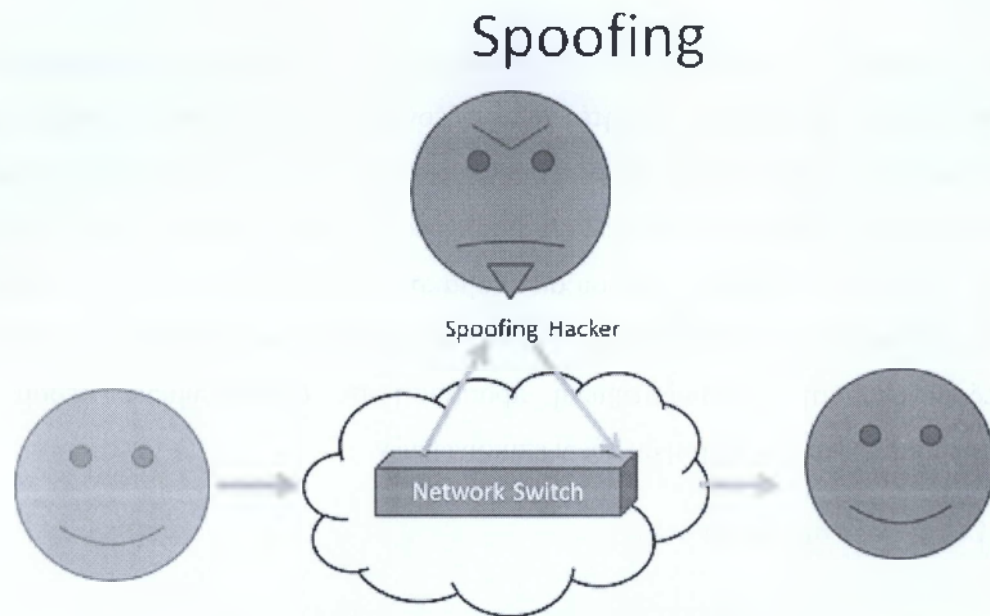
Εικόνα 4 Denial-of-Service (DoS)

- b) **Man-in-the-middle:** Ο επιτιθέμενος παρεμποδίζει την νόμιμη επικοινωνία μεταξύ δύο μερών, τα οποία είναι φιλικά μεταξύ τους. Στη συνέχεια, ο κακόβουλος host ελέγχει τη ροή επικοινωνίας και μπορεί να αποσπάσει ή να αλλάξει πληροφορίες που στέλνονται από έναν από τους αρχικούς υμμετέχοντες.



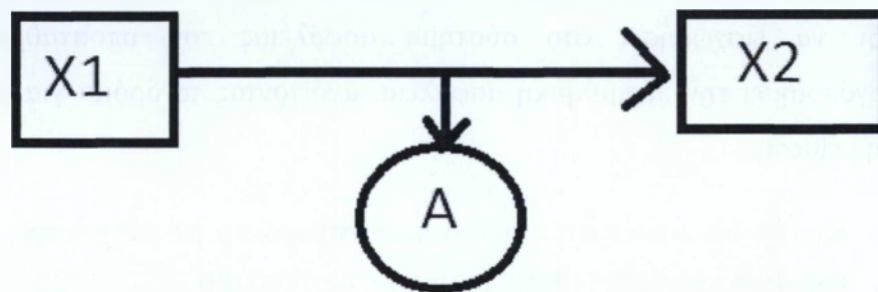
Εικόνα 5 Man-in-the-middle

- c) **Spoofing:** είναι μια κατάσταση κατά την οποία ένα άτομο ή πρόγραμμα μεταμφιέζεται με επιτυχία σε ένα άλλο μέσω της παραποίησης δεδομένων κερδίζοντας έτσι ένα παράνομο πλεονέκτημα.



Εικόνα 6 Spoofing

- d) **Eavesdropping:** είναι η επίθεση όπου ο A λαμβάνει όλα τα μηνύματα τα οποία στέλνονται από τον X1 στον X2(οι X1,X2 δεν το γνωρίζουν αυτό).



Εικόνα 7 Eavesdropping

5.7 Επιθέσεις φυσικές, ηλεκτρονικές και συνδυασμός των δύο αυτών

5.7.1 Φυσικές απειλές

Οι φυσικές απειλές απαιτούν ειδικά εργαλεία και φυσική παρουσία. Οι γραμμές μεταφοράς μπορούν να υπονομευθούν οπουδήποτε κατά μήκος της γραμμής ή στον πύργο μεταφοράς. Οι γραμμές διανομής είναι τοποθετημένες σε σχετικά χαμηλό ύψος

και μπορούν να διακοπούν εύκολα. Επίσης, οι έξυπνοι μετρητές είναι εξαιρετικά ευάλωτοι σε κλοπή αφού τοποθετούνται στις εγκαταστάσεις του πελάτη.

5.7.2 Ηλεκτρονικές απειλές

Οι ηλεκτρονικές απειλές έχουν τη δυνατότητα της εκτέλεσης από οποιονδήποτε υπολογιστή. Οι έξυπνοι μετρητές διασυνδέονται και με άλλους μετρητές μες στο δίκτυο NAN καθώς και με έξυπνες οικιακές συσκευές και τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας μέσα στο δίκτυο HAN. Οι διασυνδέσεις αυτές έχουν ως σκοπό την αύξηση της έκθεσης του έξυπνου δικτύου σε απομακρυσμένες απειλές, όπως για παράδειγμα παραβίαση της ιδιωτικής ζωής μέσω υποκλοπών και ανάλυσης κυκλοφορίας δεδομένων, μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση σε αποθηκευμένα δεδομένα και παρεμβολή ή τροποποίηση δικτύων επικοινωνιών.

5.7.3 Συνδυασμένες απειλές

Συνδυασμένες απειλές απαιτούν συνδυασμένες γνώσεις αφού οι ηλεκτρονικές επιθέσεις μπορεί να έχουν φυσικές επιδράσεις και οι φυσικές επιθέσεις μπορεί να έχουν επίδραση στην ηλεκτρονική υποδομή. Λόγου χάρη, ένας δυσαρεστημένος ή παραπονεμένος υπάλληλος με άδεια εξουσιοδότησης στους υπολογιστές είναι δυνατόν να εισχωρήσει στο σύστημα ασφάλειας του υποσταθμού και να απενεργοποιήσει την περιμετρική ασφάλεια, ανοίγοντας το δρόμο για οποιαδήποτε φυσική επίθεση.

5.7 Κατηγοριοποίηση επιθέσεων σύμφωνα με το κίνητρο, τον αριθμό των επιτιθέμενων και τον στόχο

Η κατηγοριοποίηση των επιθέσεων σύμφωνα με το κίνητρο γίνεται σε πέντε τομείς:

1. οικονομικά οφέλη
2. ανήθικη κλοπή ενέργειας
3. υποκινούμενες επιθέσεις
4. κλοπή πληροφοριών της κατανάλωσης ισχύος
5. περιέργεια για πληροφορία

Σύμφωνα με τον αριθμό των επιθέσεων οι επιθέσεις χωρίζονται σε δύο τομείς:

- A. Ατομικές επιθέσεις: επιθέσεις οι οποίες εκτελέστηκαν από ένα μόνον άτομο. Αποτελεί η συλλογή όλων των απαραίτητων πληροφοριών και εργαλείων για να διαπράξει ένα μικρής κλίμακας blackout.
- B. Οργανωμένες επιθέσεις: μελετημένες ομάδες επιτιθέμενων συνεργάζονται με σκοπό να χτυπήσουν ένα κοινό στόχο ομαδικά. Κυρίως στοχεύουν ένα σύνθετο αποτέλεσμα με επίδραση μεγαλύτερης κλίμακας από αυτή των ατομικών επιθέσεων. Για την επίτευξη του στόχου τους χρησιμοποιούν μέσα όπως είναι το Διαδίκτυο και άλλες σύγχρονες τηλεπικοινωνίες με σκοπό να συντονίσουν ταυτόχρονες επιθέσεις από γεωγραφικά απομακρυσμένες περιοχές. Λόγου χάρη, ένας επιτιθέμενος έχει τη δυνατότητα να κατεβάσει το γενικό διακόπτη ηλεκτρικής ισχύος σε ένα κτίριο, δημιουργώντας την ευκαιρία για έναν άλλο επιτιθέμενο να εισέλθει στο κτίριο χωρίς να υπάρξει ενεργοποίηση του συναγερμού.

Ένας επιτιθέμενος ή μια ομάδα επιτιθέμενων μπορεί να κάνουν μια ηλεκτρονική εισβολή στοχεύοντας οποιοδήποτε τομέα στο δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος. Οι τομείς είναι οι εξής:

- a) **Παραγωγή:** τα εργοστάσια παραγωγής ισχύος είναι ο κύριος στόχος των επιθέσεων για διακοπή ή διαχείρισης της λειτουργίας των γεννητριών.
- b) **Διανομή και Έλεγχος:** περιλαμβάνει εισβολές αλλά και προσπάθειες αλλαγής φάσης και άλλων πληροφοριών κατάστασης στην οποία βρίσκεται το δίκτυο. Λόγου χάρη, οι χάκερς έχουν ως κύριο σκοπό να καταλάβουν τους αισθητήρες μέτρησης ή να εισέλθουν στα routers τα οποία μεταφέρουν τις μετρήσεις προς το κέντρο ελέγχου με σκοπό να εισάγουν λάθη σε συγκεκριμένες μεταβλητές κατάστασης,
- c) **Κατανάλωση:** συμπεριλαμβάνει ξαφνική αλλαγή φορτίου μέσω Διαδικτύου σε συγκεκριμένες κρίσιμες τοποθεσίες του ηλεκτρικού δικτύου και πρόκληση υπερφόρτωσης των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος.

5.8 Τύποι φορτίου προσβάσιμοι μέσω Διαδικτύου και θέματα ασφάλειας ασυρμάτων δικτύων και έξυπνων μετρητών

Οι προσβάσιμοι τύποι φορτίου μέσω Διαδικτύου είναι τρεις:

1. **Κέντρα δεδομένων και φορτίο υπολογισμού:** ένα κέντρο δεδομένων συμπεριλαμβάνει εκατοντάδες χιλιάδες computer servers, εξοπλισμούς ψύξης και μετασχηματιστές υποσταθμών. Ένα κέντρο δεδομένων έχει τη δυνατότητα να ξεπεράσει την κατανάλωση των 50 MW, ενώ αυτή η κατανάλωση μπορεί να διπλασιαστεί στην περίπτωση που όλοι οι computer servers είναι απασχολημένοι με υπολογιστικές εργασίες. Για αυτό, επιθέσεις μέσω διαδικτύου έχουν τη δυνατότητα να κατακλύσουν τους computer servers του κέντρου δεδομένων με ψεύτικες υπολογιστικές εργασίες, με αντίκτυπο την υπερβολική κατανάλωση ενέργειας, ξαφνικές διακυμάνσεις φορτίου και ανισορροπία του ηλεκτρικού δικτύου.
2. **Άμεσος έλεγχος φορτίου:** αποτελεί το μερίδιο φορτίου, όπως κλιματιστικά, θερμοσίφωνα, ψυγείο, αντλίες πισίνας, που βρίσκονται υπό τον άμεσο έλεγχο του παρόχου. Ο τελευταίος στέλνει σήματα-εντολές, μέσω γραμμών μεταφοράς ή Διαδικτύου, στις συσκευές αυτές για ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση. Ο επιτιθέμενος έχει τη δυνατότητα να επιτύχει την αποστολή τέτοιων σημάτων-εντολών και να ελέγξει τη λειτουργία οικιακού ή βιομηχανικού φορτίου για τα οποία υποτίθεται ότι είναι υπεύθυνος ο πάροχος. Με αυτό τον τρόπο στέλνοντας ταυτόχρονα σήματα ενεργοποίησης σε χιλιάδες συσκευές θερμοσίφωνα, ο επιτιθέμενος θα καταφέρει να προκαλέσει σημαντικό χτύπημα στη συνολική ζήτηση φορτίου. Αποτέλεσμα αυτού είναι η υποβάθμιση της ποιότητας ισχύος, προβλήματα τάσης, πιθανή ζημιά στον εξοπλισμό του παρόχου και του καταναλωτή.
3. **Έμμεσος έλεγχος φορτίου:** αφήνει τους πελάτες να ελέγχουν το φορτίο τους ανεξάρτητα, σύμφωνα με σήματα-τιμολόγησης τα οποία αποστέλλονται από τον πάροχο μέσω Διαδικτύου στους έξυπνους μετρητές. Μέσω της πληροφορίας τιμολόγησης και βασιζόμενοι στις ενεργειακές τους ανάγκες, οι καταναλωτές προγραμματίζουν το χρόνο και το ποσό της ενεργειακής κατανάλωσης για κάθε οικιακή συσκευή. Σε μια τέτοια περίπτωση, ο επιτιθέμενος έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει τα σήματα-τιμολόγησης. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του συνολικού φορτίου με μείωση των τιμολογήσεων.

Στο έξυπνο δίκτυο χρησιμοποιούνται ευρέως τα ασύρματα δίκτυα λόγω της πρακτικότητας αλλά και του χαμηλού κόστους που προσφέρουν. Τα πολλαπλά μονοπάτια επικοινωνίας που διαθέτουν αποζημιώνουν για τις αποτυχίες που προκαλούνται από την κατάρρευση ορισμένων κόμβων επικοινωνίας. Παρόλο που οι έξυπνοι μετρητές υπόσχονται να μετασχηματίσουν το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο, οι ίδιοι φέρνουν μια πληθώρα προβλημάτων ασφάλειας που πρέπει να διευθετηθούν με σκοπό να εγγυηθούν ασφαλή λειτουργία του δικτύου. Λόγου χάρη, τα δεδομένα χρήστη ή το προφίλ κατοίκου είναι δυνατόν να συλλεχθούν κακόβουλα μέσω κακοπροαίρετης χρήσης του ηλεκτρικού ρεύματος το σύστημα επικοινωνιών ίσως είναι ευάλωτο σε επιθέσεις denial-of-service(DoS), που θα μπλόκαραν τη μεταφορά των μετρήσεων τρύπες ασφάλειας έχουν τη δυνατότητα να επιτρέψουν την εισβολή hackers μέσα στους έξυπνους μετρητές με σκοπό να τροποποιήσουν τα δεδομένα χρήστη, οδηγώντας σε λανθασμένο υπολογισμό λογαριασμού, ή να στείλουν εντολές αποσύνδεσης προς τους μετρητές τους ίδιους.

5.9 Υπολογισμός κατάστασης, επίθεσης φορτίου και συνέπειες

Ο υπολογισμός κατάστασης είναι το στοιχείο κλειδί για τη λειτουργία και τον έλεγχο ενός αξιόπιστου συστήματος. Συλλέγει πληροφορίες μετρήσεων από ένα μεγάλο αριθμό μετρητών και τις αναλύει συγκεντρωτικά στο κέντρο ελέγχου. Επίσης, πραγματοποιείται υπολογισμός ελαχιστοποίησης του συνολικού λειτουργικού κόστους μέσω της ανακατανομής της ισχύος παραγωγής. Παρόλα αυτά, αποδείχτηκε ότι ο υπολογισμός κατάστασης είναι ευαίσθητος σε σκόπιμες επιθέσεις μόλυνσης με λανθασμένα δεδομένα. Συνεργατικά χειρίζονται τις μετρήσεις που λαμβάνουν οι διάφοροι μετρητές, διαστρεβλώνοντας έτσι το αποτέλεσμα του υπολογισμού κατάστασης. Ως αντίκτυπο, ένας λανθασμένος υπολογισμός ελαχιστοποίησης του συνολικού λειτουργικού κόστους θα έχει ως αποτέλεσμα να οδηγηθεί το σύστημα σε μη οικονομική λειτουργία, συνοδευόμενη ίσως από άμεση κατάρρευση φορτίου. Ακόμα μια ειδική κατηγορία επιθέσεων μόλυνσης με λανθασμένα δεδομένα είναι η επίθεση κακόβουλης ανακατανομής φορτίου. Στην επίθεση αυτή, οι επιτιθέμενοι αυξάνουν το φορτίο σε κάποιους ζυγούς και μειώνουν το φορτίο ανάλογα σε άλλους ζυγούς, διατηρώντας έτσι αμετάβλητο το συνολικό φορτίο. Έτσι έχουν τη δυνατότητα να παραπλανήσουν τη διαδικασία υπολογισμού κατάστασης χωρίς να εντοπιστούν από μηχανισμούς που εντοπίζουν λανθασμένα δεδομένα. Στην αρχή, ίσως οδηγήσουν

το σύστημα σε μια μη βέλτιστη κατανομή της παραγωγής ή τοπική κατάρρευση φορτίου, ενώ στη συνέχεια, ίσως οδηγήσουν σε μη ασφαλή κατάσταση λειτουργίας ή σε κατάρρευση φορτίου ευρείας περιοχής.

5.11 Πιθανές ηλεκτρονικές επιθέσεις και η επίδρασή τους στο δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος

Μπορούμε να ταξινομήσουμε τις επιθέσεις σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. **Στοιχεία:** οι συσκευές αυτοματισμού, όπως RTU και HMI, συχνά υποστηρίζουν ένα interface χρήστη με σκοπό να επιτρέψει σε μηχανικούς να εκτελέσουν διαδικασίες διαμόρφωσης και διάγνωσης από απομακρυσμένα σημεία πρόσβασης. Η πρόσβαση αυτή έχει τη δυνατότητα να επιτρέψει σε έναν εισβολέα να καταλάβει τη συσκευή και να προκαλέσει ελαττωματικές καταστάσεις, όπως είναι η αλλαγή δεδομένων και παραπλάνηση του χειριστή του συστήματος ελέγχου, η ζημιά στον εξοπλισμό ενός τομέα μετά από εφαρμογή μη ακριβών δεδομένων και η απώλεια υπηρεσίας εάν ο εισβολέας σβήσει τη συσκευή.
2. **Πρωτόκολλα:** Τα περισσότερα τωρινά πρωτόκολλα δεδομένων επικοινωνιών ακολουθούν το messaging protocol που είναι καλά τεκμηριωμένο και διαθέσιμο στο δημόσιο κοινό. Το πρωτόκολλο DNP χρησιμοποιείται ευρέως από ηλεκτρικούς παρόχους στη Β.Αμερική. Κάποιος εισβολέας έχει τη δυνατότητα να εκμεταλλευτεί αυτά τα πρωτόκολλα χρησιμοποιώντας επίθεση man-in-the-middle ή spoofing. Οι αρνητικές επιπτώσεις ίσως περιλαμβάνουν αποστολή παραπλανητικών δεδομένων στη συσκευή ή στο χειριστή του κέντρου ελέγχου, οδηγώντας σε οικονομικές απώλειες εάν η επίθεση οδηγήσει σε υπερβολική παραγωγή, κίνδυνος ασφάλειας εάν μια γραμμή ηλεκτρικής ισχύος ενεργοποιηθεί τη στιγμή που ειδικοί συντηρούν τη γραμμή και καταστροφή εξοπλισμού εάν σταλούν κακόβουλες εντολές ελέγχου που οδηγούν σε κατάσταση υπερφόρτωσης.
3. **Τοπολογία:** Ένας εισβολέας έχει τη δυνατότητα να εκμεταλλευτεί τα ευαίσθητα τα σημεία μιας τοπολογίας δικτύου και να εξαπολύσει μια επίθεση denial-of- service (DoS), πλημμυρίζοντας ένα RTU με μηνύματα έγκυρου πρωτοκόλλου. Ως αντίκτυπο η υπολογιστική ισχύς της CPU, η μνήμη και το εύρος ζώνης θα υπερβούν τα όριά τους, και θα έχουμε ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση ή και απώλεια ανταλλαγής δεδομένων πραγματικού χρόνου.

Ακόμα, οι διαχειριστές του κέντρου ελέγχου ίσως αποτύχουν να διαμορφώσουν μια ολοκληρωμένη άποψη της κατάστασης του ηλεκτρικού δικτύου. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την λανθασμένη λήψη αποφάσεων.

5.10 Μεθοδολογία μια επίθεσης

Η μεθοδολογία μιας επίθεσης μπορεί να μεταχειριστεί από μια εχθρική οντότητα που επιθυμεί να προκαλέσει κάτι παραπάνω από μια διακοπή υπηρεσίας. Ένας hacker για να αποκτήσει μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση σε ένα σύστημα SCADA είναι μια εξαιρετικά δύσκολη εργασία. Η εργασία αυτή απαιτεί έναν επιδέξιο hacker και πολλές ώρες έρευνας. Όμως για να πάρει τον έλεγχο του συστήματος αυτοματισμού του ηλεκτρικού δικτύου, υπάρχουν τρία απαραίτητα βήματα, η πρόσβαση, η ανακάλυψη και ο έλεγχος. Ακόμα, ένα προαιρετικό βήμα που απασχολεί μελετημένους εισβολείς είναι η απόκρυψη των επιθέσεων διαγράφοντας συγκεκριμένους φακέλους που μπορούν να εντοπίσουν και να αναφέρουν την παρουσία των εισβολέων στα συστήματα αυτοματισμού.

Το πρώτο βήμα που απαιτείται από έναν επιτιθέμενο είναι να αποκτήσει πρόσβαση στο σύστημα SCADA. Ο επιτιθέμενος έχει τη δυνατότητα να συγκεντρώσει όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες, όπως ονόματα, εγκατεστημένο εξοπλισμό και άλλα χρήσιμα δεδομένα. Στην συνέχεια, στοχεύει συγκεκριμένα στοιχεία του συστήματος χρησιμοποιώντας κακόβουλο λογισμικό, εκμεταλλεύεται τα αδύναμα σημεία και τελικός αποκτά πρόσβαση. Για μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση η πιο κοινή μέθοδος είναι η εξωτερική VPN πρόσβαση στο SCADA. Η VPN πρόσβαση χρησιμοποιείται από εξειδικευμένο προσωπικό που απαιτεί πρόσβαση από το σπίτι τους ή το γραφείο τους. Επίσης προκύπτουν προβλήματα όταν οι κωδικοί πρόσβασης του εξειδικευμένου προσωπικού υποκλαπούν με κάποιο τρόπο.

Όταν επιτευχθεί η πρόσβαση στο δίκτυο SCADA, η επόμενη κίνηση είναι να κατανοήσεις το συγκεκριμένο δίκτυο ανακαλύπτοντας τη διαδικασία που επιτελείται. Η πολυπλοκότητα του συστήματος αποτελεί μια πολύ καλή άμυνα απέναντι στις επιθέσεις και δυσκολεύει αρκετά τον επιτιθέμενο στην κατανόησή του. Αρχικά αναζητούνται απλές πηγές πληροφορίας, όπως εξυπηρετητές ιστού, σταθμοί εργασίας μηχανικών, οθόνες HMI. Επιπροσθέτως ο επιτιθέμενος έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί επί μεγάλο χρονικό διάστημα τη ροή πληροφορίας που περνά από το

σημείο στο οποίο είναι τοποθετημένος. Έτσι μπορεί να αποκαλυφθεί ένας μεγάλος πλούτος δεδομένων, όπως πιστοποιητικά FTP, Telnet και HTTP. Με όλα τα παραπάνω θα παρέχεται στον επιτιθέμενο μια καλή εικόνα σχετικά με τη λειτουργία του δικτύου.

Εφόσον κατανοηθεί η διαδικασία SCADA, υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι για να ελέγξεις το σύστημα. Ο κυριότερος στόχος είναι το HMI. Το πλεονέκτημα των κακόβουλων ενεργειών του επιτιθέμενου από τη θέση HMI είναι ότι αυτές οι ενέργειες θα εμφανίζονται ότι συμβαίνουν από τον υπεύθυνο διαχειριστή του HMI. Ακόμα ένας δημοφιλής στόχος είναι ο σταθμός εργασίας μηχανικών EWS, ο οποίος χρησιμοποιείται από του μηχανικούς SCADA για να αναβαθμίσουν το σύστημα και να παρέχουν το λογισμικό και τις οθόνες στο HMI. Εν κατακλείδι, άλλοι πιθανοί στόχοι αποτελούν τα συστήματα βάσεων δεδομένων και ο application server, που φιλοξενεί διάφορες εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στο σύστημα SCADA και έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν έλεγχο σε μέρη του συστήματος.

5.11 Πρόγραμμα απόκρισης σε έκτακτη ζήτηση

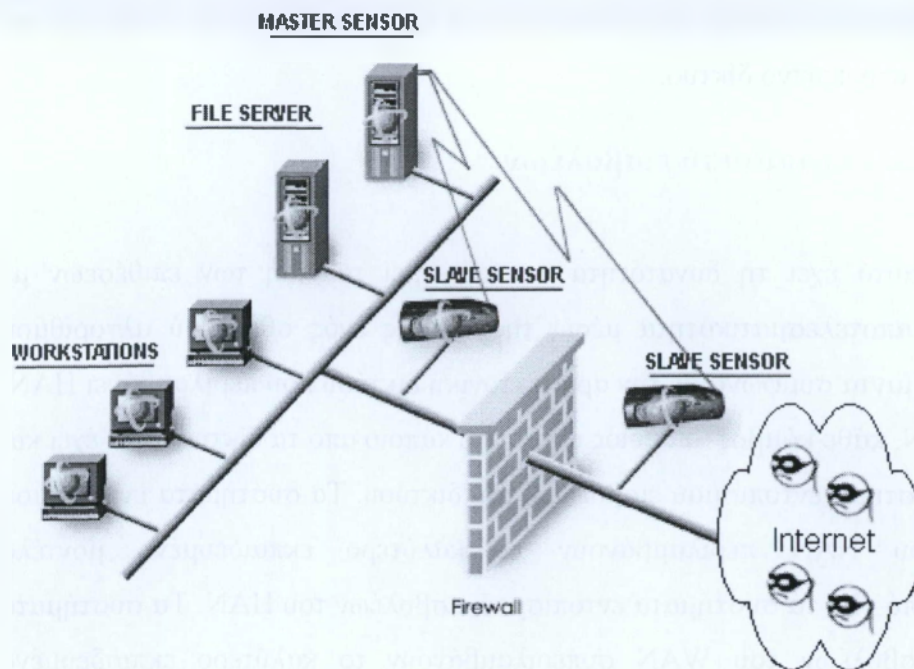
Ένα σημαντικό ρόλο μπορεί να διαδραματίσει στην αποτελεσματική διαχείριση ανεπάρκειας αποθεμάτων λειτουργίας και σοβαρών έκτακτων καταστάσεων για αποφυγή κατάρρευσης της τάσης του συστήματος το πρόγραμμα απόκρισης σε έκτακτη ζήτηση. Κύριος σκοπός του προγράμματος είναι η βελτίωση των λειτουργικών αποθεμάτων ενέργειας επιλέγοντας τους κατάλληλους συμμετέχοντες στην απόκριση ζήτησης. Οι συμμετέχοντες είναι οι ζυγοί, αυτοί που μειώνοντας το φορτίο τους θα βοηθήσουν στην ανάκαμψη της σταθερής λειτουργίας του δικτύου μετά τον επαναπροσδιορισμό παραγωγής και ζήτησης φορτίου. Ακόμα επιθυμείται η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, διατηρώντας έτσι ταυτόχρονα την ασφάλεια και την αξιοπιστία του συνολικού συστήματος. Πρέπει αν αναφερθεί πως μια πιθανή διακοπή ρεύματος μπορούμε να την ονομάσουμε ως ένα γεγονός. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένας πίνακας με ενέργειες αντίδρασης σε έκτακτη ζήτηση για διάφορα γεγονότα. Ο πίνακας για κάθε γεγονός μπορεί να περιέχει παραμέτρους, όπως είναι τοποθεσίες και απαιτούμενη ποσότητα μείωσης της ζήτησης, ο οποίος ενημερώνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Σε περίπτωση που κάποιο γεγονός εντοπιστεί από το σύστημα SCADA, η απόκριση ζήτησης ενεργοποιείται αμέσως σύμφωνα με τον

πίνακα αντίδρασης. Παρόλο που το παραπάνω σενάριο φαίνεται απλό σαν ιδέα, το να ορίσεις τις παραμέτρους απόκρισης ζήτησης πολύ πολύπλοκο τεχνικό πρόβλημα για να εφαρμοστεί στο έξυπνο δίκτυο.

5.13 Σύστημα εντοπισμού εισβολέων

Το σύστημα αυτό έχει τη δυνατότητα να ταξινομεί τα είδη των επιθέσεων με επάρκεια και αποτελεσματικότητα μέσω της χρήσης ενός σθεναρού αλγορίθμου ταξινόμησης. Πάντα σύμφωνα με την αρχιτεκτονική δικτύου που περιλαμβάνει HAN, NAN και WAN, κάθε κόμβος ο οποίος ανήκει σε κάποιο από τα δίκτυα αυτά έχει και το ανάλογο σύστημα εντοπισμού εισβολέων του δικτύου. Τα συστήματα εντοπισμού εισβολέων του NAN περιλαμβάνουν το καλύτερο εκπαιδευμένο μοντέλο ταξινόμησης από όλα τα συστήματα εντοπισμού εισβολέων του HAN. Τα συστήματα εντοπισμού εισβολέων του WAN συμπεριλαμβάνουν το καλύτερο εκπαιδευμένο μοντέλο ταξινόμησης από όλα τα συστήματα εντοπισμού εισβολέων του NAN. Εάν το σύστημα εντοπισμού εισβολέων του HAN δεν καταφέρει να ταξινομήσει μια δικτυακή κυκλοφορία δεδομένων, τότε τα δεδομένα πακετάρονται και μεταδίδονται σε ένα σύστημα εντοπισμού εισβολέων του NAN. Στην περίπτωση που και το σύστημα εντοπισμού εισβολέων του NAN δεν καταφέρει να ταξινομήσει τη συγκεκριμένη δικτυακή κυκλοφορία δεδομένων, θα προσπαθήσει πρώτα να έρθει σε επικοινωνία με το άλλο κοντινότερο σύστημα εντοπισμού εισβολέων του NAN. Αυτή τη δυνατότητα δεν την έχει το σύστημα εντοπισμού εισβολέων του HAN. Εάν και αυτό δεν έχει αποτέλεσμα, τότε τα δεδομένα θα αποσταλούν στο σύστημα εντοπισμού εισβολέων του WAN, το οποίο έχει τη μεγαλύτερη ικανότητα και ακρίβεια στην ταξινόμηση επιθέσεων. Στην περίπτωση που επιτευχθεί ταξινόμηση μιας επίθεσης, τότε η ταξινόμηση κατεβαίνει ιεραρχικά προς τον κόμβο-πηγή,

εκπαιδεύοντας το σύστημα εντοπισμού και κάνοντάς το πιο σθεναρό.



Εικόνα 8 Σύστημα εντοπισμού εισβολών

5.14 Μηχανισμός εντοπισμού ανωμαλιών

Στην περίπτωση που ένας επιτιθέμενος δε γνωρίζει την απαραίτητη πληροφορία για να εισβάλλει στη διεπαφή χρήστη ή στην έξυπνη ηλεκτρονική συσκευή, θα προσπαθήσει να τη βρει. Το αποτέλεσμα αυτού θα είναι η καταγραφή αποτυχημένων προσπαθειών, με αποτέλεσμα το κλείδωμα της συσκευής στην περίπτωση που ο αριθμός των αποτυχημένων προσπαθειών περάσει το προκαθορισμένο νούμερο δοκιμών. Στην περίπτωση που ο εισβολέας καταφέρει να εισέλθει, έχει τη δυνατότητα να επιχειρήσει να αλλάξει τις ρυθμίσεις των κύριων μετασχηματιστών ή να αποσυνδέσει γραμμές μεταφοράς και διανομής. Επίσης μπορεί να επαναφέρει τις εργοστασιακές ρυθμίσεις. Με τον τρόπο αυτό χάνονται όλοι οι φάκελοι διαμόρφωσης που είναι κρίσιμοι για τη λειτουργία του συστήματος. Οι παράμετροι που συλλαμβάνουν τους κακόβουλους εισβολείς και αποτελούν τα χαρακτηριστικά που βελτιώνουν την εγρήγορση του συστήματος είναι τέσσερις και είναι οι εξής:

- Αριθμός προσπαθειών εισβολής
- Αλλαγή των αρχείων του συστήματος
- Αλλαγή των ρυθμίσεων του συστήματος
- Αλλαγή της κατάστασης του συστήματος

Στην περίπτωση κατά την οποία ο επιτιθέμενος προσπαθεί να εκτελέσει μια από αυτές τις λειτουργίες, ο μηχανισμός εντοπισμού ανωμαλιών εντοπίζει μια προσπάθεια να αλλάξουν οι ρυθμίσεις χωρίς εξουσιοδότηση και έχει τη δυνατότητα να αποσυνδέσει αυτή τη συσκευή για αποφυγή ευρύτερης ζημιάς.

5.15 Ταυτότητα, διαχείριση κλειδιών και κρυπτογράφηση

Σε κάθε οντότητα επικοινωνίας θα πρέπει να ανήκει μία ταυτότητα η οποία θα είναι μοναδική και θα χρησιμοποιείται με σκοπό την διασφάλιση της σωστής αποστολής και λήψης των μηνυμάτων προς και από μια νόμιμη έμπιστη οντότητα. Η πιστοποίηση της αυθεντικότητας θα υπογράφεται από έναν πράκτορα πιστοποίησης αυθεντικότητας και θα αποθηκεύεται σε κάθε οντότητα. Ο πάροχος ηλεκτρισμού είναι ο πράκτορας πιστοποίησης αυθεντικότητας στο δίκτυο WAN και NAN, ενώ στο δίκτυο HAN είναι ο έξυπνος μετρητής. Στην περίπτωση που δύο οντότητες θέλουν να έρθουν σε επικοινωνία, θα ανταλλάσσουν τα υπογεγραμμένα πιστοποιητικά αυθεντικότητάς τους για να διασφαλιστεί η ταυτότητά τους.

Σε περιπτώσεις πολλαπλής εκπομπής (multicast) από περιπτώσεις μονο-εκπομπής (unicast), καθώς στην πρώτη περίπτωση τα κλειδιά κρυπτογράφησης διαμοιράζονται μεταξύ μιας ομάδας οντοτήτων, η διαχείριση κλειδιών είναι πιο πολύπλοκη. Στην περίπτωση που η σύνθεση της ομάδας αλλάξει, δηλαδή όταν ένα μέλος της ομάδας φύγει ή ένα νέο μέλος εισέλθει, τα κλειδιά της ομάδας πρέπει να ενημερωθούν έγκαιρα. Τα υπάρχοντα κλειδιά της ομάδας είναι απαραίτητο να αποσυρθούν και τα νέα κλειδιά της ομάδας να διανεμηθούν γρήγορα, χωρίς να διακοπεί η ροή μετρήσεων πραγματικού χρόνου.

Μια διαδικασία που μπορεί να προστατέψει τις συναλλαγές σε ένα ανοικτό δίκτυο όπως είναι το Internet, είναι η κρυπτογραφία. Η αξιοπιστία των ασφαλών συστημάτων επικοινωνιών βασίζεται στη συμμετρική κρυπτογράφηση. Μια συχνή της ονομασία είναι κρυπτογράφηση μυστικού κλειδιού διότι τα κλειδιά, τα οποία είναι ίδια στα δύο άκρα της ζεύξης επικοινωνιών, πρέπει να κρατηθούν μυστικά. Τα επόμενα τέσσερα στάδια περιγράφουν τη διαδικασία που ακολουθείται :

1. Τα μυστικά κλειδιά παράγονται, μεταφέρονται στα δύο άκρα της ζεύξης και αποθηκεύονται στις συσκευές κρυπτογράφησης έτσι ώστε να είναι γνωστά μόνο στον εξουσιοδοτημένο αποστολέα και παραλήπτη. Σε περίπτωση που

ένας επιτιθέμενος καταφέρει να παράγει ένα αντίγραφο αυτού του κλειδιού, τότε μπορεί και να αποκρυπτογραφήσει τα δεδομένα, καθιστώντας το σύστημα ανασφαλές.

2. Το μήνυμα του αποστολέα κρυπτογραφείται με το μυστικό κλειδί και μετατρέπεται σε μήνυμα κωδικών.
3. Το μήνυμα που είναι κρυπτογραφημένο μεταδίδεται πάνω στη ζεύξη επικοινωνιών.
4. Ένας εισβολέας που ακούει στη ζεύξη μπορεί να ανακόψει το κρυπτογραφημένο μήνυμα, αλλά δίχως το μυστικό κλειδί δεν μπορεί να αποκρυπτογραφήσει τα δεδομένα και να διαβάσει το αρχικό μήνυμα. Οπότε, η συμμετρική κρυπτογράφηση παρέχει εμπιστευτικότητα.
5. Ο παραλήπτης μπορεί να αποκρυπτογραφήσει το μήνυμα μόνο με το μυστικό κλειδί και έχει στη διάθεσή του το αρχικό μήνυμα.

5.16 Προστασία προσωπικών πληροφοριών

Λέγεται ότι οι συχνά συλλεγόμενες μετρήσεις, λόγω χάρη ανά 15 λεπτά, προσφέρουν ένα παράθυρο παρακολούθησης για τις δραστηριότητες που συμβαίνουν μες στο σπίτι, εκθέτοντας ένα πλούτο ιδιωτικών δραστηριοτήτων σε οποιονδήποτε έχει πρόσβαση στις πληροφορίες ενεργειακής κατανάλωσης. Λόγου χάρη, η γνώση της λειτουργίας μιας συσκευής μπορεί να υπονοεί ότι το σπίτι κατοικείται ή ότι λείπουν οι κάτοικοί του, επίσης και να γίνουν γνωστές πληροφορίες για τον τρόπο ζωής των κατοίκων, όπως γγια παράδειγμα οι ώρες ύπνου των κατοίκων. Γι αυτό, τα δεδομένα μέτρησης πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να συναθροίζονται και να κρυπτογραφούνται έτσι ώστε οι ατομικές πληροφορίες να διατηρούν την ανωνυμία τους τουλάχιστον στην κλίμακα μιας πόλης. Το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας στην Αμερική εξέδωσε ένα σετ οδηγιών που εστιάζουν στην ανάπτυξη πολιτικών και πρακτικών για την προστασία της ιδιωτικής ζωής.

Αυτό που μπορεί να βοηθήσει το ζήτημα αυτό είναι ο έξυπνος μετρητής. Ο έξυπνος μετρητής έχει τη δυνατότητα να δράσει σαν την πύλη δικτύου ανάμεσα σε εσωτερικές και εξωτερικές οντότητες. Αντί να έχει τη δυνατότητα ο πάροχος να ελέγχει άμεσα τις προσωπικές οικιακές συσκευές, μπορεί να αναζητά τον έξυπνο μετρητή για να μειώσει τη συνολική κατανάλωση ενέργειας(π.χ. κατά τη διάρκεια

ωρών αιχμής, ο πάροχος θα συμβουλέψει τους έξυπνους μετρητές να περιορίσουν τις καταναλώσεις τους, προσφέροντας κίνητρα παράλληλα) και τότε ο έξυπνος μετρητής να αποφασίζει ποιες συσκευές να απενεργοποιήσει ή να περιορίσει τη λειτουργία τους. Οι ίδιοι οι καταναλωτές θα ιεραρχούν την προτεραιότητα των συσκευών τους. Ότι προαναφέραμε θέτει τον έξυπνο μετρητή ως τοίχο προστασίας που κρύβει τις προσωπικές συσκευές από τον πάροχο ηλεκτρισμού και προστατεύει την ιδιωτική ζωή των καταναλωτών.

5.17 Επίλογος

Εν κατακλείδι οι επικοινωνίες θα πρέπει να προστατεύονται από οποιοδήποτε είδος κακόβουλης εισβολής. Επίσης θα πρέπει να αναπτυχθεί ένα υψηλότερου επιπέδου σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου προς όφελος της κοινωνίας. Ακόμα η λειτουργία του έξυπνου δικτύου βασίζεται στις επικοινωνίες ανάμεσα σε διαφορετικά συστατικά, για τα οποία ποικίλουν οι απαιτήσεις επικοινωνίας και ασφάλειας. Για αυτό το λόγο είναι ανάγκη να εξελιχθούν διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία να ανταποκρίνονται στις διαφορετικές αυτές απαιτήσεις. Το τωρινό σύστημα διανομής ενέργειας είναι ευπαθές και σε φυσικές καταστροφές αλλά και σε εσκεμμένες επιθέσεις. Μια τρομοκρατική επιτυχής προσπάθεια, θα είχε ως αποτέλεσμα σταματήσει τη μεταφορά ενέργειας, κάτι το οποίο θα είχε ανεπιθύμητες επιδράσεις στον τομέα της εθνικής ασφάλειας, της οικονομίας και της ζωής των πολιτών. Για τα εθνικά και διεθνή οικονομικά συστήματα, την ασφάλεια και την ποιότητα ζωής, η ασφαλής καθώς και η αξιόπιστη λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος είναι θεμελιώδης.

Κεφάλαιο 6 Χρήσιμα συμπεράσματα

6.1 Εισαγωγή

Στο τελευταίο αυτό κεφάλαιο θα καταβληθεί προσπάθεια να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη χρήση των κυβερνο-φυσικών συστημάτων γενικότερα, αλλά και από την εφαρμογή και χρήση αυτών στην παραγωγή καθώς και τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας ειδικότερα. Θα αναλυθούν τα θετικά σημεία του Smart Grid και οι τομείς βελτίωσής τους. Τέλος θα αποτυπωθούν οι μελλοντικές εξελίξεις, τόσο για τα κυβερνο-φυσικά συστήματα όσο και για το Smart Grid.

6.2 Συμπεράσματα της χρήσης κυβερνο-φυσικών συστημάτων

Παρότι η ανάπτυξη και χρήση των κυβερνο-φυσικών συστημάτων διανύει ακόμα το αρχικό της στάδιο είναι ορατά αρκετά πλεονεκτήματα, από την εφαρμογή τους στους τομείς που αναφέρθηκαν. Στα θετικά ανήκει η αποδοτικότητα αυτών των συστημάτων σε σύγκριση με τα κλασικά ή τα ενσωματωμένα συστήματα. Επιπλέον τα κυβερνο-φυσικά συστήματα πλεονεκτούν των κλασικών στον τρόπο που δέχονται δεδομένα από το περιβάλλον, όπου λειτουργούν και στον τρόπο που αντιδρούν σε αυτά βάσει προηγούμενων μετρήσεων. Είναι διατάξεις που μαθαίνουν από το περιβάλλον, προσαρμόζονται και αντιδρούν κατάλληλα επιτελώντας ταχύτερα τις εργασίες τους και προσαρμοζόμενα επίσης ταχύτερα στις αλλαγές.

Σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι τα κυβερνο-φυσικά συστήματα αποτελούν ένα σύστημα συστημάτων, καθώς ενσωματώνουν κατά την λειτουργία τους άλλα κυβερνο-φυσικά συστήματα ή υπάρχοντα ήδη ενσωματωμένα συστήματα. Έτσι έχουν τη δυνατότητα να χτιστούν βαθμιδωτά ανάλογα των αναγκών χρήσης ή και να αξιοποιούν την υπάρχουσα τεχνολογία.

Υπάρχει, όμως πέραν των θετικών και ένα πλήθος αρνητικών συμπερασμάτων τα οποία προκύπτουν από τη χρήση των κυβερνο-φυσικών συστημάτων. Ένα από αυτά είναι η ασφάλεια και οι κίνδυνοι από κυβερνο-επιθέσεις. Τα συστήματα, λόγω της φύσης τους, είναι δικτυωμένα μεταξύ τους με τους χρήστες και με το περιβάλλον, όπου λειτουργούν. Εξαιτίας αυτού του λόγου υπάρχουν διάφορες διεπαφές επικοινωνίας, που είναι διαθέσιμες και συνεπώς πιθανές δίοδοι εισόδου στο σύστημα δίνοντας σε κακόβουλους χρήστες τη δυνατότητα να αποκτήσουν πρόσβαση σε αυτά.

Επιπλέον τα κυβερνο-φυσικά συστήματα έχουν ένα πλήθος αισθητήρων για να συλλέγουν δεδομένα από το περιβάλλον τους. Μια κακόβουλη επίθεση σε αυτούς τους αισθητήρες μπορεί να μειώσει τη λειτουργία τους ή να προκαλέσει εσφαλμένη λειτουργία και να αλλοιώσει τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά.

Άλλο αρνητικό είναι το κόστος εξέλιξης τέτοιων συστημάτων, δεδομένου ότι η τεχνολογία βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο με υψηλό κόστος ανάπτυξης. Ακόμη η έλλειψη προτυποποίησης που καθιστά υψηλότερο το κόστος ανάπτυξης, αφού δεν υφίσταται μια συγκροτημένη προσπάθεια σε παγκόσμιο επίπεδο, σε αντίθεση με τα κλασικά ή ενσωματωμένα συστήματα. Τέλος, λόγω του υψηλού κόστους ανάπτυξης, παρόλα τα υποσχόμενα αποτελέσματα από τη χρήση των κυβερνο-φυσικών συστημάτων, δεν είναι εύκολο να πεισθούν οι φορείς της τεχνολογικής ανάπτυξης να επενδύσουν σημαντικά ποσά, ώστε να επιταχυνθεί η ανάπτυξη και η βελτίωση τέτοιων συστημάτων.

Μετά την εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων από τη χρήση των κυβερνο-φυσικών συστημάτων, θα ακολουθήσει η παρουσίαση συμπερασμάτων από τη χρήση του Smart Grid.

6.3 Συμπεράσματα της χρήσης του Smart Grid

Τα συμπεράσματα που αναφέρθηκαν από τη χρήση των κυβερνο-φυσικών συστημάτων ισχύουν και για το Smart Grid. Στα θετικά συμπεράσματα περιλαμβάνονται η ορθότερη και αποδοτικότερη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να αυξάνει την αποδοτικότητα του συνολικού συστήματος παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας. Η χρήση τους παράγει επακριβώς την απαιτούμενη ενέργεια και από αυτή καταναλώνεται όσο το δυνατό η λιγότερη. Ένα επίσης σπουδαίο πλεονέκτημα που προκύπτει από τη δυνατότητα αμφίδρομης ροής ενέργειας είναι η αποδοτικότερη εξισορρόπηση του φόρτου του δικτύου. Έτσι μπορούν πλέον οι χρήστες να συμβάλουν σε αυτή τη διεργασία με το να παρέχουν ενέργεια είτε απευθείας στο δίκτυο σε ώρες αιχμής είτε σε γειτονικούς χρήστες μέσα στην κοινότητα. Ένα άλλο θετικό στοιχείο είναι και η δυνατότητα μειωμένης κατανάλωσης από τον τελικό χρήστη. Ο συνδυασμός έξυπνου μετρητή συστήματος διαχείρισης ενέργειας και έξυπνων συσκευών παρέχει τεράστιες δυνατότητες ελέγχου, έτσι που ο χρήστης μπορεί να γνωρίζει σε πραγματικό χρόνο πόσο

καταναλώνει ακόμα και ανά συσκευή και να επιλέγει τη λειτουργία τους όταν οι τιμές ενέργειας είναι χαμηλότερες. Οι χρήστες που παράγουν ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές αυξάνουν το κέρδος τους, καθώς πουλάνε στο δίκτυο ενέργεια όταν υπάρχει μεγάλη ζήτηση, άρα και μεγαλύτερο κόστος ανά μονάδα και καταναλώνουν, όταν η ζήτηση μειώνεται και παράλληλα μειώνεται και το κόστος ενέργειας. Επιπλέον η αποδοτικότερη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο είναι ένα πλεονέκτημα που προκύπτει από τη χρήση του Smart Grid.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν και το ιδιαίτερο μειονέκτημα της διαθεσιμότητας επειδή εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες και τα φυσικά φαινόμενα. Τα φωτοβολταϊκά π.χ. μπορεί να παράγουν υψηλή ποσότητα ενέργειας, όταν υπάρχει ηλιοφάνεια, ενώ μειώνεται με τη συννεφιά αλλά και κατά τη νύχτα. Το Smart Grid αντιμετωπίζει αυτό το πρόβλημα με το να αποθηκεύει ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, όταν υπάρχει πλεόνασμα και να επιστρέφεται στο δίκτυο η ενέργεια αυτή όταν υπάρχει ζήτηση. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση των καταμεμημένων συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας.

Ένα επιπρόσθετο θετικό χαρακτηριστικό της χρήσης του Smart Grid είναι η αποδοτικότερη και ευκολότερη διαχείριση του δικτύου. Λόγω των εξελιγμένων αισθητήρων και της εξυπνάδας του το Smart Grid μπορεί να προλαμβάνει και αυτόματος να διορθώνει τεχνικά προβλήματα. Ακόμη με την έγκαιρη ανίχνευση των μεταβολών τάσης και κατανάλωσης ενέργειας παρέχει τη δυνατότητα της αυτόματης εξομάλυνσης, έτσι ώστε να αποτρέπονται φαινόμενα αυξομείωσης της τάσης. Τέλος βάση των πληροφοριών που έχει για την κατάσταση του δικτύου δίνει τη δυνατότητα να δρομολογηθούν άμεσα και αυτόματα συγκεκριμένα ενεργειακά φορτία και να επιλεγούν ο προορισμός και η ακολουθητέα διαδρομή.

Στα αρνητικά συμπεράσματα συγκαταλέγεται και το πολύ υψηλό κόστος για την ανάπτυξη του Smart Grid, που οφείλεται στο ότι οι τεχνολογίες που ενσωματώνονται στα έξυπνα δίκτυα παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης καθώς επίσης και η έλλειψη προτυποποίησης και κεντρικού συντονισμού. Επιπροσθέτως οι επενδύσεις στον τομέα αυτό δεν επαρκούν για να προωθήσουν την γρήγορη ανάπτυξη αυτών των δικτύων, αφού οι πάροχοι ενέργειας δεν έχουν πεισθεί για τα οικονομικά οφέλη, που θα αποκομίσουν από την χρήση τους. Επιπλέον η αποδοχή και η μαζική χρήση του Smart Grid βασίζεται στην εμπλοκή του

τελικού χρήστη και την αλλαγή του τρόπου που αυτός καταναλώνει την ενέργεια και αλληλεπιδρά με το δίκτυο. Άλλωστε είναι σύνηθες το φαινόμενο να αντιδρά ο κόσμος στην αλλαγή και την καινοτομία και έτσι οι καταναλωτές δεν είναι διαθέσιμοι να μάθουν και να χρησιμοποιούν κάτι το νέο. Απαιτείται, λοιπόν, ιδιαίτερη προσπάθεια ευαισθητοποίησης του καταναλωτικού κοινού και συνεχής εκπαίδευση στις νέες τεχνολογίες, για να βελτιωθεί η διείσδυση στην αγορά του Smart Grid. Τέλος πρέπει να δοθούν οικονομικά κίνητρα από τους παρόχους στους χρήστες για να πεισθούν οι τελικοί αυτοί χρήστες για την χρήση του αυξανοντας έτσι το κόστος για την ανάπτυξη των Smart Grid.

6.4 Μελλοντικές εξελίξεις

Στο τελευταίο τμήμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα καταβληθεί προσπάθεια να προσδιοριστούν οι μελλοντικές εξελίξεις στον τομέα των κυβερνο-φυσικών συστημάτων και του Smart Grid. Αναμένεται με βεβαιότητα ότι η εφαρμογή των συστημάτων αυτών θα αλλάξει δραστικά τον τρόπο ζωής των ανθρώπων σε τέτοιο βαθμό, ώστε να μη είναι πλέον απαραίτητες οι ικανότητες που είχε αναπτύξει ο άνθρωπος τα τελευταία χρόνια. Στον τομέα των κυβερνο-φυσικών συστημάτων το μέλλον διαγράφεται ευόιο. Ειδικότερα διαφαίνεται υψηλή πρόοδος των συστημάτων στον τομέα των μεταφορών, κυρίως στην αυτοκίνηση. Υπάρχουν ήδη διαθέσιμα οχήματα, τα οποία εφοδιασμένα με κατάλληλους αισθητήρες, υπολογιστές και gps, μπορούν να μεταφέρουν επιβάτες αυτόνομα, χωρίς δηλαδή να παρεμβαίνουν στην διαδικασία οδήγησης. Στη χώρα μας από το 2015 θα είναι διαθέσιμο στην πόλη των Τρικάλων αστικό λεωφορείο, το οποίο θα εκτελεί προδιαγεγραμμένα δρομολόγια εντός του αστικού ιστού χωρίς οδηγό. Επίσης στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α. ψηφίστηκε νομική ρύθμιση βάσει της οποίας θα επιτρέπεται η μαζική χρήση οχημάτων χωρίς οδηγό. Εξετάζεται και η πιλοτική χρήση τέτοιων οχημάτων ως ταξί από το 2015. Η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων στα προσεχή έτη αναμένεται να αλλάξει τον τρόπο μετακίνησης και ενδεχομένως τις ανάγκες μας για αγορά οχήματος ως μέσο για τις μετακινήσεις μας.

Στον τομέα αυτό βασικό μέσο ανάπτυξης είναι το Smart Grid. Η εφαρμογή του λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει κρίνεται ως μονόδρομος. Πρέπει να λυθεί το πρόβλημα της ασφάλειας. Θα είναι πλέον δυνατό σε κακόβουλους χρήστες, λόγω της

χρήσης του Smart Grid να αποκτήσουν πρόσβαση σε ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα ή σε υπηρεσίες και λειτουργίες του δικτύου. Για τους λόγους αυτούς, σε ένα πολυσύνθετο περιβάλλον, η ασφάλεια θα αποτελέσει τον κυριότερο παράγοντα μελλοντικής εξέλιξης του Smart Grid. Ένα τέτοιο τομέα θα μπορούσε να αποτελέσει η ανάπτυξη αλγόριθμων κρυπτογράφησης των δεδομένων χρήσης που μεταδίδονται στο δίκτυο, η ενίσχυση του τρόπου πιστοποίησης της ψηφιακής ταυτότητας των καταναλωτών, η ενίσχυση ασφάλειας στους έξυπνους μετρητές και στο Smart Grid.

6.5 Επίλογος

Ως κατακλείδα της πτυχιακής αυτής εργασίας αξίζει να αναφερθεί ότι η περαιτέρω ανάπτυξη των κυβερνο-φυσικών συστημάτων αποτελεί μονόδρομο.

Επειδή, πλέον, τα κλασικά συστήματα έχουν φτάσει στα όρια τους, πρέπει να αναπτυχθούν νέα συστήματα και μέθοδοι, ώστε τα συστήματα αυτά να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον. αυτό μπορεί να επιτευχθεί σε απόλυτο βαθμό από τα κυβερνο-φυσικά συστήματα αφού εκτός από την ενσωμάτωση της υπάρχουσας τεχνολογίας στον τομέα της Πληροφορικής και των Επικοινωνιών, είναι ικανά να παρέχουν νέα μοντέλα αλληλεπίδρασης και ελέγχου και να δίνουν στα συστήματα αυτά την δυνατότητα της εκμάθησης και της καλύτερης πρόβλεψης της αντίδρασης τους βάσει πραγματικών δεδομένων.

Στον τομέα της ενέργειας αναμένεται να μεταβληθεί εντελώς ο τρόπος με τον οποίο ο τελικός χρήστης καταναλώνει την ενέργεια. Μπορεί ο χρήστης από παθητικός καταναλωτής να γίνει παραγωγός ενέργειας και να αποκομίζει σημαντικά οικονομικά οφέλη. Ακόμα μπορεί να αλλάξει και τον τόπο που ελέγχει την κατανάλωση του. Στα επόμενα χρόνια ακόμα τα σπίτια μηδενικού ισοζυγίου, θα αποκτήσουν μεγάλη εφαρμογή αφού ο συνδυασμός με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, έξυπνων μετρητών, συστημάτων διαχείρισης της ενέργειας και έξυπνων συσκευών θα αλλάξει ολοκληρωτικά την καταναλωτική νοοτροπία μας, σχετικά με την χρήση και κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας Λέξεων

Τεχνολογία έξυπνης φόρτισης	Smart charging technology
Έξυπνο σπίτι	Smart home
Φόρτος	Load
Σπίτι μηδενικού ισοζυγίου	Net Zero Energy Home
Ενεργειακή νησίδα	Islanding
Smart Grid πόλη	Smart Grid City
Έργο επίδειξης	Demo project
Κοινότητες έξυπνου δικτύου	Intelligent Network Communities
Έξυπνο δίκτυο	Smart Grid
Μοντέλο εικονικής καρδιάς	Virtual Heart Model
Ηλεκτρικό σύστημα μετάδοσης ανθρώπινης καρδιάς	Human heart electrical conduction system
Βήμα για συζήτηση	Forum
Επιθέσεις κυβερνο-τρομοκρατών	Cyber-terrorism
Λογαριασμός υπολοίπου	Balance account
Δυναμική βαθμολόγηση γραμμής μεταφοράς	Transmission Dynamic Line Rating
Σύστημα παρακολούθησης ευρείας περιοχής	Wide Area Monitor System
Έξυπνες συσκευές	Smart appliances
Έξυπνο κινητό	Smart phone
Κτήρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου	Net Zero Energy Buildings

Βιβλιογραφία

- [1] Rangunathan (Raj) Rajkumar, Insup Lee, Lui Sha, John Stankovic, (2010) "Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution", Carnegie Mellon University, University of Pennsylvania, University of Illinois at Urbana-Champaign, University of Virginia at Charlottesville
- [2] Lui Sha, Sathish Gopalakrishnan, Xue Liu, Qixin Wang, (2008) "Cyber-Physical Systems: A New Frontier", University of Illinois at Urbana Champaign, University of British Columbia, McGill University
- [3] Daiheng Ni, Hong Liu, Wei Ding, Yuanchang Xie, Honggang Wang, Hossein Pishro-Nik, Qian Yu, (2012) "Cyber-Physical Integration to Connect Vehicles for Transformed Transportation Safety and Efficiency", University of Massachusetts, MA, USA
- [4] Alvaro A. Cardenas, Saurabh Amin, Shankar Sastry, (2008) "Secure Control: Towards Survivable Cyber-Physical Systems", University of California, Berkeley
- [5] "Embedded Systems: Building and Programming Embedded Devices, (2013), Wikibooks
- [6] Edward A. Lee, (2007) "Computing Foundations and Practice for Cyber-Physical Systems: A Preliminary Report", Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California Berkeley
- [7] Mircea Rusu, Gavril Saplacan, Gheorghe Sebestyen, Nicolae Todor, Lorand Krucz, Cristian Lelutiu, (2010) "eHealth: Towards a Healthcare Service-Oriented Boundary-Less Infrastructure", Technical University of Cluj-Napoca, Company for Applied Informatics, Department of Biostatistics and Informatics, Cancer Institute "Ion Chiricuta, Cluj-Napoca, Romania
- [8] Insup Lee, Oleg Sokolsky, (2010), "Medical Cyber Physical Systems", Department of Computer & Information Science, University of Pennsylvania
- [9] Jan Kleissl, Yuvraj Agarwal, (2010), "Cyber-Physical Energy Systems: Focus on Smart Buildings", Dept. of Mechanical and Aerospace Engineering, Dept. of Computer Science and Engineering, University of California, San Diego, La Jolla, CA, USA
- [10] Lichen Zhang, Jifeng He, Wensheng Yu, (2011), "Formal Specification for Transportation Cyber Physical Systems", Shanghai Key Laboratory of Trustworthy Computing, East China Normal University, Shanghai, China
- [11] <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/artificial-intelligence/how-google-self-driving-car-works>
- [12] Stephen Smaldone, Chetan Tonde, Vancheswaran K. Ananthanarayanan Ahmed Elgammal, Liviu Iftode (2011). "The Cyber-Physical Bike: A Step Towards Safer Green Transportation", Department of Computer Science, Rutgers University

- [13]Ella M. Atkins, "Cyber-physical Aerospace:Challenges and Future Directions in Transportation and Exploration Systems", Department of Aerospace Engineering, University of Michigan
- [14] https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid
- [15] <http://www.teslamotors.com/blog/snapshot-electric-car-electric-grid>
- [16] <http://www.teslamotors.com/>
- [17] <http://www.prnewswire.com/news-releases/pge-and-tesla-motors-co-pilot-vehicle-to-grid-research-58005827.html>
- [18] <http://www.stem.com/company>
- [19] https://www.smartgrid.gov/project/whirlpool_corporation_smart_appliance_project
- [20] <http://www.marketwatch.com/story/kb-home-buyers-can-get-smart-with-new-whirlpool-appliances-now-available-2013-10-02>
- [21] <http://www.appliancemagazine.com/news.php?article=1701514>
- [22] http://www.electronichouse.com/article/whirlpool_puts_app_control_into_new_smart_appliances
- [23] <http://www.whirlpool.com/smart-appliances/>
- [24] <https://mysmartappliances.com/>
- [25]The Global Smart Grid Federation,(2012)2012 Report
- [26]Adapting electricity networks to a sustainable Energy system-smart metering,smart grids, (2011), Report EI R2011:03, Energy Markets Inspectorate