



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Συστηματική Οικονομική Αξιολόγηση του κόστους και των οφελών από
την εγκατάσταση του ευφυούς δικτύου**

Διπλωματική Εργασία

Βασιλική-Εμμανουέλα Κ. Βογιατζάκη

Επιβλέπων: Παναγιώτης Γ. Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Συστηματική Οικονομική Αξιολόγηση του κόστους και των οφελών από
την εγκατάσταση του ευφυούς δικτύου**

Διπλωματική Εργασία

Βασιλική-Εμμανουέλα Κ. Βογιατζάκη

Επιβλέπων: Παναγιώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή την 30^η Οκτωβρίου 2012

.....
Π. Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χ. Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Γ. Φικιώρης
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα Οκτώβριος 2012

.....

Βασιλική-Εμμανουέλα Κ. Βογιατζάκη

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών

Copyright © ΒΑΣΙΛΙΚΗ-EMMANOYELA Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΑΚΗ 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Παναγιώτη Κωττή για τη δυνατότητα που μου προσέφερε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, καθώς και για την καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σπύρο Λιβιεράτο για τη βοήθεια και τις πολύτιμες συμβουλές που μου προσέφερε στα πλαίσια της ενασχόλησής μου με το παρόν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τους φίλους μου και τον Βασίλη που στάθηκαν δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|--|-----------|
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ | 7 |
| ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ | 9 |
| ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ | 10 |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 11 |
| ABSTRACT | 13 |
| 1. ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΣΗΜΕΡΑ | 15 |
| 1.1 ΓΕΝΙΚΑ..... | 15 |
| 1.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗ ΖΗΤΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ..... | 17 |
| Α. Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού..... | 17 |
| Β. Η σύνδεση της καθημερινότητας με τον ηλεκτρισμό..... | 18 |
| Γ. Η αυξανόμενη αστικοποίηση του τρόπου ζωής..... | 19 |
| 2. ΟΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ | 21 |
| 2.1 Η ΓΗΡΑΝΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ..... | 21 |
| 2.2 Η ΑΝΗΣΥΧΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ..... | 22 |
| 2.3 Η ΑΝΗΣΥΧΙΑ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ..... | 23 |
| 2.4 Η ΑΝΑΓΚΗ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ..... | 24 |
| 2.5 Η ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ..... | 26 |
| 2.6 Η ΑΝΗΣΥΧΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ..... | 27 |
| 3. ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙ ΑΞΟΝΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΥΦΥΟΥΣ ΔΙΚΤΥΟΥ | 30 |
| 3.1 Η ΑΜΦΙΔΡΟΜΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΤΕΛΙΚΟΥΣ ΧΡΗΣΤΕΣ..... | 33 |
| Α. Το πρόβλημα της εξυπηρέτησης του φορτίου αιχμής..... | 33 |
| Β. Το μοντέλο ζήτησης προσφοράς (demand response process)..... | 34 |
| Γ. Ο ευφυής καταναλωτής..... | 37 |
| i. Τροποποίηση της ενεργειακής χρήσης..... | 37 |
| ii. Κατηγορίες χρονομεταβλητής τιμολόγησης..... | 40 |
| a. TOU: Time of Use pricing..... | 40 |
| b. CPP: Critical Peak Pricing..... | 40 |
| c. PTR: Peak Time Rebate ή CPR: Critical Time Rebate..... | 41 |
| d. HP: Hourly Pricing..... | 41 |
| iii. Ανταπόκριση των καταναλωτών στη χρονομεταβλητή τιμολόγηση..... | 42 |
| 3.2 Ο ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ..... | 47 |
| Α. Ευφυείς συσκευές..... | 47 |
| Β. Ευφυείς μετρητές..... | 49 |
| Γ. Διακοπή παροχής ενέργειας (power outages)..... | 52 |
| Δ. Η παράνομη ιδιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας..... | 55 |
| i. Κατηγορίες..... | 56 |
| ii. Συνέπειες..... | 58 |
| iii. Αντιμετώπιση..... | 59 |
| Ε. Η ασφάλεια..... | 63 |
| 3.3 ΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ..... | 66 |
| Α. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης..... | 67 |
| Β. Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας..... | 69 |
| Γ. Η αποθήκευση ενέργειας..... | 71 |
| Δ. Η διασπαρμένη παραγωγή..... | 73 |
| Ε. Οι ευφυείς τελικοί χρήστες..... | 75 |
| ΣΤ. Τα ηλεκτρικά οχήματα..... | 76 |
| 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ-ΟΦΕΛΟΥΣ | 80 |
| 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 80 |
| Α. Επισκόπηση..... | 80 |
| Β. Τα κίνητρα για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας..... | 80 |
| Γ. Σκοπός..... | 81 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| Δ. | Προηγούμενες μελέτες | 82 |
| 4.2 | Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΟΦΕΛΟΥΣ | 89 |
| Α. | Ορισμός του οφέλους..... | 89 |
| Β. | Κατηγορίες οφελών..... | 90 |
| Γ. | Οι εμπλεκόμενοι στο ηλεκτρικό δίκτυο | 90 |
| Δ. | Η προσέγγιση για την ανάλυση κόστους οφέλους | 92 |
| 5. | ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ-ΟΦΕΛΟΥΣ..... | 94 |
| 5.1 | ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ | 94 |
| Α. | Στάδιο 1: Εξέταση και περιγραφή τεχνολογιών, στοιχείων και στόχων..... | 94 |
| Β. | Στάδιο 2: Σχηματική αποτύπωση των εγκαταστάσεων σε λειτουργίες..... | 98 |
| 5.2 | ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΟΦΕΛΩΝ | 100 |
| Α. | Στάδιο 3: Σχηματική αποτύπωση των λειτουργιών σε οφέλη..... | 100 |
| i. | Περιορισμός των σφαλμάτων ρεύματος..... | 106 |
| ii. | Παρακολούθηση και απεικόνιση του δικτύου | 107 |
| iii. | Δυναμική εκτίμηση της ικανότητας μεταφοράς ενέργειας..... | 109 |
| iv. | Έλεγχος ροής ενέργειας | 110 |
| v. | Προσαρμοστική προστασία..... | 112 |
| vi. | Αυτοματοποιημένα συστήματα τροφοδοσίας | 113 |
| vii. | Αυτοματοποιημένη νησιδοποίηση και επανασύνδεση..... | 114 |
| viii. | Αυτοματοποιημένος έλεγχος της τάσης και της άεργου ισχύος | 114 |
| ix. | Διάγνωση και ειδοποίηση περί της κατάστασης του εξοπλισμού | 115 |
| x. | Ενισχυμένη προστασία από σφάλματα..... | 117 |
| xi. | Καταμέτρηση και διαχείριση φορτίων σε πραγματικό χρόνο | 118 |
| xii. | Μεταφορά φορτίου σε πραγματικό χρόνο | 120 |
| xiii. | Βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας του πελάτη..... | 121 |
| xiv. | Διείσδυση κατανεμημένων πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας | 123 |
| xv. | Ανάπτυξη μονάδων αποθήκευσης ενέργειας | 124 |
| xvi. | Διείσδυση ηλεκτρικών υβριδικών οχημάτων..... | 125 |
| Β. | Στάδιο 4: Καθορισμός γραμμής βάσης..... | 127 |
| Γ. | Στάδιο 5: Χρηματική αποτίμηση των οφελών..... | 130 |
| i. | Βελτιστοποιημένη λειτουργία εγκαταστάσεων παραγωγής..... | 130 |
| ii. | Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές ηλεκτροπαραγωγής..... | 131 |
| iii. | Μείωση του κόστους βοηθητικών υπηρεσιών | 132 |
| iv. | Μείωση του κόστους συμφόρησης δικτύου..... | 133 |
| v. | Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς/διανομής | 133 |
| vi. | Μειωμένο κόστος βλαβών εξοπλισμού | 134 |
| vii. | Μείωση του κόστους συντήρησης..... | 135 |
| viii. | Μείωση του κόστους λειτουργίας..... | 136 |
| ix. | Μείωση του κόστους ανάγνωσης και λειτουργίας των μετρητών | 136 |
| x. | Μειωμένη κλοπή ηλεκτρικής ενέργειας | 137 |
| xi. | Μείωση των απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας..... | 138 |
| xii. | Εξοικονόμηση κόστους ηλεκτρικής ενέργειας..... | 139 |
| xiii. | Αύξηση του χρόνου διαθεσιμότητας παροχής | 140 |
| xiv. | Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος..... | 141 |
| xv. | Μείωση του κόστους αποκατάστασης..... | 142 |
| xvi. | Μειωμένες στιγμιαίες διακοπές ρεύματος | 142 |
| xvii. | Μειωμένες διαταραχές της τάσης | 143 |
| xviii. | Μείωση των εκπομπών CO ₂ και των αιωρούμενων σωματιδίων SO _x , NO _x | 143 |
| xix. | Μειωμένη χρήση πετρελαίου..... | 144 |
| xx. | Μειωμένες ολικές διακοπές (blackouts) | 145 |
| 5.3 | ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ- ΟΦΕΛΩΝ | 146 |
| Α. | Στάδιο 6: Εκτίμηση κόστους | 146 |
| Β. | Στάδιο 7: Σύγκριση κόστους και οφελών | 148 |
| 6. | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΟΦΕΛΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΥΦΥΟΥΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ..... | 151 |
| 7. | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 154 |

Ευρετήριο σχημάτων

Κεφάλαιο 1

Σχήμα 1.1 Ποσοστιαία αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά χώρα και ανά έτος έως το 2030 17

Σχήμα 1.2 Ενεργειακή κατανάλωση κατά κεφαλήν σε kWh ανά χώρα 18

Κεφάλαιο 2

Σχήμα 2.1 Η μείωση των επενδύσεων στα συστήματα μεταφοράς και διανομής στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής..... 21

Κεφάλαιο 3

Σχήμα 3.1 Χαρακτηριστικό προφίλ ημερήσιας ζήτησης 35

Σχήμα 3.2 Μοντέλο ζήτησης προσφοράς 37

Σχήμα 3.3 Ημερήσια ζήτηση Μεγάλης Βρετανίας-παράδειγμα Time of Use τιμής..... 38

Σχήμα 3.4 Ανταπόκριση των καταναλωτών σε τιμολόγηση πραγματικού χρόνου 39

Σχήμα 3.5 Ανταπόκριση των καταναλωτών στην τιμολόγηση με πρόβλεψη 39

Σχήμα 3.6 α) ευφυής θερμοστάτης β) ευφυής μετρητής γ) ευφυής αισθητήρας 48

Σχήμα 3.7 Νέο Δελχί 2002, ένα κουβάρι καλωδίων σε πυλώνα του ηλεκτρικού δικτύου σε πολυσύχναστο δρόμο. 57

Σχήμα 3.8 Η τοπολογία μετρητών για την εφαρμογή της ανίχνευση της χρονικά απεριόριστης κατανάλωσης..... 61

Σχήμα 3.9 Η τοπολογία μετρητών για την εφαρμογή της ανίχνευσης του υπερβολικού φορτίου.. 62

Σχήμα 3.10 Διασύνδεση στοιχείων του ευφυούς δικτύου μέσω ασφαλούς και εγγυημένης ροής ενέργειας και πληροφοριών 64

Σχήμα 3.11 Αναμενόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας 71

Σχήμα 3.12 Αναμενόμενη αύξηση πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων [20]..... 78

Κεφάλαιο 4

Σχήμα 4.1 Διάγραμμα ροής των σταδίων ανάλυσης κόστους-οφέλους..... 92

Κεφάλαιο 5

Σχήμα 5.1 Στάδιο 7: Παράδειγμα ετήσιας σύγκρισης148

Σχήμα 5.2 Στάδιο 7: Παράδειγμα ετήσιας σύγκρισης149

Ευρετήριο πινάκων

Κεφάλαιο 1

Πίνακας 1.1 Συγκεντρωτικά στοιχεία σχετικά με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και εκτίμηση της αύξησης που θα σημειωθεί έως το 2050.....20

Κεφάλαιο 3

Πίνακας 3.1 Συγκεντρωτικά στοιχεία σχετικά με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και εκτίμηση της αύξησης που θα σημειωθεί έως το 2050..... 43

Πίνακας 3.2 Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας ανά ομάδα καταναλωτών 43

Πίνακας 3.3 Μείωση του φορτίου αιχμής ανά κατηγορία τιμολόγησης και ανά εποχή 44

Πίνακας 3.4 Μείωση του φορτίου αιχμής ανά εποχή, ομάδα καταναλωτών και κατηγορία τιμολόγησης..... 44

Πίνακας 3.5 Μείωση του φορτίου αιχμής με και χωρίς ευφυείς θερμοστάτες κατηγορία τιμολόγησης και ομάδα καταναλωτών 45

Πίνακας 3.6 Μείωση του φορτίου αιχμής ανά κατηγορία τιμολόγησης συναρτήσει θερμοκρασίας 45

Κεφάλαιο 4

Πίνακας 4.1 Εξοικονόμηση χρημάτων ανά κατηγορία τιμολόγησης 88

Πίνακας 4.2 Περίληψη μελετών που αφορούν μεθόδους για την εκτίμηση των οφελών του ευφυέζου δικτύου..... 91

Κεφάλαιο 5

Πίνακας 5.1 Μήτρα οφελών 95

Πίνακας 5.2 Στάδιο 1: Περιγραφή του έργου, στοιχεία ευφυέζου δικτύου και παράμετροι μέτρησης 97

Πίνακας 5.3 Στάδιο 1: Περιγραφή των χαρακτηριστικών, βασικά χαρακτηριστικά ευφυέζου δικτύου και παράμετροι μέτρησης.....100

Πίνακας 5.4 Στάδιο 2: Αντιπροσωπευτικές λειτουργίες του ευφυέζου δικτύου.....101

Πίνακας 5.5 Στάδιο 3: Βασικές κατηγορίες, υποκατηγορίες και μεμονωμένα οφέλη103

Πίνακας 5.6 Στάδιο 3: Ορισμοί των μεμονωμένων οφελών105

Πίνακας 5.7 Στάδιο 4: Μη εξαντλητικός κατάλογος των μεταβλητών/δεδομένων που πρέπει να καθορίζονται/συλλέγονται για την οικονομική αποτίμηση των οφελών και του κόστους130

Πίνακας 5.8 Στάδιο 6: Μη εξαντλητικός κατάλογος των ειδών κόστους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την εμπορική εξάπλωση των έξυπνων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας147

Στο σημερινό ηλεκτρικό δίκτυο, η επικοινωνία είναι μονόπλευρη, οι εγκαταστάσεις παλαιωμένες και κεντρικά ελεγχόμενες ενώ η διείσδυση της καθαρής ενέργειας περιορισμένη. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα οι ηλεκτροπαραγωγές επιχειρήσεις να μην μπορούν πάντα να ανταποκριθούν στις ανάγκες και να ανακλύπτουν προβλήματα στο σύστημα, όπως διακοπές στην ηλεκτροδότηση. Όμως, στη σύγχρονη ψηφιακή εποχή όπου έχει αυξηθεί ραγδαία η ζήτηση ηλεκτρισμού και ιδιαιτέρως αξιόπιστων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, επιβάλλεται μετάβαση σε ένα ταχύτερο, περισσότερο ευφυές ηλεκτρικό δίκτυο, που θα παρέχει καλύτερη ποιότητα ρεύματος με δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας, θα εξισορροπεί την προσφορά και τη ζήτηση σε πραγματικό χρόνο εξομαλύνοντας τις αιχμές, και θα καθιστά τους πελάτες ενεργούς συμμετόχους στην παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρισμού. Το ευφυές δίκτυο επιτρέπει την αποδοτικότερη χρήση της υπάρχουσας εγκατεστημένης ισχύος και της υποδομής μεταφοράς και διανομής ενέργειας, με μείωση των απωλειών στις ηλεκτρικές γραμμές και χρήση τοπικής, αποκεντρωμένης ηλεκτροπαραγωγής σε μεγαλύτερο βαθμό. Καθώς αυξάνεται το μερίδιο παραγωγής από ποικίλες ανανεώσιμες πηγές, ένα ευφυές δίκτυο μπορεί να διαχειριστεί καλύτερα τις αυξομειώσεις του ρεύματος όταν η ταχύτητα του ανέμου μειώνεται ή τα σύννεφα κρύβουν τον ήλιο. Θα επιτρέψει επίσης στα ηλεκτρικά οχήματα να αποθηκεύουν ρεύμα για τις μετακινήσεις τους ή να το πωλούν πίσω στο δίκτυο όταν αυτό απαιτείται. Οι έξυπνες τεχνολογίες – συμπεριλαμβανομένων των έξυπνων μετρητών, των αυτόματων συστημάτων ελέγχου και των ψηφιακών αισθητήρων– θα δείχνουν στους καταναλωτές την τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο και θα τους επιτρέπουν να εξοικονομούν χρήματα και ενέργεια διακόπτοντας ηλεκτρικές συσκευές, συστήματα θέρμανσης και ψύξης ολόκληρων κτιρίων, ή βιομηχανικά φορτία για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους ή όταν η τιμή του ρεύματος υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο όριο ή όταν υπάρχει πτώση παραγωγής στις μεγάλες αιολικές μονάδες. Μπορούν να βοηθήσουν στη μεταφορά φορτίων σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, όταν οι απώλειες των ηλεκτρικών γραμμών είναι μικρότερες και δεν λειτουργούν τα περισσότερα ρυπογόνα και λιγότερο αποδοτικά εργοστάσια. Το καίριο ερώτημα, ωστόσο, σχετικά με τα ευφυή δίκτυα είναι σε ποιες περιπτώσεις και κατά πόσο αξίζει να χρηματοδοτηθεί αυτή η επένδυση. Η

συζήτηση επικεντρώνεται κυρίως γύρω από το ποιοί θα είναι αυτοί που τελικά θα επωφεληθούν και σε ποιο βαθμό. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η περιγραφή του ευφυούς δικτύου και η οικονομική αποτίμηση των οφελών του. Συγκεκριμένα, στις ενότητες 1 και 2 αναφέρονται οι λόγοι που καθιστούν αναγκαία την ανάπτυξη ενός ευφυούς δικτύου ενώ στις ενότητες 3 και 4 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά και οι άξονες υλοποίησής του. Τέλος, στις ενότητες 5 και 6 παρέχεται ένα μεθοδολογικό πλαίσιο για την ανάλυση κόστους-οφέλους ως βάση για τη διεξαγωγή μιας συνεκτικής, αξιόπιστης και διαφανούς οικονομικής αξιολόγησης του μακροπρόθεσμου κόστους και των οφελών της εμπορικής εξάπλωσης των ευφύων δικτύων.

Λέξεις-κλειδιά: ηλεκτρικό δίκτυο, ευφύς δίκτυο, αμφίδρομη επικοινωνία, αυτοματισμός διανομής, διεσπαρμένη παραγωγή, ηλεκτρικά οχήματα, ευφυείς μετρητές, μείωση ρύπων, κόστος, όφελος, σύγκριση κόστους-οφελών

Abstract

In today's grid, communication is one-sided, facilities are outdated and centrally controlled while penetration of clean energy is limited. As a result, utilities are not able to respond to energy needs and problems arise in the system, such as power outages. However, in the modern digital age, demand for energy and reliable electricity systems has grown rapidly allowing the switch to a faster, smarter electricity grid, which provides better quality current with bi-directional communication, strikes a balance between supply and demand in real time streamlining spiking, and makes customers active participants in the production and consumption of electricity. Smart grid allows more efficient use of installed capacity, transmission and distribution infrastructure with reduced losses in electrical lines through the use of local, decentralized power to a greater extent. With the increasing share of production from various renewable sources, a smart grid can better handle the fluctuations of power when the wind subsides or clouds hide the sun. It will also enable electric vehicles to store electricity for transportation or to sell back to the grid when needed. Smart technologies – including smart meters, automatic control systems and digital sensors – will show consumers the real-time pricing and will allow them to save money and energy by closing electrical appliances, heating and cooling of entire buildings or industrial loads at certain times or when the value exceeds a specified stream or when there is a drop in production in large wind plants. They can help transfer loads during periods of low demand, when the losses of power lines are smaller and more polluting and less efficient plants do not work. The key question, however, about smart networks is whether it is worth funding this investment. The discussion focuses mainly on who will ultimately benefit and to what extent. The purpose of this diploma thesis is the description of smart grid and the economic valuation of its benefits. Specifically, sections 1 and 2 refer to the reasons why the development of a smart network is necessary while sections 3 and 4 present the basic characteristics and priorities of implementation. Finally, sections 5 and 6 provide a methodological framework for cost-benefit analysis as a basis for conducting a coherent, credible and transparent economic evaluation of the long-term costs and benefits of commercial deployment of smart grids.

Key-words: electric grid, smart grid, bi-directional communication, distribution automation, distributed generation, plug-in vehicles, smart meters, emission reduction, cost, benefit, cost-benefit comparison.

1. Το ηλεκτρικό δίκτυο σήμερα

1.1 Γενικά

Το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί τη βασική υποδομή της σύγχρονης κοινωνίας. Φθάνει σχεδόν σε κάθε οικία, γραφείο ή εργοστάσιο στις αναπτυγμένες χώρες ενώ παρουσιάζει αυξανόμενη διείσδυση στις αναπτυσσόμενες χώρες ή τις αναδυόμενες οικονομίες, όπως η Κίνα και η Ινδία [1].

Ως σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να οριστεί το σύνολο των διατάξεων, συσκευών και καλωδίων που συνδέει τις πηγές της ηλεκτρικής ενέργειας με τους τελικούς καταναλωτές. Συγκεκριμένα, απαρτίζεται από τα εξής επιμέρους συστήματα: το σύστημα παραγωγής, το σύστημα μεταφοράς, και το σύστημα διανομής. Το σύστημα παραγωγής περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής που μετατρέπουν τις πρωτογενείς μορφές ενέργειας, όπως τη χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο κάρβουνο, το φως του ήλιου ή τη δύναμη του ανέμου σε ηλεκτρική, μαζί με τους υποσταθμούς ανύψωσης της τάσης του δικτύου. Με τον όρο σύστημα μεταφοράς αναφέρεται το διασυνδεδεμένο δίκτυο υψηλής τάσης που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους σταθμούς παραγωγής προς τις ευρύτερες περιοχές κατανάλωσης. Το σύστημα διανομής περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης, στα οποία υπάγονται και οι υποσταθμοί διανομής μέσω των οποίων η μέση τάση υποβιβάζεται σε χαμηλή. Μέσω των δικτύων διανομής η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στις μικρότερες περιοχές φορτίου και παρέχεται στους καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης. Ένα σύστημα παραγωγής μπορεί να λειτουργεί μεμονωμένο ή διασυνδεδεμένο με ένα ή περισσότερα γειτονικά συστήματα.

Στη λειτουργία του ενεργειακού συστήματος εκτός από τον παραγωγό, που είναι υπεύθυνος για την παραγωγή ενέργειας είτε από συμβατικούς σταθμούς καύσης ορυκτών καυσίμων είτε από διεσπαρμένη παραγωγή, σημαντικό ρόλο έχουν, επίσης, ο διαχειριστής και ο προμηθευτής. Ο διαχειριστής του συστήματος μεταφοράς είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση του συστήματος μεταφοράς και των διασυνδέσεών του με άλλα συστήματα, όπου αυτό είναι δυνατό και απαραίτητο. Εξασφαλίζει τη μακροπρόθεσμη ικανότητα του συστήματος να ανταποκρίνεται

στη ζήτηση για μεταφορά ενέργειας ενώ, παράλληλα, διασφαλίζει παράλληλα τη συντήρηση και αναβάθμισή του. Μια άλλη αρμοδιότητά του είναι η παροχή βοηθητικών υπηρεσιών στην περιοχή που ελέγχει. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν υπηρεσίες εξισορρόπησης, όπως εξάλειψη της διαφοράς ανάμεσα σε παραγωγή και ζήτηση, ικανότητα εφεδρείας και έλεγχο της ποιότητας ισχύος με ρύθμιση της συχνότητας, της παροχής αέργου ισχύος και της ικανότητας εκκίνησης του συστήματος. Ο διαχειριστής του συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία του συστήματος διανομής σε συγκεκριμένη περιοχή και για τις συνδέσεις του με το σύστημα μεταφοράς. Είναι, επίσης, υπεύθυνος για υπηρεσίες του συστήματος, όπως είναι η εξασφάλιση της ποιότητας του ρεύματος. Μέσω της συντήρησης και της ανάπτυξης του δικτύου διανομής εξασφαλίζεται η μακροπρόθεσμη ικανότητα του συστήματος να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις της ζήτησης της ενέργειας. Ο προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας είναι υπεύθυνος για την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές. Ο παραγωγός και ο προμηθευτής μπορούν, μερικές φορές, να είναι το ίδιο πρόσωπο, όπως και ένας προμηθευτής μπορεί να είναι πελάτης χονδρικής ή έμπορος, ο οποίος αγοράζει ενέργεια με σκοπό να την μεταπωλήσει στο σύστημα. Ο καταναλωτής, τέλος, αγοράζει την ενέργεια για ατομική χρήση και στις απελευθερωμένες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αγοράσει την ενέργεια από τον πάροχο της επιλογής του.

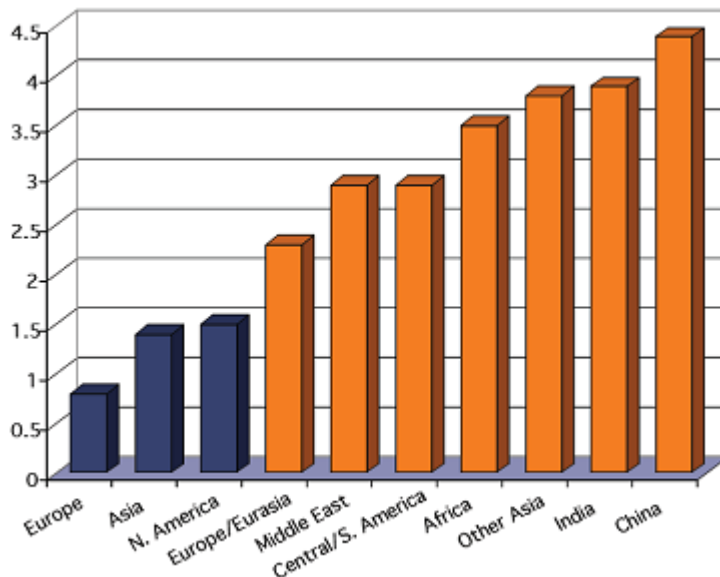
Κατά τις επόμενες δεκαετίες η ηλεκτρική ενέργεια αναμένεται να αποτελέσει την ταχύτερα αναπτυσσόμενη πηγή ενεργειακού εφοδιασμού παγκοσμίως, γεγονός που θέτει πολλά ερωτήματα σχετικά με την αποδοτική διαχείριση της. Η ανάπτυξη αναμένεται να είναι ιδιαίτερα ανοδική στις αναπτυσσόμενες χώρες της Ασίας, όπου κρίσιμο ρόλο θα παίξουν η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού, η εντεινόμενη σύνδεση της καθημερινότητας με τον ηλεκτρισμό και η ενίσχυση του αστικοποιημένου τρόπου ζωής. Επιπλέον, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας αντιμετωπίζει μια σειρά από πρόσθετες προκλήσεις, όπως κυρίως τη γήρανση των υποδομών, την αύξηση της διείδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την κλιματική αλλαγή.

Η μετάβαση σε ένα νέο τύπο δικτύου που θα μπορέσει να αντιμετωπίσει τις ανωτέρω προκλήσεις αναμένεται να παράσχει ένα ενεργειακά αποδοτικό, προσιτό και βιώσιμο ηλεκτρικό δίκτυο στο μέλλον.

1.2 Παράγοντες που καθορίζουν τη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας

A. Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού

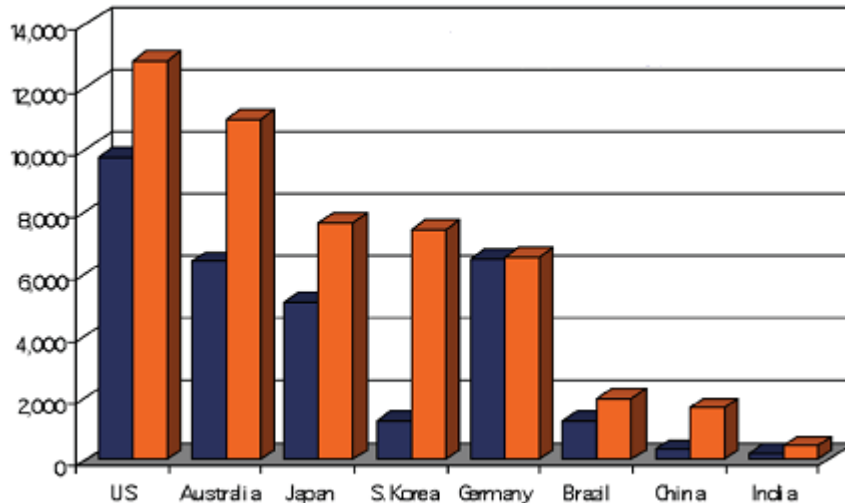
Η πληθυσμιακή έκρηξη εντείνει τη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς αυξάνεται το πλήθος των ατόμων που έχουν ανάγκη τον ηλεκτρισμό. Η μεγαλύτερη αύξηση της ζήτησης παρατηρείται στις αναπτυσσόμενες χώρες. Σύμφωνα με προβλέψεις, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη Βόρεια Αμερική θα αυξηθεί κατά 1.5% ανά έτος έως το 2030, λιγότερο από το μισό του ποσοστού της Κίνας και της Ινδίας (Σχήμα 1). Η φαινομενικά μικρή αυτή ετήσια αύξηση θα προκαλέσει σε βάθος χρόνου διπλασιασμό της συνολικής παραγωγής από 16.424 δις. κιλοβατώρες το 2004 σε 30.364 δις. κιλοβατώρες το 2030 [4]. Για να γίνει αντιληπτή η σημασία της πρόβλεψης πρέπει να σημειωθεί ότι, για να καλυφθούν οι ανάγκες μιας τέτοιας παραγωγής με τη σύγχρονη τεχνολογία, θα χρειαστούν 25.000 νέες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από καύση άνθρακα, των 500 MW η καθεμία. Η υλοποίησή τους συνεπάγεται όχι μόνο ένα υπέρογκο ποσό κεφαλαίου αλλά και τρομακτικές συνέπειες για το περιβάλλον [2].



Σχήμα 1.1 Ποσοστιαία αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά χώρα και ανά έτος έως το 2030 [4]

Αξίζει, επίσης, να σημειωθεί ότι, πέρα από την πληθυσμιακή έκρηξη, σημαντικό ρόλο στην αύξηση της ενεργειακής ζήτησης διαδραματίζει και η αύξηση της κατά κεφαλή κατανάλωσης ενέργειας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Νότια Κορέα με πληθυσμό 47 εκατομμύρια η οποία έφθασε μέσα σε

20 χρόνια να προσεγγίζει την ανά κάτοικο ενεργειακή κατανάλωση της Γερμανίας και της Ιαπωνίας [5]. Παρόμοια ανάπτυξη σε άλλες χώρες, όπως η Κίνα με 1.5 δις. κατοίκους, είναι προφανές ότι θα επέφερε δραματική αύξηση στα αναγκαία επίπεδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα 2).



Σχήμα 1.2 Ενεργειακή κατανάλωση κατά κεφαλήν σε kWh ανά χώρα 1985 (μπλε) 2005 (πορτοκαλί) [5]

B. Η σύνδεση της καθημερινότητας με τον ηλεκτρισμό

Παράλληλα με την εκτόξευση του πληθυσμού στα ύψη, ανακύπτουν ολοένα και περισσότερες χρήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας. Χρησιμοποιούνται, δηλαδή, σε καθημερινή βάση όλο και περισσότερες συσκευές που βασίζονται στον ηλεκτρισμό.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα ακόλουθα:

- Το 1950 λιγότερο από 1% των νοικοκυριών θερμαίνονταν με ηλεκτρισμό-μέχρι το 1990 το ποσοστό αυξήθηκε σε 30%.
- Το 1950 κανένα νοικοκυριό δεν είχε φούρνο μικροκυμάτων-σήμερα έχει το 95%.
- Το 1950 κανένα νοικοκυριό δεν είχε ηλεκτρονικό υπολογιστή-μέχρι το 2003 το ποσοστό αυξήθηκε σε 62%.
- Μετά το τέλος του 2007 περισσότερο από το 50% των νοικοκυριών είχε τουλάχιστον μία τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (η αλλαγή από μία τυπική

τηλεόραση σε μία τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας συνεπάγεται κατανάλωση 2 με 3 φορές περισσότερης ενέργειας).

- Στον αναπτυγμένο κόσμο η ζήτηση για ηλεκτρικές συσκευές αυξήθηκε κατά 48% μέσα στη δεκαετία του 90.

Η βασική τεχνολογική εξέλιξη, λόγω της οποίας ο ηλεκτρισμός χρησιμοποιείται σε κάθε πτυχή της καθημερινής ζωής, είναι η εμφάνιση των ηλεκτροκινητήρων και των μικροεπεξεργαστών σε ποικιλία εφαρμογών όπως ψυγεία, κλιματιστικά, μονάδες σκληρού δίσκου, αυτοκίνητα, ευφυείς μετρητές κ.λπ. Η εξάρτηση από την ηλεκτρική ενέργεια σε όλες σχεδόν τις ανθρώπινες δραστηριότητες έχει άμεσες συνέπειες και στην οικονομία. Χαρακτηριστικά, εκτιμάται ότι η κατανάλωση ενέργειας από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής έφτασε έως το 2011 τις 100 δις. κιλοβατώρες που αντιστοιχεί σε ετήσιο κόστος ηλεκτρικού ρεύματος 7.4 δις. δολάρια [2].

Όλες οι νέες εφαρμογές που δημιουργούνται από την εξάπλωση της χρήσης του ηλεκτρισμού, όπως για παράδειγμα τα ηλεκτρικά οχήματα, απαιτούν όχι μόνο περισσότερη ενέργεια αλλά και καλύτερης ποιότητας ενέργεια. Εξαρτώνται, δηλαδή, τόσο από την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και από τη διαθεσιμότητα, την αξιοπιστία, τη μετρησιμότητα, τη δυνατότητα ελέγχου και τη σταθερότητά της.

Γ. Η αυξανόμενη αστικοποίηση του τρόπου ζωής

Μια ακόμη σημαντική παράμετρος που συμβάλλει στην αύξηση της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι το ότι η τηλεόραση και το Διαδίκτυο έχουν διαδώσει και κατά μεγάλο βαθμό επιβάλλει το Δυτικό τρόπο ζωής. Πριν από πενήντα χρόνια ο κλιματισμός αποτελούσε είδος πολυτελείας ακόμα και στις θερμότερες περιοχές της Γης. Σήμερα μαζί με την τηλεόραση και τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, τα κλιματιστικά αποτελούν είδη πρώτης ανάγκης. Στην Αμερική ο κλιματισμός αντιπροσωπεύει το 16% της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας για το μέσο νοικοκυριό. Ακολουθεί η Ευρώπη, όπου προβλέπεται τετραπλασιασμός των κλιματιζόμενων σπιτιών έως το 2020. Σε παρόμοιους ρυθμούς κυμαίνεται και η ζήτηση στην Ασία [2].

| κατηγορία | 1950 | 2000 | 2050 |
|---------------------------------|---------|------------|-----------|
| πληθυσμός παγκοσμίως | 2.56B | 6.22B | 8.29B |
| χρήση ηλεκτρικής ενέργειας | 2.06 TW | 3.80 TW | 6.99 TW |
| χρήση % της συνολικής ενέργειας | 10.4% | 25.3% | 33.7% |
| τηλεοράσεις | 0.6B | 1.4B | 1.9B |
| προσωπικοί υπολογιστές | 0 | 500M to 1B | 6B to 8B |
| κινητά τηλέφωνα | 0 | 0.8B | 5B |
| ηλεκτρικά υβριδικά οχήματα | 0 | 55,852 | 3,151,439 |

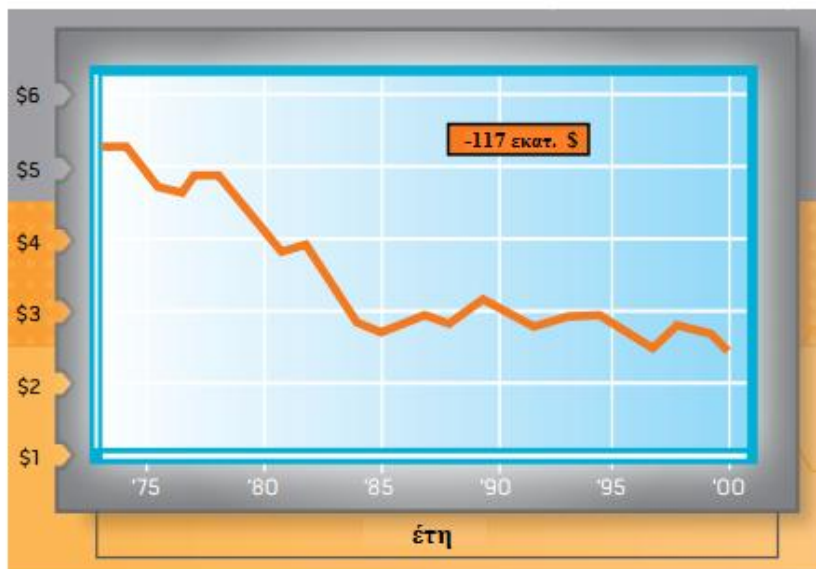
Πίνακας 2.1 Συγκεντρωτικά στοιχεία σχετικά με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και εκτίμηση της αύξησης που θα σημειωθεί έως το 2050 [2]

B: δισεκατομμύρια M: εκατομμύρια TW: τεραβατώρες

2. Οι προκλήσεις για τα μελλοντικά ηλεκτρικά δίκτυα

2.1 Η γήρανση του δικτύου

Το ηλεκτρικό δίκτυο αποτελεί το μεγαλύτερο διασυνδεδεμένο σύστημα παγκοσμίως. Η τρέχουσα παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πλησιάζει τα 15.000 δισεκατομμύρια kWh ανά έτος, με τις Ηνωμένες Πολιτείες, τον Καναδά και το Μεξικό να πραγματοποιούν το 30% αυτής της κατανάλωσης. Μολονότι η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας έχει εκτοξευθεί στα ύψη τις τελευταίες δεκαετίες, είναι γεγονός ότι δεν έχουν γίνει ακόμα οι ανάλογες ενέργειες βελτίωσης των υποδομών της παραγωγής, της μεταφοράς και της διανομής της. Αξίζει να σημειωθεί ότι, έως το 2000 στις Ηνωμένες Πολιτείες, παρατηρήθηκε μείωση των επενδύσεων στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας κατά 117 εκατομμύρια δολάρια [6]. Η παλαιώση του εξοπλισμού, η παρωχημένη διάταξη του συστήματος, οι κεντρικά ελεγχόμενες εγκαταστάσεις και η παρωχημένη τεχνολογία έχουν ως αποτέλεσμα την ανεπάρκεια και την αναξιοπιστία του δικτύου.



Σχήμα 2.1 Η μείωση των επενδύσεων στα συστήματα μεταφοράς και διανομής στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής [6] (εκφρασμένη σε δολάρια)

Άμεση συνέπεια αυτών είναι οι ηλεκτρικές απώλειες μεταφοράς και διανομής, οι συχνές διακοπές ρεύματος, η έλλειψη άμεσου εντοπισμού και αυτοματοποιημένης ανάλυσης των σφαλμάτων, η αργή ανταπόκριση των

μηχανικών συστημάτων, η έκθεση του δικτύου σε φυσικές καταστροφές, δυσμενή κλιματικά φαινόμενα, ατυχήματα και τρομοκρατικές επιθέσεις.

2.2 Η ανησυχία για τα ορυκτά καύσιμα

Το μίγμα των πρωτογενών καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αλλάξει σε μεγάλο βαθμό κατά τις τέσσερις τελευταίες δεκαετίες. Ο άνθρακας συνεχίζει να είναι το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο καύσιμο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ακολουθεί το φυσικό αέριο. Η αλματώδης αύξηση της τιμής τους γεννά προβληματισμούς σχετικά με την ασφαλή και οικονομικά ανεκτή παραγωγή και παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι, στο διάστημα 1999 έως 2007, η τιμή του άνθρακα αυξήθηκε κατά 45% ενώ του φυσικού αερίου κατά 175%[2].

Από την άλλη πλευρά, με τους υφιστάμενους δείκτες κατανάλωσης, τα σημερινά γνωστά αποθέματα πυρηνικών καυσίμων επαρκούν για περίπου 70 χρόνια ακόμα, με 2.3 εκατομμύρια τόνους ουρανίου να έχουν ήδη εξορυχθεί και μόνο 1 εκατομμύριο τόνοι να παραμένουν στο έδαφος. Όμως, εφόσον αποφασιστεί αύξηση τους πλήθους των αντιδραστήρων, οι πόροι αυτοί θα μειωθούν σημαντικά. Είναι φανερό ότι η πυρηνική επιλογή δεν είναι βιώσιμη μακροπρόθεσμα ως εγγυημένη πηγή ενέργειας.

Συνεπώς, ανακύπτουν ερωτήματα όσον αφορά την ενεργειακή ασφάλεια υπό την έννοια της έλλειψης καυσίμων που θα παρατηρηθεί λόγω των αυξανόμενων αναγκών. Οι προβλέψεις για την ύπαρξη αποθεμάτων άνθρακα για τα επόμενα 150 χρόνια δεν είναι αισιόδοξες, ιδιαίτερα αν παρατηρήσει κανείς την ανεξέλεγκτη τάση κατανάλωσής του από τις αναπτυσσόμενες χώρες της Ασίας, με κυρίαρχες την Κίνα και Ινδία. Αλλά και η παροχή φυσικού αερίου αναμένεται να αντιμετωπίσει σημαντικούς περιορισμούς, καθώς εκτιμάται ότι η ζήτησή του θα αυξηθεί από 100 τρισεκατομμύρια κυβικά το 2004 σε 163 τρισεκατομμύρια το 2030 [7].

2.3 Η ανησυχία λόγω της κλιματικής αλλαγής

Οι τεράστιες ποσότητες ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας οδηγούν σε σημαντικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και αερίων του θερμοκηπίου τοποθετώντας, έτσι, την ενεργειακή κατανάλωση στο επίκεντρο της συζήτησης για την κλιματική αλλαγή.

Ο όρος κλιματική αλλαγή ή «φαινόμενο του θερμοκηπίου» αναφέρεται στην αύξηση της θερμοκρασίας της γης, η οποία προκαλείται από την αύξηση στην ατμόσφαιρα των συγκεντρώσεων αερίων που έχουν την ιδιότητα να παγιδεύουν τη θερμότητα. Τέτοιου είδους αέρια είναι κυρίως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), οι φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες (HFC_5), οι υπερφθοράνθρακες (PFC_5) και το εξαφθοριούχο θείο (SF_6). Από αυτά το διοξείδιο του άνθρακα συμβάλλει τα μέγιστα στην κλιματική αλλαγή καθώς αντιστοιχεί στο 80% των εκπομπών όλων των αερίων του θερμοκηπίου. Εκτιμάται ότι ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας παράγει περίπου το ένα τέταρτο των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα παγκοσμίως [6]. Οι ανησυχίες για τους δυνητικούς κινδύνους που προκαλεί η αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου ωθούν τις χώρες σε παγκόσμιο επίπεδο να θέτουν ολοένα και αυστηρότερα όρια στη λειτουργία των μονάδων καύσης άνθρακα. Η ανάγκη για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων ρύπων οδήγησε το 1991 στην πραγματοποίηση της Παγκόσμιας Συνδιάσκεψης στο Ρίο της Βραζιλίας, όπου 106 χώρες δεσμεύτηκαν να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2000 στα επίπεδα του 1990. Μετά από τη συνδιάσκεψη αυτή, η προστασία του περιβάλλοντος αναδείχθηκε σε σημαντικό παγκόσμιο στόχο. Το Δεκέμβριο του 1997 πραγματοποιήθηκε η Διακυβερνητική Συνδιάσκεψη στο Κιότο της Ιαπωνίας, όπου υπογράφηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο για τις κλιματικές αλλαγές. Επτά χρόνια μετά την αρχική συμφωνία, στις 16 Φεβρουαρίου του 2005, τέθηκε σε ισχύ το Πρωτόκολλο του Κιότο με στόχο την καταπολέμηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Το Πρωτόκολλο, το οποίο, μετά την εγκατάλειψη του Καναδά στα τέλη του 2011, έχει πλέον την υποστήριξη 140 χωρών είναι νόμιμα δεσμευτικό και προβλέπει ότι μέχρι το τέλος του 2012 η παγκόσμια εκπομπή των 6 προαναφερθέντων αερίων του θερμοκηπίου, με κυριότερο το CO_2 , πρέπει να μειωθεί κατά 5.2% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 [9].

Η αναπόφευκτη άνοδος της ζήτησης λόγω του ταχύτατου ρυθμού αύξησης του πληθυσμού και της ανοδικής οικονομικής δραστηριότητας, εντείνει την εξάρτηση των σταθμών παραγωγής από τα ορυκτά καύσιμα. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά τις ώρες αιχμής, θα χρειαστεί να κατασκευαστούν νέες συμβατικές μονάδες παραγωγής που θα ενεργοποιούνται για ελάχιστο χρονικό διάστημα επιβαρύνοντας ακόμη περισσότερο το περιβάλλον. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συνεπώς, δεν θα σχετίζονται μόνο με την παραγωγή ενέργειας για κατανάλωση από τους τελικούς χρήστες αλλά και με την κατασκευή εξοπλισμού, τη μεταφορά και διανομή της ενέργειας, την προμήθεια καυσίμων και τη διάθεση αποβλήτων από τους νέους αυτούς σταθμούς.

2.4 Η ανάγκη αύξησης της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου θεωρείται πλέον ως το σημαντικότερο πρόβλημα που προκαλεί η καύση των ορυκτών καυσίμων. Η θεώρηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως πιθανή λύση του προβλήματος της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης αλλά και της ταυτόχρονης εξασφάλισης ενεργειακής επάρκειας είναι επιβεβλημένη.

Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» αποδίδεται σε όλες τις πηγές ενέργειας των οποίων η ροή στο φυσικό περιβάλλον είναι συνεχής και ανανεούμενη με τον ίδιο ρυθμό που καταναλίσκονται. Συγκεκριμένα, οι κυριότερες μορφές ΑΠΕ είναι οι ακόλουθες:

- **Αιολική ενέργεια:** δηλαδή ενέργεια που εμπεριέχει η ροή των ανέμων και η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί με χρήση κατάλληλων μηχανισμών και διατάξεων. Η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται αρχικά σε μηχανική μέσω των ανεμογεννητριών και ακολούθως σε ηλεκτρική.
- **Ηλιακή ενέργεια:** προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία και αξιοποιείται τόσο μέσω θερμικών όσο και μέσω φωτοβολταϊκών διατάξεων. Το γνωστότερο παράδειγμα θερμικής εφαρμογής είναι

ο ηλιακός θερμοσίφωνας, όπου η θερμοκρασία του νερού μπορεί να αυξάνεται μέσω της συλλογής ηλιακής ακτινοβολίας για οικιακή ή άλλη χρήση. Από την άλλη πλευρά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

- Υδροηλεκτρική ενέργεια: είναι η ενέργεια που στηρίζεται στην εκμετάλλευση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω υδροστροβίλων και γεννητριών.
- Καύση βιομάζας: Οποιοδήποτε υλικό από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα δασικά προϊόντα, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κλπ) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας.
- Γεωθερμία: Η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά ύδατα και σε θερμά ξηρά πετρώματα.
- Ενέργεια ωκεανών: Οι ωκεανοί μπορούν να προσφέρουν τεράστια ποσά ενέργειας. Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι εκμετάλλευσης της ενέργειας της θάλασσας: από τα κύματα, από τις παλίρροιας (μικρές και μεγάλες) και από τις θερμοκρασιακές διαφορές του νερού.

Το κύριο ερώτημα που ανακύπτει είναι αν οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μπορούν να αντικαταστήσουν μεγάλο μέρος της παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και μακροπρόθεσμα να καλύψουν πλήρως τις ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη. Αρκετοί σχετικοί περιορισμοί επιβάλλονται από τη δομή του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου [10]. Η μετάβαση σε ένα σύστημα που θα έχει ως βάση τα μη ορυκτά καύσιμα είναι ιδιαίτερα δύσκολη για τους εξής λόγους:

- Οι περισσότερες εγκαταστάσεις που αξιοποιούν ΑΠΕ βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις από τα αστικά κέντρα. Στην περίπτωση αυτή η μεταφορά και διανομής της ενέργειας που παράγουν επιβαρύνει το ήδη υπερφορτωμένο δίκτυο μεταφοράς ενώ προκαλούνται και σημαντικές απώλειες μεταφοράς λόγω των μεγάλων σχετικών αποστάσεων.
- Δεν υπάρχουν οι κατάλληλες υποδομές για την αντιμετώπιση της άνισης κατανομής των πηγών και της διαλείπουσας φύσης τους με αποτέλεσμα να προκαλούνται προβλήματα σταθερότητας της τάσης και άεργου ισχύος που υποβαθμίζουν την ποιότητα της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Το υψηλό κόστος της μετάβασης. Τα υφιστάμενα τοπικά δίκτυα αδυνατούν να απορροφήσουν την ισχύ των ΑΠΕ. Η ανάγκη ενίσχυσής τους είναι χρονοβόρα και δαπανηρή, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για επεκτάσεις δικτύων υψηλής τάσης.
- Το δίκτυο διανομής είναι, κατά βάση, κεντρικά ελεγχόμενο με αποτέλεσμα να μην μπορεί να αξιοποιήσει διεσπαρμένες μονάδες ανανεώσιμης ενέργειας.
- Δεν έχουν ενσωματωθεί στο δίκτυο μονάδες αποθήκευσης ενέργειας.

Για τους ανωτέρω λόγους οι τεχνολογίες ΑΠΕ, μολονότι μπορούν να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες απαιτήσεις ενέργειας σε τοπικό επίπεδο και να μετριάσουν την ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου, χαρακτηρίζονται από περιορισμένες δυνατότητες διείσδυσης και υψηλό κόστος [10].

2.5 Η επικοινωνία με τον καταναλωτή

Η νέα γενιά καταναλωτών αναζητεί αμφίδρομη επικοινωνία με την ενεργειακή επιχείρηση. Για δεκαετίες οι καταναλωτές πίστευαν ότι η ηλεκτρική ενέργεια είναι ένα φθηνό, άμεσα διαθέσιμο αγαθό χωρίς διακυμάνσεις τιμής και

ποιότητας. Καθώς, όμως, τα τελευταία χρόνια ενημερώνονται περισσότερο για τον κρίσιμο ρόλο της ηλεκτρικής ενέργειας, γίνονται περισσότερο απαιτητικοί ως προς το πώς τους αντιμετωπίζει η ηλεκτρική επιχείρηση και απαιτούν να συμμετέχουν στη διαδικασία διαμόρφωσης της ζήτησης και των τιμών διεκδικώντας ένα περισσότερο αξιόπιστο και φιλικό προς αυτούς δίκτυο.

2.6 Η ανησυχία για την ασφάλεια

Στη σύγχρονη εποχή ο ηλεκτρισμός αποτελεί τη βασική προϋπόθεση για την κάλυψη οποιασδήποτε ανάγκης όπως διατροφής, ύδρευσης, στέγασης επικοινωνίας, απασχόλησης και ιατρικής περίθαλψης. Οι ανάγκες αυτές εξυπηρετούνται από υποδομές για συντήρηση τροφίμων, επεξεργασία ύδατος, παροχής θερμότητας και υπηρεσιών (π.χ. τηλεφωνική υπηρεσία, Διαδίκτυο) σε νοσοκομεία, γραφεία και εργοστάσια. Ωστόσο, όλα αυτά τα αγαθά μπορούν να υποβαθμιστούν ή να εξαφανιστούν όταν διακοπεί η παροχή του ηλεκτρικού ρεύματος. Συνεπώς, η διακοπή της παροχής ηλεκτρισμού προκαλεί σοβαρά προβλήματα σε διάφορα επίπεδα λειτουργίας ενός κράτους. Συγκεκριμένα επηρεάζονται οι ακόλουθοι τομείς:

Εθνική ασφάλεια

Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί βασικό παράγοντα στον τομέα της εθνικής ασφάλειας. Οι τηλεπικοινωνίες, οι τραπεζικές συναλλαγές, οι μεταφορές, η ύδρευση επηρεάζονται δραστικά. Αν συμβεί μικρής διάρκειας διακοπή στην εναέρια κυκλοφορία ή στην ύδρευση δεν μπορεί να επεκταθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να απειλήσει το σύνολο του πληθυσμού. Αντιθέτως, ένα σφάλμα σε κάποιο στοιχείο του ηλεκτρικού δικτύου (π.χ. βραχυκύκλωμα) μπορεί να επεκταθεί σε όλη την έκταση του δικτύου και να προκαλέσει μεγάλης διάρκειας διακοπή της παροχής ενέργειας απειλώντας την εθνική ασφάλεια.

Οι ανησυχίες σχετικά με τις πολιτικές εθνικής ασφάλειας και η ανάγκη να θωρακιστεί το ηλεκτρικό δίκτυο έναντι τρομοκρατικών επιθέσεων και ακραίων καιρικών φαινομένων θα επηρεάσουν δραστικά το μέλλον των υφιστάμενων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Η κεντρικά ελεγχόμενη παραγωγή και μεταφορά της οποίας συνιστά το τρωτό σημείο του ηλεκτρικού δικτύου. Ένας μικρός αριθμός από πολύ μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής είναι εγγενώς περισσότερο ευάλωτος από ένα μεγάλο αριθμό μικρότερων. Δεν υπάρχουν

τεχνικές για τον εντοπισμό περιστατικών, ταχεία αποκατάσταση συστημάτων μετά από διακοπές και εφεδρικοί μηχανισμοί για την παροχή υπηρεσιών σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Δεν υπάρχει σαφής καθοδήγηση για τον καθορισμό των ευθυνών. Είναι αναγκαίο να διευκρινίζονται οι ρόλοι των ηλεκτρικών εταιρειών, των ρυθμιστικών φορέων, των πελατών και της πολιτείας για την αντιμετώπιση οποιασδήποτε απειλής.

Υγεία και δημόσια ασφάλεια

Κατά τη διάρκεια μιας ηλεκτρικής διακοπής ανελκυστήρες μπορεί να σταματήσουν μεταξύ ορόφων, η κυκλοφορία στους δρόμους μπορεί να διακοπεί ή οι υπόγειες διαβάσεις να μείνουν στο σκοτάδι. Μολονότι συνήθως υπάρχουν εφεδρικοί μηχανισμοί για την αντιμετώπιση τέτοιων περιπτώσεων, δεν είναι εξασφαλισμένο ότι θα λειτουργήσουν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το blackout που συνέβη στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής το 2003. Αν και υπήρχαν γεννήτριες έκτακτης ανάγκης, τέσσερα από τα εβδομήντα πέντε νοσοκομεία έμειναν προσωρινά χωρίς ρεύμα. Ο μεγάλος αριθμός των ασθενών που χρειάστηκαν βοήθεια λόγω της συσκότισης προκάλεσε ένταση στις επείγουσες ιατρικές υπηρεσίες. Το νοσοκομείο είχε να αντιμετωπίσει ταυτόχρονα την αποτυχία των πολλαπλών έκτακτων περιστατικών, την ανησυχία των ασθενών, την αλλοίωση τροφίμων και φαρμάκων, ιδιαίτερα εμβολίων λόγω απώλειας της ψύξης, την αποτυχία και βλάβη εξοπλισμού καθώς και την αύξηση θερμοκρασίας που προκάλεσε επιπτώσεις στην υγεία ασθενών.

Είναι φανερό λοιπόν ότι η διακοπή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και αν σημειωθεί επί μικρό χρονικό διάστημα, μπορεί να απειλήσει τη δημόσια υγεία και ασφάλεια. Μάλιστα, επειδή η διακοπή αυτή αποτέλεσε τη μεγαλύτερη στην ιστορία των ΗΠΑ, έγινε λόγος για τρομοκρατική επίθεση, όπως είναι αναμενόμενο λόγω της συγκεντρωτικής δομής του ηλεκτρικού δικτύου θα που είναι ευάλωτο σε τέτοιου είδους επίθεση. Επιπλέον, οι διάφορες συνιστώσες του δικτύου αλληλοεξαρτώνται με αποτέλεσμα ένα μικρό σφάλμα σε κεντρικό σημείο να μπορεί να επιφέρει σειρά προβλημάτων που ενδεχομένως θα παραλύσουν τράπεζες, κυκλοφορία, νοσοκομεία και συστήματα ασφαλείας.

Ασφάλεια των πληροφοριών

Υπό την ευρύτερη έννοια η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, δηλαδή στον τομέα των πληροφοριών, καλύπτει όλα τα θέματα που αφορούν

αυτοματοποιημένα συστήματα, επικοινωνία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, λειτουργία των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας, εργασίες πελατειακής βάσης και προστασία από επιθέσεις. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την διαχείριση των πληροφοριών επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος. Για το λόγο αυτό έχουν προκληθεί ανησυχίες τα τελευταία χρόνια σχετικά με την ασφάλεια που παρέχει.

Η αποτελεσματική καταγραφή, επεξεργασία και διακίνηση δεδομένων αποτελεί ζωτικής σημασίας λειτουργία για την εξασφάλιση της ακεραιότητας του ηλεκτρικού δικτύου. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια της διακοπής του 2003, στην παράταση της διακοπής συνέβαλαν οι καθυστερήσεις στις επικοινωνίες και, συγκεκριμένα, στην αποστολή μηνυμάτων συναγερμού και απαντήσεων από τα κέντρα ελέγχου. Οι αποτυχίες στην περίπτωση αυτή προκλήθηκαν από ακούσια λάθη και λανθασμένο σχεδιασμό. Συνεπώς, η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο έχει να αντιμετωπίσει αποτυχίες της πληροφοριακής υποδομής που οφείλονται σε λάθη χρηστών, παλαιωμένο εξοπλισμό ή φυσικές καταστροφές.

Είναι σαφές ότι η σύγκλιση των υποδομών πληροφόρησης και επικοινωνίας με το ηλεκτρικό δίκτυο πρέπει να χαρακτηρίζεται από ασφάλεια και εμπιστευτικότητα. Παράλληλα, παρουσιάζεται μια μεγάλη ευκαιρία για την ενίσχυση της αξιοπιστίας του ενεργειακού συστήματος που πρέπει να γίνει περισσότερο ανθεκτικό στις επιθέσεις, στις αποτυχίες υλικού και εξοπλισμού, στα ανθρώπινα λάθη και στις φυσικές καταστροφές.

3. Τα χαρακτηριστικά και οι άξονες υλοποίησης του ευφυούς δικτύου

Η ηλεκτρική βιομηχανία είναι έτοιμη να κάνει τη μετατροπή από ένα κεντρικά ελεγχόμενο δίκτυο σε ένα λιγότερο συγκεντρωτικό και διαδραστικό με τον καταναλωτή. Η νέα προσέγγιση για την ηλεκτρική ενέργεια αντικαθιστά τον ηλεκτρομηχανικό εξοπλισμό του παρελθόντος με νέες, ψηφιακές διατάξεις αναδιατάσσοντας σταδιακά το δίκτυο. Οι κλάδοι των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής επανεξετάζουν τον παραδοσιακό τρόπο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας ενσωματώνοντας τις τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών στο υπάρχον δίκτυο. Όπως πριν από δύο δεκαετίες ξεκίνησε μια παρόμοια μετάβαση στο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, όπου η ψηφιακή φιλοσοφία αντικατέστησε την αναλογική, έτσι και στο ηλεκτρικό δίκτυο, ο αυτοματισμός συνεχίζει να αντικαθιστά τη χειροκίνητη λειτουργία. Όπως τονίζει η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC International Electrotechnical Commission), “καθώς οι δυνάμεις της αγοράς απαιτούν ολοένα και περισσότερο ακριβή και έγκαιρη πληροφόρηση, ο κλάδος της ηλεκτροπαραγωγής στο εξής θα συνδέεται αμετάκλητα με αυτόν της πληροφόρησης”.

Η στροφή σε μια ευφύεστερη διαχείριση της ενέργειας θα επιτρέψει τον εκσυγχρονισμό του δικτύου και την πλήρη αξιοποίηση του δυναμικού του. Το ευφύες δίκτυο αναμένεται να αλλάξει ολόκληρο το επιχειρησιακό μοντέλο της ενεργειακής βιομηχανίας με άμεσα οικονομικά και κοινωνικά οφέλη όχι μόνο για του τελικούς καταναλωτές αλλά και για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, τις ρυθμιστικές αρχές, τους παρόχους ενεργειακών υπηρεσιών και τους προμηθευτές τεχνολογίας. Τα χαρακτηριστικά του ευφυούς δικτύου είναι τα εξής:

Το ευφύες δίκτυο είναι αποδοτικό. Είναι ικανό να ανταποκριθεί στην αυξημένη ζήτηση των καταναλωτών χωρίς να χρειαστεί να κατασκευαστούν νέοι σταθμοί παραγωγής για την κάλυψη των αναγκών. Επιτρέπει την αποδοτικότερη αξιοποίηση της υπάρχουσας εγκατεστημένης ισχύος και χρήση της υποδομής μεταφοράς και διανομής ενέργειας μέσω της μείωσης των απωλειών στις ηλεκτρικές γραμμές αξιοποιώντας σε μεγαλύτερο βαθμό την τοπική, αποκεντρωμένη ηλεκτροπαραγωγή. Επιπλέον, η αποδοτικότητα των υπαρχόντων

στοιχείων του δικτύου βελτιστοποιείται με τη χρήση ειδοποιήσεων που σηματοδοτούν την ανάγκη για συντήρηση ή έγκαιρη αλλαγή του εξοπλισμού.

Το ευφυές δίκτυο είναι αξιόπιστο. Είναι ικανό να παρέχει την απαραίτητη ισχύ για την εξασφάλιση της αποδεκτής ποιότητας ενέργειας χωρίς βυθίσεις, αιχμές, διαταραχές και διακοπές. Επειδή οι βιομηχανίες, οι εμπορικές επιχειρήσεις και οι οικιακοί καταναλωτές δεν ζητούν όλοι την ίδια ποιότητα ενέργειας η ποιότητα ηλεκτρικής ενέργειας διαβαθμίζεται με την κατηγορία των χρηστών. Επιπλέον, προηγμένες μέθοδοι ελέγχου που αξιοποιούν την πληροφορία των κέντρων δεδομένων και ανταποκρίνονται ταχύτερα σε σχέση με την ανθρώπινη παρέμβαση, παρακολουθούν την ροή ενέργειας επιτρέποντας ταχεία διάγνωση και λύσεις για περιστατικά που έχουν επιπτώσεις στην ποιότητα, όπως κεραυνοί, εσφαλμένοι χειρισμοί, υπερτάσεις, σφάλματα γραμμής και αρμονικές πηγές. Έτσι, μπορούν να προλαμβάνουν ή να ελαχιστοποιούν την πιθανότητα να συμβεί μια διακοπή.

Το ευφυές δίκτυο ενσωματώνει διάφορες μορφές ενέργειας. Αξιοποιεί την ενέργεια που προέρχεται από οποιαδήποτε μορφή καυσίμου, συμπεριλαμβανομένων της ηλιακής και αιολικής, εξίσου εύκολα και αποδοτικά με τον άνθρακα και το φυσικό αέριο. Ένα ευφυές δίκτυο μπορεί να διαχειριστεί καλύτερα τη διακοπτόμενη φύση των ανανεώσιμων πηγών όπως για παράδειγμα τις αυξομειώσεις του ρεύματος όταν η ταχύτητα του ανέμου μειώνεται ή τα σύννεφα κρύβουν τον ήλιο. Επιπλέον, εκτός από μεγάλες, κεντρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας ενσωματώνει και μικρότερες μονάδες διασπαρμένης παραγωγής, παρέχει τη δυνατότητα συμπαραγωγής ενέργειας και θερμότητας αλλά και διατάξεις αποθήκευσης.

Το ευφυές δίκτυο επιτρέπει την επικοινωνία ηλεκτρικής εταιρείας με τελικούς χρήστες. Η αμφίδρομη επικοινωνία της ενεργειακής επιχείρησης με τους καταναλωτές συμβάλλει στην εξισορρόπηση προσφοράς και ζήτησης σε πραγματικό χρόνο και την εξομάλυνση των αιχμών. Τα κίνητρα που παρέχονται στους καταναλωτές προκειμένου να μεταβάλλουν τον τρόπο που αγοράζουν και χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια βασίζονται σε νέες τεχνολογίες, πληροφορίες σχετικά με την ενεργειακή τους χρήση και κυρίως νέες μορφές τιμολόγησης. Έτσι, οι καταναλωτές καθίστανται ενεργοί συμμετέχοντες στην παραγωγή και την κατανάλωση ηλεκτρισμού προσαρμόζοντας την ενεργειακή τους χρήση με βάση τις ειδικές ανάγκες και προτιμήσεις και την τιμή.

Το ευφυές δίκτυο είναι ασφαλές. Παρέχει ανθεκτικότητα σε επιθέσεις και φυσικές καταστροφές. Ο όρος ανθεκτικότητα αναφέρεται στην ικανότητα του συστήματος να αντιδρά σε μη αναμενόμενα περιστατικά απομονώνοντας προβληματικά στοιχεία, ενώ το υπόλοιπο σύστημα επανέρχεται στην κανονική λειτουργία. Η αποκεντρωμένη παραγωγή και τα πρωτόκολλα ασφαλείας παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενίσχυση της ασφάλειας περιορίζοντας τις διακοπές των υπηρεσιών και επιτρέποντας στους παρόχους να διαχειριστούν καλύτερα τις υποδομές,

Το ευφυές δίκτυο είναι καθαρό. Επιβραδύνει την επέλευση της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής προσφέροντας διέξοδο προς τη πράσινη ενέργεια. Η ενίσχυση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών, η καθιέρωση των ηλεκτρικών οχημάτων και η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης μέσω της αμφίδρομης επικοινωνίας αποτελούν τα κύρια βήματα για την προστασία του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής έχοντας παράλληλα σημαντική οικονομική και πολιτική διάσταση.

Το ευφυές δίκτυο δημιουργεί νέες οικονομικές ευκαιρίες. Ενσωματώνει νέα προϊόντα και υπηρεσίες και ενισχύει τον ανταγωνισμό παρέχοντας τη δυνατότητα στους καταναλωτές να επιλέγουν μεταξύ ανταγωνιστικών υπηρεσιών και να συμμετέχουν ενεργά στην προσαρμογή των τιμών. Επιπλέον, τα ευφυή ηλεκτρικά δίκτυα αναμένεται να δημιουργήσουν νέες θέσεις εργασίες και να προσφέρουν πρόσθετη οικονομική ανάπτυξη κυρίως στην αγορά των ευφυών οικιακών συσκευών που προβλέπεται να αυξηθεί παγκοσμίως, και στον τομέα των επενδύσεων για την αξιοποίηση συστημάτων έξυπνης μέτρησης και την αναβάθμιση του υπολοίπου δικτύου.

Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του ευφυούς δικτύου θα ανακτηθούν μέσω τριών αξόνων υλοποίησης: της αμφίδρομης επικοινωνίας της ηλεκτρικής εταιρείας με τους τελικούς χρήστες, του αυτοματισμού της διανομής και των μηχανισμών μείωσης των ρύπων.

3.1 Η αμφίδρομη επικοινωνία της ηλεκτρικής εταιρείας με τους τελικούς χρήστες

A. Το πρόβλημα της εξυπηρέτησης του φορτίου αιχμής

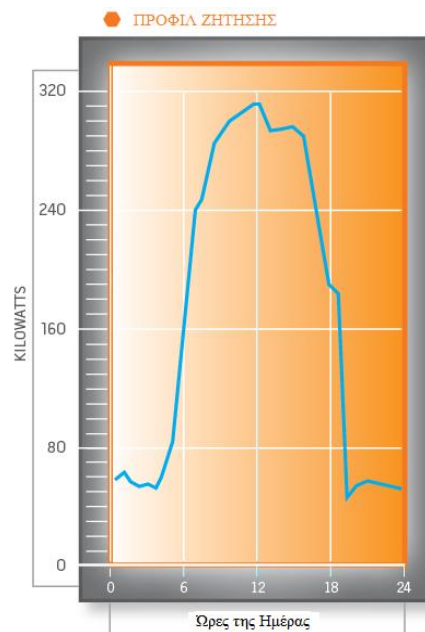
Η εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης ενέργειας συνιστά ένα από τα θεμελιώδη ζητήματα στον τομέα της ηλεκτρικής βιομηχανίας. Το ηλεκτρικό δίκτυο χωρίς την ικανότητα να διαπιστώνει αλλά και να προβλέπει εκ των προτέρων τη ζήτηση κάθε χρονική στιγμή, συχνά αδυνατεί να προσφέρει την απαιτούμενη ενέργεια. Έτσι, προκαλείται η κορύφωση του φορτίου που με τη σειρά της συχνά οδηγεί στη διακοπή της παροχής. Αυτό παρατηρείται κυρίως κατά τη διάρκεια περιστατικών αιχμής της ζήτησης και περιπτώσεων έκτακτης ανάγκης. Συνήθη περίπτωση αποτελούν θερινές ημέρες που εμφανίζουν υψηλές θερμοκρασίες. Τότε, πλήθος από εμπορικά και οικιακά κλιματιστικά λειτουργούν αδιάκοπα και στο ανώτατο όριο με συνέπεια η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια να φθάνει γρήγορά στην αιχμή της. Μη γνωρίζοντας πότε ακριβώς θα κορυφωθεί η ζήτηση αλλά και ποιό θα είναι το ύψος της, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας εξαναγκάζονται να αγοράσουν ενέργεια ή να προσθέσουν στο δίκτυο επιπλέον εγκαταστάσεις παραγωγής -σταθμούς αιχμής- με στόχο να εξασφαλίσουν την ικανοποίηση της αιχμής.

Ωστόσο, η λειτουργία των πρόσθετων αυτών μονάδων είναι περισσότερο ασύμφορη παρά σωτήρια δεδομένου ότι μένουν ανενεργές κατά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου. Παράλληλα, όταν η ζήτηση φθάσει στο μέγιστο και χρειαστεί να παραχθεί πολύ μεγάλη ποσότητα ενέργειας αλλά στη συνέχεια, διακοπεί απότομα η λειτουργία -όταν πλέον η ζήτηση είναι εμφανώς χαμηλότερη-, ο εξοπλισμός παραγωγής και διανομής ενέργειας μπορεί να καταστραφεί ή να μειωθεί η διάρκεια ζωής του. Για τους ανωτέρω λόγους το κόστος λειτουργίας και συντήρησης των σταθμών αιχμής είναι ιδιαίτερα υψηλό και ασύμφορο. Επιπλέον, το κόστος αυτό επιβαρύνεται ακόμη περισσότερο λόγω της συνεχώς αυξανόμενης τιμής των καυσίμων που καταναλώνουν. Τέλος, οι επιπλέον εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και αερίων του θερμοκηπίου εντείνουν το πρόβλημα του φορτίου αιχμής λόγω των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλούν. Φυσικά, οι καταναλωτές δεν μένουν ανεπηρέαστοι, αφού το κόστος μετακυλιέται και σε αυτούς με υψηλότερες τιμές ρεύματος κατά τις ώρες αιχμής.

Συνεπώς, το να διατηρείται το φορτίο σταθερό, δηλαδή το να μην εμφανίζει αιχμές, αποτελεί την ενδεδειγμένη λύση. Αυτό όμως δεν μπορεί να επιτευχθεί εύκολα χωρίς τη συμμετοχή των καταναλωτών. Ως εκ τούτου, το ευφρές δίκτυο αποσκοπεί στην ενθάρρυνση της συμμετοχής τους μέσω της δυνατότητας αμφίδρομης επικοινωνίας. Προς τη μία κατεύθυνση -από την ηλεκτρική επιχείρηση προς στον καταναλωτή-, μέσω της συνεχούς παρακολούθησης του δικτύου, των σταθμών παραγωγής και των μεμονωμένων συσκευών το ευφρές δίκτυο παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο με βάση τις οποίες οι πελάτες διαμορφώνουν τις προτιμήσεις τους. Προς την άλλη κατεύθυνση -από στον καταναλωτή προς την ηλεκτρική επιχείρηση-, οι αποφάσεις των, υπεύθυνων πλέον ενεργειακά, χρηστών αξιολογούνται και αναπροσαρμόζεται η ισορροπία της προσφοράς και της ζήτησης.

B. Το μοντέλο ζήτησης προσφοράς (demand response process)

Προκειμένου να επιτευχθεί ο απαιτούμενος βαθμός ευστάθειας και αξιοπιστίας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, τα φορτία αιχμής πρέπει να μειωθούν. Γενικότερα, η ζήτηση πρέπει να εξισορροπείται όχι μόνο σε καθημερινή βάση αλλά ακόμα και σε ωριαία ή λεπτό προς λεπτό. Μολονότι η διαδικασία αυτή φαίνεται αρκετά δύσκολη, η διεκπεραίωσή της διευκολύνεται ως ένα βαθμό από το ότι η διακύμανση της ζήτησης παρουσιάζει μια ομοιότητα σε ημερήσια βάση [2]. Η ζήτηση αρχίζει να αυξάνεται από τις πρώτες πρωινές ώρες οπότε οι καταναλωτές ξυπνούν και μεταβαίνουν στους εργασιακούς χώρους. Στη συνέχεια μειώνεται λίγο τις μεσημεριανές ώρες οπότε οι καταναλωτές επιστρέφουν στο σπίτι. Τέλος, ενισχύεται τις απογευματινές ώρες οπότε οι περισσότερες οικιακές συσκευές αρχίζουν να χρησιμοποιούνται.



Σχήμα 3.1 Χαρακτηριστικό προφίλ ημερήσιας ζήτησης [2]

Συνεπώς, καθώς οι υψηλότερες απαιτήσεις για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζονται σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας η μεταφορά της ζήτησης σε περιόδους εκτός αιχμής αποτελεί τη μεγάλη πρόκληση που καλείται να αντιμετωπίσει το ευφυές δίκτυο μέσω της ανάπτυξης ενός μοντέλου ζήτησης-προσφοράς.

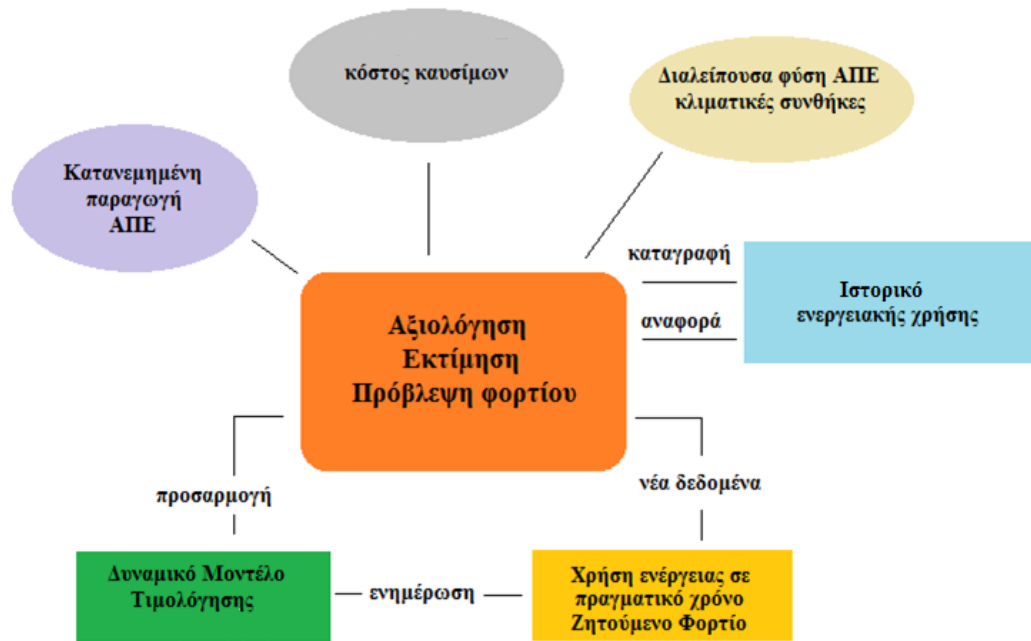
Μια αρχική προσέγγιση θα ήταν να ελέγχονται αυτόματα οι μεγάλες οικιακές συσκευές που παρουσιάζουν μακροχρόνια χρήση, όπως κλιματιστικά και θερμαντήρες, αλλά και οι μικρότερες που λειτουργούν βραχυπρόθεσμα, όπως στεγνωτήρες μαλλιών. Έτσι, κάθε φορά που η ζήτηση ενέργειας προσεγγίζει το ανώτατο όριο οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας θα κλείνουν τις τρέχουσες συσκευές που βρίσκονται σε λειτουργία για να μην υπερφορτωθεί το δίκτυο και οδηγηθεί σε διακοπή. Καίτοι, η στρατηγική αυτή μειώνει τις υπερβολικές απαιτήσεις σε ενέργεια προκαλεί δυσαρέσκεια ή απογοήτευση στους καταναλωτές. Έτσι, η ιδέα της αναγκαστικής διακοπής λειτουργίας, μολονότι προβλέπεται μόνο για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, εγκαταλείφθηκε και προωθείται ένα αποτελεσματικότερο μοντέλο διαχείρισης της ενέργειας που βασίζεται στην πολιτική πρόβλεψης του φορτίου και τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο.

Η υλοποίηση του μοντέλου αυτού επιτυγχάνεται μέσω προηγμένης μετρητικής υποδομής (advanced metering infrastructure AMI), έξυπνων μετρητών και συσκευών, καταναμημένων πόρων ενέργειας και αποθήκευσης καθώς και μονάδων ενεργειακής διαχείρισης μέσω τοπικών οικιακών δικτύων. Κατ' αυτό

τον τρόπο δίκτυο εκτός από ευφυές γίνεται και φιλικό προς το χρήστη [31-32]. Η τιμολόγηση της ενέργειας σε πραγματικό χρόνο (χρονομεταβλητή τιμολόγηση) θα γνωστοποιείται στους καταναλωτές όχι μόνο μέσω υπολογιστών αλλά και μέσω ευφυών συσκευών, όπως ευφυείς θερμοστάτες.

Διαθέτοντας το χρήσιμο αυτό εργαλείο οι καταναλωτές θα μπορούν να συμμετέχουν ενεργά λαμβάνοντας αποφάσεις σχετικές με την ενεργειακή τους κατανάλωση βασιζόμενοι όχι μόνο σε τρέχουσες τιμές αλλά και στις αναμενόμενες τιμές μέσω της πρόβλεψης του φορτίου. Επιπλέον, θα υπάρχει διαδραστική επικοινωνία μέσω παροχής ενεργειακών συμβουλών σχετικών με τιμές αλλά και με περιβαλλοντικά θέματα. Με βάση την κατανάλωση κάθε χρήστη και τον τρόπο που αντιδρά στην τιμολόγηση θα δημιουργείται ένα ατομικό προφίλ προτίμησης, το οποίο θα συμμετέχει στη διαδικασία αξιολόγησης και θα αποθηκεύεται ως σημείο αναφοράς. Εκτός από το ιστορικό ενεργειακής χρήσης, το ζητούμενο φορτίο σε πραγματικό χρόνο και την αντίδραση στην τιμολόγηση η πρόβλεψη του φορτίου λαμβάνει υπόψη και παράγοντες αβεβαιότητας που περιγράφουν την ανθρώπινη συμπεριφορά προσδίδοντας στο μοντέλο ακρίβεια και βιωσιμότητα. Τέλος, για την αξιολόγηση των τιμών και του φορτίου σημαντικό ρόλο παίζουν η διαθεσιμότητα κατανεμημένης παραγωγής, το κόστος των καυσίμων καθώς και η πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών και η διακοπτόμενη φύση των ανανεώσιμων πηγών.

Είναι λοιπόν σαφές ότι πρόκειται για ένα σύστημα ανάδρασης πολλαπλών παραγόντων που συντελεί στην επίτευξη μικρότερων μεταβολών στην κατανάλωση ενέργειας, στο πλαίσιο της ατομικής εγκατάστασης κάθε καταναλωτή αλλά επιτυγχάνει και να εξισορροπεί το σύστημα στο σύνολό του [8]. Έτσι, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας θα αποφεύγουν να αγοράζουν ή να παράγουν περισσότερη ενέργεια κατά τις ώρες αιχμής, θα μπορούν να διαχειρίζονται τα φορτία μακροπρόθεσμα και να καθοδηγούν τους καταναλωτές καθιστώντας τους ενεργειακά υπεύθυνους.



Σχήμα 3.2 Μοντέλο ζήτησης προσφοράς [8]

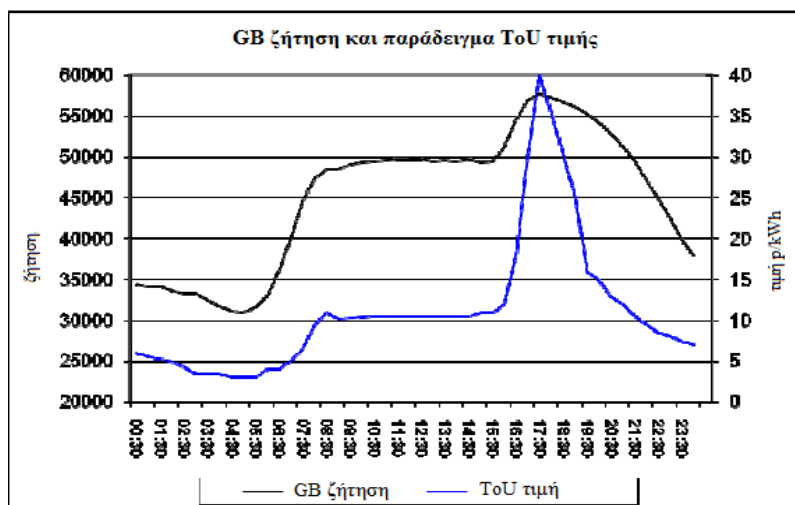
Οι δυνατότητες αυτές αλλάζουν ριζικά το τοπίο της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς σήμερα τόσο οι απλοί καταναλωτές όσο και οι επιχειρήσεις σχεδόν παντού στον πλανήτη δεν έχουν την παραμικρή ιδέα για το πόση ενέργεια χρησιμοποιούν μέχρι να λάβουν τον λογαριασμό. Φυσικά, δεν γνωρίζουν ποιο ποσοστό από την ενέργεια που κατανάλωσαν έχει παραχθεί από λιγνιτικό σταθμό ή αιολικό πάρκο, από φυσικό αέριο ή πετρέλαιο. Στην περίπτωση διακοπής της παροχής ρεύματος ο πελάτης είναι εκείνος που κατά κανόνα ειδοποιεί την εταιρεία, η οποία, στη συνέχεια, αποστέλλει συνεργεία για να εντοπίσουν το πρόβλημα και να το διορθώσουν. Δηλαδή χάνεται χρόνος και χρήμα, καθώς όπως σημειώνουν οι ειδικοί, καμία άλλη βιομηχανία δεν χαρακτηρίζεται από τόσο μεγάλη αδιαφάνεια στα στοιχεία της όσο αυτή του ηλεκτρισμού.

Γ. Ο ευφυής καταναλωτής

i. Τροποποίηση της ενεργειακής χρήσης

Λαμβάνοντας ως δεδομένο το προφίλ ζήτησης μιας εργάσιμης ημέρας στη Μεγάλη Βρετανία και ένα πιθανό σενάριο τιμολόγησης, καταδεικνύεται η

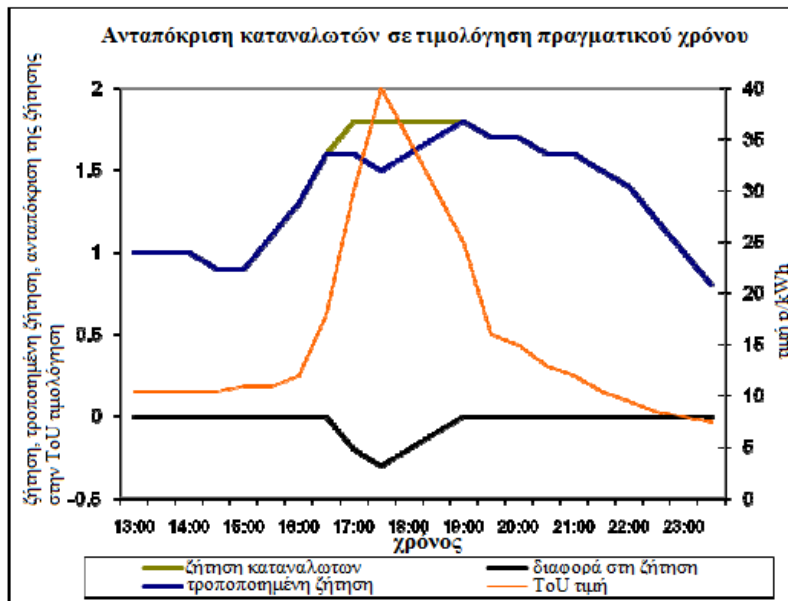
συμπεριφορά-αντίδραση των καταναλωτών στο μοντέλο ζήτησης-προσφοράς [11].



Σχήμα 3.3 Ημερήσια ζήτηση Μεγάλης Βρετανίας-παράδειγμα Time of Use τιμής

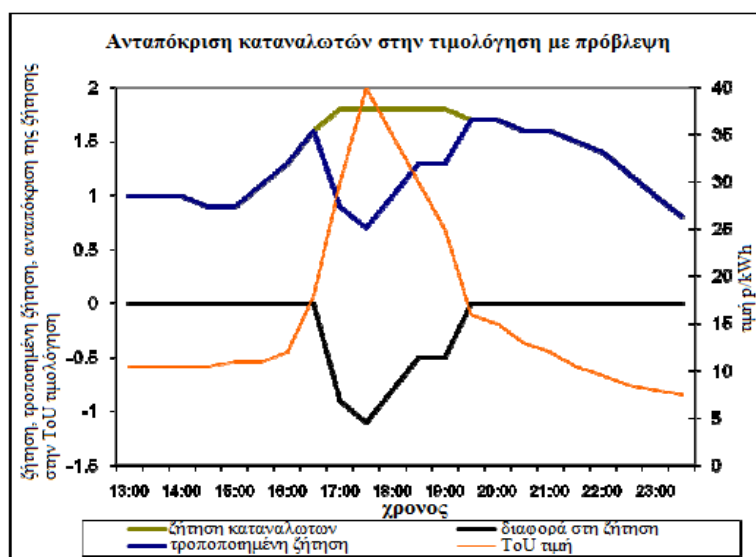
Έως τις 3 το μεσημέρι η τιμή του ρεύματος θεωρείται χαμηλή (11p/kWh). Στις επόμενες ώρες αυξάνεται σταδιακά 11-11-12-18p/kWh (15:00 15:30 16:00 16:30). Οι καταναλωτές ερωτώνται σχετικά με τις δραστηριότητες που πρόκειται να πραγματοποιήσουν τις επόμενες ώρες. Μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται μαγείρεμα, πλύσιμο ρούχων, τηλεόραση, φωτισμός. Μέσω του ευφυούς δικτύου ενημερώνονται αυτόματα για τη διακύμανση της τιμής του ρεύματος. Χρησιμοποιώντας τις ενεργειακές πληροφορίες, ο πελάτης ενός τέτοιου "ευφυούς" δικτύου μπορεί να προγραμματίσει την κατανάλωση, ρυθμίζοντας για παράδειγμα το φωτισμό του καταστήματος ή τα κλιματιστικά, ώστε να σβήνουν όταν η ζήτηση είναι μεγάλη και να τίθενται σε λειτουργία όταν είναι μικρή, με προφανή οικονομικά οφέλη, αφού στις ώρες μεγάλης αιχμής το ρεύμα κοστίζει ακριβότερα. Σκοπός του πειράματος είναι να φανεί κατά πόσο οι καταναλωτές μεταβάλλουν την ενεργειακή τους συμπεριφορά περιορίζοντας κάποιες από τις προγραμματισμένες δραστηριότητές τους.

Με εφαρμογή της τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο αναμένεται μείωση της ζήτησης κατά τις ώρες αιχμής. Ωστόσο, η μείωση αυτή προβλέπεται μικρή καθώς οι καταναλωτές συνήθως δεν σταματούν τις δραστηριότητες που έχουν ήδη ξεκινήσει (Σχήμα 6).



Σχήμα 3.4 Ανταπόκριση των καταναλωτών σε τιμολόγηση πραγματικού χρόνου

Αν όμως στο μοντέλο ζήτησης προσφοράς ενσωματωθεί η δυνατότητα πρόβλεψης του ζητούμενου φορτίου, το αυτοματοποιημένο δίκτυο της οικίας όχι μόνο παρέχει τιμές του ρεύματος σε πραγματικό χρόνο αλλά και προειδοποιεί τους καταναλωτές για επερχόμενες αυξήσεις της τιμής. Η δυνατότητα πρόβλεψης και αποστολής των εκτιμώμενων τιμών έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ενεργειακή ζήτηση. Η μείωση αναμένεται να είναι μεγαλύτερη καθώς οι καταναλωτές είναι πιθανό να καθυστερήσουν την έναρξη των προγραμματισμένων δραστηριοτήτων τους (Σχήμα 7).



Σχήμα 3.5 Ανταπόκριση των καταναλωτών στην τιμολόγηση με πρόβλεψη

ii. Κατηγορίες χρονομεταβλητής τιμολόγησης

Χάρη στους ευφυείς μετρητές είναι δυνατή η ανάλογα με τη ζήτηση τιμολόγηση της κιλοβατώρας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Όταν γίνει κατανοητό ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι ακριβότερο όταν η ζήτηση είναι υψηλή, είναι αναμενόμενο να αποθαρρύνονται οι χρήστες να χρησιμοποιούν κατά τις ώρες αιχμής ηλεκτροβόρες συσκευές, όπως π.χ. το σύνολο του φωτισμού ενός καταστήματος. Για να βελτιστοποιηθεί ακόμη περισσότερο το μοντέλο ζήτησης προσφοράς χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι χρονομεταβλητής τιμολόγησης, οι οποίες μάλιστα παρέχουν και οικονομικά κίνητρα στους καταναλωτές (π.χ. επιστροφή χρημάτων στον επόμενο λογαριασμό αν μειωθεί η κατανάλωσή του κατά τη διάρκεια του μεσημεριού) έτσι ώστε η χρήση του ρεύματος στις ώρες αιχμής να μειωθεί κατά μεγαλύτερο ποσοστό [12].

a. TOU: Time of Use pricing

- Οι καταναλωτές πληρώνουν διαφορετικές τιμές ΗΕ σε διαφορετικές χρονικές στιγμές της ημέρας
- Το πρόγραμμα της τιμολόγησης έχει κοινοποιηθεί και προαποφασιστεί σύμφωνα με την εποχή, την ημέρα και τη χρονική στιγμή της ημέρας
- Οι τιμές αιχμής (on peak prices) είναι υψηλότερες και οι τιμές εκτός αιχμής (off peak prices) χαμηλότερες από μία τυπική τιμή (standard rate)

b. CPP: Critical Peak Pricing

- Ορίζονται δύο επίπεδα τιμών (κρίσιμες τιμές αιχμής και τιμές για όλες τις υπόλοιπες ώρες εκτός αιχμής)
- Πολύ υψηλές κρίσιμες τιμές αιχμής (critical peak prices) αξιολογούνται και αντιστοιχίζονται σε συγκεκριμένες ώρες αλλά και συγκεκριμένες ημέρες (critical peak event). Πρόκειται συνήθως για 10 έως 15 ημέρες το χρόνο, κυρίως το καλοκαίρι όταν η ζήτηση φθάνει στα υψηλότερα επίπεδα
- Οι κρίσιμες τιμές μπορεί να είναι 3 έως 4 φορές υψηλότερες σε σχέση με τις εκτός αιχμής τιμές
- Μπορεί να συνδυαστεί με την TOU τιμολόγηση

c. PTR: Peak Time Rebate ή CPR: Critical Time Rebate

- CPP τιμολόγηση σε συνδυασμό με έκπτωση
- Ορίζονται τρία επίπεδα τιμών υψηλή, χαμηλή και τιμή βάσης
- Κατά τη διάρκεια αιχμής τίθεται μια βασική κατανάλωση ενέργειας - στην οποία αντιστοιχεί η τιμή βάσης-. Αν ο πελάτης μειώσει τη ζήτησή ενέργειας κατά τη διάρκεια αιχμής κάτω από αυτή την βασική κατανάλωση κερδίζει έκπτωση στο λογαριασμό του.
- Η τιμή βάσης καθορίζεται από τον οργανισμό που εφαρμόζει το πρόγραμμα (π.χ. η τιμή βάσης για μία κρίσιμη ημέρα-event day-προκύπτει από το μέσο όρο της ζήτησης τις προηγούμενες μη κρίσιμες ημέρες)
- Ο πελάτης δεν υφίσταται κάποια ποινή αν δε μειώσει το φορτίο του

d. HP: Hourly Pricing

- Οι τιμές του ηλεκτρισμού μεταβάλλονται ανά ώρα σύμφωνα με τις αγορές (χονδρική, λιανική)
- Οι καταναλωτές ενημερώνονται μία ημέρα νωρίτερα σύμφωνα με τις προβλέψεις για τις τιμές
- Η μεταβολή οφείλεται στη διαρκή αλλαγή των συνθηκών παροχής και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας
- Εμπεριέχει μεγαλύτερο ρίσκο λόγω της αστάθειας των αγορών (χονδρικής, λιανικής αγοράς ρεύματος, αγοράς καυσίμων)
- Απότομη αύξηση στις τιμές μπορεί να προκληθεί και από ένα σφάλμα στον εξοπλισμό παραγωγής, διανομής, και μεταφοράς

Πρέπει να σημειωθεί ότι η διακύμανση της τιμής του ρεύματος προκύπτει από προβλέψεις σχετικά με τη θερμοκρασία, την αγορά ρεύματος σε επίπεδο χονδρικής και λιανικής, το κόστος των καυσίμων, τις συνθήκες έκτακτης ανάγκης τροφοδοσίας του συστήματος κ.λπ.

iii. Ανταπόκριση των καταναλωτών στη χρονομεταβλητή τιμολόγηση

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από την ενεργειακή επιχείρηση PESCO Power Cents στην περιοχή Columbia των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής έγινε προσπάθεια να εκτιμηθεί η ανταπόκριση των καταναλωτών σε διαφορετικές προσεγγίσεις χρονομεταβλητής τιμολόγησης στο πλαίσιο ενός ευφυούς δικτύου [13]. Η περίοδος εφαρμογής της έρευνας καλύπτει το καλοκαίρι 2008 έως 2009 και το χειμώνα 2008 έως 2009. Σε κάθε καταναλωτή τοποθετήθηκε ευφυής μετρητής για την καταγραφή της ενεργειακής ζήτησης ανά ώρα. Επιπλέον, σε κάθε καταναλωτή με κεντρική θέρμανση-κλιματισμό τοποθετήθηκε επιπλέον ένας ευφυής θερμοστάτης που αυτόματα μειώνει την ενεργειακή κατανάλωση (για θέρμανση ή ψύξη) όταν η τιμή του ρεύματος είναι υψηλή. Το κόστος του εξοπλισμού ανήλθε συνολικά σε 2 εκατομμύρια δολάρια. Η συλλογή των δεδομένων είχε διάρκεια από την άνοιξη του 2008 έως το καλοκαίρι του 2010.

Οι κατηγορίες τιμολόγησης που εφαρμόστηκαν περιλαμβάνουν CPP και CPR με critical peak event που διαρκεί 4 ώρες, 15 ημέρες το χρόνο και προβλέπεται με βάση τις μετεωρολογικές συνθήκες. Συγκεκριμένα, αναφέρεται σε τρεις ημέρες το χειμώνα με ώρες 06:00-08:00 και 18:00-20:00, και 12 ημέρες το καλοκαίρι με αντίστοιχες ώρες 14:00-18:00. Οι καταναλωτές ενημερώνονται μέσω τηλεφώνου, email ή μηνύματος ένα απόγευμα πριν συμβεί το critical peak event, για παράδειγμα, όταν προβλέπεται υψηλή θερμοκρασία το καλοκαίρι και χαμηλή το χειμώνα για την επόμενη ημέρα. Οι 900 συμμετέχοντες που επιλέχθηκαν τυχαία προέρχονται από αστική περιοχή, ενώ μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται και κάτοικοι χαμηλού εισοδήματος. Επιπλέον, 400 μετρητές τοποθετήθηκαν σε τυχαία επιλεγόμενους καταναλωτές που δεν συμμετείχαν στο πρόγραμμα ώστε να αποτελέσουν την ομάδα αναφοράς για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Για την αποφυγή παρεμβολών με ανταγωνίστριες εταιρείες λιανικής παροχής ηλεκτρισμού επιλέχθηκαν οι καταναλωτές με τιμές που καθορίζονται από τον ενεργειακό οργανισμό προτυποποίησης Standard Offer Service. Συγκεκριμένα, οι τιμές που κατέβαλλαν οι καταναλωτές της ομάδας αναφοράς προέκυψαν από την ενεργειακή τους κατανάλωση και την κατηγορία στην οποία ανήκουν. Ενδεικτικά για το καλοκαίρι του 2008 οι καταναλωτές αναφοράς διακρίθηκαν σε 4 ομάδες:

- ✓ R: αντιστοιχεί στους περισσότερους αστικούς καταναλωτές
- ✓ AE: αντιστοιχεί στους αστικούς καταναλωτές που διαθέτουν κεντρικό κλιματισμό

- ✓ RAD: αντιστοιχεί στους καταναλωτές με χαμηλό εισόδημα
- ✓ RAD-AE: αντιστοιχεί στους καταναλωτές με χαμηλό εισόδημα που διαθέτουν κεντρικό κλιματισμό

Αν η ημερήσια κατανάλωση των καταναλωτών αναφοράς κυμανθεί από 0 έως 400 κιλοβατώρες η τιμή της ενέργειας παραμένει σταθερή, ενώ η μεγαλύτερη ζήτηση συνεπάγεται αύξηση της τιμής.

| Κατηγορία καταναλωτή | Κατανάλωση (kWh) | Τιμή (cents/kWh) | Κατανάλωση (kWh) | Τιμή (cents/kWh) | Κατανάλωση (kWh) | Τιμή (cents/kWh) |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| R | 0-400 | 12.9 | 401+ | 14.7 | - | - |
| AE | 0-400 | 12.8 | 401+ | 14.7 | - | - |
| RAD | 0-400 | 5.4 | 401+ | 14.8 | - | - |
| RAD-AE | 0-400 | 5.4 | 401-700 | 12.3 | 701+ | 14.6 |

Πίνακας 3.1 Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας ανά ομάδα καταναλωτών

Με την εφαρμογή του ανωτέρω μοντέλου ζήτησης-προσφοράς έγινε εξαγωγή πολύ σημαντικών συμπερασμάτων σχετικά με την ανταπόκριση των καταναλωτών:

Μείωση του μέγιστου φορτίου ανά εποχή

Με την εφαρμογή των δύο πρώτων κατηγοριών τιμολόγησης CPP και CPR όταν στάλθηκε ειδοποίηση υψηλής τιμής οι καταναλωτές μείωσαν σε μεγαλύτερο ποσοστό τη ζήτηση αιχμής το καλοκαίρι σε σχέση με το χειμώνα. Για την τρίτη κατηγορία τιμολόγησης HP παρατηρήθηκε σημαντικά μικρότερη μείωση της μέγιστης ζήτησης. Αυτό οφείλεται σε δύο σημαντικούς παράγοντες, στο ότι οι κρίσιμες τιμές δεν ήταν όσο υψηλές ήταν οι αντίστοιχες στις δύο πρώτες κατηγορίες και στο ότι μειώθηκε η μέση τιμή του ρεύματος με την πάροδο του χρόνου λόγω των συνεχών αλλαγών στις συνθήκες των αγορών.

| Κατηγορία τιμολόγησης | Μείωση του φορτίου αιχμής-καλοκαίρι | Μείωση του φορτίου αιχμής-χειμώνας |
|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| CPP | 34% | 13% |
| CPR | 13% | 5% |
| HP | 4% | 2% |

Πίνακας 3.2 Μείωση του φορτίου αιχμής ανά κατηγορία τιμολόγησης και ανά εποχή

Μείωση του μέγιστου φορτίου ανά εποχή και ομάδα καταναλωτών

Η μείωση του μέγιστου φορτίου παρουσίασε διακυμάνσεις όχι μόνο ως προς την εποχή αλλά και ως προς τις διαφορετικές ομάδες των καταναλωτών. Οι καταναλωτές χαμηλού εισοδήματος (με ή χωρίς κεντρική θέρμανση-κλιματισμό) συμμετείχαν μόνο στην κατηγορία CPR.

| Πληθυσμός | | Μείωση του φορτίου αιχμής-καλοκαίρι | | | Μείωση του φορτίου αιχμής-χειμώνας | | |
|----------------------|---------|-------------------------------------|-----|----|------------------------------------|-----|-----|
| Κατηγορία καταναλωτή | Ποσοστό | CPP | CPR | HP | CPP | CPR | HP |
| R | 73% | 34% | 13% | 3% | 12% | 7% | - |
| AE | 19% | 33% | 12% | 6% | 13% | - | 13% |
| RAD | 6% | | 5% | | | - | |
| RAD-AE | 2% | | 30% | | | - | |

Πίνακας 3.3 Μείωση του φορτίου αιχμής ανά εποχή, ομάδα καταναλωτών και κατηγορία τιμολόγησης

Συμβολή ευφυών θερμοστατών το καλοκαίρι

Οι συμμετέχοντες στους οποίους τοποθετήθηκε ευφυής θερμοστάτης είχαν το πλεονέκτημα της αυτόματης ανταπόκρισης στις υψηλές τιμές ρεύματος τους καλοκαιρινούς μήνες. Είναι εμφανής η σημασία του αυτοματισμού στο ευφυές δίκτυο, να τίθεται, δηλαδή, αυτόματα σε λειτουργία μια συσκευή όταν η τιμή της ενέργειας πέφτει κάτω από ένα επίπεδο ή να σβήνει αυτόματα ένα κλιματιστικό όταν η τιμή του ρεύματος υπερβαίνει ένα επίπεδο. Όπως ήταν αναμενόμενο, η αυτόματη ανταπόκριση αύξησε τη μείωση του μέγιστου φορτίου.

| Μείωση του φορτίου αιχμής | | | | | | |
|---------------------------|--------------------------|-----|-----|-----------------------|-----|-----|
| Κατηγορία καταναλωτή | Χωρίς ευφείς θερμοστάτες | | | Με ευφείς θερμοστάτες | | |
| | CPP | CPR | HP | CPP | CPR | HP |
| R | 29% | 11% | - | 49% | 17% | 10% |
| AE | 22% | 6% | 10% | 51% | 24% | -2% |

Πίνακας 3.4 Μείωση του φορτίου αιχμής με και χωρίς ευφείς θερμοστάτες κατηγορία τιμολόγησης και ομάδα καταναλωτών

(*το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει ότι αυξήθηκε η ζήτηση)

Επίδραση υψηλών θερμοκρασιών

Όπως είναι αναμενόμενο οι υψηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε μεγαλύτερη ζήτηση τους καλοκαιρινούς μήνες με άμεση συνέπεια την αύξηση της τιμής του ρεύματος προκειμένου να καλυφθεί η μεγάλη ζήτηση. Η κοινοποίηση της υψηλής τιμής μέσω της χρονομεταβλητής τιμολόγησης επέφερε σημαντική μείωση του φορτίου αιχμής. Όσο η θερμοκρασία αυξάνεται παρατηρείται περαιτέρω μείωση της μέγιστης ζήτησης.

| Κατηγορία τιμολόγησης | Μείωση του φορτίου αιχμής | Μείωση του φορτίου αιχμής |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Στους 85 F=29,4 C | Στους 97 F=36,1 C |
| CPP | 26% | 43% |
| CPR | 8% | 20% |
| HP | 3% | 3% |

Πίνακας 3.5 Μείωση του φορτίου αιχμής ανά κατηγορία τιμολόγησης συναρτήσει θερμοκρασίας

Επίδραση στους λογαριασμούς των καταναλωτών

Η συνολική αξιολόγηση έγινε έπειτα από 12 μήνες εφαρμογής του προγράμματος. Για τους καταναλωτές που συμμετείχαν στις κατηγορίες τιμολόγησης CPP και CPR σημειώθηκε κατά μέσο όρο εξοικονόμηση 3,44% στο λογαριασμό τους σε σχέση με τους αντίστοιχους της ομάδας αναφοράς. Για τους HP καταναλωτές η εξοικονόμηση ήταν μεγαλύτερη, γεγονός όμως που οφείλεται στο ότι οι τιμές υποχώρησαν σημαντικά λόγω της οικονομική ύφεσης το 2008.

| Κατηγορία τιμολόγησης | Μέσος λογαριασμός (δολάρια) | | Εξοικονόμηση χρημάτων(δολάρια) | Εξοικονόμηση χρημάτων(%) |
|-----------------------|-----------------------------|---------------|--------------------------------|--------------------------|
| | Ομάδα αναφοράς | Συμμετέχοντες | | |
| CPP | 101.26 | 99.7 | 1.56 | 2 |
| CPR | 99.66 | 95.07 | 4.59 | 5 |
| HP | 110.44 | 77.42 | 43.02 | 39 |

Πίνακας 3.6 Εξοικονόμηση χρημάτων ανά κατηγορία τιμολόγησης

Η ανωτέρω μελέτη φανέρωσε σημαντικά στοιχεία σχετικά με την εφαρμογή του ευφυούς δικτύου και κυρίως τη χρήση της δυναμικής τιμολόγησης. Το 93% των συμμετεχόντων προτίμησαν το πρόγραμμα της χρονομεταβλητής τιμολόγησης έναντι της παραδοσιακής. Τα βασικά κίνητρα για τη συμμετοχή υπήρξαν η εξοικονόμηση χρημάτων σε ποσοστό 73%, η μείωση εκπομπών ρύπων

σε ποσοστό 34% και το ενδιαφέρον για το ευφυές δίκτυο σε ποσοστό 33%. Το 74% των συμμετεχόντων έμεινε ευχαριστημένο με το πρόγραμμα και θα το συνιστούσε σε φίλους.

Η μέγιστη ζήτηση σημείωσε μεγαλύτερη μείωση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες κυρίως λόγω της μείωσης της χρήσης των κλιματιστικών και της λειτουργίας του ευφυούς θερμοστάτη. Το πρόγραμμα τιμολόγησης που παρουσίασε τη μεγαλύτερη επιτυχία ήταν το CPP.

3.2 Ο αυτοματισμός της διανομής

Η μείωση των φορτίων αιχμής και η αναβολή σύνδεσης πρόσθετων μονάδων παραγωγής αποτελούν στόχους ζωτικής σημασίας για τις περισσότερες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας. Το μοντέλο ζήτησης-προσφοράς (DR), το οποίο ενθαρρύνει και προσφέρει κίνητρα στους πελάτες να μειώσουν τη ζήτηση σε περιόδους αιχμής, παρέχει το πλαίσιο για την υλοποίηση αυτών των στόχων. Η αξιοποίηση ευφών συσκευών παρακολούθησης και μιας προηγμένης υποδομής μετρήσεων σε συνεργασία με τα DR προγράμματα αυξάνει δραστικά την επιτυχία αυτών των στόχων.

A. Ευφείς συσκευές

Για να προστεθεί ευφυΐα στα δίκτυα χρειάζονται ανεξάρτητοι μικροεπεξεργαστές σε κάθε συσκευή του δικτύου που θα ενσωματώνουν τρεις βασικές λειτουργίες: θα αντιλαμβάνονται ηλεκτρονικά τί ακριβώς συμβαίνει στο δίκτυο και θα πραγματοποιούν μετρήσεις, θα έχουν την ψηφιακή νοημοσύνη να λαμβάνουν αυτόνομα βασικές αποφάσεις και τέλος θα έχουν την ικανότητα να επικοινωνούν αμφίδρομα. Κατ' αυτό τον τρόπο θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας για απομακρυσμένους χειρισμούς, όπως για παράδειγμα για το κλείσιμο ενός διακόπτη, την απομόνωση μιας βλάβης, την αλλαγή τροφοδοσίας ή την απενεργοποίηση εξοπλισμού, από μεγάλες αποστάσεις. Η απομακρυσμένη παρακολούθηση των στοιχείων του δικτύου, όπως το εσωτερικό υποσταθμών, θα περιορίσει την ανάγκη αποστολής συνεργείων που ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρα και αντιοικονομική. Επιπλέον, θα επιτυγχάνεται καλύτερη και λιγότερο δαπανηρή συντήρηση του δικτύου μέσω μηνυμάτων που θα αποστέλλονται από τους μετρητές την κατάλληλη στιγμή, προλαμβάνοντας έτσι ενδεχόμενη ζημιά ή καταστροφή του εξοπλισμού.

Συνδυάζοντας τις τρεις παραπάνω λειτουργίες, οι ευφείς μετρητές γνωρίζουν ακριβώς κάθε χρονική στιγμή την ποιότητα και ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται σε κάθε σημείο του δικτύου. Σε οικιακό επίπεδο θα επικοινωνούν με ευφείς θερμοστάτες και ηλεκτρικές συσκευές, παρέχοντας σε κάθε καταναλωτή μια καθαρή εικόνα σχετικά με το πόση ενέργεια καταναλώνει.

Όταν η ζήτηση υπερβεί τη διαθεσιμότητα, αυτομάτως αποστέλλουν μήνυμα, γνωστοποιώντας στην επιχείρηση πού ακριβώς έχει συμβεί το σφάλμα και πόσοι είναι οι πελάτες που έχουν επηρεαστεί. Εκτός από τις ειδοποιήσεις τιμών οι ευφυείς μετρητές μπορούν να παρέχουν και χρονοδιαγράμματα. Δηλαδή, η επιχείρηση ενέργειας ή ο προμηθευτής έχει τη δυνατότητα να έρχεται σε συμφωνία με τον καταναλωτή, οικιακό, εμπορικό ή βιομηχανικό και να απενεργοποιεί από απόσταση ηλεκτρικές συσκευές σε προαποφασισμένα χρονικά διαστήματα και για συγκεκριμένη χρονική διάρκεια. Συνολικά 76 εκατομμύρια τέτοιοι μετρητές είναι εγκατεστημένοι σήμερα σε όλο τον κόσμο, σε κατοικίες και επιχειρήσεις, σύμφωνα με τον ξένο οίκο ABI Research, και ο αριθμός τους προβλέπεται να αυξηθεί σε 155 εκατομμύρια μέχρι το 2013. Τα σκήπτρα παγκοσμίως κρατά η Ιταλία, όπου η εταιρεία ηλεκτρισμού ENEL (αντίστοιχη της ΔΕΗ) έχει εγκαταστήσει γύρω στα 32 εκατομμύρια ευφυείς μετρητές σε πελάτες της από το 2001 μέχρι σήμερα. Σχεδόν 12 εκατ. τέτοιοι μετρητές θα εγκατασταθούν στην Καλιφόρνια στα επόμενα χρόνια, ενώ στον Καναδά, η επαρχία του Οντάριο έχει θέσει ως στόχο κάθε πελάτη της να διαθέτει έναν ευφυή μετρητή εντός του 2010 [14].

Μερικά παραδείγματα ευφύων συσκευών είναι [21]:



α)



β)



γ)

Σχήμα 3.6 α) ευφυής θερμοστάτης β) ευφυής μετρητής γ) ευφυής αισθητήρας

Ο ευφυής θερμοστάτης

Τοποθετείται στην εγκατάσταση του καταναλωτή. Στα βασικά του χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται προηγμένοι αλγόριθμοι για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών και τον ακριβή υπολογισμό της θερμοκρασίας, πολλαπλές επιλογές ελέγχου φορτίου στο πλαίσιο του μοντέλου ζήτησης προσφοράς, προφίλ ελέγχου των τιμών, χρονοδιαγράμματα, μεγάλη οθόνη γραφικών φιλική προς το χρήστη, συνδεσιμότητα με το Διαδίκτυο, μηνύματα γνωστοποίησης βλάβης.

Ο ευφυής μετρητής

Τοποθετείται στην εγκατάσταση του καταναλωτή. Στα βασικά του χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται πληροφορίες χρήσης ενέργειας, πληροφορίες χρέωσης, διατήρηση ιστορικού και διαμόρφωση προφίλ της χρήσης, δυνατότητα σύγκρισης της κατανάλωσης με την αντίστοιχη στο ιστορικό, αυτόματος έλεγχος των συσκευών, κατηγοριοποίηση της κατανάλωσης ανά συσκευή, διαχείριση συσκευών με βάση τις προτιμήσεις των καταναλωτών, εφαρμογές βοήθειας και κοινωνικών μηνυμάτων, ειδοποιήσεις-συναγερμούς, συνδεσιμότητα με το Διαδίκτυο. Οι ελάχιστες λειτουργικές απαιτήσεις των ευφών μετρητών αναλύονται διεξοδικά στην επόμενη ενότητα.

Ο ευφυής αισθητήρας

Ενημερώνει την επιχείρηση κοινής ωφέλειας σχετικά με τις συνθήκες που επικρατούν στο ηλεκτρικό δίκτυο. Στα βασικά του χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται ανίχνευση της βλάβης υπογραμμίζοντας τη θέση της διακοπής, εκτίμηση της απόστασης στην οποία έχει επεκταθεί το σφάλμα, παρακολούθηση της θερμοκρασίας, προειδοποίηση για πιθανά προβλήματα φορτίου, συνεχή μέτρηση του ρεύματος, καταγραφή της λειτουργίας της γραμμής μεταφοράς, αμφίδρομη επικοινωνία.

B. Ευφείς μετρητές

Κάθε ευφύς σύστημα μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να προσφέρει τουλάχιστον τις λειτουργίες που παρατίθενται ακολούθως [26]:

Όσον αφορά τον πελάτη:

α) Δυνατότητα ανάγνωσης μετρήσεων απευθείας από τον πελάτη και οποιοδήποτε τρίτο πρόσωπο ορίζει ο καταναλωτής. Αυτή η λειτουργία είναι απαραίτητη σε κάθε ευφύες σύστημα μέτρησης, καθώς η άμεση ενημέρωση των καταναλωτών είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της εξοικονόμησης ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης και μπορεί να πραγματοποιηθεί με την παροχή διεπαφών, οι οποίες θα καθιστούν δυνατές λύσεις διαχείρισης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, όπως οικιακό αυτοματισμό, και διάφορα συστήματα ανταπόκρισης στη ζήτηση και διευκόλυνσης της ασφαλούς παροχής των δεδομένων απευθείας στον πελάτη. Απαιτούνται ιδιαίτερος ακριβείς, φιλικές προς το χρήστη και έγκαιρες ενδείξεις μετρητών, παρεχόμενες απευθείας από διεπαφή στον πελάτη ή σε οποιοδήποτε τρίτο πρόσωπο αυτός ορίζει, επειδή οι ενδείξεις αυτές είναι το κλειδί για τη λειτουργία των υπηρεσιών ανταπόκρισης στη ζήτηση, για τη λήψη αποφάσεων για την εξοικονόμηση ενέργειας και την αποτελεσματική ενοποίηση διάσπαρτων πηγών ενέργειας. Για να τονωθεί η εξοικονόμηση ενέργειας, πρέπει επίσης να εξασφαλίζεται ότι οι τελικοί πελάτες που χρησιμοποιούν ευφυή συστήματα μέτρησης θα είναι εξοπλισμένοι με τυποποιημένη διεπαφή, η οποία να παρέχει στον καταναλωτή απεικόνιση των ατομικών δεδομένων κατανάλωσης.

β) Επικαιροποίηση των ενδείξεων μετρητών που αναφέρονται στην ανωτέρω λειτουργία αρκετά συχνά ώστε να καθίσταται δυνατή η αξιοποίηση των πληροφοριών για την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας. Η λειτουργία αυτή αφορά αποκλειστικά την πλευρά της ζήτησης, δηλαδή τον τελικό πελάτη. Προκειμένου οι καταναλωτές να βασίζονται στις πληροφορίες που παρέχονται από το σύστημα, πρέπει να γίνεται φανερό σε αυτούς ότι οι πληροφορίες ανταποκρίνονται στις ενέργειές τους. Η συχνότητα επικαιροποίησης πρέπει να είναι προσαρμοσμένη στο χρόνο απόκρισης των προϊόντων που καταναλώνουν ή παράγουν ενέργεια, συνήθως απαιτείται συχνότητα επικαιροποίησης ανά 15 λεπτά της ώρας τουλάχιστον. Επιπλέον, συνιστάται να είναι ικανό το ευφύες σύστημα μέτρησης να αποθηκεύει τα δεδομένα κατανάλωσης πελατών για εύλογο χρονικό διάστημα, ώστε να παρέχεται η δυνατότητα στον πελάτη και σε οποιοδήποτε τρίτο πρόσωπο αυτός ορίζει να συμβουλευέται και να ανακτά τα δεδομένα προγενέστερης κατανάλωσης. Κατ' αυτό τον τρόπο θα είναι δυνατός ο υπολογισμός των δαπανών που σχετίζονται με την κατανάλωση.

Όσον αφορά τον διαχειριστή της μέτρησης:

γ) Δυνατότητα του διαχειριστή ανάγνωσης των μετρητών από απόσταση. Αυτή η λειτουργία σχετίζεται με την πλευρά της προσφοράς (επιχειρήσεις μέτρησης). Επικρατεί ευρεία συναίνεση ότι πρόκειται για βασική λειτουργία.

δ) Πρόβλεψη αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ του ευφυούς συστήματος μέτρησης και εξωτερικών δικτύων για τη συντήρηση και τον έλεγχο του συστήματος μέτρησης. Αυτή η λειτουργία σχετίζεται με τη μέτρηση. Επικρατεί ευρεία συναίνεση ότι πρόκειται για βασική λειτουργία.

ε) Δυνατότητα μετρήσεων με επαρκή συχνότητα ώστε οι πληροφορίες να χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό του δικτύου. Αυτή η λειτουργία αφορά τόσο την πλευρά της ζήτησης όσο και αυτήν της προσφοράς.

Όσον αφορά τις εμπορικές πτυχές του ενεργειακού εφοδιασμού:

στ) Υποστήριξη προηγμένων συστημάτων τιμολόγησης. Αυτή η λειτουργία αφορά τόσο την πλευρά της ζήτησης όσο και της προσφοράς. Τα ευφυή συστήματα μέτρησης πρέπει να περιλαμβάνουν προηγμένη τιμολογιακή διάρθρωση, καταχωριστές ώρας χρήσης και τηλεκαθορισμό τιμολογίων. Η λειτουργία αυτή θα βοηθήσει τους καταναλωτές και τους διαχειριστές δικτύων να επιτύχουν βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και εξοικονόμηση κόστους, επειδή θα μειώσει της αιχμές ενεργειακής ζήτησης. Σε συνδυασμό με τις λειτουργίες που αναφέρονται στα στοιχεία α) και β), η λειτουργία αυτή αποτελεί μια κινητήρια δύναμη για την απόδοση αυτεξουσιότητας στον καταναλωτή και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος παροχής. Συνιστάται ιδιαίτερος να είναι ικανό το ευφύες σύστημα μέτρησης να διαβιβάζει αυτομάτως στους τελικούς πελάτες πληροφορίες σχετικά με προηγμένες τιμολογιακές επιλογές, π.χ. μέσω της τυποποιημένης διασύνδεσης που αναφέρεται στο στοιχείο α).

ζ) Δυνατότητα εκκίνησης/διακοπής της σύνδεσης και/ή της παροχής ή περιορισμού της ισχύος από απόσταση. Αυτή η λειτουργία αφορά τόσο την πλευρά της ζήτησης όσο και της προσφοράς. Παρέχει πρόσθετη προστασία στον καταναλωτή καθώς καθιστά δυνατή την κλιμάκωση των περιορισμών. Επιταχύνει τις διαδικασίες, όπως για παράδειγμα σε περίπτωση μετακόμισης όπου είναι δυνατόν να διακοπεί η παλαιά σύνδεση και να γίνει ταχέως και απλά νέα σύνδεση. Είναι λειτουργία απαραίτητη για την αντιμετώπιση καταστάσεων

τεχνικής έκτακτης ανάγκης του δικτύου. Η λειτουργία αυτή ενδέχεται, όμως, να ενέχει κινδύνους ασφαλείας, που πρέπει να ελαχιστοποιούνται.

Όσον αφορά την ασφάλεια και την προστασία δεδομένων:

η) Παροχή ασφαλών επικοινωνιών για δεδομένα. Αυτή η λειτουργία αφορά τόσο την πλευρά της ζήτησης όσο και της προσφοράς. Υψηλά επίπεδα ασφαλείας είναι απαραίτητα για όλες τις επικοινωνίες μεταξύ μετρητή και διαχειριστή. Αυτό ισχύει τόσο για την άμεση επικοινωνία με το μετρητή όσο και για τυχόν μηνύματα που ενδεχομένως διέρχονται από τον μετρητή ή κάθε είδους συσκευή ή διάταξη ρύθμισης στις εγκαταστάσεις του καταναλωτή. Για τις τοπικές επικοινωνίες εντός των εγκαταστάσεων του καταναλωτή απαιτείται η προστασία της ιδιωτικής ζωής και των δεδομένων.

θ) Πρόληψη και ανίχνευση απάτης.

Αυτή η λειτουργία σχετίζεται με την πλευρά της προσφοράς: ασφάλεια και προστασία από κακόβουλες πράξεις όσον αφορά την πρόσβαση. Είναι λειτουργία απαραίτητη για τον εντοπισμό των καταναλωτών που προχωρούν σε παράνομη ιδιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Όσον αφορά την αποκεντρωμένη ηλεκτροπαραγωγή:

ι) Δυνατότητα μέτρησης του μέρους της ενέργειας που προέρχεται από αποκεντρωμένες πηγές. Αυτή η λειτουργία αφορά τόσο την πλευρά της ζήτησης όσο και αυτή της προσφοράς. Οι περισσότερες χώρες παρέχουν τις απαραίτητες λειτουργίες για την ηλεκτροπαραγωγή από ανανεώσιμες πηγές και την τοπική ηλεκτροπαραγωγή μικρής κλίμακας, και, συνεπώς, είναι εξασφαλισμένη η μελλοντική εγκατάσταση μετρητών. Συνιστάται η λειτουργία αυτή να εγκαθίσταται με προεπιλογή και να ενεργοποιείται/απενεργοποιείται σύμφωνα με τις επιθυμίες και τις ανάγκες του καταναλωτή.

Γ. Διακοπή παροχής ενέργειας (power outages)

Οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν προσπαθήσει επί σειρά ετών να αναβαθμίσουν την τεχνολογία που χρησιμοποιούν προκειμένου να βελτιώσουν τον τρόπο που διαχειρίζονται τις διακοπές ενέργειας. Εντούτοις, τα τελευταία χρόνια οι διακοπές ρεύματος αποτελούν ένα συχνό φαινόμενο λαμβάνοντας υπόψη ότι 41% περισσότερες διακοπές σημειώθηκαν το δεύτερο μισό της

δεκαετίας του 90 σε σχέση με το πρώτο, ενώ 15% περισσότεροι καταναλωτές αντιμετώπισαν blackouts από το 1996 έως το 2000 συγκριτικά με την τετραετία 1991-1995 [6]. Είναι λοιπόν φανερό ότι η μετάβαση σε ένα ευφύες δίκτυο θα αυξήσει δραστικά τους διαθέσιμους πόρους για την ανίχνευση, την αναγνώριση και την επίλυση μιας διακοπής.

Όταν συμβεί ένα σφάλμα, για παράδειγμα ένα βραχυκύκλωμα, έχει συνήθως ως αποτέλεσμα την ταχεία εξάπλωσή του κατά μήκος των γραμμών μεταφοράς και διανομής που οδηγεί σε διακοπές ρεύματος στους τελικούς κόμβους του δικτύου, δηλαδή στις εγκαταστάσεις των καταναλωτών. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να έχει σημαντικές οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το blackout που συνέβη στις 14 Αυγούστου του 2003 στο Οντάριο του Καναδά και προκάλεσε την απώλεια 61.800 MWh ηλεκτρικού φορτίου που εξυπηρετούσε 50 εκατομμύρια ανθρώπους [15]. Η ICF Consulting υπολόγισε ότι το τελικό οικονομικό κόστος του blackout ήταν μεταξύ 7 και 10 δισεκατομμυρίων δολαρίων και περιλαμβάνει μεταξύ άλλων χρηματικές απώλειες λόγω καταστροφής τροφίμων, χαμένης παραγωγής χαμένης εργασίας και πρόσθετων υπερωριών, χαμένων εσόδων για επενδυτές, επιβάρυνσης του κυβερνητικού προϋπολογισμού για παροχή υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης, χαμηλότερες τιμές μετοχών και κονδύλια χρηματοδότησης για έργα προστασίας από μελλοντικές διακοπές.

Οι οικονομικές επιπτώσεις έγιναν αισθητές και στις δύο πλευρές των συνόρων μεταξύ ΗΠΑ και Καναδά περιλαμβάνοντας περιοχές με μεγάλα αστικά κέντρα, τα οποία είναι βαριά βιομηχανοποιημένα, καθώς και σημαντικά εμπορικά κέντρα, όπως τη Νέα Υόρκη και το Τορόντο. Το 24% των επιχειρήσεων, κυρίως αυτοκινητοβιομηχανίες, διυλιστήρια πετρελαίου και χαλυβουργίες, έχασαν πάνω από 50.000 δολάρια ανά ώρα, δηλαδή 400.000 δολάρια ανά οκτάωρο ενώ 4% των επιχειρήσεων έχασαν περισσότερο από 1 εκατ. δολάρια για κάθε ώρα διακοπής λειτουργίας.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ωστόσο, αποτέλεσαν το μεγαλύτερο κίνδυνο. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στην πετρελαιοβιομηχανία Marathon Oil ένας μηχανισμός συλλογής εκπομπών άνθρακα δεν έκλεισε σωστά λόγω του blackout με αποτέλεσμα να προκληθεί έκρηξη απελευθερώνοντας αέρια και

ατμό. Αυτό οδήγησε την αστυνομία να εκκενώσει την περιοχή ένα μίλι περιμετρικά της βιομηχανίας και να μετακινήσει τους κατοίκους.

Η παροχή ηλεκτρισμού στις περιοχές που επλήγησαν ανακτήθηκε σταδιακά με τις περισσότερες περιοχές να έχουν αποκατασταθεί πλήρως εντός 2 ημερών μολονότι ορισμένα τμήματα του Οντάριο υπέστησαν κυλιόμενα blackouts για περισσότερο από μία εβδομάδα μέχρι την πλήρη αποκατάσταση. Συνεπώς, μεγάλη σημασία έχει η ταχύτητα με την οποία ανταποκρίνεται το δίκτυο και επιδιορθώνει το πρόβλημα. Το ευφυές δίκτυο παρέχει τη δυνατότητα ταχείας αυτό-ίασης (self healing) σε δύο στάδια με χρήση προηγμένων συστημάτων μέτρησης και ελέγχου. Σε πρώτο στάδιο μέσω της συνεχούς παρακολούθησης και των διαγνωστικών τεχνολογιών συνδράμει τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να μεγιστοποιούν τη χρήση του δυναμικού τους και να μειώνουν την απροσδόκητη αποτυχία οποιασδήποτε συνιστώσας του ηλεκτρικού δικτύου. Για παράδειγμα, στην περίπτωση ενός μετασχηματιστή, τοποθετώντας ειδικούς αισθητήρες είναι δυνατόν να παρακολουθούνται και να αναφέρονται πιθανά προβλήματα στο εσωτερικό του, όπως βραχυκυκλώματα ή τοπικές υπερθερμάνσεις. Τέτοιου είδους πληροφορίες αποστέλλονται στο κέντρο ελέγχου σε πραγματικό χρόνο, αποθηκεύονται και αναλύονται με χρήση εξελιγμένου λογισμικού, συμβάλλοντας έτσι στην πρόβλεψη και αποτροπή πιθανής αποτυχίας πριν συμβεί. Τα κέντρα ελέγχου μπορούν να συλλέγουν πληροφορίες από μεγάλης έκτασης περιοχές, αποκτώντας παράλληλα ορατότητα και σε γειτονικές χώρες. Παράλληλα, το λογισμικό χρησιμοποιεί προσομοιώσεις διακοπής για περισσότερο εύστοχες προβλέψεις αστοχίας. Στη συνέχεια, αποστέλλονται προειδοποιητικά μηνύματα αποκατάστασης εξοικονομώντας έτσι πολύτιμο χρόνο και σημαντικό λειτουργικό κόστος.

Σε δεύτερο στάδιο, αν συμβεί τελικά διακοπή ρεύματος, το ευφυές δίκτυο συμβάλλει στην ταχεία ανάκτηση της λειτουργίας. Σήμερα, η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα επίπονη. Η αποκατάσταση μπορεί να απαιτήσει ώρες ή και ημέρες, όπως συνέβη στον Καναδά. Επιπλέον, μπορεί να χρειάζονται ώρες μόνο και μόνο για να εντοπιστεί η ακριβής θέση και η αιτία της διακοπής. Το ευφυές δίκτυο, αντιθέτως, με χρήση αισθητήρων και κατάλληλου συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών εντοπίζει και απομονώνει άμεσα το πρόβλημα επαναδρομολογώντας την ενέργεια. Συνθέτοντας και αναλύοντας πληροφορίες

σχετικά με το τί συνέβαινε λίγο πριν συμβεί το σφάλμα, τις οποίες λαμβάνει από μετρητικά όργανα όπως ψηφιακά ρελέ, εντοπίζει την αιτία του προβλήματος και την έκταση που αυτό έχει λάβει. Στη συνέχεια, αποστέλλει τα κατάλληλα σήματα για την διόρθωσή του και την αποκατάσταση της παροχής ενέργειας σε όσους καταναλωτές έχουν πληγεί.

Είναι φανερό, λοιπόν, ότι οι τεχνολογίες ευφυών δικτύων θα συμβάλουν στη βελτίωση της αξιοπιστίας των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας και του ηλεκτρικού δικτύου γενικότερα. Η προγνωστική δυνατότητα και οι εφαρμογές αυτοματισμού θα περιορίσουν τη συχνότητα των διακοπών και το χρόνο ανάκαμψης εξοικονομώντας τεράστια ποσά για τους οικιακούς και εμπορικούς καταναλωτές, τις βιομηχανίες και την πολιτεία. Επιπλέον, οι τεχνολογίες εντοπισμού διακοπών έχουν και σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον, όπως, για παράδειγμα, όταν γίνεται πρόληψη διαρροών πετρελαίου ή άλλων επικίνδυνων για το περιβάλλον υλικών κατά τη διάρκεια μίας αστοχίας ικανής να προκαλέσει διακοπή ρεύματος.

Δ. Η παράνομη ιδιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας

Σε παγκόσμια κλίμακα, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας αντιμετωπίζουν σημαντικές απώλειες εσόδων που οφείλονται σε μη τεχνικούς λόγους. Οι απώλειες αυτές προέρχονται κυρίως από την παράνομη ιδιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Κοινωνικοί, πολιτικοί και πολιτιστικοί λόγοι καθιστούν δύσκολη την καταπολέμηση αυτού του φαινομένου. Ωστόσο, τα προηγμένα συστήματα ελέγχου (AMI) που διαθέτει το ευφρές δίκτυο παρέχουν τα τεχνικά εργαλεία που μπορούν να το ελαχιστοποιήσουν. Η αντικατάσταση των αναλογικών μετρητών με ψηφιακά ηλεκτρονικά συστήματα προσφέρει νέες ευκαιρίες για τον εντοπισμό και την ανάλυση της ενεργειακής εκτροπής στο ηλεκτρικό δίκτυο [30].

i. Κατηγορίες

Η παράνομη ιδιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να εμφανιστεί υπό τη μορφή απάτης, κλοπής, παραποίησης των τιμολογίων και απλήρωτων λογαριασμών [16].

Απάτη

Απάτη συμβαίνει όταν ο καταναλωτής σκόπιμα προσπαθεί να παραπλανήσει την επιχείρηση ενέργειας. Μια κοινή πρακτική αποτελεί η παρέμβαση στο μετρητή ώστε να εμφανίζει μια χαμηλότερη τιμή της κατανάλωσης ενέργειας σε σχέση με την πραγματική. Αυτό μπορεί να αποτελέσει μια επικίνδυνη διαδικασία για ερασιτέχνες. Στη Μαλαισία κατά τη διάρκεια ελέγχου, ο οποίος είχε διάρκεια δύο μήνες και έλαβε χώρα σε 684 ύποπτες περιοχές της χώρας, επιβεβαιώθηκε ότι είχαν παραποιηθεί μετρητές στις 587, δηλαδή η απάτη έφτασε σε ποσοστό το 86%. Οι απώλειες μπορεί να είναι ακόμα μεγαλύτερες αν η απάτη οργανωθεί από μεγάλους οργανισμούς. Σε περιοχή της Ινδίας 22 εργοστάσια χάλυβα κατηγορήθηκαν το 1998 για μαζική παραποίηση στοιχείων σε μετρητικούς εξοπλισμούς που βρίσκονταν στις εγκαταστάσεις τους [21].

Κλοπή

Η κλοπή ηλεκτρικής ενέργειας υλοποιείται συνήθως μέσω πρόσθετων γραμμών μεταφοράς που συνδέουν παράνομα την πηγή ενέργειας με την εγκατάσταση του καταναλωτή παρακάμπτοντας το μετρητή. Στις χώρες της Νότιας Ασίας η πρακτική αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη σε πτωχές αστικές περιοχές, όπου είτε δεν υπάρχουν γραμμές μεταφοράς είτε οι κάτοικοι δεν είναι σε θέση να πληρώσουν για να συνδεθούν. Το φαινόμενο αυτό συχνά γίνεται αποδεκτό και από τους ίδιους τους διαχειριστές του ηλεκτρικού ρεύματος, όπως στις πολύ πτωχές κοινότητες του Πακιστάν.

Οι παράνομες γραμμές επηρεάζουν την ποιότητα της παροχής για τους πραγματικούς πελάτες καθώς υπερφορτώνουν το δίκτυο. Μολονότι είναι εύκολο να ανιχνευθούν, δεδομένου ότι συνήθως είναι υπέργειες και ορατές, η κλοπή συχνά δεν αναφέρεται. Αυτό οφείλεται πολλές φορές στο χρηματισμό των επιθεωρητών που επιτρέπουν έτσι τη συνέχιση της παράνομης πρακτικής.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το κόστος της δωροδοκίας είναι πολύ μικρότερο από το κόστος της ενέργειας.



Σχήμα 3.7 Νέο Δελχί 2002, ένα κουβάρι καλωδίων σε πυλώνα του ηλεκτρικού δικτύου σε πολυσύχναστο δρόμο.

Η κλοπή ενέργειας συνιστά ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της πόλης. [16]

Παραποίηση των τιμολογίων

Η παραποίηση των χρεώσεων μπορεί να συμβεί από διάφορες πηγές. Ορισμένες επιχειρήσεις ενέργειας δεν είναι σε θέση να μετρήσουν αποτελεσματικά την ποσότητα του ηλεκτρισμού που καταναλώνεται με αποτέλεσμα να δίνουν υψηλότερη ή χαμηλότερη τιμή από την πραγματική. Οι λανθασμένες μετρήσεις μπορεί να συμβούν ακούσια ή και να οργανωθούν από εργαζομένους στις ηλεκτρικές επιχειρήσεις. Η ανάγνωση χαμηλότερης κατανάλωσης από αυτήν που έχει καταγράψει ο μετρητής συνεπάγεται μικρότερο λογαριασμό για τον καταναλωτή και ένα ανεπίσημο μισθό για τον εργαζόμενο-καταμετρητή. Το προσωπικό μπορεί, έτσι, να επωφεληθεί καθώς τέτοιου είδους διαφθορά δεν είναι εύκολο να ανιχνευθεί. Στη Μαλαισία, ωστόσο, σε έλεγχο που έγινε το 1990 στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας εντοπίστηκαν 1.59 εκατ. δολάρια σε ιδιωτικούς λογαριασμούς διεφθαρμένων εργαζομένων.

Απλήρωτοι λογαριασμοί

Ορισμένα άτομα ή οργανισμοί δεν καταβάλλουν τα ποσά που οφείλουν για την ηλεκτρική ενέργεια που έχουν καταναλώσει. Η τακτική αυτή ακολουθείται κυρίως από κατοίκους αστικών περιοχών που έχουν εγκαταλείψει την πόλη που ζούσαν ή από επιχειρήσεις που έχουν δηλώσει πτώχευση. Στην Αρμενία τα επίπεδα μη πληρωμής αγγίζουν την τάξη του 80 με 90% στον οικιακό τομέα. Η πρακτική αυτή όμως είναι ευρέως διαδεδομένη και σε πλούσιους οργανισμούς ή πολιτικά ισχυρούς που γνωρίζουν ότι δεν πρόκειται να χάσουν την παροχή ενέργειας είτε πληρώσουν είτε όχι. Ο στρατός του Πακιστάν οφείλει τα μεγαλύτερα χρηματικά ποσά στον εθνικό οργανισμό ενέργειας, ενώ μόλις το 52% των κατοίκων συνολικά πληρώνουν τους λογαριασμούς τους. Στην Ινδία, οι πολιτικοί ηγέτες στην προσπάθεια να κερδίσουν την εύνοια των πολιτών προσφέρουν δωρεάν ηλεκτρικές υπηρεσίες σε μεγάλες ομάδες του πληθυσμού, όπως οι αγρότες, ζημιώνοντας έτσι τις ενεργειακές επιχειρήσεις. Η μη πληρωμή είναι ένα πρόβλημα που δεν περιορίζεται στις πτωχές περιοχές καθώς εμφανίζεται τα τελευταία χρόνια και σε αναπτυγμένες χώρες όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.

ii. Συνέπειες

Από την πλευρά των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας η παράνομη ιδιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα τεράστιες οικονομικές ζημιές. Ορισμένοι μπορεί να ισχυρίζονται ότι οι μεγάλες αυτές επιχειρήσεις οι οποίες συχνά παρέχουν «κακές» υπηρεσίες και υπερχρεώνουν πραγματοποιώντας ούτως ή άλλως μεγάλα κέρδη, δεν θα επηρεαστούν δραματικά από απάτες, κλοπές και παραποιήσεις. Ακόμα όμως και ένα μικρό ποσοστό κλοπής μπορεί να επιφέρει σημαντικές οικονομικές απώλειες, όπως στην περίπτωση του Κορεάτικου ηλεκτρικού οργανισμού, ο οποίος το 2000 λόγω κλοπής ρεύματος κατά 1% έχασε 130 εκατ. δολάρια.

Εκτός από την κερδοφορία των επιχειρήσεων, σοβαρά προβλήματα αντιμετωπίζει και η βιωσιμότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Η ζημία των επιχειρήσεων επιβαρύνει τελικά τους πραγματικούς καταναλωτές με υψηλότερες τιμές ρεύματος. Επιπλέον, δυσχεραίνεται η παροχή αξιόπιστης ενέργειας λόγω του υπερφορτωμένου δικτύου. Προκειμένου να μην φθάσει το σύστημα στα

πρόθυρα οικονομικής κατάρρευσης, είναι συχνό φαινόμενο να ζητείται βοήθεια από ομοειδείς επιχειρήσεις ξένων χωρών. Αυτές, ωστόσο, είναι απρόθυμες να συνεργαστούν καθώς αμφιβάλλουν αν θα εξοφληθούν, με αποτέλεσμα να χρειάζεται να επιδοτήσουν οι ίδιες οι κυβερνήσεις τις οφειλές. Επιπλέον, σημαντική απώλεια για το κράτος αποτελούν φυσικά και τα μειωμένα φορολογικά έσοδα από τους παράνομους πελάτες.

iii. Αντιμετώπιση

Αν η φύση και η έκταση της παράνομης χρήσης ενέργειας δεν είναι γνωστή με κάθε λεπτομέρεια, το φαινόμενο αυτό είναι δύσκολο να αντιμετωπιστεί. Κάθε προσπάθεια είναι αποσπασματική και περιορισμένη. Ως εκ τούτου, τα συστήματα ενέργειας, είτε εθνικά είτε περιφερειακά, πρέπει να αντικαταστήσουν σε όλη την έκτασή τους τη συμβατική τεχνολογία και τον παρωχημένο εξοπλισμό που διαθέτουν. Το ευφύες δίκτυο παρέχει το διαχειριστικό πλαίσιο για λεπτομερή ανάλυση της κλοπής το οποίο θα βοηθήσει τις επιχειρήσεις να καταλάβουν πού ακριβώς συμβαίνει η κλοπή και ποιοί παράγοντες την ευνοούν. Η σημαντική τεχνολογική πρόοδος στα μετρητικά συστήματα και τα ενισχυμένα μέτρα προστασίας μειώνουν την πιθανότητα αλλοίωσης των μετρήσεων, ενώ παρέχουν παράλληλα τις απαραίτητες πληροφορίες για τη σχεδίαση μιας κατάλληλης στρατηγικής για την αντιμετώπιση της κλοπής.

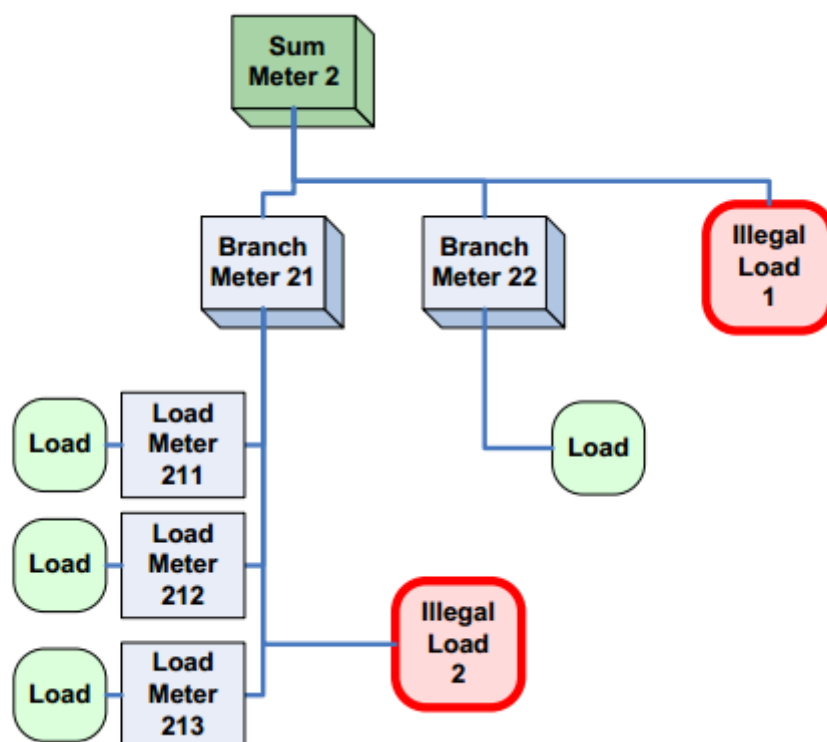
Τα προηγμένα συστήματα ελέγχου (AMI) προσφέρουν ποικιλία μεθόδων που ανιχνεύουν, εντοπίζουν, ποσοτικοποιούν και ελέγχουν την παράνομη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός από ευφείς μετρητές, οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν ευφυή προσχεδιασμένη τοπολογία των μετρητών, ανάλυση των μετρήσεων για τη διαμόρφωση του προφίλ της κλοπής και υπηρεσίες προπληρωμένης χρέωσης [17].

Οι ευφείς μετρητές έχουν ανοσία σε μεθόδους στρέβλωσης των αναγνώσεών τους, όπως την τοποθέτηση φιλμ ή τη χρήση ισχυρών μαγνητών για την αλλοίωση των μετρήσεων. Διαθέτουν ειδικό κάλυμμα εφοδιασμένο με συναγερμό που αναφέρει αμέσως το άνοιγμά τους. Χρησιμοποιούν ειδικό λογισμικό που ανιχνεύει την παράνομη καλωδίωση του μετρητή προκαλώντας παράλληλα αντίστροφη φορά του ρεύματος. Επίσης, μπορούν να εντοπίζουν τις θέσεις στις οποίες τοποθετούνται νέες-παράνομες γραμμές μεταφοράς και να

αποστέλλουν μηνύματα συναγερμού που διαβιβάζονται στο διακομιστή διαχείρισης σε πραγματικό χρόνο. Η μέτρηση των δεδομένων κατανάλωσης των πελατών γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Όταν ανακαλυφθεί παράνομη χρήση μπορεί να αποστέλλεται προσωπικό για την επιθεώρηση της εγκατάστασης του καταναλωτή. Συνεπώς είναι απαραίτητο να εντοπίζεται η ακριβής θέση της κλοπής. Για το σκοπό αυτό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο βασικές τοπολογίες των ευφών μετρητών: η ανίχνευση της χρονικά απεριόριστης κατανάλωσης και η ανίχνευση του υπερβολικού φορτίου.

Η ανίχνευση της χρονικά απεριόριστης κατανάλωσης

Η μέθοδος ανίχνευσης της χρονικά απεριόριστης κατανάλωσης περιλαμβάνει την τοποθέτηση ενός δένδρου μετρητών, ώστε ο μετρητής που βρίσκεται στην εκάστοτε ρίζα (branch meter, load meter) να μετρά την ενέργεια που καταναλώνει κάθε μεμονωμένο φορτίο (load meter) ή συνολικά τα φορτία κάτω από αυτόν (branch meter). Τοποθετώντας ένα μετρητή αθροίσματος (sum meter) στον αρχικό κόμβο-ρίζα ενός πλέγματος γνωστών φορτίων, όπως για παράδειγμα σε ένα κόμβο μιας οικιστικής περιοχής, αθροίζεται συνολικά η ενέργεια που καταναλώνεται από τα μεμονωμένα φορτία ή υποσύνολα φορτίων, όπως για παράδειγμα ένα πλέγμα υποκαταστημάτων. Το σύστημα πραγματοποιεί μία σύγκριση μεταξύ της τιμής του sum meter και του αθροίσματος των τιμών των branch, load meters. Αν η μέτρηση του sum meter είναι μεγαλύτερη αυτό αποτελεί μια ισχυρή ένδειξη ότι υπάρχει παράνομο φορτίο που καταναλώνει παράνομα επιπλέον ενέργεια.



Σχήμα 3.8 Η τοπολογία μετρητών για την εφαρμογή της ανίχνευση της χρονικά απεριόριστης κατανάλωσης [17]

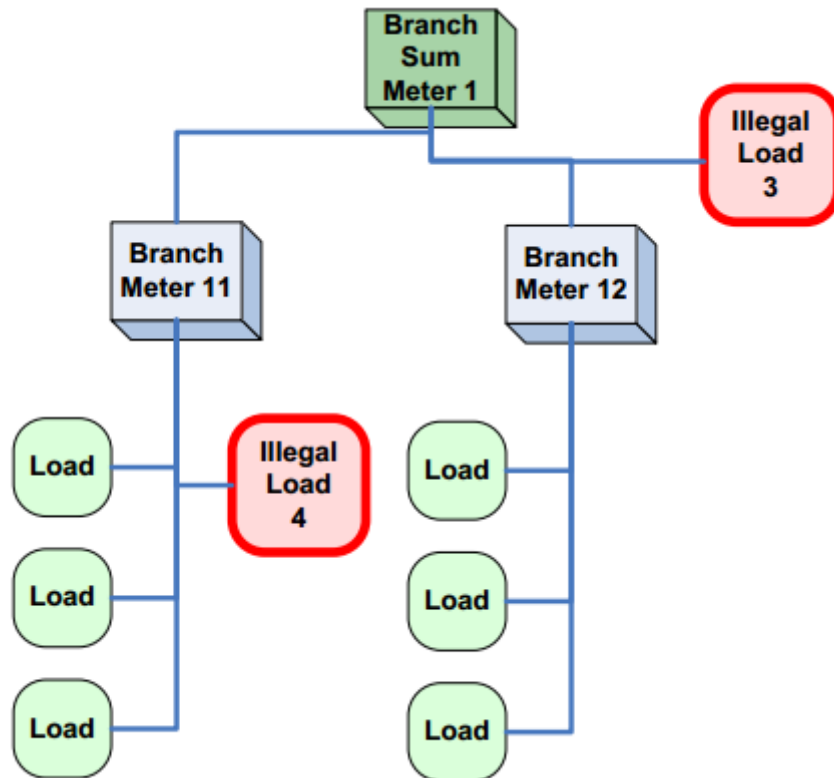
Ο μετρητής αθροίσματος 2 (sum meter 2) μετρά μεγαλύτερη κατανάλωση από τους μεταγενέστερους branch meters 21 και 22 άρα εντοπίζεται το παράνομο φορτίο 1 (illegal load 1).

Ο branch meter 21 εντοπίζει την υπερβολική κατανάλωση του παράνομου φορτίου 2 (illegal load 2) συγκρίνοντας τις δικές του μετρήσεις με τις μετρήσεις των τριών υπομετρητών που περιλαμβάνει (load meters 211,212,213).

Η ανίχνευση του υπερβολικού φορτίου

Η μέθοδος ανίχνευσης του υπερβολικού φορτίου χρησιμοποιείται στην περίπτωση όπου δεν είναι δυνατόν να εγκατασταθεί ένας ευφυής μετρητής για κάθε φορτίο, όπως στην περίπτωση του πλέγματος φωτισμού σε μία πόλη. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος χρησιμοποιείται η ικανότητα των μετρητών να αντιλαμβάνονται τότε το επίπεδο ισχύος είναι μεγαλύτερο από αυτό που έχει προγραμματιστεί εκ των προτέρων.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 12 το παράνομο φορτίο 3 ανιχνεύεται μέσω του branch sum meter 1. Ωστόσο, το παράνομο φορτίο 4 παραμένει απαρατήρητο. Για τον εντοπισμό του προγραμματίζεται η μέγιστη επιτρεπόμενη ενεργειακή κατανάλωση στον branch meter 11. Αν παρατηρηθεί μεγαλύτερη κατανάλωση αυτό καταδεικνύει την παρανομία.



Σχήμα 3.9 Η τοπολογία μετρητών για την εφαρμογή της ανίχνευσης του υπερβολικού φορτίου

Η ανάλυση των μετρήσεων για τη διαμόρφωση του προφίλ της κλοπής

Η ανάλυση των στοιχείων των μετρητών παίζει σημαντικό ρόλο για το χαρακτηρισμό μιας κατανάλωσης ενέργειας ως παράνομης. Ο διαχειριστής μπορεί να διαμορφώσει ένα προφίλ κάθε μετρητή που να περιέχει τα στατιστικά της κατανάλωσης ανά ώρα. Το προφίλ αυτό γίνεται όλο και ακριβέστερο με την πάροδο του χρόνου λόγω των πρόσθετων στοιχείων που συσσωρεύονται. Όταν η κατανάλωση ενός μετρητή κυμαίνεται σε στενό εύρος περί το προφίλ η χρήση θεωρείται κανονική. Όταν όμως δεν συνάδει με το προφίλ αποστέλλεται αμέσως ειδοποίηση. Το εργαλείο αυτό μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο όταν η κατανάλωση γίνεται ξαφνικά χαμηλότερη ή μεγαλύτερη από το συνηθισμένο. Αναλύοντας έτσι τα ωριαία προφίλ μπορεί να εκτιμηθεί κατά πόσο μια

συμπεριφορά είναι ύποπτη, ενώ η συγκέντρωση προφίλ πολλών μετρητών μπορεί να οργανωθεί σε εκθέσεις σχετικά με τη γενική κατάσταση μιας περιοχής βοηθώντας έτσι τους διαχειριστές να εντοπίσουν ευκολότερα τις απάτες.

Οι υπηρεσίες προπληρωμένης χρέωσης

Σχετικά με τους απλήρωτους λογαριασμούς που συνιστούν μια ακόμα σημαντική απώλεια για τα έσοδα των επιχειρήσεων, οι υπηρεσίες προπληρωμένης χρέωσης που προσφέρει το ευφύες δίκτυο υπόσχονται να λύσουν το πρόβλημα. Οι ευφυείς μετρητές παρέχουν διαδραστική δυνατότητα στους χρήστες να πληρώνουν την ενέργεια πριν τη χρησιμοποιήσουν. Η καταβολή του ποσού γίνεται μέσω υπολογιστή καταργώντας τα φυσικά μέσα, όπως τα χρήματα, απαλλάσσοντας έτσι τους καταναλωτές από την αποστολή λογαριασμών και την εκ των υστέρων αποπληρωμή τους όπως συμβαίνει σήμερα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής μελέτες έδειξαν ότι η μέθοδος σημείωσε εξοικονόμηση χρημάτων 4 έως 12%. Δεδομένου ότι η προπληρωμένη υπηρεσία ελέγχεται από απόσταση, είναι δυνατό να διαθέτει χαρακτηριστικά που επιτρέπουν στους πελάτες να ζητούν περιόδους χάριτος σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης περιορίζοντας έτσι και τα κοινωνικά προβλήματα που μπορεί να έχει αυτή η τεχνική.

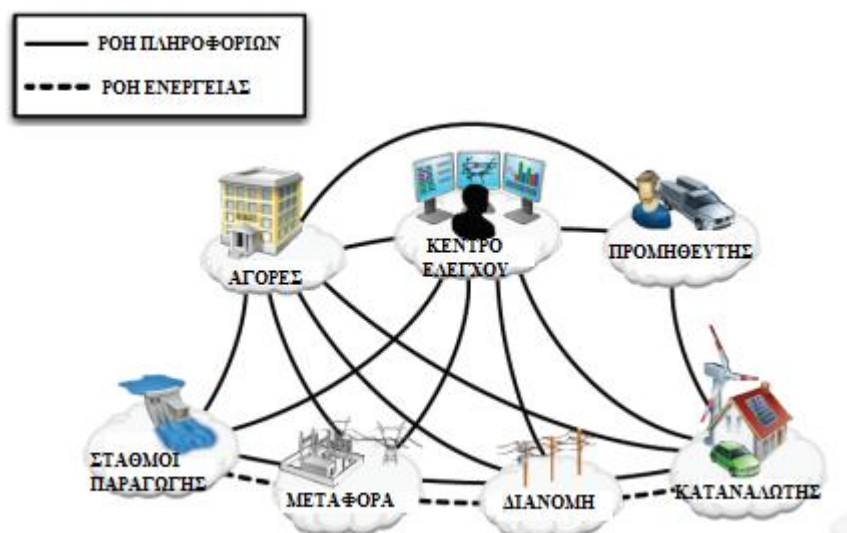
E. Η ασφάλεια

Είναι σαφές ότι η ενσωμάτωση της πληροφορίας και γενικότερα της τηλεπικοινωνιακής υποδομής στο υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο θα δημιουργήσει νέες προκλήσεις σχετικά με την ασφάλεια των δεδομένων. Ωστόσο, οι τεχνολογίες αυτές παρουσιάζουν ταυτόχρονα ευκαιρίες για την αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Το ευφύες δίκτυο μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τις δυνατότητες παρακολούθησης και ελέγχου του κυβερνοχώρου παρέχοντας έτσι ένα ασφαλές και εγγυημένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Από την άποψη των τηλεπικοινωνιών, η ασφάλεια αποτέλεσε πρωτεύον ζήτημα συζητήσεων κυρίως μετά την εμφάνιση του Διαδικτύου και των ασύρματων τεχνολογιών στα μέσα της δεκαετίας του 1990. Όταν οι τεχνολογίες

αυτές χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση του ευφυούς δικτύου δημιουργούνται κίνδυνοι όπως:

- ❖ Η μεγάλη πολυπλοκότητα που χαρακτηρίζει ευφύες δίκτυο αυξάνει την έκθεση σε πιθανούς εισβολείς και ακούσια λάθη.
- ❖ Διαφορετικά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα συνδέονται μεταξύ τους με μεγάλη συχνότητα. Αυτό εισάγει κοινά τρωτά σημεία καθώς μία αποτυχία μπορεί να επεκταθεί εύκολα. Σχήμα 13.
- ❖ Οι περισσότερες διασυνδέσεις παρουσιάζουν αυξημένες ευκαιρίες για επιθέσεις και εισβολές σε επίπεδο λογισμικού.
- ❖ Δεδομένου ότι ο αριθμός των κόμβων του δικτύου αυξάνεται συνεχώς, δημιουργούνται όλο και περισσότερα σημεία εισόδου και διαδρομές για τους πιθανούς εισβολείς.



Σχήμα 3.10 Διασύνδεση στοιχείων του ευφυούς δικτύου μέσω ασφαλούς και εγγυημένης ροής ενέργειας και πληροφοριών

Από την άποψη της ενέργειας η ασφαλής και εγγυημένη παροχή ενέργειας μπορεί να απειληθεί από:

- ❖ Εσκεμμένες επιθέσεις στον χώρο των επικοινωνιών ή φυσικές επιθέσεις επί τόπου.
- ❖ Ακούσια ανθρώπινα λάθη.
- ❖ Δυσλειτουργίες του συστήματος λόγω κακού σχεδιασμού και έλλειψης καλής συντήρησης.
- ❖ Δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

❖ Ενεργειακή εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα.

Στις πρώτες δύο περιπτώσεις μια φυσική ή τηλεπικοινωνιακή επίθεση μπορεί να παραλύσει οποιοδήποτε δομικό στοιχείο σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ισχύος και να προκαλέσει περαιτέρω βλάβες στο περιβάλλον γύρω του. Πιθανοί στόχοι μπορεί να είναι οι κεντρικοί σταθμοί παραγωγής και οι γραμμές διανομής και μεταφοράς. Η επίθεση σε αυτά μπορεί να προκαλέσει εύκολα την κατάρρευση ολόκληρου του συστήματος. Η ανθρώπινη άγνοια και απροσεξία, η εσφαλμένη χρήση λογισμικού και η καταστροφή εξοπλισμού λόγω κακής συντήρησης μπορούν επίσης να θέσουν την ασφάλεια της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε κίνδυνο κυρίως με τη μορφή διακοπών ρεύματος. Φυσικά εσκεμμένες επιθέσεις και φυσικές φθορές λόγω κλιματικών συνθηκών δεν μπορούν εύκολα να προληφθούν.

Το ευφυές δίκτυο με τα προηγμένα συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου που διαθέτει αποσκοπεί στην πρόληψη τέτοιων φαινομένων, στο βαθμό που αυτό είναι εφικτό, αλλά και στην ταχεία και αποτελεσματική διαδικασία επανεκκίνησης της λειτουργίας του δικτύου και αποκατάστασης της παροχής ενέργειας εντός ενός ανεκτού διαστήματος προκειμένου να μειωθούν και οι οικονομικές συνέπειες που προκύπτουν από μια προαναφερθείσα απειλή. Σχετικά με την ενεργειακή ασφάλεια, η πολύ μεγάλη εξάρτηση μιας χώρας από τα εισαγόμενα καύσιμα ή την εισαγόμενη ενέργεια μπορεί να θέσει το ηλεκτρικό σύστημα σε κίνδυνο. Το ευφυές δίκτυο υπόσχεται μακροπρόθεσμη ασφάλεια στην εκάστοτε χώρα μέσω της μείωσης της ζήτησης ενέργειας, της αποδοτικής αξιοποίησης των διαθέσιμων ορυκτών καυσίμων και της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

3.3 Οι μηχανισμοί για τη μείωση των ρύπων

Στο παρελθόν, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν προσπαθήσει να υλοποιήσουν διάφορες βελτιωτικές δράσεις στον τομέα της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, όπως η κατασκευή νέων υποσταθμών και γραμμών μεταφοράς, με στόχο τη διατήρηση της αξιόπιστης παροχής υπηρεσιών. Ωστόσο, αν και οι ενεργειακές απαιτήσεις αυξάνονται με ραγδαίους ρυθμούς, το ηλεκτρικό δίκτυο δεν ανταποκρίνεται στην εξέλιξη αυτή διότι εξακολουθεί να διατηρεί σε μεγάλο βαθμό τη θεμελιώδη δομή που είχε στις αρχές του 19^{ου} αιώνα χωρίς να έχουν γίνει σημαντικές επενδύσεις βελτίωσης. Στη σύγχρονη εποχή, οι ενεργειακές επιχειρήσεις έχουν επιπλέον να αντιμετωπίσουν μια νέα κοινωνική και ρυθμιστική υποχρέωση, τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα, σε μια προσπάθεια να επιβραδυνθεί η παγκόσμια κλιματική αλλαγή και οι ενδεχόμενες καταστροφικές επιπτώσεις της για την ανθρωπότητα. Παράλληλα, η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών με χαμηλές εκπομπές ρύπων, θα επιτύχει ενεργειακή ασφάλεια, υπό την έννοια της μειωμένης εξάρτησης από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

Το ευφυές ηλεκτρικό δίκτυο μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην κλιματική πολιτική κάθε χώρας παρέχοντας τη δυνατότητα μείωσης των ρύπων με έξι τουλάχιστον τρόπους: τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, την ανάπτυξη των τεχνολογιών αποθήκευσης, την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών και της αποκεντρωμένης ενέργειας, την εξυπηρέτηση των πελατών μέσω αμφίδρομης επικοινωνίας και την υιοθέτηση των υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων [9-35].

A. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης

Ενεργειακή απόδοση σημαίνει ότι «χρησιμοποιείται λιγότερη ενέργεια για να παρέχεται η ίδια υπηρεσία». Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης μπορεί να περιορίσει τους ρυθμούς αύξησης της παραγωγής ενέργειας λόγω της εντεινόμενης ζήτησης αλλά και να συνδράμει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα, οι ενεργειακές επιχειρήσεις εστιάζουν την προσοχή τους ολοένα και περισσότερο στην ενεργειακή απόδοση και τη βελτίωσή της για τους εξής κυρίως λόγους [19]:

α) Το γεγονός ότι οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας δεν μπορούν εύκολα πλέον να αποκτήσουν την έγκριση κατασκευής νέων συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής λόγω των περιορισμών σχετικά ως προς την καύση άνθρακα. Η αδυναμία να καλύψουν τις απαιτήσεις σε ενέργεια είναι πιθανό να τις οδηγήσει σε αγορά ενέργειας από γειτονικές χώρες. Η πρόσθετη δαπάνη θα αυξήσει την τιμή πώλησης της ενέργειας.

β) Η αυξανόμενη τιμή των καυσίμων. Καθώς οι περισσότερες επιχειρήσεις στηρίζονται σε εισαγωγές καυσίμων, η μη αποδοτική εκμετάλλευση τους συνεπάγεται εξάρτηση από τη μεταβλητότητα των αγορών.

γ) Η αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή. Η ενεργειακή απόδοση των ευέλικτων μονάδων επηρεάζει σημαντικά στη λειτουργία του δικτύου.

δ) Η περιβαλλοντική πολιτική. Η ενεργειακή επιχείρηση πρέπει να συμμορφώνεται με τις δεσμεύσεις της χώρας σχετικά με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η ενεργειακή απόδοση μπορεί να αποτελέσει μια από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές πτυχές των ενεργειακών επιχειρήσεων.

Η ενεργειακή απόδοση προσφέρει ένα ισχυρό και αποδοτικό εργαλείο για να επιτευχθεί ένα βιώσιμο ενεργειακό μέλλον. Οι βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση μπορούν να μειώσουν την ανάγκη για επενδύσεις σε ενεργειακές υποδομές και την επιρροή του κόστους των καυσίμων, να αυξήσουν την ανταγωνιστικότητα και να βελτιώσουν την ευημερία των καταναλωτών.

Περιβαλλοντικά οφέλη μπορούν επίσης να επιτευχθούν με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της τοπικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η ενεργειακή ασφάλεια μπορεί επίσης να επωφεληθεί από τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, λόγω μείωσης της εξάρτησης από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα. Το ευφυές δίκτυο με τις προηγμένες λειτουργίες ελέγχου και διαχείρισης της παροχής ενέργειας μπορεί να διευκολύνει την ανάπτυξη των μέτρων ενεργειακής απόδοσης. Η αξιοποίηση των ευφύων συσκευών και των τηλεπικοινωνιακών δικτύων επιτυγχάνει τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης με δύο τουλάχιστον τρόπους:

α) Η επιχείρηση κοινής ωφέλειας βελτιστοποιεί τη μεταφορά ενέργειας και μειώνει την πιθανότητα να σημειωθεί υπέρταση. Καθώς το μέγεθος της τάσης μειώνεται κατά μήκος της γραμμής τροφοδοσίας λόγω απωλειών, οι επιχειρήσεις παράγουν και διανέμουν υπερβολική ενέργεια προκειμένου να εξασφαλίσουν ότι το άκρο της γραμμής, δηλαδή ο καταναλωτής, θα λάβει την ενέργεια που απαιτεί σε ώρες αιχμής. Έτσι, όμως, τροφοδοτούν τους καταναλωτές με περισσότερη ενέργεια σε σχέση με όση πράγματι ζητούν. Η ευφυής παρακολούθηση της ζήτησης και η αυτοματοποιημένη διόρθωση της τάσης θα εξοικονομήσει ενέργεια. Η αναγνώριση των πραγματικών ενεργειακών αναγκών σημαίνει ότι θα καταναλώνονται μόνο τα απαραίτητα καύσιμα. Συνεπώς, ταυτοχρόνως αποφεύγονται και τεράστιες ποσότητες εκπομπών ρύπων. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι, αν το ηλεκτρικό δίκτυο ήταν 5% περισσότερο αποδοτικό, η εξοικονόμηση ενέργειας θα ισοδυναμούσε με κατάργηση των εκπομπών αερίων από 53 εκατομμύρια αυτοκίνητα [6].

β) Οι ευφυείς τεχνολογίες επιτρέπουν τη μείωση του μέγιστου φορτίου. Οι σταθμοί παραγωγής που χρησιμοποιούνται μόνο κατά τις περιόδους αιχμής συνιστούν μια σημαντική πηγή εκπομπών. Η στροφή σε κατανάλωση που θα βασίζεται μόνο στις μονάδες βασικού φορτίου θα συμβάλει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση των ρύπων. Η αντικατάσταση της συμβατικής τιμολόγησης με συνεχή τροφοδότηση των καταναλωτών με πληροφορίες σχετικά με την ενεργειακή τους χρήση και τις τιμές της ενέργειας είναι δυνατό να μεταβάλει ριζικά τη συμπεριφορά τους και να σταθεροποιεί το μίγμα προσφοράς και ζήτησης κατά τη διάρκεια της ημέρας.

B. Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν το μικρότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο από όλες τις πηγές ενέργειας. Αποτελούν τη λύση για την κλιματική αλλαγή παρέχοντας χαμηλών εκπομπών οξειδίων ενέργεια. Η παγκόσμια πρόκληση για την προστασία του κλίματος απαιτεί ένα ανασχεδιασμένο, ασφαλές για το περιβάλλον, ενεργειακό σύστημα που θα είναι βιώσιμο στο μέλλον. Ένα σημαντικό βήμα προς αυτήν την κατεύθυνση αποτελεί η μαζική διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Με τη διείσδυση τους, παράλληλα με τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, επιτυγχάνεται και εξοικονόμηση των εγχώριων καυσίμων και μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα. Ωστόσο, η εγκατάσταση και ενσωμάτωσή των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο συναντά πολλά εμπόδια.

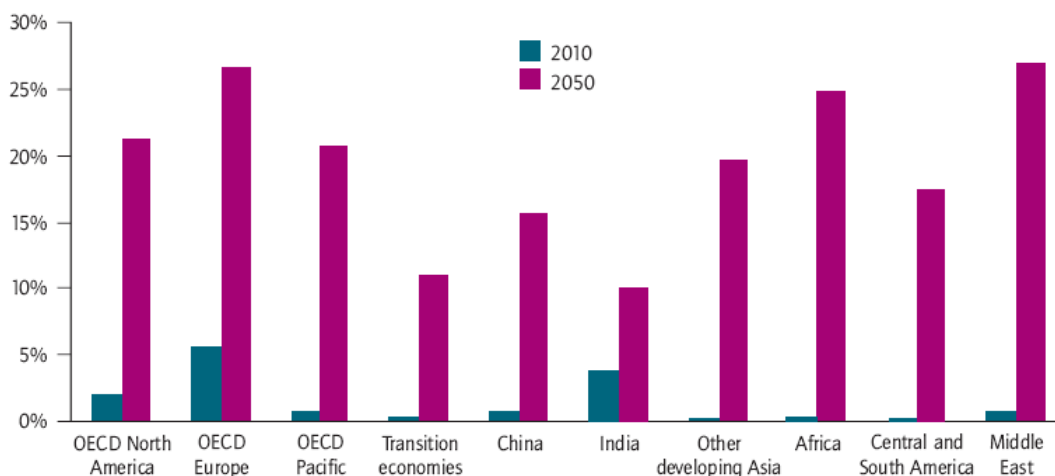
Η υψηλή διείσδυση των μονάδων ΑΠΕ επηρεάζει τη λειτουργία του υφιστάμενου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, η ανάπτυξη του οποίου βασιζόταν μέχρι και σήμερα στη συγκέντρωση της παραγωγής σε συμβατικές μονάδες μεγάλης δυναμικότητας. Για να επιτευχθεί η ομαλή ένταξη των ΑΠΕ στο συνολικό ηλεκτρικό σύστημα αυτό πρέπει να είναι επαρκώς ευέλικτο, ώστε να υποστηρίξει αποτελεσματικά και με χαμηλό κόστος τις ανάγκες αυξημένης διείσδυσης τους. Η διαλείπουσα φύση τους δημιουργεί προβλήματα ευστάθειας του συστήματος. Η ενέργεια που παράγεται από τον ήλιο ή τον άνεμο μπορεί να εμφανίζει ξαφνικές βυθίσεις με καταστροφικές συνέπειες για την αξιοπιστία του δικτύου. Συνεπώς, η χρήση τέτοιων πηγών σε ευρεία κλίμακα απαιτεί να είναι σε ετοιμότητα η ηλεκτρική εταιρεία να συμπληρώνει την παροχή ενέργειας, συχνά με ρυπογόνους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Πιθανή ανεπάρκεια ευέλικτων μονάδων στο ηλεκτρικό σύστημα, επιφέρει έτσι υψηλότερο κόστος και μεγαλύτερη μεταβλητότητα των τιμών στις αγορές χονδρικής και λιανικής. Παράλληλα, η υπερβολική παραγωγή ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές χάνεται όταν η ζήτηση είναι χαμηλή.

Το ευφυές δίκτυο καλείται να αντιμετωπίσει τα δύο αυτά ζητήματα παρακολουθώντας και ενσωματώνοντας, μέσω του προηγμένου συστήματος ελέγχου που διαθέτει, όλους τους πόρους ενέργειας προκειμένου να εξασφαλίζεται η σταθερή προμήθεια ενέργειας στον καταναλωτή. Μπορεί να βοηθήσει στην ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσω της

ρύθμισης των τιμών, της παροχής κινήτρων για να ενισχύσει τη συμμετοχή των καταναλωτών στα προγράμματα ζήτησης-προσφοράς, της κατανεμημένης παραγωγής και αποθήκευσης προκειμένου να μπορέσει να διαχειριστεί τις διακυμάνσεις της ενέργειας.

Η αυξητική διεύθυνση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξάνει την ανάγκη να υπάρχουν βοηθητικές υπηρεσίες που θα χρησιμοποιεί το σύστημα, προκειμένου να μπορεί να αντιμετωπίσει το διακοπτόμενο χαρακτήρα τους· διαφορετικά απειλείται η σταθερότητα του δικτύου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί αυτό που συνέβη στο Τέξας το Φεβρουάριο του 2008, όταν η επιχείρηση ηλεκτρισμού αναγκάστηκε να περιορίσει την παροχή ενέργειας σε πολλούς πελάτες έπειτα από ξαφνική μείωση της αιολικής παραγωγής κατά 1700 MWh. Η πτώση της παραγωγής είχε προβλεφθεί, αλλά τελικά παρατηρήθηκε αρκετές ώρες νωρίτερα. Έτσι, δεν είχαν προγραμματιστεί οι συμβατικοί σταθμοί παραγωγής να είναι σε ετοιμότητα να παράγουν ενέργεια ούτε είχαν τεθεί σε λειτουργία μηχανισμοί για να διαχειριστούν τη μετάβαση. Επιπλέον, καθώς ο Φεβρουάριος ανήκει στην εποχή φορτίων χαμηλής αιχμής, πολλοί εφεδρικοί σταθμοί δεν λειτουργούσαν λόγω προγραμματισμένης συντήρησης. Συνεπώς, προκειμένου να αποτραπεί πιθανή διακοπή, κλήθηκαν μεγάλοι βιομηχανικοί πελάτες να περιορίσουν το φορτίο τους μέχρι οι ηλεκτροπαραγωγές μονάδες να είναι σε θέση να συνδεθούν.

Το ευφυές δίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίζει απρόβλεπτα γεγονότα εκτιμώντας κάθε στιγμή ποιό είναι το ποσοστό της παραγωγής που προέρχεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και πώς θα μεταβληθεί σύμφωνα με μοντέλα πρόβλεψης. Πρέπει, ωστόσο, να είναι σε ετοιμότητα να διαχειριστεί λανθασμένες προβλέψεις εξασφαλίζοντας πρόσθετη παραγωγική ικανότητα από κατανεμημένη παραγωγή και αποθηκευτικές μονάδες. Διαθέτοντας μηχανισμούς όπως προηγμένα συστήματα ελέγχου (wide area monitoring) και δυναμική αξιολόγηση της παραγωγικής ικανότητας (dynamic capability rating) μπορεί να αναμορφώνει το δίκτυο σε πραγματικό χρόνο και να διατηρεί την παροχή ενέργειας ιδιαίτερα σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.



Σχήμα 3.11 Αναμενόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Γ. Η αποθήκευση ενέργειας

Η ενέργεια που παράγεται κάθε στιγμή από τους ηλεκτρικούς σταθμούς πρέπει να είναι ίση με τη ζήτηση φορτίου. Αν παραχθεί μεγαλύτερη ποσότητα τότε θα είναι άχρηστη αφού δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ή να αποθηκευτεί. Ένα μεγάλης σημασίας πρόβλημα που παρουσιάζει η ηλεκτρική ενέργεια είναι ότι η αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων της καθίσταται δύσκολη και αντικοινωνική. Επειδή, λοιπόν, δεν μπορεί να αποθηκευτεί ηλεκτρικά, προέκυψε η ανάγκη ανάπτυξης συστημάτων μετατροπής της σε μορφές που μπορούν να αποθηκευτούν ευκολότερα. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι μπορεί να μετατραπεί αποδοτικά σε άλλη μορφή, η οποία μπορεί με τη σειρά της να αποθηκευτεί ευκολότερα. Έτσι, μπορεί να αποθηκευτεί ηλεκτρομαγνητικά, ηλεκτροχημικά και υπό μορφή κινητικής ή δυναμικής ενέργειας. Διατάξεις αποθήκευσης μπορεί να είναι πυκνωτές, υπεραγωγία πηνία, μπαταρίες, μονάδες άντλησης νερού (αντλησιοταμίευση- αντλείται νερό ανηφορικά σε δεξαμενές κατά τις ώρες μη αιχμής και απελευθερώνεται και τη διάρκεια της υψηλής ζήτησης) και συμπίεσης αέρα (συμπιέζεται αέρας κατά τις ώρες μη αιχμής και αποσυμπιέζεται κινώντας ένα αεριοστρόβιλο κατά τη διάρκεια της ζήτησης).

Οι χρονικοί ορίζοντες χρήσης των αποθηκευτικών μονάδων χωρίζουν τις διατάξεις αποθήκευσης σε:

α) Διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης: Πρόκειται για διατάξεις αποθήκευσης που μπορούν να προσφέρουν ή να απορροφήσουν ενέργεια για πολύ μικρό χρονικό διάστημα (λίγα δευτερόλεπτα έως μερικά λεπτά). Τυπικές εφαρμογές αυτού του είδους είναι η αδιάλειπτη παροχή ισχύος, ιδίως σε περιπτώσεις στιγμιαίων διακοπών, και η ευστάθεια λειτουργίας ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

β) Διατάξεις μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης: Αφορά διατάξεις που χρησιμοποιούνται με χρονικό ορίζοντα που κυμαίνεται από μερικά λεπτά έως μερικές ώρες. Τέτοιου είδους εφαρμογές είναι η εκμετάλλευση ενέργειας από ΑΠΕ που διαφορετικά θα χανόταν, η ενίσχυση της εφεδρείας σε έκτακτες περιπτώσεις, όπως διακοπές ρεύματος, και η αδιάλειπτη παροχή ισχύος στους καταναλωτές.

γ) Διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης: Αφορά διατάξεις με διάρκεια αποθήκευσης που κυμαίνεται από αρκετές ώρες μέχρι εβδομάδα και μήνα. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την εξομάλυνση της ζήτησης μεταξύ ωρών αιχμής και μη αιχμής ή την ικανοποίηση ζήτησης αιχμής έχοντας αποθηκεύσει ενέργεια σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Μπορούν επίσης να ενισχύσουν το δίκτυο σε περιπτώσεις εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος ή ευρείας κλίμακας blackouts.

Λόγω της μεγάλης σημασίας που προσφέρει η δυνατότητα αποθήκευσης της ενέργειας για την ασφαλή και συνεχή παροχή της, η αποθήκευση ηλεκτρισμού μπορεί να αποφέρει σημαντικά οφέλη στην οικονομική, περιβαλλοντική και αξιόπιστη λειτουργία του δικτύου. Οι δύο βασικοί λόγοι που επιβάλλουν την ανάπτυξη και εφαρμογή μεθόδων αποθήκευσης είναι:

Η οικονομική-περιβαλλοντική λειτουργία του δικτύου

Η απότομη διακύμανση της ζήτησης κατά τις ώρες αιχμής στη διάρκεια μιας ημέρας μπορεί να καλυφθεί από την αποθηκευμένη ενέργεια ενός σταθμού παραγωγής χωρίς να χρειάζεται να ενεργοποιηθεί κάποιος σταθμός αιχμής. Έτσι αποφεύγεται όχι μόνο η δαπανηρή λειτουργία και συντήρηση του τελευταίου, αλλά κυρίως οι πρόσθετες ποσότητες ρύπων.

Η προώθηση της καθαρής ενέργειας

Η παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές δεν συμπίπτει χρονικά με την υψηλή ζήτηση από την πλευρά των καταναλωτών. Άρα, η παραγωγή από ΑΠΕ μπορεί να αποθηκεύεται και να χρησιμοποιείται όταν η ζήτηση είναι μεγάλη. Επιπλέον, αντιμετωπίζεται η διαλείπουσα φύση της ανανεώσιμης ενέργειας. Όταν συμβαίνει απότομη βύθιση της παραγόμενης ενέργειας η ανάγκη για εφοδιασμό καλύπτεται από τις μονάδες αποθήκευσης.

Η ανάπτυξη ενός ευφυούς και ευέλικτου συστήματος ελέγχου μπορεί να μοντελοποιεί τη λειτουργία αυτών των διατάξεων και να βελτιστοποιεί τη χρήση τους. Σε κατασκευαστικό επίπεδο, παρακολουθώντας και ελέγχοντας τις αποθηκευτικές εγκαταστάσεις μπορεί να μειώνει τις ενεργειακές απώλειες κατά τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε κάποια άλλη μορφή, να βελτιώνει την απόδοση της διαδικασίας αποθήκευσης και επανεισαγωγής της ενέργειας στο δίκτυο, να δημιουργεί μοντέλα πρόβλεψης της διάρκειας ζωής τους, να κατανοεί τους μηχανισμούς γήρανσής τους και να μειώνει τα κόστη συντήρησης. Σε επίπεδο ένταξης στο δίκτυο, να βελτιστοποιεί τη διαχείριση των διατάξεων αυτών μέσω της συνεργασίας τους με τις μονάδες ανανεώσιμων πηγών, σχηματίζοντας υβριδικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες περιοχές του δικτύου, να δημιουργεί μοντέλα πρόβλεψης της ζήτησης φορτίου και να ενσωματώνει με συστηματικό τρόπο τις μονάδες αποθήκευσης όταν είναι αναγκαία η εξομάλυνση της αιχμής και η αδιάλειπτη παροχή ισχύος.

Συνεπώς, το ευφρές δίκτυο αναμένεται να επιτρέψει την ολοένα και μεγαλύτερη διείσδυση των συστημάτων αποθήκευσης συμβάλλοντας στην σύγκλιση παραγωγής και κατανάλωσης, στην καλύτερη διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας, αφού θα περιορίζεται η πιθανότητα ανεπάρκειας ενέργειας τη στιγμή που θα ζητηθεί, στη δημιουργία μακροπρόθεσμων σχεδίων ενεργειακής διαχείρισης, στην αναβολή ενσωμάτωσης ή κατασκευής νέων σταθμών αιχμής και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Α. Η διασπαρμένη παραγωγή

Η ανάγκη για μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα στο πεδίο της παραγωγής ηλεκτρισμού, οι τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις στην περιοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η αναδιάρθρωση των ηλεκτρικών

επιχειρήσεων είναι οι κύριοι παράγοντες που προκαλούν για το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρήση της διασπαρμένης παραγωγής.

Η διασπαρμένη παραγωγή ορίζεται ως η παραγωγή ενέργειας μικρής κλίμακας, με τιμές που κατά κανόνα κυμαίνονται από 1kW μέχρι 100MW και αποστέλλει μία σχετικά νέα τάση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Διαφέρει θεμελιωδώς από το παραδοσιακό μοντέλο του συστήματος ενέργειας που αποτελείται από μεγάλους σταθμούς ισχύος που παράγουν ενέργεια κεντρικά ελεγχόμενη. Πρόκειται ουσιαστικά για μικρές μονάδες παραγωγής ενέργειας (Micro grids) που εγκαθίστανται κοντά στα σημεία ζήτησης ενέργειας.

Καθώς οι πηγές ενέργειας πρόκειται να τοποθετηθούν κοντά στα σημεία κατανάλωσης, αναμένονται μεγάλα οικονομικά οφέλη. Οι απώλειες μεταφοράς και διανομής έχει αποδειχτεί ότι αποτελούν έναν σοβαρό παράγοντα αύξησης του συνολικού κόστους της ισχύος, αποτελώντας περισσότερο από το 30% αυτού [27]. Ελαχιστοποιώντας την απόσταση μεταξύ των σημείων παραγωγής και κατανάλωσης, αυτόματα μειώνονται δραστικά και οι απώλειες μεταφοράς και διανομής. Επιπλέον, μειώνεται η κατανάλωση καυσίμων στα κέντρα παραγωγής και ολόκληρο το σύστημα ισχύος μετατρέπεται σε ένα φιλικότερο προς το περιβάλλον σύστημα. Μικρά αιολικά πάρκα, φωτοβολταϊκά πάνελ σε στέγες, μικρές υδροηλεκτρικές μονάδες και μονάδες συμπαραγωγής ενέργειας και θερμότητας έχουν ανοίξει νέους δρόμους ευκαιριών για την τοπική παραγωγή ισχύος από τους ίδιους τους χρήστες της ηλεκτρικής ενέργειας. Η επέκταση των ενεργειακών επιλογών συνιστά μια υποσχόμενη εναλλακτική λύση για παραγωγή καθαρής ενέργειας απαλλαγμένης από ρύπους.

Η διασπαρμένη παραγωγή περιλαμβάνει επίσης μονάδες αποθήκευσης, συστήματα έλεγχου φορτίου, συνδέσεις με το υπάρχον δίκτυο, μετρητές και προηγμένες επαφές ηλεκτρονικών ισχύος. Με το ευφυές δίκτυο είναι δυνατόν να επιτευχθεί η αρμονική συνύπαρξη των κεντρικών σταθμών και της διασπαρμένης παραγωγής και η πλήρης αξιοποίησή των τελευταίων μέσω της αμφίδρομης ροής ενέργειας στο δίκτυο. Δηλαδή, να επιλέγεται από το ίδιο το δίκτυο, όταν αυτό είναι εφικτό, η παραγωγή ενέργειας να γίνεται από τις μονάδες διασπαρμένης παραγωγής.

Τα προηγμένα συστήματα ελέγχου του ευφυούς δικτύου παρέχουν την απαιτούμενη ευελιξία για τη διασφάλιση της λειτουργίας μιας γεννήτριας μικροπηγής ως ενιαίου συγκεντρωμένου συστήματος. Δηλαδή, επιτρέπει στο μικροδίκτυο να συνδεθεί στο κυρίως σύστημα παροχής ως ενιαία ελεγχόμενη μονάδα, η οποία ανταποκρίνεται στις τοπικές ανάγκες των πελατών με αξιοπιστία και ασφάλεια. Αποτελώντας αυτόνομες οντότητες τα μικροδίκτυα μπορούν να προσφέρουν συμπληρωματική υπηρεσία όταν διακοπεί απότομα η παραγωγή από τις ανανεώσιμες πηγές, προκληθεί συμφόρηση ή μεταβληθεί απότομα το ζητούμενο φορτίο ή σημειωθεί μια τοπική πτώση τάσης.

Στη ουσία η σύνδεση μικρής κλίμακας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προσφέρει πρόσθετα πλεονεκτήματα για τη διαχείριση της ζήτησης, τη μείωση των μέγιστων φορτίων και γενικά την αντιμετώπιση των αυξανόμενων αναγκών, συμβάλλοντας στη μείωση των ασύμφορων, οικονομικά και περιβαλλοντικά, επενδύσεων για την ενίσχυση και την επέκταση του ηλεκτρικού δικτύου.

E. Οι ευφυείς τελικοί χρήστες

Οι τελικοί χρήστες εκμεταλλευόμενοι την αμφίδρομη επικοινωνία που προσφέρει το ευφές δίκτυο μπορούν να απολαμβάνουν την άμεση ενημέρωση σχετικά με την ενεργειακή τους χρήση και συγκεκριμένα την προέλευση της ενέργειας που χρησιμοποιούν.

Το μοντέλο ζήτησης-προσφοράς συνιστά μια αποτελεσματική λύση προς μείωση των ρύπων με δύο τρόπους:

α) Με την περικοπή του φορτίου, οπότε πρόκειται για εξοικονόμηση ενέργειας.

β) Με την επιλογή διαφορετικής συσκευής από τον καταναλωτή για την απόκτηση της ίδιας υπηρεσίας (π.χ. ένα περισσότερο αποδοτικό κλιματιστικό), οπότε πρόκειται για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Εκτός από τα οικονομικά κίνητρα που ενισχύουν τις δύο αυτές συμπεριφορές των καταναλωτών, σημαντικό ρόλο μπορούν να παίξουν και βοηθητικά προγράμματα, όπως εκπαιδευτικό υλικό και διαφημιστικά μηνύματα.

Συγκεκριμένα, μπορεί να παρέχεται από τις επιχειρήσεις ένας εκπαιδευτικός οδηγός ο οποίος χωρίς πολύπλοκη τεχνική ορολογία θα συμβουλευεί το χρήστη για το πώς θα εξοικονομήσει χρήματα και ενέργεια αλλά και θα βοηθήσει, παράλληλα, το περιβάλλον.

Μέσω της αυτόματης ανταλλαγής πληροφοριών οι καταναλωτές είναι σε θέση να γνωρίζουν αν η ενέργεια που καταναλώνουν προέρχεται από τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής, από ανανεώσιμες πηγές ή από τη διασπαρμένη παραγωγή. Επιπλέον, οι ίδιοι οι καταναλωτές μπορούν να επιλέξουν, εφόσον είναι εφικτό, να καταναλώνουν ενέργεια που προέρχεται από καθαρές πηγές. Έτσι, παράλληλα με τη μείωση του μέγιστου φορτίου και την εξισορρόπηση της ζήτησης με την προσφορά, μπορεί να σημειωθεί ουσιαστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με αξιοποίηση της κατανεμημένης παραγωγής.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το ευφύες δίκτυο σε συνεργασία με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τη διασπαρμένη παραγωγή και τη συμμετοχή των καταναλωτών θα μπορούσε να μειώσει έως το 2030 τις ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 58% σε σχέση με τις αντίστοιχες εκπομπές το 2005[18].

ΣΤ. Τα ηλεκτρικά οχήματα

Η αντικατάσταση των πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων με οχήματα που αντλούν σημαντικό μέρος της ενέργειάς τους από την ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την επιβράδυνση της κλιματικής επιβάρυνσης.

Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο, το οποίο χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε επαναφορτιζόμενες συστοιχίες συσσωρευτών, συνδέεται στο δίκτυο με ειδική πρίζα. Χρησιμοποιεί ηλεκτρικούς κινητήρες αντί των μηχανών εσωτερικής καύσης. Τα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν και τα δύο (ηλεκτρικές μηχανές και βενζινοκινητήρα ή πετρελαιοκινητήρα) καλούνται υβριδικά αυτοκίνητα και συνήθως δεν θεωρούνται απολύτως καθαρά.

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν παράγουν κανενός είδους ρύπο και μπορούν έτσι να μετριάσουν την παγκόσμια υπερθέρμανση που προκαλείται από το φαινόμενο του θερμοκηπίου και, παράλληλα, να μειώσουν την εξάρτηση από το πετρέλαιο. Εκτιμάται ότι η στροφή προς την ηλεκτροκίνηση θα μπορούσε να μειώσει τις εισαγωγές πετρελαίου στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής κατά 52% ενώ για κάθε μίλι που θα διανύει το ηλεκτρικό όχημα οι εκπομπές ρύπων θα μειώνονται κατά 27% και η κατανάλωση ενέργειας κατά 30% [19].

Η εξυπηρέτηση εκατομμυρίων ηλεκτρικών ή υβριδικών οχημάτων θα απαιτήσει την αποδοτική διαχείριση που προσφέρει το ευφυές δίκτυο, ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφα κατανομημένη φόρτιση κατά τη διάρκεια της ημέρας και να αποφεύγεται η επιδείνωση των φορτίων αιχμής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της έξυπνης στρατηγικής τιμολόγησης που θα δίνει το κίνητρο στους καταναλωτές να επιλέγουν ως ώρες φόρτισης κυρίως τις νυχτερινές, που χαρακτηρίζονται συνήθως ως εκτός αιχμής.

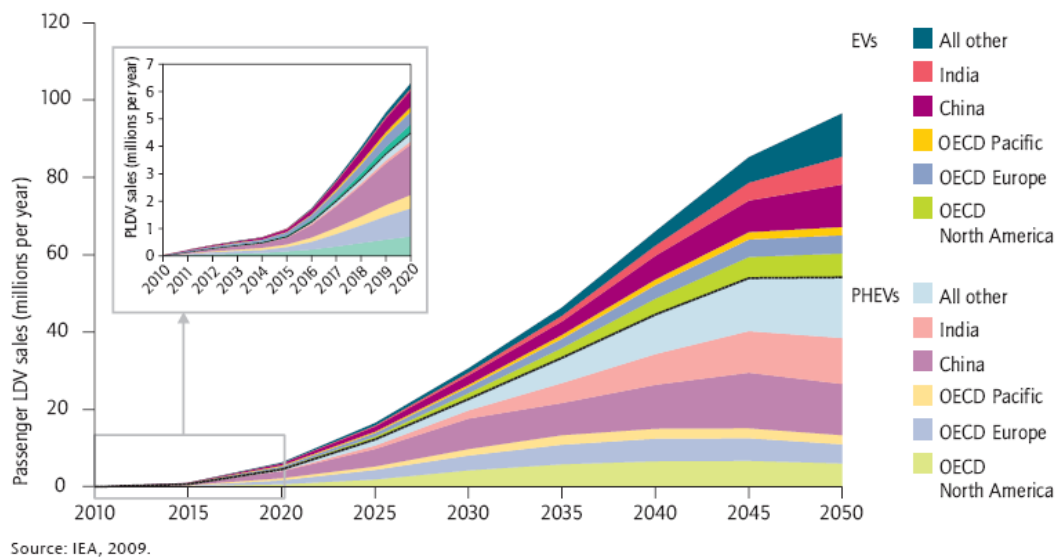
Το ευφυές δίκτυο παρέχει ακόμα τη δυνατότητα αμφίδρομης ροής της ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες θα μπορούν να φορτίζουν τα οχήματά τους τη νύχτα, όταν η ζήτηση είναι χαμηλή, να πηγαίνουν στη δουλειά και όταν τα αυτοκίνητα του είναι σταθμευμένα στο χώρο εργασίας τους όλη την ημέρα να επιστρέφουν την ενέργεια στο δίκτυο. Δηλαδή, το ηλεκτρικό αυτοκίνητο θα λειτουργεί ως μονάδα αποθήκευσης ενέργειας που μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην αντιμετώπιση της αιχμής ιδιαίτερα τις μεσημεριανές ώρες.

Από την πλευρά των καταναλωτών η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων θα μειώσει το κόστος των καυσίμων που χρειάζονται για τις μεταφορές τους, δεδομένου ότι η τιμή της μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλότερη από την αντίστοιχη τιμή ενός λίτρου καυσίμου, και διασφαλίζονται παράλληλα κέρδη από την πώληση της ενέργειας πίσω στο δίκτυο. Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι ο ιδιοκτήτης ενός τέτοιου οχήματος θα μπορούσε να εξοικονομήσει ετησίως μέχρι και 3000 δολάρια [19]. Φυσικά το εκάστοτε όφελος θα ρυθμίζεται από την επιχείρηση κοινής ωφέλειας.

Για την επίτευξη των προαναφερθέντων οφελών είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ενός ευφυούς δικτύου. Μέσω των ευφύων μετρητών θα αποστέλλονται

ενημερωτικά μηνύματα προς τους καταναλωτές που θα παρέχουν χρονοδιαγράμματα σχετικά με το πότε πρέπει να φορτίζουν τα οχήματα τους και κατάλληλα οικονομικά κίνητρα για να ενθαρρύνουν την επιστροφή ενέργειας στο δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής.

Από την πλευρά της κοινωνίας, η ανάπτυξη της αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων θα οδηγήσει σε σημαντική μείωση των εκπομπών των ρύπων. Σύμφωνα με μελέτες του οργανισμού EPRI (Electrical Power Research Institute), η εξέλιξη αυτή στο χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας μπορεί να μειώσει από 3.4 έως 10.3 δις. μετρικούς τόνους αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050 [20].



Σχήμα 3.12 Αναμενόμενη αύξηση πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων [20]

4. Μεθοδολογικό πλαίσιο για την ανάλυση κόστους-οφέλους

4.1 Εισαγωγή

A. Επισκόπηση

Στη παρούσα μελέτη παρέχεται ένα μεθοδολογικό πλαίσιο για την ανάλυση κόστους-οφέλους ως βάση για τη διεξαγωγή μιας συνεκτικής, αξιόπιστης και διαφανούς οικονομικής αξιολόγησης του μακροπρόθεσμου κόστους και των οφελών της εμπορικής εξάπλωσης των ευφυών δικτύων.

Στην ενότητα 1 αναφέρονται τα κίνητρα και ο σκοπός που οδήγησαν στην ανάπτυξη της μεθοδολογίας καθώς και παραδείγματα μελετών ευφυών δικτύων, επί των οποίων έχει βασιστεί η μεθοδολογία. Στην ενότητα 2 διασαφηνίζεται ο όρος «όφελος», διακρίνονται οι κατηγορίες του και οι δικαιούχοι που τις απολαμβάνουν. Τέλος, στην ενότητα 3 παρουσιάζονται τα στάδια εκπόνησης της ανάλυσης κόστους-οφέλους.

B. Τα κίνητρα για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας

Από το 2005 και μετά έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για την ανάπτυξη και εφαρμογή των εργαλείων που μπορούν να προσδώσουν ευφύια στο ηλεκτρικό δίκτυο. Υπό τον όρο ευφύια εννοείται η ολοκληρωμένη σειρά από τεχνολογίες, διατάξεις και συστήματα που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες ενότητες και που παρέχουν-διαχειρίζονται ψηφιακή πληροφορία με στόχο τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση της αποτελεσματικής, αξιόπιστης και ασφαλούς παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως, υπάρχει ισχυρός προβληματισμός σχετικά με το οικονομικό κόστος που συνεπάγεται η μετατροπή του ηλεκτρικού δικτύου σε ευφύες δίκτυο.

Μια σειρά μελετών έχει καταλήξει στο συμπέρασμα ότι τα οφέλη του ευφυούς δικτύου υπερβαίνουν κατά πολύ το κόστος υλοποίησης του [24]. Η συζήτηση επικεντρώνεται κυρίως γύρω από το ποιοί εμπλεκόμενοι τελικά θα επωφεληθούν και σε ποιο βαθμό. Η βελτίωση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας, η καλύτερη χρήση των υφιστάμενων περιουσιακών στοιχείων, η μείωση της εξάρτησης από την εισαγόμενη ενέργεια και η περιβαλλοντική ανακούφιση έχουν σημαντική οικονομική αξία που μπορεί να επηρεάσει και να αναδιαμορφώσει ριζικά τις αγορές. Αυτό συνεπάγεται ότι η

ευνοϊκή οικονομική αποτίμησή τους θα αποτελέσει το κατάλληλο κίνητρο για την υλοποίηση του ευφυούς δικτύου και την καλύτερη αξιοποίηση των οφελών του.

Ως εκ τούτου, το κρίσιμο σημείο για την ανάπτυξη και συνεχή επέκταση του ευφυούς δικτύου είναι να καθοριστεί με σαφή τρόπο για όλους τους εμπλεκόμενους παράγοντες η οικονομική του αξία.

Γ. Σκοπός

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναπτύξει ένα μεθοδολογικό πλαίσιο που θα προσφέρει συστηματική προσέγγιση για την εκτίμηση των οφελών και του κόστους από την εγκατάσταση ενός ευφυούς δικτύου. Οι λόγοι που επιβάλλουν την ανάπτυξη ενός τέτοιου πλαισίου:

- Λαμβάνοντας υπόψη τις σημαντικές επενδύσεις που απαιτούνται αλλά και τις μεγάλες προοπτικές που προσφέρει το ευφύες δίκτυο, κρίνεται αναγκαίο να υπάρχει μια δίκαιη, συνεπής και μεθοδολογική οικονομική περιγραφή του που να στηρίζεται σε αξιόπιστες μελέτες και πραγματικά έργα.
- Χρειάζεται πλαίσιο που θα εντοπίζει ή και καθορίζει τους διάφορους τύπους οφελών και δαπανών.
- Το πλαίσιο πρέπει να εφαρμόζεται ομοιόμορφα σε όποια περίπτωση εγκατάστασης ευφυούς δικτύου.
- Πρέπει να κατηγοριοποιηθούν τα οφέλη.

Η βασική φιλοσοφία του μεθοδολογικού μοντέλου είναι να υπάρχει ένα τυποποιημένο εργαλείο που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε έργα που παρουσιάζουν παρόμοια στοιχεία αλλά και να μπορεί ευέλικτα να τροποποιείται ώστε να προσαρμόζεται καλύτερα σε οποιαδήποτε περίπτωση και απαίτηση.

Τέλος, το μοντέλο αυτό πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δύο αναλύσεις:

- Σε μια αναδρομική ανάλυση που θα βασίζεται στα εξαχθέντα στοιχεία και παρατηρηθείσες επιπτώσεις για την εκτίμηση των επιμέρους οφελών που προσφέρει ένα ήδη εγκατεστημένο ευφύες δίκτυο.

- Σε μια προοπτική ανάλυση που θα λειτουργεί ως μοντέλο πρόβλεψης και αξιολόγησης της επένδυσης μελλοντικών επενδύσεων σε ευφυή δίκτυα.

4. Προηγούμενες μελέτες

Όταν διενεργείται μία οικονομική αξιολόγηση σχετικά με την εμπορική εξάπλωση των ευφών δικτύων, η αρμόδια αρχή (μπορεί να είναι η ηλεκτρική επιχείρηση ή ένας ρυθμιστικός οργανισμός που έχει οριστεί από το κράτος) πρέπει να εξετάζει και να λαμβάνει υπόψη υλοποιημένα πιλοτικά προγράμματα με εγκατάσταση ευφών δικτύων. Πρέπει, επίσης, να συμβουλευεται, όπου αυτό είναι δυνατόν, τα συγκεκριμένα στοιχεία επιδόσεων στην πράξη καθώς και τη σχετική πείρα από την πραγματική εφαρμογή, προκειμένου να βελτιστοποιεί τις τεχνολογικές επιλογές, να επιλέγει τις κατάλληλες παραμέτρους μέτρησης και να βελτιστοποιεί τη σχέση κόστους και τα οφέλους.

Έτσι, το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο, οι παράμετροι και εξισώσεις που χρησιμοποιούνται συνιστούν μέρος μιας πληθώρας δημοσιευμένων εκθέσεων από έργα ευφών δικτύων που έχουν ήδη υλοποιηθεί. Καθώς εκπονούνται όλο και περισσότερες σχετικές μελέτες και μεμονωμένα σχέδια, μπορούν να ενσωματώνονται νέες ιδέες που θα εξελίξουν το μοντέλο και θα ενισχύσουν τη γνώση γύρω από τη σχέση κόστους- οφέλους.

Πολλές μελέτες έχουν προσπαθήσει να περιγράψουν τα οφέλη του ευφούς δικτύου σε θεωρητικό επίπεδο ενώ πολύ λιγότερες έχουν επικεντρωθεί στην ανάπτυξη ενός συστηματικού τρόπου για τον καθορισμό και την εκτίμηση των οφελών. Ορισμένες από τις τελευταίες συνοψίζονται στον πίνακα 8. Μια σειρά από ιδέες και έννοιες που χρησιμοποιήθηκαν και αναπροσαρμόστηκαν είναι:

α) Αρκετές μελέτες κατηγοριοποιούν τα διάφορα είδη οφελών του ευφούς δικτύου σε πέντε βασικές κατηγορίες που αφορούν:

- **Αξιοπιστία**
Κυρίως μέσω της μείωσης της πιθανότητας να συμβούν ευρείες διακοπές ρεύματος ή διαταραχές της ποιότητας ισχύος.
- **Οικονομία**
Κυρίως μέσω της διατήρησης των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας σε χαμηλά επίπεδα, της μείωσης του κόστους των διακοπών ρεύματος, της δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας και της ενεργειακής ασφάλειας.

- Απόδοση
Κυρίως μέσω της μείωσης του κόστους για την παραγωγή, μεταφορά και κατανάλωση ενέργειας.
- Περιβάλλον
Κυρίως μέσω της μείωσης των εκπομπών ρύπων, της διείσδυσης των ΑΠΕ και τη βελτίωσης της αποδοτικότητας.
- Ασφάλεια
Κυρίως μέσω της μείωσης της πιθανότητας ανθρωπογενών και φυσικών καταστροφών, τραυματισμών και απώλειας ζωής.

β) Αρκετές μελέτες εστιάζουν όχι στην κατηγοριοποίηση των οφελών αλλά στην αξία που αυτά έχουν για τις διάφορες κατηγορίες εμπλεκομένων, δηλαδή:

- Για τις ηλεκτρικές επιχειρήσεις
- Για τους καταναλωτές
- Για την κοινωνία

γ) Αρκετές μελέτες επικεντρώθηκαν περισσότερο στα βασικά τεχνολογικά χαρακτηριστικά του ευφυούς δικτύου και στην αξιολόγηση της προόδου προς την πλήρη ανάπτυξη του σε εθνικό επίπεδο.

- Προηγμένα συστήματα ελέγχου (AMI-Advanced Metering Infrastructure)
- Συστήματα διαχείρισης των εγκαταστάσεων του καταναλωτή (CS-Customer Side Systems)
- Μοντέλα ζήτησης προσφοράς (DR-Demand Response)
- Συστήματα διαχείρισης διασπαρμένης παραγωγής (DMS-Distribution Management Systems)
- Συστήματα προηγμένης μετάδοσης και διανομής (TA-Transmission Enhancement Applications)
- Συστήματα βελτιστοποίησης της λειτουργίας του δικτύου (AO-Asset Optimization)
- Κατανεμημένες πηγές ενέργειας (DER-Distributed Energy Resources)
- Συστήματα πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών (ICT-Information and Communications Integration)

Οι σχέσεις μεταξύ των τριών αυτών προσεγγίσεων είναι κρίσιμες για την επίτευξη του ευφυούς δικτύου και λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάπτυξη του εργαλείου εκτίμησης των ωφελειών.

| | |
|--|---|
| Τίτλος μελέτης₁ | “Sizing up the Smart Grid” |
| Συγγραφείς | Faruqi, A., Hledik, R., Davis, C |
| Παρουσιάστηκε στο συνέδριο | Elster Energy Axis User Conference |
| Ημερομηνία | 24 Φεβρουαρίου 2009 |
| Προσέγγιση | Παραδοχές -Σημαντικά αποτελέσματα |
| <p>Ποσοτικοποίηση των οφελών που προκύπτουν για τους καταναλωτές από την εφαρμογή έξυπνων συστημάτων.</p> <p>Συγκεκριμένα οφέλη:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μείωση του φορτίου αιχμής και γενικότερα της ζήτησης ως συνάρτηση της δυναμικής τιμολόγησης, των υψηλών τιμών των φορτίων αιχμής και της αυτοματοποιημένης τεχνολογίας. • Μειωμένα κόστη παραγωγής, μεταφοράς και διανομής. • Οφέλη από βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση, κατανεμημένη παραγωγή και ηλεκτρικά-υβριδικά οχήματα. <p>*Κιλοβάτ-έτος είναι μια εμπορική μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας. Αντιπροσωπεύει το ποσό της ενέργειας που παράγεται ή καταναλώνεται μέσα σε ένα χρόνο υπό σταθερή ισχύ ενός κιλοβάτ.</p> | <p>Οι κύριες παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Κόστος παραγωγής ενέργειας: 75\$/KWyr • Χονδρική τιμή ηλεκτρικού ρεύματος: 100\$/MWh • Τιμή CO₂: 25\$/ton • Ετήσιος ρυθμός πληθωρισμού: 2% • Απώλειες γραμμών: 9.2% • Αύξηση του φορτίου αιχμής: 1.5%/έτος • Ετήσια αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας: 1.3% <p>Η μελέτη κάνει μια εκτίμηση της ετήσιας αξίας των μειωμένων εξόδων λόγω:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Λειτουργίας των μετρητικών συστημάτων που επιτρέπει καλύτερη συντήρηση • Ενέργειας που παρέχεται από τους κατανεμημένους πόρους • Την αύξηση της αξιοπιστίας • Τη μειωμένη χρήση ορυκτών καυσίμων • Την ενσωμάτωση ηλεκτρικών-υβριδικών οχημάτων |

| | |
|---|--|
| Τίτλος μελέτης₂ | “Characterizing and Quantifying the Societal Benefits Attributable to Smart Metering Investments” |
| Συγγραφείς | Hemphill, R., Neenan, B, Palo Alto |
| Παρουσιάστηκε από το | Electric Power Research Institute |
| Ημερομηνία | 2008 |
| Προσέγγιση | Σημαντικά αποτελέσματα |
| <p>Πιλοτικά προγράμματα για τον καθορισμό των κοινωνικών οφελών που επιφέρει η ευφυή μετρητική ικανότητα του ευφυούς δικτύου.</p> <p>Οικονομική αξιολόγηση για την αναλυτική εκτίμηση τους.</p> | <p>Τύποι παροχών που προσδιορίζονται:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μείωση τους κόστους ηλεκτρικής ενέργεια για τους καταναλωτές από την τροποποιημένη χρήση που επιτυγχάνει το μοντέλο ζήτησης προσφοράς • Μείωση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας από την ενισχυμένη πληροφόρηση που προσφέρεται στους καταναλωτές • Εξοικονόμηση ενέργειας μέσω παρεχόμενων σχολίων και συμβουλών • Αποτελεσματική χρήση της ενέργειας που οφείλεται σε νέα προϊόντα και υπηρεσίες • Μείωση της διάρκειας των διακοπών ρεύματος |

| | |
|---|--|
| Τίτλος μελέτης | “The U.S. Smart Grid Revolution: KEMA’s Perspectives for Job Creation” |
| Συγγραφείς | Τεχνική έκθεση KEMA |
| Παρουσιάστηκε από το | Grid Wise Alliance |
| Ημερομηνία | 13 Ιανουαρίου 2008 |
| Προσέγγιση | Σημαντικά αποτελέσματα |
| <p>Χρησιμοποιεί σενάριο τοποθέτησης στις ΗΠΑ 150 εκατομμυρίων ευφών μετρητών</p> <p>Εκτιμά το προβλεπόμενο κόστος εργασίας για την εφαρμογή τους.</p> | <p>Πρόβλεψη αύξησης των θέσεων εργασίας</p> <p>Άμεση απασχόληση:</p> <ul style="list-style-type: none"> • στις ενεργειακές επιχειρήσεις • στον κατασκευαστικό τομέα. • στα κέντρα ελέγχου • στη συντήρηση και εγκατάσταση • στην προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας • στην βιομηχανία ηλεκτρικών οχημάτων • στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τη διασπαρμένη παραγωγή <p>Πρόβλεψη</p> <ul style="list-style-type: none"> • κατά τη διάρκεια τετραετούς ανάπτυξης ευφούς δικτύου: 278.600 θέσεις εργασίας • κατά τη διάρκεια εξαετούς περιόδου σταθερότητας που ακολουθεί : 139.700 θέσεις εργασίας |

| | |
|---|--|
| Τίτλος μελέτης⁴ | “Modern Grid Benefits” |
| Συγγραφείς | National Energy Technology Laboratory |
| Παρουσιάστηκε από το | Department of Energy, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability |
| Ημερομηνία | Αύγουστος 2007 |
| Προσέγγιση | Σημαντικά αποτελέσματα |
| <p>Προσδιορίζει τις εξής βασικές κατηγορίες οφελών από την εφαρμογή του ευφυούς δικτύου:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αξιοπιστία • Οικονομία • Περιβάλλον • Ασφάλεια • Αποδοτικότητα | <p>Τα οφέλη που συζητούνται είναι</p> <p>Αξιοπιστία</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μείωση του χρόνου διακοπής και της συχνότητας εμφάνισης διακοπών ρεύματος • Εξάλειψη των blackouts <p>Ασφάλεια και προστασία</p> <ul style="list-style-type: none"> • Βελτίωση της δημόσιας ασφάλειας • Βελτίωση της ασφάλειας των εργαζομένων • Προστασία απέναντι τρομοκρατικών επιθέσεων • Προστασία έναντι φυσικών καταστροφών <p>Οικονομία</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μείωση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας • Απελευθέρωση αγοράς • Χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης <p>Αποδοτικότητα</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αποδοτικότερη λειτουργία του δικτύου • Βελτίωση της διαχείρισης των περιουσιακών στοιχείων <p>Περιβάλλον</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον πόρων ενέργειας • Μείωση των ηλεκτρικών απωλειών • Κατανάλωση λιγότερων καυσίμων |

| | |
|---|---|
| Τίτλος μελέτης | “Smart Grid: Enabling the 21st Century Economy” |
| Συγγραφείς | Pullins, S. |
| Παρουσιάστηκε από το | Governor’s Energy Summit, West Virginia |
| Ημερομηνία | Δεκέμβριος 2008 |
| Προσέγγιση | Σημαντικά αποτελέσματα |
| <p>Κατηγοριοποιεί τα οφέλη ανά ομάδα συμφέροντος:</p> <p>Επιχείρηση</p> <ul style="list-style-type: none"> • Βελτιωμένη διαχείριση διακοπών ρεύματος • Αύξηση της αποδοτικότητας του εργατικού δυναμικού • Μείωση των ενεργειακών απωλειών • Μείωση του κόστους εφεδρικής ενέργειας • Μείωση του κόστους συντήρησης <p>Καταναλωτές</p> <ul style="list-style-type: none"> • Βελτίωση της αξιοπιστίας • Καλύτερη ποιότητα ρεύματος • Εναλλακτικές πηγές ενέργειας • Πώληση ενέργειας στο δίκτυο μέσω ηλεκτρικών οχημάτων • Εξοικονόμηση χρημάτων <p>Κοινωνία</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μείωση των εκπομπών ρύπων μέσω της μείωσης των απωλειών • Δείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας • Δείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων • Μεγαλύτερη ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού • Λιγότερες πιθανότητες επίθεσης • Μεγαλύτερη εμπιστοσύνη των πολιτών | <p>Οι εκτιμήσεις στα οφέλη υπολογίζονται</p> <ul style="list-style-type: none"> • από 638 έως 802 δις. δολάρια μέσα σε 20 χρόνια εφαρμογής |

Πίνακας 4.1 Περίληψη μελετών που αφορούν μεθόδους για την εκτίμηση των οφελών του ευφυούς δικτύου

4.2 Η έννοια του οφέλους

A. Ορισμός του οφέλους

Υπό τον όρο όφελος ορίζεται ο οικονομικός αντίκτυπος που έχει η εφαρμογή του ευφυούς δικτύου σε μια επιχείρηση, ένα νοικοκυριό ή την κοινωνία γενικότερα. Για να μετρηθεί το μέγεθός του είναι απαραίτητο να ποσοτικοποιηθεί όσο το δυνατόν καλύτερα και εκφραστεί σε νομισματικούς όρους.

Παραδείγματα οφελών μπορεί να είναι:

- Η μείωση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας για τους καταναλωτές.
- Η αξία των χαμηλότερων απωλειών μεταφοράς και διανομής.
- Η μείωση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης.
- Το μειωμένο κόστος συμφόρησης κατά τη μεταφορά ενέργειας.
- Το μειωμένο κόστος των διακοπών ρεύματος.
- Η βελτίωση της ποιότητας ισχύος.
- Ο περιορισμός των οικονομικών ζημιών από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
- Η μείωση των συνολικών δαπανών για απόκτηση κεφαλαιουχικού εξοπλισμού.

Πρέπει να τονιστεί ότι το όφελος έχει άμεση οικονομική αποτίμηση και δεν είναι απλώς μια ενδιάμεση επίπτωση που επιφέρει η ανάπτυξη και απόδοση του έργου του ευφυούς δικτύου.

Τα ακόλουθα παραδείγματα αποσαφηνίζουν τη διάκριση μεταξύ οφελών και των ενδιάμεσων αποτελεσμάτων:

- Η συμμετοχή των καταναλωτών συνιστά παράδειγμα ενδιάμεσης επίπτωσης που δεν κατατάσσεται στα οφέλη. Ο λόγος είναι ότι η συμμετοχή των καταναλωτών σε προγράμματα διαχείρισης της ζήτησης, τα οποία προσφέρουν οι επιχειρήσεις μέσω έξυπνων μετρητών και χρονομεταβλητής τιμολόγησης, δεν αποτιμάται αυτοτελώς σε οικονομικούς όρους. Οδηγεί, όμως, σε σημαντικές επιπτώσεις που έχουν πράγματι χρηματική αξία. Η μείωση του καταναλισκόμενου ρεύματος, για παράδειγμα, αποτελεί ένα σημαντικό όφελος για τον καταναλωτή.

- Η μείωση του μέγιστου φορτίου είναι μια άλλη ενδιάμεση επίπτωση που δεν έχει αυτοτελή αξία. Η μείωση του φορτίου αιχμής, όμως, μειώνει το κόστος παραγωγής και μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας ως αποτέλεσμα της μεγαλύτερης αποδοτικότητας και της καλύτερης αξιοποίησης των περιουσιακών της στοιχείων. Συνεπώς, η παρεπόμενη εξοικονόμηση χρημάτων συνιστά το όφελος ενώ η μείωση του φορτίου αιχμής την ενδιάμεση επίπτωση.
- Ως τρίτο παράδειγμα ενδιάμεσης επίπτωσης μπορεί να είναι η ευρύτερη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το κύριο όφελος εντοπίζεται στην πλευρά της κοινωνίας και προκύπτει από τη μείωση των ρυπογόνων εκπομπών που άμεσα μεταφράζονται σε μειωμένες βλαβερές επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον και την κλιματική αλλαγή γενικότερα.

B. Κατηγορίες οφελών

Το ευφυές δίκτυο παρέχει τέσσερις βασικές κατηγορίες οφελών:

- Οικονομικά: μειωμένο κόστος ή αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας υπό το ίδιο κόστος. Αυτό προκύπτει από τη βελτιωμένη αποτελεσματικότητα και αξιοποίηση του δικτύου.
- Ποιότητας και αξιοπιστίας της ενέργειας: μείωση των διακοπών και των περιστατικών που υποβαθμίζουν την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Περιβαλλοντικά: μείωση των δυσμενών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και τα οικοσυστήματα λόγω της αντίστοιχης μείωσης της ρύπανσης.
- Ασφάλεια και προστασία: ενεργειακή ασφάλεια, μειωμένη εξάρτηση από το πετρέλαιο, ασφάλεια των πληροφοριών, λιγότερες υλικές ζημιές, τραυματισμοί και απώλειες ζωής

Γ. Οι εμπλεκόμενοι στο ηλεκτρικό δίκτυο

Εκτός από την κατηγοριοποίηση των οφελών είναι σημαντικό να προσδιοριστούν εκείνοι που απολαμβάνουν τα διάφορα είδη οφελών καθώς και εκείνοι που επιβαρύνονται με το κόστος υλοποίησης του ευφυούς δικτύου.

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες εμπλεκομένων:

- Οι επιχειρήσεις είναι οι πρωτεύοντες προμηθευτές της ηλεκτρικής ενέργειας. Περιλαμβάνουν τους ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς, τον εξοπλισμό για τη μεταφορά και την εξυπηρέτηση των φορτίων. Πολλά από τα οφέλη (αλλά, φυσικά, και τα κόστη) που απολαμβάνουν οι επιχειρήσεις από την εγκατάσταση του ευφυούς δικτύου μετακυλίνονται στους πολίτες.
- Οι τελικοί χρήστες της ηλεκτρικής ενέργειας. Επωφελούνται από τα μειωμένα τιμολόγια και τις αξιόπιστες υπηρεσίες που τους προσφέρονται.
- Σε γενικές γραμμές, η κοινωνία είναι ο αποδέκτης όλων των οφελών του ευφυούς δικτύου. Η μείωση των ρύπων, η ενεργειακή ασφάλεια, οι προσιτές τιμές ενέργειας για όλες τις κοινωνικές ομάδες, η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και η δημιουργία θέσεων εργασίας είναι ορισμένα από αυτά.

| Κατηγορία οφέλους | Δικαιούχοι | | |
|--|--------------|---------|----------|
| | Επιχειρήσεις | Πελάτες | Κοινωνία |
| Οικονομία | | | |
| Περιβάλλον | | | |
| Αξιοπιστία και ποιότητα ενέργειας | | | |
| Ασφάλεια και προστασία | | | |

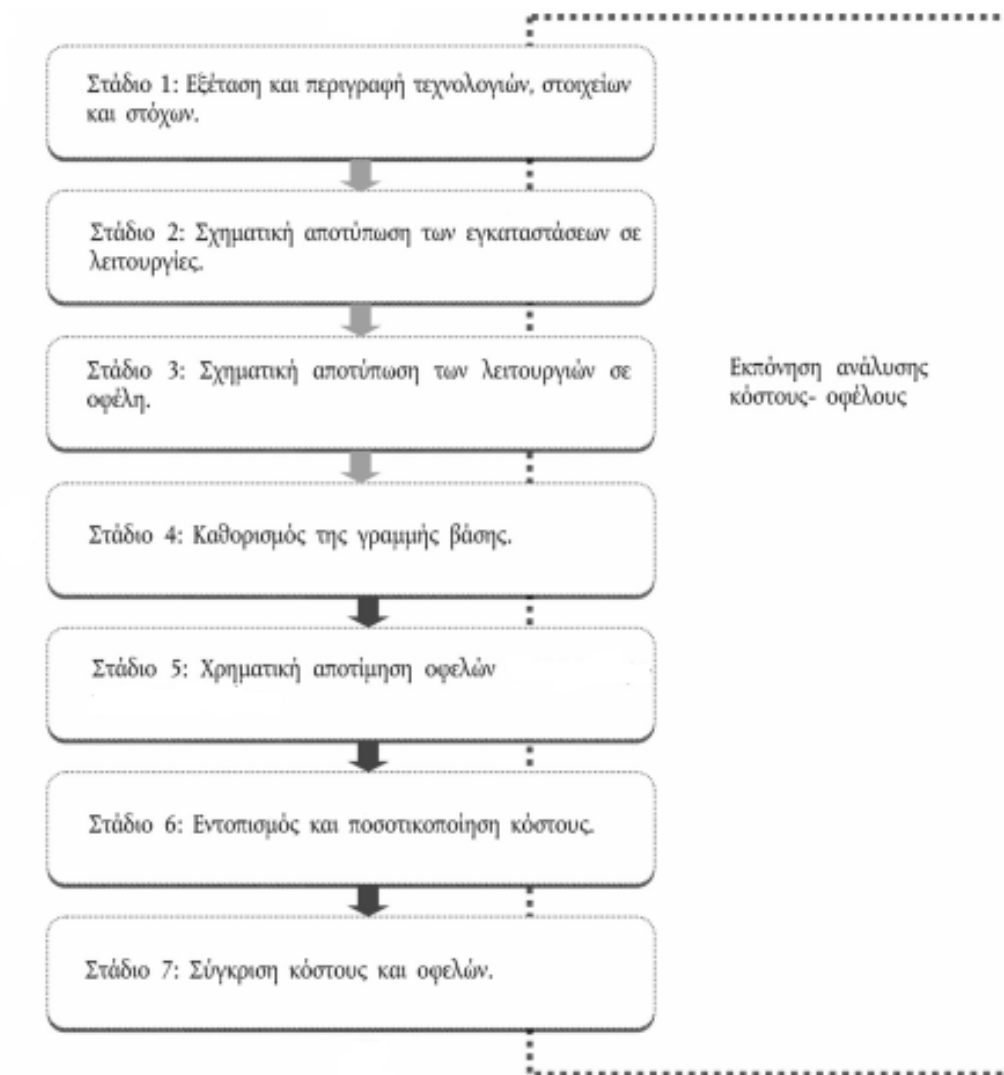
Πίνακας 4.2 Μήτρα οφελών

Εκτός από τις ομάδες των δικαιούχων που εντοπίζονται στον Πίνακα 9 υπάρχουν και άλλες ομάδες ενδιαφερομένων που μπορούν να επωφεληθούν όπως:

- Οι κατασκευαστές εξοπλισμού, οι προμηθευτές λογισμικού, οι πάροχοι ενεργειακών υπηρεσιών, οι διαχειριστές των κέντρων ελέγχου, οι πάροχοι υπηρεσιών συντήρησης.
- Περιβαλλοντικές οργανώσεις
- Ρυθμιστικοί οργανισμοί και κυβερνήσεις

Δ. Η προσέγγιση για την ανάλυση κόστους οφέλους

Σύμφωνα με τα προηγούμενα προτείνονται επτά στάδια για την ανάλυση κόστους-οφέλους σύμφωνα με το διάγραμμα ροής:



Σχήμα 4.1 Διάγραμμα ροής των σταδίων ανάλυσης κόστους-οφέλους

Τα ανωτέρω στάδια μπορούν να οργανωθούν σε τρεις ενότητες:

- Χαρακτηρισμός του έργου
- Εκτίμηση των οφελών
- Σύγκριση κόστους οφελών

ως εξής:

α) Χαρακτηρισμός του έργου

Στάδιο 1: Εξέταση και περιγραφή τεχνολογιών, στοιχείων και στόχων

Στάδιο 2: Σχηματική αποτύπωση των εγκαταστάσεων σε λειτουργίες

β) Εκτίμηση των οφελών

Στάδιο 3: Σχηματική αποτύπωση των λειτουργιών σε οφέλη

Στάδιο 4: Καθορισμός γραμμής βάσης

Στάδιο 5: Χρηματική αποτίμηση των οφελών

γ) Σύγκριση κόστους- οφελών

Στάδιο 6: Εντοπισμός και ποσοτικοποίηση κόστους

Στάδιο 7: Σύγκριση κόστους και οφελών

Ανάλογα με τον τύπο του ευφυούς δικτύου που εγκαθίσταται προκύπτουν συγκεκριμένα οφέλη και όχι πάντα όλα. Το μεθοδολογικό πλαίσιο των επτά αυτών βημάτων μπορεί να επεκταθεί και να προστεθούν νέες τεχνολογίες, λειτουργίες, δαπάνες και οφέλη εφόσον βέβαια συλλεχθούν τα δεδομένα που απαιτούνται για την περιγραφή και εκτίμηση τους.

5. Τα στάδια εκπόνησης της ανάλυσης κόστους-οφέλους

5.1 Χαρακτηρισμός του έργου

A. Στάδιο 1: Εξέταση και περιγραφή τεχνολογιών, στοιχείων και στόχων

Το πρώτο βήμα προς την εκτίμηση των ωφελειών που μπορεί να παράσχει το ευφυές δίκτυο είναι να εξεταστούν τα στοιχεία που το συνιστούν (τεχνολογίες, συσκευές, συστήματα), οι στόχοι και οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για την απόδοση του έργου. Οι παράμετροι αυτές είναι ιδιαίτερα σημαντικές καθώς συνιστούν τη βάση για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και καινοτομιών με στόχο τη μεγιστοποίηση των οφελών.

Ο Πίνακας 5.1 συνοψίζει ορισμένες αντιπροσωπευτικές πληροφορίες για την περιγραφή των στοιχείων ενός ευφυούς δικτύου.

| Στοιχείο-τεχνολογία ευφυούς δικτύου | Μέγεθος προς μέτρηση |
|---|---|
| Καταναεμημένη παραγωγή | <ul style="list-style-type: none">• % διαθεσιμότητα της παραγωγής• Κόστος λειτουργίας (EUR/MWh)• Εκπομπές ρύπων (τόνοι/MWh)• Ποσοστό επιτυχίας νησιδοποίησης• Συντελεστής απόδοσης (π.χ. φωτοβολταϊκού)• Ανοχή σφαλμάτων |
| Συστήματα προηγμένων αισθητήρων και διακοπών | <ul style="list-style-type: none">• Ταχύτητα ανταπόκρισης σε σφάλμα• Ποσοστό επιτυχίας εντοπισμού σφάλματος• Εκτιμώμενος αριθμός και διάρκεια των διακοπών που μπορούν να αποφευχθούν |
| Συστήματα διαμόρφωσης τροφοδοσίας και ελέγχου | <ul style="list-style-type: none">• Στατιστικά στοιχεία σχετικά με τη μείωση των απωλειών τροφοδοσίας, τη ρύθμιση της τάσης και τη διπλή ροή ενέργειας |
| Εφαρμογές μικροδικτύων | <ul style="list-style-type: none">• Ποσοστό % επιτυχούς νησιδοποίησης και επανασύνδεσης |
| | <ul style="list-style-type: none">• Τιμές τάσης και συχνότητας σε κατάσταση νησιδοποίησης• Αποδοτικότητα• Ανοχή σφαλμάτων |

| | |
|---|--|
| Συστήματα υποστήριξης βοηθητικών υπηρεσιών (εφεδρεία, ρύθμιση φορτίου) | <ul style="list-style-type: none"> • Ποσοστό υλοποίησης των υπηρεσιών • Έσοδα • Δαπάνες |
| Μείωση της ζήτησης | <ul style="list-style-type: none"> • Τροποποιημένη ζήτηση λόγω ενημέρωσης των καταναλωτών (KW/EUR) • Ποσοστό ανταπόκρισης ((KW/min) |
| Αναβαθμίσεις απόδοσης κτηρίων | <ul style="list-style-type: none"> • % βελτίωση στην απόδοση της θέρμανσης, του φωτισμού κλπ. |
| Συστήματα ανίχνευσης σφαλμάτων | <ul style="list-style-type: none"> • Ποσοστό επιτυχούς αναγνώρισης βλάβης • Ποσοστό επιτυχούς απομόνωσης της βλάβης • Ποσοστό βελτίωσης του χρόνου επιδιόρθωσης • Ποσοστό μείωσης των χρηστών που επηρεάστηκαν |
| Ανοχή των επικοινωνιών σε σφάλματα | <ul style="list-style-type: none"> • Διαθεσιμότητα καναλιών επικοινωνίας • Πλήθος περιστατικών σφαλμάτων • Ποσοστό εφαρμογών που τίθενται σε κίνδυνο |
| AMI- μετρητικά συστήματα | <ul style="list-style-type: none"> • Ποσοστό επιτυχημένης αλληλεπίδρασης με τον ευφυή μετρητή • Ποσοστά αποτυχία του εξοπλισμού • Ποσοστό πετυχημένων αναγνώσεων |

Πίνακας 4 Στάδιο 1: Στοιχεία ευφυούς δικτύου και μεγέθη προς μέτρηση

Οι τεχνολογίες και τα στοιχεία του ευφυούς δικτύου έχουν ως στόχο να του προσδώσουν τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:

- Να επιτρέπει τη δυνατότητα ενημέρωσης και συμμετοχής των καταναλωτών στην ενεργειακή ζήτηση
- Να ενσωματώνει στο δίκτυο όλες τις πηγές ενέργειας και τις μονάδες αποθήκευσης.
- Να επιτρέπει νέα και βελτιωμένα προϊόντα, υπηρεσίες και αγορές.
- Να παρέχει ασφαλή και συνεχή παροχή ενέργειας
- Να βελτιστοποιεί την απόδοση του δικτύου
- Να προλαμβάνει, περιορίζει και αποκαθιστά διαταραχές, βλάβες ή διακοπές
- Να λειτουργεί αποδοτικά κατά παντός κινδύνου.

Τα ανωτέρω χαρακτηριστικά, που είναι ευρέως αποδεκτά από τις περισσότερες μελέτες, προέρχονται από έργα που έχουν υλοποιηθεί σε περιορισμένη κλίμακα. Η κατασκευή ενός ευφυούς δικτύου σε μεγαλύτερη κλίμακα μπορεί να συμβάλει στην πρόοδο προς την ευρύτερη εφαρμογή και υλοποίηση των χαρακτηριστικών αυτών σε εθνικό επίπεδο. Όπως και στο βήμα 1, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και εδώ κάποιες παράμετροι για την αξιολόγηση της απόδοσης και της προόδου επίτευξης των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων του ευφυούς δικτύου. Ο πίνακας 5.2 συνοψίζει ορισμένες αντιπροσωπευτικές πληροφορίες για την περιγραφή των χαρακτηριστικών ενός ευφυούς δικτύου.

| Χαρακτηριστικό ευφυούς δικτύου | Μέγεθος προς μέτρησης |
|---|---|
| <p>Να επιτρέπει τη δυνατότητα ενημέρωσης και συμμετοχής των καταναλωτών στην ενεργειακή ζήτηση</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Ποσοστό % των καταναλωτών ή των εγκαταστάσεων γενικά που μπορούν να λαμβάνουν πληροφορίες από το δίκτυο • Ποσοστό % των καταναλωτών που έχει αποφασίσει να λαμβάνουν ατομικά αποφάσεις • Ποσοστό % των καταναλωτών που έχει αποφασίσει να λαμβάνουν τις αποφάσεις ρυθμιστικές αρχές • Αριθμός συσκευών τηλεπικοινωνιών που έχουν τοποθετηθεί • Αριθμός συσκευών αμφίδρομης επικοινωνίας που έχουν τοποθετηθεί • Ποσοστό % των πελατών και το συνολικό φορτίο που καταναλώνουν • Ποσοστό % του φορτίου που είναι διαχειρίσιμο • Ποσό ενέργειας που εξοικονομείται • Αριθμός ή ποσοστό % των πελατών που μπορούν να ενεργοποιήσουν μονάδες αποθήκευσης ή κατανεμημένης παραγωγής σε απάντηση μηνυμάτων που αποστέλλονται από το διαχειριστή |
| <p>Να ενσωματώνει στο δίκτυο όλες τις πηγές ενέργειας και τις μονάδες αποθήκευσης</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Ποσοστό % μονάδων αποθήκευσης και κατανεμημένης παραγωγής που μπορούν να ελεγχθούν από το διαχειριστή • Ποσοστό % μονάδων αποθήκευσης και κατανεμημένης παραγωγής που μπορούν να επηρεαστούν από την τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο (οι καταναλωτές να αποφασίζουν την κατανάλωση ενέργειας από κατανεμημένη παραγωγή) • Ποσοστό % φορτίου ή ποσό σε KWh ή kW που μπορεί να παρέχεται από τις διασπαρμένες μονάδες • Ποσοστό % της ενέργειας που παρέχεται από τις ΑΠΕ τις ώρες αιχμής μέσω των μονάδων αποθήκευσης • Συντελεστής φορτίου (μέσο φορτίο διαιρούμενο με φορτίο αιχμής) σε διάφορα σημεία του ηλεκτρικού δικτύου • Ποσοστό ενέργειας που προέρχεται από συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας |
| <p>Να επιτρέπει νέα και βελτιωμένα</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός προϊόντων που επιτρέπουν αμφίδρομη επικοινωνία |

| | |
|---|--|
| <p>προϊόντα, υπηρεσίες και αγορές</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός νέων οικιακών συσκευών που δεν ήταν διαθέσιμες μέχρι και πριν δύο χρόνια και χρησιμοποιούνται στο έργο • Αριθμός ή ποσοστό % των ετήσιων πωλήσεων ηλεκτρικών ή υβριδικών οχημάτων |
| <p>Να παρέχει ασφαλή και συνεχή παροχή ενέργειας</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Βελτίωση στο δείκτη ενεργού-άεργου ισχύος (συνολική αρμονική παραμόρφωση της τάσης) • Πλήθος των σημείων μέτρησης της ποιότητας ισχύος διαιρεμένος με το πλήθος των πελατών • Αριθμός περιστατικών σχετιζόμενων με την ποιότητα ενέργειας που μπορούν να εντοπιστούν ή προβλεφθούν • Αριθμός παραπόνων πελατών σχετικά με θέματα ποιότητας • Η μείωση των οικονομικών ζημιών (λόγω απωλειών ενέργειας και βλαβών εξοπλισμού) που επιφέρει η βελτίωση της ποιότητας • Η μείωση των εκτιμώμενων ζημιών για τον πελάτη • Αριθμός των σημείων εγκατάστασης και συνολικό φορτίο που καλύπτεται από μικροδίκτυα • Αριθμός των σημείων εγκατάστασης και συνολικό φορτίο που υφίσταται διαχείριση σε πραγματικό χρόνο από προηγμένα συστήματα μέτρησης |
| <p>Να βελτιστοποιεί την απόδοση του δικτύου</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Ποσότητα παραγωγικής ικανότητας που αναβάλλεται • Αριθμός των σταθμών και των γραμμών μεταφοράς και διανομής που αναβάλλεται η κατασκευή τους • Συντελεστής φορτίου • Μείωση δαπανών λειτουργίας και συντήρησης • Μείωση ζημιών λόγω κλοπής ενέργειας • Βελτίωση του χρόνου αποκατάστασης διακοπών ρεύματος • Μείωση των βλαβών εξοπλισμού |
| <p>Να προλαμβάνει, περιορίζει και αποκαθιστά διαταραχές, βλάβες ή διακοπές</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Ποσοστό κόμβων δικτύου και διασυνδέσεων πελατών που παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο • Βελτίωση της αξιοπιστίας • Βελτίωση (αριθμός και διάρκεια) των εκτεταμένων διακοπών • Βελτίωση του χρόνου αποκατάστασης μιας διακοπής • Οι διακοπές ρεύματος που αποφεύχθηκαν λόγω της αμφίδρομης επικοινωνίας μέσω της μείωσης του φορτίου αιχμής και της διασπαρμένης παραγωγής μέσω της λειτουργίας της ως συμπληρωματική υπηρεσία |
| <p>Να λειτουργεί αποδοτικά κατά παντός κινδύνου (να διαθέτει δυνατότητα συμπληρωματικών πηγών ενέργειας για την κάλυψη της ζήτησης, να αντιμετωπίζει εσκεμμένες επιθέσεις, φυσικές καταστροφές κλπ.)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός εναλλακτικών πηγών για την προμήθεια οποιουδήποτε φορτίου • Διείσδυση της διασπαρμένης παραγωγής και γεωγραφική ποικιλομορφία • Αριθμός επιτυχημένων επιθέσεων στον τομέα των επικοινωνιών (κυβερνοχώρο) • Βελτίωση του χρόνου αποκατάστασης διακοπής λόγω επίθεσης |

Πίνακας 5.2 Στάδιο 1: Βασικά χαρακτηριστικά ευφυούς δικτύου και μεγέθη προς μέτρηση

B. Στάδιο 2: Σχηματική αποτύπωση των εγκαταστάσεων σε λειτουργίες

Μετά την περιγραφή των εγκαταστάσεων υπό την έννοια των βασικών εργαλείων και τεχνολογιών που ενσωματώνει το εκάστοτε έργο ευφυούς δικτύου, είναι απαραίτητο να καθοριστούν οι λειτουργίες που αυτό προσφέρει για την παροχή των ωφελειών. Στις λειτουργίες αυτές περιλαμβάνονται και πολιτικές ή προγράμματα που μπορεί να διαφοροποιούνται από έργο σε έργο. Για παράδειγμα, η λειτουργία του μοντέλου ζήτησης προσφοράς μπορεί να χρησιμοποιεί διαφορετικές κατηγορίες τιμολόγησης.

Ο Πίνακας 5.3 συνοψίζει ορισμένες αντιπροσωπευτικές λειτουργίες του ευφυούς δικτύου.

| | |
|--|--|
| Περιορισμός των σφαλμάτων ρεύματος (fault current limiting) | Μπορεί να επιτευχθεί μέσω αισθητήρων, τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, επεξεργασίας πληροφοριών και συσκευών που επιτρέπουν στην ηλεκτρική εταιρεία να προλαμβάνει τα σφάλματα ή να περιορίζει το επίπεδο της ζημιάς. |
| Παρακολούθηση και απεικόνιση του δικτύου (wide area monitoring and visualization) | Μπορεί να επιτευχθεί μέσω συγχρονισμένων αισθητήρων και επεξεργασίας πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. |
| Δυναμική εκτίμηση της ικανότητας μεταφοράς ενέργειας (dynamic capability rating) | Μπορεί να επιτευχθεί μέσω προσδιορισμού σε πραγματικό χρόνο των συνθηκών που επικρατούν σε κάθε στοιχείο του δικτύου (π.χ. μετασχηματιστής) και της ικανότητάς του να ανταποκριθεί στο φορτίο. Εκτός από τις ηλεκτρικές συνθήκες του δικτύου εκτιμώνται και οι περιβαλλοντικές. |
| Έλεγχος ροής ενέργειας (flow control) | Μπορεί να επιτευχθεί μέσω τεχνικών που επηρεάζουν τη δρομολόγηση της τάσης (ενεργό και άεργο). Χρησιμοποιούνται ευέλικτα συστήματα μεταφοράς, μετασχηματιστές ρυθμιζόμενης φάσης και υπεραγωγή καλώδια. |
| Προσαρμοστική προστασία (adaptive protection) | Μπορεί να επιτευχθεί μέσω μηχανισμών προστασίας που ρυθμίζονται βάσει σημάτων πραγματικού χρόνου που προέρχονται από τοπικούς αισθητήρες ή κέντρα ελέγχου. Η λειτουργία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αμφίδρομη ροή ενέργειας και τη διεύθυνση της διασπαρμένης παραγωγής. |
| Αυτοματοποιημένα συστήματα τροφοδοσίας (automated feeder switching) | Μπορεί να επιτευχθεί μέσω αυτόματης απομόνωσης των σφαλμάτων ή απομόνωσης/ένταξης των καταναμημένων πηγών. Αισθητήρες, ρυθμιστές και διακόπτες αποκρίνονται σε τοπικά σφάλματα ή σε σήματα από τα κέντρα ελέγχου. |

| | |
|--|---|
| <p>Αυτοματοποιημένη νησιδοποίηση και επανασύνδεση (automated islanding and reconnection)</p> | <p>Μπορεί να επιτευχθεί μέσω αυτοματοποιημένου διαχωρισμού και επανασυγχρονισμού ενός ανεξάρτητου τμήματος του δικτύου μεταφοράς και διανομής (π.χ. μικροδίκτυο) με το διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο). Επιτρέπει, για παράδειγμα, στο μικροδίκτυο να λειτουργεί είτε παράλληλα με το δίκτυο είτε ως νησίδα. Ως νησιδοποίηση ορίζεται η κατάσταση όπου ένα τμήμα του δικτύου, το οποίο περιλαμβάνει φορτίο, παραγωγή ή/και αποθήκευση απομονώνεται από το υπόλοιπο δίκτυο αλλά συνεχίζει να λειτουργεί τροφοδοτούμενο από τις μονάδες παραγωγής ή/και αποθήκευσης που συνδέονται στο τμήμα αυτό.</p> |
| <p>Αυτοματοποιημένη έλεγχος της τάσης και της άεργου ισχύος (automated voltage and VAR control)</p> | <p>Μπορεί να επιτευχθεί μέσω αισθητήρων, συσκευών ελέγχου και τηλεπικοινωνιών που θα συντονίζουν τη λειτουργία των πόρων άεργου ισχύος, όπως πυκνωτών και καταναμημένης παραγωγής, ανταποκρινόμενα σε τοπικές εκδηλώσεις ή σε σήματα από τα κέντρα ελέγχου.</p> |
| <p>Διάγνωση και κοινοποίηση της κατάστασης του εξοπλισμού (Diagnosis & Notification of Equipment Condition)</p> | <p>Η διάγνωση και κοινοποίηση της κατάστασης του εξοπλισμού ορίζεται ως η απευθείας παρακολούθηση και ανάλυση των συνθηκών του εξοπλισμού, της απόδοσής τους και του λειτουργικού τους περιβάλλοντος προκειμένου να ανιχνεύονται μη φυσιολογικές ενέργειες (π.χ. υπερθέρμανση). Αυτόματα ενημερώνονται οι διαχειριστές για να ανταποκριθούν σε συνθήκες που αυξάνουν την πιθανότητα βλάβης του εξοπλισμού.</p> |
| <p>Ενισχυμένη προστασία από σφάλματα (enhanced fault protection)</p> | <p>Μπορεί να επιτευχθεί μέσω μεγαλύτερης ακρίβειας στον εντοπισμό της θέσης του σφάλματος και της ταχείας απομόνωσής του για να μην επεκταθεί. Οι υψηλής ακρίβειας αισθητήρες χρησιμοποιούν τηλεπικοινωνιακές συνδέσεις μεγάλης ταχύτητας ώστε να είναι δυνατό να ελέγχονται ευρείες περιοχές.</p> |
| <p>Καταμέτρηση και διαχείριση φορτίων σε πραγματικό χρόνο (real time measurement and management)</p> | <p>Μπορεί να επιτευχθεί μέσω μέτρησης σε πραγματικό χρόνο του φορτίου που καταναλώνει ο πελάτης και της διαχείρισής του χρησιμοποιώντας ευφυείς μετρητές, αμφίδρομη επικοινωνία, και δυναμική τιμολόγηση.</p> |
| <p>Μεταφορά φορτίου σε πραγματικό χρόνο (real time load transfer)</p> | <p>Μπορεί να επιτευχθεί μέσω τροφοδοσίας σε πραγματικό χρόνο του φορτίου που ζητείται με στόχο την ανακούφιση του εξοπλισμού, τη βέλτιστη αξιοποίηση του δικτύου μεταφοράς και διανομής και την ενίσχυση της απόδοσης του συστήματος.</p> |
| <p>Βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας από τον πελάτη (customer electricity use optimization)</p> | <p>Μπορεί να επιτευχθεί μέσω της κατάλληλης ενημέρωσης των πελατών με στόχο τη λήψη αποφάσεων που θα καλύπτει πολλαπλούς στόχους και κίνητρα για τον καταναλωτή, όπως το κόστος, η αξιοπιστία, η άνεση και οι περιβαλλοντικές ανάγκες.</p> |

| | |
|--|--|
| Διείσδυση κατανεμημένων πηγών (distributed generation) | Μπορεί να επιτευχθεί μέσω έξυπνων λειτουργιών διαχείρισης από απόσταση της ισχύος εξόδου, της διαλείπουσας φύσης, των απωλειών μεταφοράς και των εφεδρικών πηγών. |
| Σταθμοί αποθήκευσης ενέργειας (Stationary Electricity Storage) | Μπορεί να επιτευχθεί μέσω απομακρυσμένης διαχείρισης των μονάδων αποθήκευσης με στόχο τη μείωση του κόστους παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ενέργειας. |
| Διείσδυση ηλεκτρικών υβριδικών οχημάτων (Plug-in Electric Vehicles) | Μπορεί να επιτευχθεί μέσω αμφίδρομης ροής ενέργειας, αμφίδρομης επικοινωνίας με τον πελάτη και απομακρυσμένης διαχείρισης των εισροών/εκροών με στόχο τη μείωση του κόστους και των ρύπων της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ενέργειας. |

Πίνακας 5.3 Στάδιο 2: Αντιπροσωπευτικές λειτουργίες του ευφυούς δικτύου.

5.2 Εκτίμηση των οφελών

A. Στάδιο 3: Σχηματική αποτύπωση των λειτουργιών σε οφέλη

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 5.4 τα οφέλη, αφού εντάσσονται στις βασικές κατηγορίες οικονομίας, προστασίας του περιβάλλοντος, αξιοπιστίας και ασφάλειας, μπορούν να περιλαμβάνουν 10 υποκατηγορίες και 22 μεμονωμένα οφέλη. Στον πίνακα 5.5 δίνονται οι ορισμοί για καθένα από τα επιμέρους οφέλη. Η αποτύπωση των λειτουργιών σε οφέλη παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.6 και αναλύεται ακολούθως.

| Κατηγορία οφέλους | Υποκατηγορία οφέλους | Μεμονωμένο όφελος |
|---------------------------------|---|--|
| Οικονομία (Economic) | Βελτιωμένη χρήση των στοιχείων του δικτύου (Improved Asset Utilization) | <ul style="list-style-type: none"> • Βελτιστοποιημένη λειτουργία των εγκαταστάσεων παραγωγής • Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας • Μείωση του κόστους βοηθητικών υπηρεσιών • Μείωση του κόστους συμφόρησης δικτύου |
| | Εξοικονόμηση κεφαλαίου μεταφοράς και διανομής (T&D Capital Savings) | <ul style="list-style-type: none"> • Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς • Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές διανομής • Μειωμένο κόστος βλαβών εξοπλισμού (λόγω μείωσης των βλαβών μειώνεται το κόστος αποκατάστασής τους) |

| | | |
|-----------------------------------|--|---|
| | Μείωση δαπανών συντήρησης και λειτουργίας εγκαταστάσεων μεταφοράς και διανομής (T&D O&M Savings) | <ul style="list-style-type: none"> • Μείωση του κόστους συντήρησης • Μείωση του κόστους λειτουργίας • Μείωση του κόστους ανάγνωσης και λειτουργίας των μετρητών |
| | Περιορισμός της κλοπής (Theft Reduction) | <ul style="list-style-type: none"> • Μειωμένη κλοπή ηλεκτρικής ενέργειας |
| | Ενεργειακή απόδοση (Energy Efficiency) | <ul style="list-style-type: none"> • Μείωση των απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας |
| | Εξοικονόμηση κόστους ενέργειας (Electricity Cost Savings) | <ul style="list-style-type: none"> • Εξοικονόμηση κόστους ηλεκτρικής ενέργειας |
| Αξιοπιστία (Reliability) | Διακοπές ρεύματος (Power Interruptions) | <ul style="list-style-type: none"> • Αύξηση του χρόνου διαθεσιμότητας παροχής • Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος • Μείωση του κόστους αποκατάστασης |
| | Ποιότητα ενέργειας (Power Quality) | <ul style="list-style-type: none"> • Μειωμένες σε πλήθος στιγμιαίες διακοπές ρεύματος • Μειωμένες διαταραχές τάσης (αρμονικές, πτώσεις τάσης) |
| Περιβάλλον (Environmental) | Εκπομπές αερίων (Air Emissions) | <ul style="list-style-type: none"> • Μείωση των εκπομπών CO₂ και • Μείωση των αιωρούμενων σωματιδίων SO_x, NO_x |
| Ασφάλεια (Security) | Ενεργειακή ασφάλεια (Energy Security) | <ul style="list-style-type: none"> • Μειωμένη χρήση πετρελαίου • Μειωμένες ολικές διακοπές (blackouts) |

Πίνακας 5.4 Στάδιο 3: Βασικές κατηγορίες, υποκατηγορίες και επιμέρους οφέλη

| Όφελος | Περιγραφή |
|--|--|
| Βελτιστοποιημένη λειτουργία των εγκαταστάσεων παραγωγής (Optimized Generator Operation) | Η καλύτερη παρακολούθηση και πρόβλεψη του φορτίου και της κατάστασης του δικτύου επιτρέπει στους διαχειριστές να παράγουν ενέργεια από ένα αποδοτικότερο και βελτιστοποιημένο λειτουργικά δυναμικό παραγωγής. |
| Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Reduced Generation Capacity Investments) | Οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και οι διαχειριστές του συστήματος μεταφοράς και διανομής διασφαλίζουν ότι η υπάρχουσα παραγωγική ικανότητα μπορεί να εξυπηρετεί το μέγιστο φορτίο που προγραμματίζεται ή προβλέπεται. Η μείωση του φορτίου αιχμής και η εξομάλυνση της καμπύλης ζήτησης μειώνουν την αναγκαία ικανότητα παραγωγής τόσο σε μονάδες αιχμής όσο και σε μονάδες στρεφόμενης εφεδρείας*. |

| | |
|--|--|
| <p>Μείωση του κόστους βοηθητικών υπηρεσιών (Reduced Ancillary Service Cost)</p> | <p>Οι βοηθητικές υπηρεσίες* θα μπορούσαν να μειωθούν αν οι γεννήτριες μπορούσαν να ακολουθήσουν πιστά το φορτίο. Οι βοηθητικές υπηρεσίες και η συντήρηση είναι αναγκαίες για την αποτελεσματική λειτουργία του δικτύου και καθορίζονται από την ηλεκτρική εταιρεία ή το διαχειριστή. Οι λειτουργίες που παρέχουν αυτό το όφελος μπορούν να μειώσουν τις βοηθητικές υπηρεσίες βελτιώνοντας τις πληροφορίες που διατίθενται.</p> |
| <p>Μείωση του κόστους συμφόρησης δικτύου (Reduced Congestion Cost)</p> | <p>Ως συμφόρηση νοείται η κατάσταση κατά την οποία η γραμμή διασύνδεσης δεν είναι σε θέση να διεκπεραιώνει όλες τις φυσικές ροές που προκύπτουν από τις προγραμματισμένες συναλλαγές που ζητούν οι συμμετέχοντες στην αγορά, λόγω ελλειπών δυναμικού των γραμμών διασύνδεσης ή/και των εμπλεκόμενων δικτύων μεταφοράς και διανομής. Οι λειτουργίες που παρέχουν αυτό το όφελος αποφεύγουν τη συμφόρηση με κατάλληλη διαχείριση της ροής ενέργειας.</p> |
| <p>Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς (Deferred Transmission Capacity Investments)</p> | <p>Η μείωση του ζητούμενου φορτίου και της συμφόρησης βελτιστοποιεί την αξιοποίηση των υπάρχοντων στοιχείων και περιορίζει την ανάγκη για πιθανές αναβαθμίσεις/επεκτάσεις. Η καλύτερη παρακολούθηση, συντήρηση και αντιμετώπιση των σφαλμάτων αναβάλλει επενδύσεις σε νέες γραμμές και εξοπλισμό μεταφοράς.</p> |
| <p>Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές διανομής (Deferred Distribution Capacity Investments)</p> | <p>Όπως και στη μεταφορά έτσι και στη διανομή η στενότερη παρακολούθηση, η καλύτερη συντήρηση και η διαχείριση του φορτίου θα μπορούσαν να επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής των εγκαταστάσεων διανομής πριν χρειαστεί να γίνουν επεκτάσεις ή αναβαθμίσεις.</p> |
| <p>Μειωμένο κόστος βλαβών εξοπλισμού (Reduced Equipment Failures Cost)</p> | <p>Η μείωση των βλαβών του εξοπλισμού αυξάνει τη διάρκεια ζωής τους και μειώνει την πιθανότητα πρόωρης αστοχίας.</p> |
| <p>Μείωση του κόστους συντήρησης (Reduced Distribution Equipment Maintenance Cost)</p> | <p>Το κόστος αποστολής συνεργείων για τον έλεγχο της κατάστασης του εξοπλισμού είναι ιδιαίτερα υψηλό, κυρίως στις απομακρυσμένες περιοχές. Επιπλέον, για να πετύχουν την επαρκή λειτουργία των μηχανημάτων και να εντοπίσουν ενδεχόμενες αποτυχίες, οι ηλεκτρικές εταιρείες πραγματοποιούν ελέγχους και διαδικασίες συντήρησης συχνότερα από όσο χρειάζεται. Η απευθείας διάγνωση και αναφορά των συνθηκών λειτουργίας θα μειώσει και σε αρκετές περιπτώσεις θα εξαλείψει την ανάγκη αποστολής ανθρώπινου δυναμικού.</p> |
| <p>Μείωση του κόστους λειτουργίας (Reduced Distribution Operations Cost)</p> | <p>Η αυτοματοποιημένη ή από απόσταση διαχειριζόμενη λειτουργία πυκνωτών, μετασχηματιστών, διακοπών τροφοδοσίας, ρελέ προστασίας εξαλείφουν την ανάγκη αποστολής συνεργείων. Αυτό συνεπάγεται μικρότερο κόστος από πλευράς εργασίας και μεταφοράς των εργαζομένων.</p> |
| <p>Μείωση του κόστους ανάγνωσης και λειτουργίας των μετρητών (Reduced Meter Operation and Reading Cost)</p> | <p>Τα αυτοματοποιημένα μετρητικά συστήματα δεν απαιτούν πλέον επιτόπια χειροκίνητη ανάγνωση των μετρήσεων.</p> |
| <p>Μειωμένη κλοπή ηλεκτρικής ενέργειας (Reduced Electricity Theft)</p> | <p>Αρκετοί ευφυείς μετρητές ανιχνεύουν προσπάθειες παραποίησης. Επιπλέον, το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης που προσφέρεται από τους μετρητές μπορεί να αναλύει και συγκρίνει προφίλ και πρότυπα κατανάλωσης που θα μπορούσαν να εντοπίζουν παράνομη ιδιοποίηση ενέργειας.</p> |

| | |
|--|---|
| Μείωση των απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας (Reduced Electricity Losses) | Η εγκατάσταση της παραγωγής εγγύτερα στο φορτίο, η διαχείριση της ζήτησης αιχμής και η ελαχιστοποίηση της ποσότητας αέριου ισχύος μπορούν να βελτιώσουν το συντελεστή ισχύος και επομένως να μειώσουν τις απώλειες της γραμμής. |
| Εξοικονόμηση κόστους ηλεκτρικής ενέργειας (Reduced Electricity Cost) | Το μοντέλο ζήτησης-προσφοράς μπορεί να ρυθμίζει τις συνήθειες των καταναλωτών και να μειώσει το κόστος του ρεύματος ιδίως τις ώρες αιχμής μέσω είτε άμεσης μείωσης της κατανάλωσης είτε μετάθεσης του φορτίου αιχμής. |
| Αύξηση του χρόνου διαθεσιμότητας παροχής (Reduced Sustained Outages) | Χάρη στο προηγμένο σύστημα παρακολούθησης και στις πληροφορίες που παρέχονται για το δίκτυο σε πραγματικό χρόνο μειώνεται η πιθανότητα να συμβεί διακοπή της παροχής ενέργειας. Επιπλέον, αν συμβεί διακοπή, και αν συμβεί μειώνεται η διάρκεια της αυξάνοντας έτσι την αξιοπιστία του συστήματος (αναφέρεται σε διακοπές ρεύματος διάρκειας μικρότερης των 5 λεπτών). |
| Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος (Reduced Major Outages) | Η εκτεταμένη διακοπή μπορεί να αντιμετωπιστεί με την εισαγωγή των τμημάτων που περιλαμβάνουν κατανομημένη παραγωγή έτσι ώστε οι πελάτες να εξυπηρετούνται βοηθητικά μέχρι να αποκατασταθεί η υπηρεσία (αναφέρεται σε διακοπές ρεύματος διάρκειας μεγαλύτερης των 5 λεπτών). |
| Μείωση του κόστους αποκατάστασης (Reduced Restoration Cost) | Οι λιγότερες διακοπές ρεύματος έχουν ως αποτέλεσμα και μικρότερες δαπάνες αποκατάστασης που περιλαμβάνουν αποστολή επιτελείου, νέα υλικά και εξοπλισμό, απασχόληση υπηρεσιών όπως τηλεφωνικά κέντρα και μέσα ενημέρωσης. |
| Μειωμένες σε πλήθος στιγμιαίες διακοπές ρεύματος (Reduced Momentary Outages) | Με τον ταχύ εντοπισμό των σφαλμάτων και την άμεση ενσωμάτωση στο δίκτυο των εφεδρικών μονάδων αποθήκευσης οι στιγμιαίες διακοπές (για παράδειγμα όταν τρεμοπαίζουν τα φώτα) μπορούν να περιοριστούν ή να εξαλειφθούν αυξάνοντας την αξιοπιστία. |
| Μειωμένες διαταραχές τάσης (Reduced Sags and Swells) | Η ακρίβεια στον εντοπισμό των σφαλμάτων και η άμεση ανταπόκριση για την εξασφάλιση της αδιάλειπτης παροχής μειώνει τη συχνότητα και σοβαρότητα διακυμάνσεων της τάσης. |
| Μείωση των εκπομπών CO₂ και των αιωρούμενων σωματιδίων SO_x, NO_x (Reduced CO₂, SO_x, NO_x Emissions) | Η βελτίωση της επίδοσης του συστήματος σε πολλαπλούς τομείς θα επιφέρει τη μείωση των εκπομπών CO ₂ και άλλων ρυπογόνων ενώσεων που παράγεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων των συμβατικών ηλεκτροπαραγωγών μονάδων. |
| Μειωμένη χρήση πετρελαίου (Reduced Oil Usage) | Τα μικρότερα φορτία αιχμής, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τα ηλεκτρικά οχήματα μειώνουν την εξάρτηση από τα καύσιμα. Επιπλέον, η εξάλειψη της ανάγκης αποστολής ανθρώπων για την παρακολούθηση του δικτύου εξοικονομεί την ποσότητα καυσίμου της μεταφοράς. |
| Μειωμένες ολικές διακοπές (blackouts) (Reduced Widescale Blackouts) | Τα συστήματα ελέγχου και απομακρυσμένης λειτουργίας μειώνουν την πιθανότητα περιφερειακές συσκοτίσεις να διευρυνθούν. Μέσω μιας ακριβούς εικόνας όλης της έκτασης του ηλεκτρικού δικτύου επιτρέπεται ο συντονισμός των διαθέσιμων πόρων και των κατάλληλων ενεργειών μεταξύ των μεμονωμένων περιοχών (αναφέρεται σε διακοπές ρεύματος διάρκειας που εκτείνονται σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές, πόλεις ακόμη και χώρες) |

Πίνακας 5.5 Στάδιο 3: Ορισμοί των επιμέρους οφελών

*Οι βοηθητικές υπηρεσίες αναφέρονται κυρίως στις:

Transmission Voltage Regulation: είναι η διατήρηση της τιμής της τάσης μέσα σε συγκεκριμένα προκαθορισμένα όρια διακύμανσης τόσο κατά τη μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και στα σημεία του φορτίου.

Power Quality Improvement: διακρίνεται σε: α) μικρής διάρκειας βελτίωση της ποιότητας ισχύος η οποία σχετίζεται με την εξομάλυνση βυθίσεων τάσης, αιχμών τάσης και διακοπών ρεύματος για χρονικό διάστημα από μερικά δευτερόλεπτα μέχρι μερικά λεπτά, για απαιτήσεις ισχύος < 1MW και β) σε μεγάλης διάρκειας βελτίωση ποιότητας ή οποία σχετίζεται με ότι και η προηγούμενη, αλλά για απαιτήσεις ισχύος > 1 MW και χρονική διάρκεια 1-2 ώρες.

Spinning Reserve: ονομάζεται και στρεφόμενη εφεδρεία. Είναι η διατήρηση μέρους της παραγωγής ισχύος από τις μονάδες και η παροχή της σε έκτακτες χρονικές στιγμές (π.χ. λόγω βλάβης της γεννήτριας μίας μονάδας), προκειμένου να συνεχιστεί η αδιάλειπτη παροχή ισχύος στους πελάτες μιας ηλεκτρικής εταιρείας.

Black-start error: είναι η ικανότητα μιας μονάδας παραγωγής να τεθεί σε λειτουργία μετά την πλήρη αποκοπή του από το δίκτυο λόγω κάποιου σφάλματος. Αυτό συμβαίνει, διότι μερικές μονάδες παραγωγής απαιτούν μια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας για να επανεκκινηθούν μετά από ένα σφάλμα.

Transmission & Distribution System Stability: αφορά τη διατήρηση της ευστάθειας του συστήματος μεταφοράς και διανομής και την αποτροπή της κατάρρευσης του, διατηρώντας όλα τα στοιχεία της γραμμής συγχρονισμένα μεταξύ τους.

Frequency Control: είναι η διατήρηση της συχνότητας στην ονομαστική της τιμή 50 ή 60 Hz.

| Οφέλη | | Λειτουργίες του ευφυούς δικτύου | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|----------------------------|--|--|---------------------------|--------------|---------------------|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------|---|-------------------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| | | Fault Current Limiting | Wide Area Monitoring, Visualization, and Control | Dynamic Capability Rating | Flow Control | Adaptive Protection | Automated Feeder Switching | Automated Islanding and Reconnection | Automated Voltage and VAR Control | Diagnosis & Notification of Equipment Condition | Enhanced Fault Protection | Real-Time Load Measurement & Management | Real-time Load Transfer | Customer Electricity Use Optimization | Distributed Generation | Stationary Electricity Storage | Plug-in Electric Vehicles |
| Κατηγορία | Υποκατηγορία | Μειμονιμένο όφελος | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Improved Asset Utilization | Optimized Generator Operation | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T&D Capital Savings | Deferred Generation Capacity Investments Reduced Ancillary Service Cost Reduced Congestion Cost | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T&D O&M Savings | Deferred Transmission Capacity Investments Deferred Distribution Capacity Investments Reduced Equipment Failures | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Theft Reduction | Reduced Distribution Equipment Maintenance Cost | | | | | | | | | | | | | | | |
| Economic | Energy Efficiency | Reduced Distribution Operations Cost | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Electricity Cost Savings | Reduced Motor Reading Cost Reduced Electricity Theft Reduced Electricity Losses | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Power Interruptions | Reduced Electricity Cost | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Power Quality | Reduced Sustained Outages Reduced Major Outages Reduced Restoration Cost Reduced Momentary Outages Reduced Sags and Swells | | | | | | | | | | | | | | | |
| Environmental | Air Emissions | Reduced CO ₂ Emissions Reduced SO _x , NO _x , and PM-10 Emissions | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Energy Security | Reduced Oil Usage (not monetized) Reduced Widescale Blackouts | | | | | | | | | | | | | | | |

Πίνακας 5.6 Σχηματική αποτύπωση των λειτουργιών σε οφέλη

i. Περιορισμός των σφαλμάτων ρεύματος (fault current limiting)

Οι πολύ υψηλές τιμές ρεύματος που μπορεί να οφείλονται σε βραχυκυκλώματα συνήθως προκαλούν σοβαρές μηχανικές καταπονήσεις στον εξοπλισμό του δικτύου μεταφοράς και διανομής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αποτυχία λειτουργίας ή βλάβες με την πάροδο του χρόνου. Σκοπός του ευφυούς δικτύου είναι ο περιορισμός των ρευμάτων αυτών σε ασφαλή επίπεδα ώστε να προστατεύεται ο εξοπλισμός. Τα τελευταία χρόνια κατασκευαστές ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και ερευνητικοί οργανισμοί (όπως DOE, EPRI) επιδιώκουν την ανάπτυξη των περιοριστών ρεύματος σφάλματος (fault current limiters). Πρόκειται για συσκευές που χρησιμοποιούν υπεραγωγούς υψηλής θερμοκρασίας οι οποίοι λόγω των χαρακτηριστικών επίδοσής τους μπορούν να εφαρμοστούν από τις ηλεκτρικές εταιρείες. Ωστόσο, ο προηγμένος αυτός εξοπλισμός δεν αναμένεται να είναι άμεσα διαθέσιμος.

Ο περιορισμός σφαλμάτων αναμένεται να οδηγήσει σε:

- Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς (Deferred Transmission Capacity Investments) – Τα ρεύματα βραχυκύκλωσης είναι καταστροφικά για τον εξοπλισμό. Αυτό μπορεί να οδηγήσει τις επιχειρήσεις στην αντικατάσταση ή αναβάθμιση διακοπών, μετασχηματιστών, υποσταθμών κλπ, λύσεις που κρίνονται πολύ δαπανηρές, δύσκολες και χρονοβόρες κυρίως όταν πρόκειται για κρίσιμους και μεγάλους υποσταθμούς. Η ανάπτυξη τεχνολογιών που θα αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά τα βραχυκυκλώματα μπορεί να αναβάλει ή και να εξαλείψει την ανάγκη για αναβαθμίσεις ή ολικές επανορθώσεις του δικτύου.
- Μειωμένο κόστος βλαβών εξοπλισμού (Reduced Equipment Failures Cost) – Εφόσον περιοριστεί το επίπεδο του ρεύματος βραχυκύκλωσης που ρέει μέσω του εξοπλισμού, μειώνεται η σχετική καταπόνηση και φθορά του. Αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, μικρότερη πιθανότητα πρόωρης αστοχίας και σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων. Για παράδειγμα, αν σε ένα δίκτυο που λειτουργεί στα 138 kV το αρχικό ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι 64kA και το

τροποποιημένο μέσω ενός FCL σε ένα ευφυές δίκτυο είναι 21kA, αυτό ισοδυναμεί με παράταση της ζωής των συναφών εξοπλισμών. Δεδομένου ότι μια μονάδα του δικτύου έχει τη δυνατότητα να υποβάλλεται κατά μέσο όρο σε 15 μεσαίας ή μεγάλης έκτασης βραχυκυκλώματα ετησίως, ο ανωτέρω περιορισμός του ρεύματος βραχυκύκλωσης μπορεί να επεκτείνει μέχρι και κατά 10 χρόνια τη διάρκεια ζωής ενός μετασχηματιστή.

ii. Παρακολούθηση και απεικόνιση του δικτύου (wide area monitoring and visualization)

Η λειτουργία αυτή περιλαμβάνει την παρακολούθηση των συνθηκών που επικρατούν στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής σε πολλές περιοχές ταυτόχρονα και την εμφάνιση των πληροφοριών στους διαχειριστές του δικτύου. Οι συγκεντρωτές δεδομένων και το προηγμένο λογισμικό παρέχουν την εικόνα λειτουργίας του συστήματος σε πραγματικό χρόνο επιτρέποντας έτσι την ανάλυση και αξιοποίησή της με μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία. Τα οφέλη τα οποία προσφέρει είναι:

- Βελτιστοποιημένη λειτουργία των εγκαταστάσεων παραγωγής (Optimized Generator Operation) – Όλες οι γεννήτριες που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο είναι συγχρονισμένες με τη συχνότητα του δικτύου. Κάθε μονάδα παράγει ενεργό και άεργο ισχύ και συμβάλλει στην ηλεκτρική σταθερότητα του διασυνδεδεμένου συστήματος. Το ευφυές δίκτυο επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης να επιτηρούν την τάση και το ρεύμα με πολύ υψηλά επίπεδα λεπτομέρειας. Αυτό παρέχει βαθύτερη κατανόηση της σταθερότητας του δικτύου σε πραγματικό χρόνο και της απόδοσης που έχουν οι γεννήτριες ειδικά σε περιπτώσεις συμφόρησης. Έτσι οι επιχειρήσεις εντοπίζουν ποιές ομάδες ή μεμονωμένες γεννήτριες πρέπει να βελτιστοποιήσουν.
- Μείωση του κόστους των βοηθητικών υπηρεσιών (Reduced Ancillary Service Cost) – Οι βοηθητικές υπηρεσίες, όπως η ρύθμιση τάσης και συχνότητας των γεννητριών, είναι απαραίτητες για τη διασφάλιση της αξιόπιστης και αποδοτικής λειτουργίας του δικτύου. Ο βαθμός στον

οποίο πρέπει να ενεργοποιούνται κάθε χρονική στιγμή στο δίκτυο βασίζεται στην εμπειρία λειτουργίας και σε μελέτες σχεδιασμού. Αν μέσω του ευφυούς δικτύου παρέχονται πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, οι βοηθητικές υπηρεσίες μπορούν να περιοριστούν, καθώς θα εφαρμόζονται όταν πράγματι είναι επιτακτική η ανάγκη τους. Αυτό συνεπάγεται μειωμένο κόστος για όλους τους συμμετέχοντες στην αγορά.

- Μείωση του κόστους συμφόρησης δικτύου (Reduced Congestion Cost) – Μέσω της ευρείας παρακολούθησης του δικτύου αυξάνεται το όριο σταθερότητας των γραμμών μεταφοράς με αποτέλεσμα η ικανότητα μετάδοσης να μην απειλείται από συμφορήσεις και να αυξάνεται η αξιοπιστία του δικτύου.
- Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς (Deferred Transmission Capacity Investments) – Ο έλεγχος και η ενίσχυση της σταθερότητας του δικτύου μπορεί να αναβάλει ή και να εξαλείψει την ανάγκη αναβάθμισης ή εγκατάστασης νέου εξοπλισμού μεταφοράς.
- Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος (Reduced Major Outages) – Η παρακολούθηση του δικτύου επιτρέπει στους διαχειριστές των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας να προλαμβάνουν συνθήκες που μπορεί να προκαλέσουν διακοπές ρεύματος.
- Μειωμένες ολικές διακοπές (blackouts) (Reduced Widescale Blackouts) – Οι διαχειριστές μπορούν να παρακολουθούν κάθε περιοχή του δικτύου ξεχωριστά αλλά, ταυτόχρονα, να διαθέτουν την εικόνα του μεγαλύτερου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι μπορούν να συντονίζουν καλύτερα τους διαθέσιμους πόρους και να πραγματοποιούν ενέργειες σε κάθε περιοχή για να μειώσουν την πιθανότητα διακοπών που έχουν τη δυνατότητα επέκτασης σε πολλά σημεία του δικτύου.

iii. Δυναμική εκτίμηση της ικανότητας μεταφοράς ενέργειας (dynamic capability rating)

Η εκτίμηση της ικανότητας μετάδοσης ενέργειας τόσο για τις γραμμές μεταφοράς όσο και για τον εξοπλισμό του δικτύου βασίζεται συνήθως σε θερμικά όρια. Για τις γραμμές αυτοτελές μέτρο εκτίμησης είναι η θερμοκρασία. Εξαιτίας της εγγενούς ηλεκτρικής αντίστασης που εμφανίζουν οι αγωγοί, όσο περισσότερο ρεύμα υποστηρίζουν τόσο υψηλότερη θερμοκρασία αναπτύσσουν. Αντιθέτως, για τον εξοπλισμό, όπως για παράδειγμα για τους μετασχηματιστές, υπάρχει συγκεκριμένη ποσότητα θερμότητας που μπορεί να είναι ανεκτή πριν από τη βλάβη ή υποβάθμισή του. Όταν υπάρξει υπέρβαση των θερμικών ορίων σε κάποια από τις δύο περιπτώσεις η σταθερότητα του δικτύου επηρεάζεται. Η ικανότητα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλεται επίσης σε εποχική βάση διότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η ταχύτητα του ανέμου και η υγρασία, επηρεάζουν την απόρριψη θερμότητας από τον εξοπλισμό. Επιπλέον, πρέπει να πραγματοποιείται και αξιολόγηση της ικανότητας μεταφοράς υπό συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Σήμερα οι αξιολογήσεις αυτές είναι στατικές και βασίζονται κυρίως στις προδιαγραφές του κατασκευαστή, σε χρονοδιαγράμματα σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και σε εμπειρικά δεδομένα. Αυτό όμως μπορεί να οδηγεί σε λανθασμένα συμπεράσματα που τελικά περιορίζουν άσκοπα την ικανότητα μεταφοράς.

Η δυναμική εκτίμηση της ικανότητας μεταφοράς που προσφέρει το ευφυές δίκτυο χρησιμοποιεί ευφυείς αισθητήρες, τηλεπικοινωνιακά συστήματα και επεξεργασία των πληροφοριών που δίνει μια σαφή εικόνα της πραγματικής ικανότητας των στοιχείων του δικτύου σε πραγματικό χρόνο. Αυτό θα μπορούσε να δώσει νέες δυνατότητες στους διαχειριστές. Για παράδειγμα, σε δροσερές ή θυελλώδεις συνθήκες, μια γραμμή μεταφοράς δεν υπερθερμαίνεται τόσο εύκολα οπότε μπορεί να μεταφέρει μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας. Η λειτουργία αυτή μπορεί να οδηγήσει σε πέντε οφέλη:

- Μείωση του κόστους συμφόρησης του δικτύου (Reduced Congestion Cost) – Οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να αποφύγουν τη συμφόρηση ελέγχοντας τη ροή ενέργειας. Συμφόρηση παρατηρείται όταν δεν υπάρχει επαρκής ενέργεια για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις όλων των πελατών.

Στην περίπτωση αυτή, για να αποφευχθεί η υπερφόρτωση είναι πιθανό να επιλεγεί μια γεννήτρια υψηλότερου κόστους λειτουργίας. Η διαφορά κόστους μεταξύ της ακριβής και της λιγότερο ακριβής γεννήτριας συνιστά το κόστος συμφόρησης.

- Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς και διανομής (Deferred Transmission and Distribution Capacity Investments) - Η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των ηλεκτρικών και περιβαλλοντικών συνθηκών των στοιχείων μεταφοράς και διανομής, κυρίως των γραμμών και των μετασχηματιστών, μπορεί να αναβάλει δαπανηρές αναβαθμίσεις ή αντικαταστάσεις. Για παράδειγμα, η προσαρμογή της ικανότητας μεταφοράς μιας γραμμής σύμφωνα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια ζωής της. Επίσης, μπορούν να λαμβάνονται καταλληλότερες αποφάσεις σχετικά με το πότε και σε ποια έκταση πρέπει να γίνουν οι αναβαθμίσεις.
- Μειωμένο κόστος βλαβών εξοπλισμού (Reduced Equipment Failures Cost) - Δεδομένου ότι η ικανότητα του εξοπλισμού για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας περιορίζεται από τα όρια θέρμανσής του και τη δυνατότητα να αποβάλλει θερμότητα, είναι φανερό ότι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η ταχύτητα του ανέμου παίζουν καθοριστικό ρόλο. Διαμορφώνοντας τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας με βάση αυτές τις συνθήκες αυξάνεται δυνητικά η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού και μειώνεται η πιθανότητα πρόωρης αστοχίας.
- Μειωμένες ολικές διακοπές (blackouts) (Reduced Widescale Blackouts) – Έχοντας σαφή εικόνα της κατάστασης των κρίσιμων στοιχείων του δικτύου, οι διαχειριστές μπορούν να μειώνουν την πιθανότητα υπερφορτώσεων και σφαλμάτων που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε blackouts.

iv. Έλεγχος ροής ενέργειας (flow control)

Στα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος, η σύνθετη αντίσταση των γραμμών και των μετασχηματιστών καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο ρέει η

ενέργεια από την παραγωγή στο φορτίο. Μεταβάλλοντας τη σύνθετη αντίσταση μεταβάλλεται και η ροή ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα, η ρύθμιση αυτή μπορεί να γίνει με μετασχηματιστές ρύθμισης φάσης ή ευέλικτα συστήματα μεταφοράς, λύσεις που, συχνά, είναι ακριβές και δεν εφαρμόζονται ευρέως. Οι νέες τεχνολογίες, όπως τα υπεραγώγιμα καλώδια που έχουν χαμηλή σύνθετη αντίσταση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με ρυθμιστές γωνίας φάσης. Ένα ευφύες σύστημα ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιεί μια χαμηλή αντίσταση σε συνδυασμό με μία ελεγχόμενη αντίσταση ώστε να μπορεί να γίνει έλεγχος της ροής ισχύος. Η λειτουργία αυτή μπορεί να οδηγήσει σε τέσσερα οφέλη:

- Μείωση του κόστους συμφόρησης δικτύου (Reduced Congestion Cost) – Το κόστος συμφόρησης προκύπτει όταν μία πρόσθετη παραγωγική μονάδα πρέπει να συνδεθεί για εξυπηρετήσει το φορτίο. Μέσω του ελέγχου της ροής ενέργειας μπορεί να αποφευχθεί η συμφόρηση και οι σχετικές δαπάνες που έχουν σχέση με αυτή. Έστω για παράδειγμα ότι μια γραμμή έχει ικανότητα μεταφοράς 1000 MW αλλά η πρόβλεψη φορτίου είναι 1100 MW. Με τη χρησιμοποίηση ενός ελεγχόμενου στοιχείου σύνθετης αντίστασης μπορεί να προφέρεται η επιθυμητή ενέργεια χωρίς να προκληθεί υπερφόρτωση.
- Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς (Deferred Transmission Capacity Investments) - Η αύξηση της ζήτησης ενέργειας και οι προστιθέμενες πηγές ενέργειας στο δίκτυο οδηγούν σε αυξημένη φόρτιση των γραμμών που συχνά καθιστά αναγκαίες τις επενδύσεις σε νέα συστήματα μεταφοράς. Ο περιορισμός των υπερφορτώσεων μέσω του ελέγχου της ενέργειας μπορεί να καθυστερήσει αυτές τις επενδύσεις και να εξοικονομήσει σημαντικές δαπάνες.
- Μείωση των εκπομπών CO₂ και των αιωρούμενων σωματιδίων SO_x, NO_x (Reduced CO₂, SO_x, NO_x Emissions) – Όταν μειώνεται η σύνθετη αντίσταση μιας γραμμής μεταφοράς μειώνονται οι απώλειες ενέργειας και συνεπώς και η ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται να παραχθεί για την εξυπηρέτηση της ζήτησης. Συνεπώς, μειώνεται η καύση ορυκτών καυσίμων και οι εκπομπές ρυπογόνων αερίων που αυτή συνεπάγεται.

v. Προσαρμοστική προστασία (adaptive protection)

Η ανίχνευση και αποκατάσταση των σφαλμάτων (όπως τα βραχυκυκλώματα) είναι κρίσιμης σημασίας για τη διασφάλιση της δημόσιας ασφάλειας, της προστασίας των περιουσιακών στοιχείων του δικτύου και της αξιοπιστίας του ενεργειακού συστήματος γενικότερα. Ρελέ προστασίας παρακολουθούν τις τιμές του ρεύματος και της τάσης και αποστέλλουν σήματα ενεργοποίησης στους διακόπτες όταν ανιχνεύονται τιμές που υπερβαίνουν τα καθορισμένα όρια. Η λειτουργία των ρελέ, διακοπών και ασφαλειών είναι σχεδιασμένη να ανταποκρίνεται σε αναμενόμενες συνθήκες. Προσαρμοστική προστασία σημαίνει ότι οι μηχανισμοί προστασίας μπορούν να προσαρμόζονται αντίστοιχα προς τις συνθήκες που επικρατούν. Για παράδειγμα, αν χρειαστεί να προστεθεί στο δίκτυο μια επιπλέον μονάδα παραγωγής (π.χ. από διασπαρμένη παραγωγή), τα ρελέ προστασίας πρέπει να είναι σε θέση να μεταβάλουν τις ρυθμίσεις των επιπέδων τάσης και ρεύματος, επιτρέποντας έτσι την ομαλή ενσωμάτωσή της. Η λειτουργία αυτή μπορεί να αποδώσει τα εξής οφέλη:

- Αύξηση του χρόνου διαθεσιμότητας παροχής (Reduced Sustained Outages) – Η τροποποίηση των ρυθμίσεων προστασίας προσαρμοστικά προς τις μεταβαλλόμενες συνθήκες βελτιώνει τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις να απομονώνουν τα σφάλματα του συστήματος και να μειώνουν την έκταση και τη διάρκεια των διακοπών. Επιπλέον, αν συμβεί μία διακοπή, είναι δυνατή η ταχεία αναδιαμόρφωση της δρομολόγησης της ενέργειας προς αποκατάσταση της υπηρεσίας σε όσο το δυνατόν περισσότερους χρήστες.
- Μείωση του κόστους αποκατάστασης (Reduced Restoration Cost) – Οι λιγότερες διακοπές ρεύματος μειώνουν και τα έξοδα αποκατάστασης που επιβαρύνουν τους φορείς εκμετάλλευσης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (αποστολή ανθρώπινου δυναμικού, υλικά, εξοπλισμοί, τηλεφωνικά κέντρα).
- Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος (Reduced Major Outages) – Η προσαρμοστική λειτουργία των στοιχείων του

δικτύου αυξάνει την ταχύτητα αποκατάστασης των σφαλμάτων που προκαλούν διακοπές ρεύματος.

vi. Αυτοματοποιημένα συστήματα τροφοδοσίας (automated feeder switching)

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας διαθέτουν κατάλληλους διακόπτες και μηχανισμούς για να μπορούν να αποσυνδέουν συγκεκριμένα τμήματα του δικτύου είτε για να απομονώσουν σφάλματα είτε για να πραγματοποιήσουν διαδικασίες συντήρησης. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αποσύνδεση αυτή πρέπει να γίνει χειροκίνητα, δηλαδή είναι απαραίτητη η μετακίνηση εργαζομένων στη θέση εγκατάστασης του διακόπτη. Η αυτοματοποιημένη εναλλαγή τροφοδοσίας καθιστά δυνατή την από απόσταση διαχείριση των διακοπών. Μπορεί έτσι να επιτυγχάνεται ταχεία απομόνωση ενός σφάλματος και ακριβής εντοπισμός της θέσης του είτε από το διαχειριστή είτε με αυτοματοποιημένες διαδικασίες. Η λειτουργία αυτή προσφέρει τα εξής οφέλη:

- Μείωση του κόστους λειτουργίας (Reduced Distribution Operations Cost)
 - Η από απόσταση διαχείριση των συστημάτων εξοικονομεί χρόνο, κόστος εργασίας και μεταφοράς των εργαζομένων.
- Αύξηση του χρόνου διαθεσιμότητας παροχής (Reduced Sustained Outages) Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος (Reduced Major Outages) – Με το άμεσο άνοιγμα των διακοπών απομονώνονται τα ελαττωματικά τμήματα και δεν επεκτείνονται τα σχετικά σφάλματα ενώ με την ταχεία επανασύνδεση μετά την επιδιόρθωση εξοικονομείται σημαντικό χρόνο. Συνεπώς, η λειτουργία αυτή αν και δεν προλαμβάνει τις διακοπές ρεύματος μπορεί να περιορίσει τη διάρκειά τους μειώνοντας το χρόνο αποκατάστασης.
- Μείωση του κόστους αποκατάστασης (Reduced Restoration Cost) – Η δυνατότητα απομακρυσμένης διαχείρισης των διακοπών συνεπάγεται σαφώς μικρότερο κόστος αποκατάστασης της βλάβης.

- Μείωση των εκπομπών CO₂ και των αιωρούμενων σωματιδίων SO_x, NO_x (Reduced CO₂, SO_x, NO_x Emissions) – Εξοικονομούνται τα ρυπογόνα αέρια του θερμοκηπίου λόγω αποφυγής της μεταφοράς των εργαζομένων στα σημεία που απαιτούν χειρισμούς.
- Μειωμένη χρήση πετρελαίου (Reduced Oil Usage) - Εξοικονομούνται τα καύσιμα μεταφοράς των εργαζομένων στα σημεία όπου απαιτούνται χειρισμοί.

vii. Αυτοματοποιημένη νησιδοποίηση και επανασύνδεση (automated islanding and reconnection)

Ένα μικροδίκτυο συνιστά ένα ολοκληρωμένο ενεργειακό σύστημα αποτελούμενο από διασυνδεδεμένα φορτία και κατανεμημένους ενεργειακούς πόρους που μπορεί να λειτουργήσει είτε παράλληλα με το δίκτυο είτε ως νησίδα. Η αποσύνδεση και επανασύνδεση του μικροδικτύου πρέπει να γίνεται αυτόματα. Η λειτουργία αυτή μπορεί να οδηγήσει σε δύο οφέλη:

- Αύξηση του χρόνου διαθεσιμότητας παροχής (Reduced Sustained Outages) Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος (Reduced Major Outages) – Η αυτοματοποιημένη νησιδοποίηση και επανασύνδεση σημαίνει ότι τμήματα του δικτύου που διαθέτουν κατανεμημένη παραγωγή μπορούν να απομονώνονται από τις περιοχές στις οποίες έχει συμβεί διακοπή. Οι πελάτες υπόκεινται σε μικρότερο χρόνο διακοπής αφού εντάσσονται άμεσα στη νησίδα και εξυπηρετούνται μέχρι να αποκατασταθεί πλήρως η υπηρεσία από το ενιαίο δίκτυο.
- Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος (Reduced Major Outages) – Η αυτόματη λειτουργία των μικροδικτύων αποτρέπει την επέκταση του σφάλματος σε πολλές περιοχές.

viii. Αυτοματοποιημένος έλεγχος της τάσης και της άεργου ισχύος (automated voltage and VAR control)

Η αυτοματοποίηση της τάσης και ο έλεγχος της άεργου ισχύος μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσω συσκευών που ενεργοποιούνται και προσαρμόζουν το επίπεδο της τάσης εντός προκαθορισμένων ορίων. Προηγμένα συστήματα

ελέγχου είναι σε θέση να αποφασίζουν πότε πρέπει να λειτουργήσουν οι συσκευές αυτές αυτόματα. Η λειτουργία αυτή προκύπτει από τη συνεργασία πυκνωτών, ρυθμιζόμενων μετασχηματιστών (tap changers), κατανεμημένων πόρων και μονάδων αποθήκευσης με αισθητήρες και τηλεπικοινωνιακές συσκευές. Αυτά λειτουργούν είτε αυτόματα είτε μετά τη λήψη κατάλληλων σημάτων μετά από ενεργοποίηση από τα κέντρα ελέγχου. Η λειτουργία αυτή προσφέρει τα εξής οφέλη:

- Μείωση των τεχνικών απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας (Reduced Electricity Losses) – Η καλύτερη διαχείριση της τάσης επιτρέπει τη βέλτιστη λειτουργία του δικτύου μεταφοράς και διανομής από πλευράς απωλειών. Επιπλέον, οι μικρότερες απώλειες θα μειώσουν την απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας για την εξυπηρέτηση της ζήτησης.
- Μείωση του κόστους των βοηθητικών υπηρεσιών (Reduced Ancillary Service Cost) – Εφόσον η τάση και η άεργος ισχύς θα ρυθμίζονται αυτόματα μειώνονται οι βοηθητικές υπηρεσίες που παρέχονται από τους διαχειριστές και συνεπώς είναι μικρότερες οι δαπάνες για αυτές.
- Μείωση του κόστους λειτουργίας (Reduced Distribution Operations Cost) – Η από απόσταση διαχείριση της τάσης εξοικονομεί χρόνο, κόστος εργασίας και μεταφοράς των εργαζομένων.
- Μείωση των εκπομπών CO₂ και των αιωρούμενων σωματιδίων SO_x, NO_x (Reduced CO₂, SO_x, NO_x Emissions) – Η μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για την εξυπηρέτηση του φορτίου ως αποτέλεσμα της καλύτερης διαχείρισης της τάσης και της βελτιωμένης απόδοσης θα περιορίσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

ix. Διάγνωση και ειδοποίηση περί της κατάστασης του εξοπλισμού (Diagnosis and Notification of Equipment Condition)

Ορισμένα είδη εξοπλισμού, όπως μετασχηματιστές και διακόπτες, είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την παροχή ηλεκτρισμού στους πελάτες. Οι επιχειρήσεις σε τακτά χρονικά διαστήματα πρέπει να υποβάλλουν τον εξοπλισμό αυτό σε δοκιμές προκειμένου να ελέγξουν την αποτελεσματικότητά του. Εκτελούν τις απαραίτητες εργασίες συντήρησης ή αντικαθιστούν ορισμένα στοιχεία του

προκειμένου να διασφαλίσουν την αξιόπιστη λειτουργία επί όσο το δυνατό μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Λόγω της μεγάλης έκτασης του δικτύου οι εργασίες ελέγχου, επεξεργασίας των μετρήσεων και συντήρησης είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες και ακριβές. Επίσης, είναι πιθανό να αποτύχουν να προσδιορίσουν τις συνθήκες αστοχίας του εξοπλισμού και να μην πραγματοποιήσουν τις κατάλληλες διαδικασίες αναβάθμισης.

Η απευθείας παρακολούθηση μέσω υπολογιστή και ανάλυση της επίδοσης του εξοπλισμού και των συνθηκών περιβάλλοντος μπορεί να ανιχνεύσει εγκαίρως μη φυσιολογικές λειτουργίες, όπως υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας ή παραγωγή δονήσεων. Έτσι, οι διαχειριστές ενημερώνονται αυτόματα και μπορούν να προλαμβάνουν ενδεχόμενη αποτυχία ή καταστροφή του εξοπλισμού. Η λειτουργία αυτή συμβάλλει στα οφέλη:

- Μειωμένο κόστος βλαβών εξοπλισμού (Reduced Equipment Failures Cost) – Παρακολουθώντας αδιάκοπα τον εξοπλισμό και αποστέλλοντας αναφορές σχετικά με την κατάστασή του εντοπίζονται πιθανά προβλήματα πριν οδηγήσουν στη βλάβη.
- Μείωση του κόστους συντήρησης (Reduced Distribution Equipment Maintenance Cost) – Το κόστος αποστολής τεχνικών για την εξέταση του εξοπλισμού είναι υψηλό. Επιπλέον, πολλές ηλεκτρικές εταιρείες πραγματοποιούν ελέγχους και διαδικασίες συντήρησης συχνότερα από ότι χρειάζεται. Με την on line παρακολούθηση θα μειωθεί δραστικά η ανάγκη αποστολής προσωπικού και η συντήρηση θα γίνεται όταν πραγματικά απαιτείται.
- Αύξηση του χρόνου διαθεσιμότητας παροχής (Reduced Sustained Outages) Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος (Reduced Major Outages) – Η αποτυχία ενός εξοπλισμού μπορεί να προκαλέσει διακοπή ρεύματος. Επίσης, μπορεί να έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως πυρκαγιές. Ο έγκαιρος εντοπισμός των προβλημάτων εγκαίρως θα μειώσει την πιθανότητα εμφάνισης διακοπών.
- Μείωση του κόστους αποκατάστασης (Reduced Restoration Cost) – Οι διακοπές ρεύματος που μπορεί να οφείλονται σε αστοχία του εξοπλισμού απαιτούν δαπανηρές διαδικασίες αποκατάστασης. Συνεπώς, εφόσον

περιοριστούν δεν θα επιβαρύνουν πλέον τις επιχειρήσεις με το σημαντικό πρόσθετο κόστος.

- Μειωμένη χρήση πετρελαίου (Reduced Oil Usage) - Εξοικονομούνται τα καύσιμα μεταφοράς των εργαζομένων στα σημεία που απαιτούν δοκιμές, αναβαθμίσεις και αντικαταστάσεις.

x. Ενισχυμένη προστασία από σφάλματα (enhanced fault protection)

Τα σφάλματα γίνονται αντιληπτά εξαιτίας των υψηλών ρευμάτων που δημιουργούν, τα οποία ενεργοποιούν τις διατάξεις προστασίας. Σε πολλές περιπτώσεις, όμως, μπορεί να μην ενεργοποιηθούν ταχέως τα ρελέ προστασίας ή πολλαπλά ρελέ να διαγνώσουν το ίδιο σφάλμα και να λειτουργήσουν ταυτόχρονα. Και στις δύο περιπτώσεις η αντιμετώπιση δεν είναι η αποτελεσματικότερη.

Η ενισχυμένη προστασία που παρέχει το ευφυές δίκτυο θα μπορεί να ανιχνεύει τις βλάβες που είναι δύσκολο να εντοπιστούν ή σφάλματα τα οποία, με την πάροδο του χρόνου, προκαλούν βλάβες στον εξοπλισμό. Η αποστολή σημάτων με την ακριβή θέση και τη διάγνωση του σφάλματος θα ενεργοποιεί τις συσκευές που είναι απαραίτητο να λειτουργήσουν για την απομόνωσή του. Η λειτουργία αυτή προσφέρει τα εξής οφέλη:

- Μειωμένο κόστος βλαβών εξοπλισμού (Reduced Equipment Failures Cost) – Ο ταχύς εντοπισμός και αποκατάσταση των σφαλμάτων μειώνει τις μηχανικές καταπονήσεις του εξοπλισμού, αυξάνει τη διάρκεια ζωής και περιορίζει την πιθανότητα πρόωρης αστοχίας.
- Αύξηση του χρόνου διαθεσιμότητας παροχής (Reduced Sustained Outages) Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος (Reduced Major Outages) – Όταν εντοπίζεται ένα σφάλμα ενεργοποιείται η πλησιέστερη συσκευή για την απομόνωσή του. Η ταχεία ανταπόκριση και αποκατάσταση ελαχιστοποιεί τη διάρκεια διακοπής που μπορεί να προκληθεί.

- Μείωση του κόστους αποκατάστασης (Reduced Restoration Cost) – Ο ταχύς εντοπισμός, η ακριβής ανάλυση των αιτιών που το προκάλεσαν και η αποτελεσματική απομόνωση ενός σφάλματος μειώνουν το κόστος αποκατάστασής του τόσο για τις επιχειρήσεις όσο και για τους καταναλωτές.
- Μειωμένες στιγμιαίες διακοπές ρεύματος (Reduced Momentary Outages) – Όταν συμβαίνει ένα σφάλμα είναι ενδεχόμενο οι πελάτες να μην υποφέρουν από μεγάλης διάρκειας διακοπές ρεύματος αλλά να βιώνουν στιγμιαίες διακοπές. Δηλαδή διακοπές που διαρκούν συνήθως μερικά δευτερόλεπτα. Η ενισχυμένη προστασία μπορεί να εξαλείψει τέτοιες μικρής διάρκειας διακοπές και να τονώσει έτσι την αξιοπιστία του συστήματος.
- Μειωμένες διαταραχές της τάσης (Reduced Sags and Swells) – Σε πολλές περιπτώσεις, ρεύματα σφάλματος προκαλούνται από την επαφή ενός αγωγού με ένα δένδρο ή από ένα σπασμένο αγωγό που βρίσκεται κοντά στο έδαφος. Τέτοιου είδους βραχυκυκλώματα μπορεί να μην προκαλέσουν τιμές ρευμάτων αρκετά υψηλές για να ενεργοποιήσουν τα ρελέ προστασίας και έτσι να συνεχίζουν να δρουν προκαλώντας διακυμάνσεις στην τάση. Σκοπός της ενισχυμένης προστασίας είναι να εντοπίζει τις διακυμάνσεις και το αίτιο που τις προκαλεί.
- Μειωμένες ολικές διακοπές (blackouts) (Reduced Widescale Blackouts) – Τα συστήματα ενισχυμένης προστασίας είναι σε θέση να επιτηρούν ολόκληρες περιοχές και να αποτρέπουν διακοπές ευρείας κλίμακας.

xi. Καταμέτρηση και διαχείριση φορτίων σε πραγματικό χρόνο (real time measurement and management)

Προηγμένα μετρητικά συστήματα είναι σε θέση να παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας του πελάτη κατά τη διάρκεια της ημέρας, τους βοηθούν με κατάλληλα μηνύματα να ανταποκρίνονται στις μεταβολές της τιμής και διαμορφώνουν τα ενεργειακά τους πρότυπα. Η λειτουργία αυτή μπορεί να οδηγήσει στα εξής οφέλη:

- Μείωση του κόστους των βοηθητικών υπηρεσιών (Reduced Ancillary Service Cost) – Με την ανάλυση των δεδομένων κατανάλωσης και ανταπόκρισης των χρηστών στη χρονομεταβλητή τιμολόγηση μπορούν να δημιουργηθούν προφίλ ζήτησης και μοντέλα πρόβλεψης του φορτίου. Αυτό περιορίζει την ανάγκη παροχής βοηθητικών υπηρεσιών.
- Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς και διανομής (Deferred Transmission & Distribution Capacity Investments) – Η παρακολούθηση του ζητούμενου φορτίου και η διατήρηση του σε ανεκτά όρια δεν δημιουργεί κινδύνους και καταπονήσεις στο σύστημα μεταφοράς και διανομής. Αυτό μπορεί να επιφέρει εξοικονόμηση χρημάτων συντήρησης και αναβαθμίσεων.
- Μείωση του κόστους ανάγνωσης των μετρητών (Reduced Meter Operation and Reading Cost) – Οι πληροφορίες από τους ευφυείς μετρητές μπορούν να μεταβιβάζονται αυτόματα σε ένα κέντρο ελέγχου των μετρήσεων. Αυτό μειώνει τις δαπάνες, καθώς εξαλείφει την ανάγκη να αναγνωσθούν επιτοπίως οι μετρήσεις από συνεργεία της ηλεκτρικής εταιρείας.
- Μειωμένη κλοπή ηλεκτρικής ενέργειας (Reduced Electricity Theft) – Οι ευφυείς μετρητές εντοπίζουν τις προσπάθειες παραποίησης των αναγνώσεών τους. Επιπλέον, οι μετρητές μπορούν να συγκρίνουν προφίλ κατανάλωσης για να ανιχνεύουν καταναλωτές που χρησιμοποιούν παράνομα ενέργεια.
- Μείωση των απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας (Reduced Electricity Losses) – Το φορτίο αιχμής συνοδεύεται από μεγαλύτερες απώλειες καθώς έχει υψηλότερη τιμή από ένα πιο επίπεδο φορτίο. Συνεπώς, η μείωση του μέγιστου φορτίου θα μειώσει τις απώλειες.
- Αύξηση του χρόνου διαθεσιμότητας παροχής (Reduced Sustained Outages) – Σήμερα οι περισσότερες επιχειρήσεις ενημερώνονται για τις διακοπές ρεύματος τηλεφωνικά από τους ίδιους τους χρήστες. Με τα μετρητικά συστήματα η ανίχνευση των διακοπών γίνεται αυτόματα ενώ μειώνεται παράλληλα ο χρόνος αποκατάστασης.

- Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος (Reduced Major Outages) – Εκτεταμένες διακοπές ρεύματος μπορεί να επηρεάσουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές και δεκάδες χιλιάδες πελάτες. Η αποκατάσταση τους μπορεί να διαρκέσει ώρες ή και ημέρες ενώ ο εντοπισμός όλων των εγκαταστάσεων που έχουν πληγεί και η αποστολή συνεργείων ταυτόχρονα είναι δύσκολη. Τα προηγμένα συστήματα ελέγχου είναι σε θέση να προσδιορίσουν ποιοί πελάτες παραμένουν χωρίς ρεύμα και σε ποιές περιοχές και ταυτόχρονα να επιδιορθώσουν το σφάλμα.
- Μείωση των εκπομπών CO₂ και των αιωρούμενων σωματιδίων SO_x, NO_x (Reduced CO₂, SO_x, NO_x Emissions) – Περιορίζονται αέρια του θερμοκηπίου που σχετίζονται με τη μεταφορά εργαζομένων.
- Μειωμένη χρήση πετρελαίου (Reduced Oil Usage) - Εξοικονομούνται τα καύσιμα μεταφοράς των εργαζομένων στα σημεία που απαιτούν αναγνώσεις μετρήσεων.

xii. Μεταφορά φορτίου σε πραγματικό χρόνο (real time load transfer)

Σε παγκόσμια κλίμακα, οι ενεργειακές επιχειρήσεις αντιμετωπίζουν την ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για περισσότερα αποτελεσματικά δίκτυα. Η ρύθμιση των παραμέτρων της τροφοδοσίας συνιστά ένα πολύ σημαντικό ζήτημα για την ενίσχυση της ποιότητας και της αξιοπιστίας του συστήματος διανομής. Για παράδειγμα, τα δίκτυα διανομής έχουν συνήθως ακτινική δομή. Τα τροφοδοτικά καλώδια διανομής περιέχουν ένα αριθμό διακοπών που υπό κανονικές συνθήκες είναι κλειστοί και έναν αριθμό διακοπών που υπό κανονικές συνθήκες είναι ανοικτοί. Οι διακόπτες αυτοί είναι σχεδιασμένοι είτε για προστασία είτε για διαχείριση ρυθμίσεων των παραμέτρων τροφοδοσίας. Ο κύριος στόχος της ρύθμισης αυτής είναι η εξυπηρέτηση όσο το δυνατό μεγαλύτερου φορτίου και η μείωση των απωλειών των γραμμών. Η προκύπτουσα δομή πρέπει να παραμένει ακτινική ώστε να ικανοποιεί τη ζήτηση φορτίου. Ωστόσο, ανταποκρινόμενοι σε κάποιο σφάλμα ορισμένοι κλειστοί υπό κανονικές συνθήκες διακόπτες θα ανοίξουν για να απομονώσουν το τμήμα του δικτύου που έχει πληγεί. Την ίδια στιγμή, κάποιοι ανοικτοί κανονικά διακόπτες θα χρειαστεί να κλείσουν για να μεταφέρουν μέρος των απομονωμένων τμημάτων σε άλλη πηγή τροφοδοσίας ή να το ενώσουν με άλλο κλάδο της ίδιας πηγής. Όλοι οι διακόπτες θα επανέλθουν στις

υπό κανονικές συνθήκες θέσεις τους μετά την αποκατάσταση της βλάβης. Ειδικά όταν σε μια περιοχή υπάρχουν πολλές πηγές τροφοδοσίας, άρα και πολλαπλές συνδέσεις με τις εγκαταστάσεις των καταναλωτών, η ρύθμιση των παραμέτρων τροφοδοσίας πρέπει να γίνεται σε πραγματικό χρόνο για να ανακουφίζει τον εξοπλισμό από υπερφορτώσεις, να αποκαθιστά ταχέως τα σφάλματα και να ενισχύει έτσι την απόδοση και την αξιοπιστία του δικτύου. Η λειτουργία αυτή προσφέρει τα εξής οφέλη:

- Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές διανομής (Deferred Distribution Capacity Investments) – Η διαρκής αύξηση του ζητούμενου φορτίου και η επαναρρύθμιση των παραμέτρων τροφοδοσίας μπορούν να οδηγήσουν σε υπερφόρτωση των γραμμών και των μετασχηματιστών σε σημείο που να χρειάζεται να γίνουν νέες επενδύσεις για την ενίσχυση του δικτύου διανομής. Μετάθεση ενός τμήματος διανομής από μία τροφοδοσία Α σε μια τροφοδοσία Β θα ελαφρύνει την τροφοδοσία Α. Αν μάλιστα οι δύο τροφοδοσίες συνδέονται με διαφορετικούς υποσταθμούς, η ελάφρυνση του φορτίου θα έχει ευεργετικά αποτελέσματα και σε επίπεδο υποσταθμών. Η μεταφορά του φορτίου σε διαφορετικές πηγές παραγωγής ενέργειας μπορεί να αποτρέψει αναβαθμίσεις στο δίκτυο διανομής. Ως εκ τούτου, αν οι διαδικασίες επαναρρύθμισης της παροχής φορτίου πραγματοποιούνται σε πραγματικό χρόνο θα εξοικονομούνται σημαντικά ποσά.
- Μείωση των απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας (Reduced Electricity Losses) –Με την εξισορρόπηση-ανακατανομή του φορτίου μεταξύ των υποσταθμών, των μετασχηματιστών και των διακοπών τροφοδοσίας μπορούν να μειωθούν δραστικά οι απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας.
- Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος (Reduced Major Outages) – Η ταχεία μεταφορά τμημάτων της τροφοδοσίας από ένα υποσταθμό σε έναν άλλον αποκαθιστά την παροχή ηλεκτρισμού στους χρήστες. Φυσικά, η αναπροσαρμογή πρέπει να γίνεται φυσικά αυτόματα διότι το κόστος χρόνου και χρημάτων σε περίπτωση χειροκίνητης ρύθμισης θα ήταν πολύ μεγάλο και θα μετακυλιόταν στους καταναλωτές.

xiii. Βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας του πελάτη (customer electricity use optimization)

Ένα κύριο χαρακτηριστικό του ευφυούς δικτύου είναι ότι προσφέρει κίνητρα τους χρήστες επιτρέποντάς τους να επιτηρούν τις καταναλωτικές τους συνήθειες και να τις τροποποιούν. Μεταξύ άλλων, κίνητρα μπορεί να είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους, η ενίσχυση της αξιοπιστίας ή η ενίσχυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η λειτουργία προσφέρει τα εξής οφέλη:

- Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές ηλεκτροπαραγωγής, μεταφοράς και διανομής (Deferred Transmission & Distribution Capacity Investments, Reduced Generation Capacity Investments) – Οι επιχειρήσεις κατασκευάζουν το δίκτυο παραγωγής, μεταφοράς και διανομής με επαρκή ικανότητα για την εξυπηρέτηση του μέγιστου φορτίου που προβλέπεται να ζητηθεί. Το πρόβλημα είναι ότι το φορτίο αιχμής ζητείται για μικρά χρονικά διαστήματα. Η μείωσή του και γενικότερα η εξομάλυνση της καμπύλης ζήτησης μεταφράζεται σε περιορισμένη χρήση και κόστος των σταθμών αιχμής, σε χαμηλότερες επενδύσεις σε νέες υποδομές, όπως νέους σταθμούς αιχμής και γραμμές μεταφοράς, και τελικά σε φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια για τους πελάτες.
- Μείωση των τεχνικών απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας (Reduced Electricity Losses) – Το φορτίο αιχμής έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες απώλειες σε σχέση με το μέσο φορτίο. Συνεπώς η διαχείριση του μέγιστου φορτίου μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του δικτύου.
- Εξοικονόμηση κόστους ηλεκτρικής ενέργειας (Reduced Electricity Cost) – Η χρονομεταβλητή τιμολόγηση και γενικότερα οι πληροφορίες που παρέχονται από τους ευφυείς μετρητές αλλάζουν τα καταναλωτικά πρότυπα προς την κατεύθυνση της μείωσης του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μείωση των εκπομπών CO₂ και των αιωρούμενων σωματιδίων SO_x, NO_x (Reduced CO₂, SO_x, NO_x Emissions) – Περιορίζονται τα αέρια του θερμοκηπίου που σχετίζονται με τη χρήση των σταθμών αιχμής. Επιπλέον, η ευαισθητοποίηση των πελατών σχετικά με περιβαλλοντικά θέματα οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης και άρα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

xiv. Διείσδυση κατανεμημένων πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (distributed generation)

Η διασπαρμένη παραγωγή παρέχει οφέλη οικονομίας, αξιοπιστίας και περιβαλλοντικά όπως προκύπτει από τα ακόλουθα:

- Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές ηλεκτροπαραγωγής (Reduced Generation Capacity Investments) – Η διασπαρμένη παραγωγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον περιορισμό της χρήσης των συμβατικών σταθμών, ειδικά τις ώρες αιχμής. Αυτό προσφέρει ένα αποδοτικότερο μείγμα παραγωγής και περιορίζει σημαντικά τις δαπάνες κατασκευής σταθμών αιχμής.
- Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς και διανομής (Deferred Transmission and Distribution Capacity Investments) – Η διασπαρμένη παραγωγή μπορεί να ενισχύσει την παραγωγική ικανότητα ειδικά στην εξυπηρέτηση της αιχμής και καθώς βρίσκεται εγγύτερα στο φορτίο δεν επιβαρύνει τις γραμμές μεταφοράς και διανομής. Συνεπώς, χρειάζονται λιγότερες αναβαθμίσεις ή αντικαταστάσεις εξοπλισμού.
- Μείωση των τεχνικών απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας (Reduced Electricity Losses) – Η καλύτερη διαχείριση του φορτίου αιχμής και η μικρότερη απόσταση από τα σημεία κατανάλωσης οδηγεί σε μικρότερες απώλειες ενέργειας.
- Μείωση του κόστους συμφόρησης δικτύου (Reduced Congestion Cost) – Η παροχή ενέργειας εγγύτερα προς τον καταναλωτή μειώνει τη ροή της μέσω των αγωγών μεταφοράς και διανομής οπότε μειώνεται και η συμφόρηση.
- Εξοικονόμηση κόστους ηλεκτρικής ενέργειας (Reduced Electricity Cost) – Η διασπαρμένη παραγωγή μπορεί να αξιοποιηθεί για μείωση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορεί να επιλέγεται όταν το κόστος παραγωγής από τους συμβατικούς σταθμούς είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των κατανεμημένων πηγών.

- Αύξηση του χρόνου διαθεσιμότητας παροχής (Reduced Sustained Outages) Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος (Reduced Major Outages) – Η διασπαρμένη παραγωγή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εφεδρική πηγή σε περίπτωση διακοπής μέχρι να αποκατασταθεί η υπηρεσία.
- Μείωση των εκπομπών CO₂ και των αιωρούμενων σωματιδίων SO_x, NO_x (Reduced CO₂, SO_x, NO_x Emissions) – Περιορίζονται αέρια του θερμοκηπίου που σχετίζονται με τη χρήση των συμβατικών μονάδων και των σταθμών αιχμής.

xv. **Ανάπτυξη μονάδων αποθήκευσης ενέργειας (Stationary Electricity Storage)**

Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί αργότερα από τους καταναλωτές, τις ηλεκτρικές εταιρείες ή τους διαχειριστές του δικτύου. Ανάλογα με το μέγεθος της ενέργειας που μπορούν να αποθηκεύσουν οι μονάδες αυτές, προσφέρουν οφέλη οικονομίας, αξιοπιστίας και περιβαλλοντικά:

- Βελτιστοποιημένη λειτουργία των εγκαταστάσεων παραγωγής (Optimized Generator Operation) – Οι μονάδες αποθήκευσης μπορούν να απορροφήσουν την παραγόμενη από τις γεννήτριες ενέργεια όταν ζητούμενο φορτίο είναι χαμηλό και αργότερα να ενισχύσουν την προσφορά όταν το ζητούμενο φορτίο είναι υψηλό. Έτσι οι γεννήτριες βρίσκονται καθόλη τη διάρκεια στη βέλτιστη ζώνη λειτουργίας τους. Το πλεονέκτημα αυτό μειώνει το κόστος ενεργοποίησης και απενεργοποίησης γεννητριών.
- Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές ηλεκτροπαραγωγής (Reduced Generation Capacity Investments) – Με τις μονάδες αποθήκευσης μειώνεται η ανάγκη ύπαρξης σταθμών αιχμής ή επένδυσης στην κατασκευή νέων.
- Μείωση του κόστους συμφόρησης δικτύου (Reduced Congestion Cost) – Η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να γίνεται εγγύτερα στον καταναλωτή

και άρα να μειώνει τη ροή της μέσω των δικτύων μεταφοράς και διανομής περιορίζοντας έτσι τη συμφόρηση.

- Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς και διανομής (Deferred Transmission & Distribution Capacity Investments) – Η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να ενισχύσει την παραγωγική ικανότητα ειδικά στην εξυπηρέτηση της αιχμής και καθώς βρίσκεται εγγύτερα στο φορτίο δεν επιβαρύνει τις γραμμές μεταφοράς και διανομής. Συνεπώς, χρειάζονται λιγότερες αναβαθμίσεις ή αντικαταστάσεις εξοπλισμού.
- Μείωση των τεχνικών απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας (Reduced Electricity Losses) – Η καλύτερη διαχείριση του φορτίου αιχμής και η μικρότερη απόσταση από τα σημεία κατανάλωσης οδηγεί σε χαμηλότερες απώλειες ενέργειας.
- Εξοικονόμηση κόστους ηλεκτρικής ενέργειας (Reduced Electricity Cost) – Οι μονάδες αποθήκευσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μείωση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά τις ώρες αιχμής.
- Αύξηση του χρόνου διαθεσιμότητας παροχής (Reduced Sustained Outages) Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος (Reduced Major Outages) – Η αποθηκευμένη ενέργεια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εφεδρική πηγή σε περίπτωση διακοπής μέχρι να αποκατασταθεί η υπηρεσία.
- Μείωση των εκπομπών CO₂ και των αιωρούμενων σωματιδίων SO_x, NO_x (Reduced CO₂, SO_x, NO_x Emissions) – Περιορίζονται αέρια του θερμοκηπίου που σχετίζονται με τη χρήση των συμβατικών μονάδων και των σταθμών αιχμής.

xvi. Διείσδυση ηλεκτρικών υβριδικών οχημάτων (Plug-in Electric Vehicles)

Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά-υβριδικά οχήματα προσφέρουν παρόμοια οφέλη με τις μονάδες αποθήκευσης ως προς την

οικονομία, την αξιοπιστία και το περιβάλλον ενώ, επιπλέον, προσφέρουν και οφέλη ασφάλειας:

- Βελτιστοποιημένη λειτουργία των εγκαταστάσεων παραγωγής (Optimized Generator Operation) – Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να απορροφήσουν την παραγόμενη από τις γεννήτριες ενέργεια όταν ζητούμενο φορτίο είναι χαμηλό και αργότερα να ενισχύσουν την προσφορά όταν το ζητούμενο φορτίο είναι υψηλό. Το πλεονέκτημα αυτό εξαλείφει το κόστος ενεργοποίησης και απενεργοποίησης σταθμών αιχμής κατά τις ώρες αιχμής.
- Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές ηλεκτροπαραγωγής (Reduced Generation Capacity Investments) – Με τα ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να μειωθεί η χρήση ενέργειας από τους κεντρικούς σταθμούς τις ώρες αιχμής. Αυτό επιτρέπει στους διαχειριστές να χρησιμοποιούν κατάλληλο μίγμα πόρων ενέργειας και να μειώνουν το κόστος παραγωγής.
- Μείωση του κόστους συμφόρησης δικτύου (Reduced Congestion Cost) – Η αποθήκευση ενέργειας από τα ηλεκτρικά οχήματα βρίσκεται δίπλα στις εγκαταστάσεις των χρηστών, επομένως, ελαχιστοποιεί τη ροή της μέσω των αγωγών μεταφοράς και διανομής περιορίζοντας έτσι τη συμφόρηση.
- Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς και διανομής (Deferred Transmission & Distribution Capacity Investments) – Η αποθήκευση ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να διευκολύνει την εξυπηρέτηση της αιχμής και καθώς βρίσκεται πιο κοντά στο φορτίο δεν επιβαρύνει τις γραμμές μεταφοράς και διανομής. Συνεπώς, χρειάζονται λιγότερες αναβαθμίσεις ή αντικαταστάσεις εξοπλισμού.
- Μείωση των απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας (Reduced Electricity Losses) – Η καλύτερη διαχείριση του φορτίου αιχμής και η μικρότερη απόσταση των ηλεκτρικών οχημάτων από τα σημεία κατανάλωσης οδηγεί σε χαμηλότερες απώλειες ενέργειας.

- Εξοικονόμηση κόστους ηλεκτρικής ενέργειας (Reduced Electricity Cost) – Η αποθήκευση ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά τις ώρες αιχμής.
- Αύξηση του χρόνου διαθεσιμότητας παροχής (Reduced Sustained Outages) Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος (Reduced Major Outages) – Η ενέργεια που έχει αποθηκευτεί στα οχήματα είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ως εφεδρική πηγή σε περίπτωση διακοπής μέχρι να αποκατασταθεί η υπηρεσία.
- Μείωση των εκπομπών CO₂ και των αιωρούμενων σωματιδίων SO_x, NO_x (Reduced CO₂, SO_x, NO_x Emissions) – Περιορίζονται τα αέρια του θερμοκηπίου που σχετίζονται με τη χρήση των συμβατικών αυτοκινήτων και με την ενεργοποίηση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής.
- Μειωμένη χρήση πετρελαίου (Reduced Oil Usage) – Μειώνεται η εξάρτηση από το πετρέλαιο.

B. Στάδιο 4: Καθορισμός γραμμής βάσης

Η ανάλυση κόστους-οφέλους είναι απαραίτητη σε οποιαδήποτε επιχειρηματική απόφαση που αφορά κάποια επένδυση. Για να εκπονηθεί πρέπει να βασιστεί στις «αλλαγές» που παρατηρούνται στα οφέλη που παρέχονται από το έργο σε σύγκριση με τις δαπάνες που σχετίζονται με την εφαρμογή του. Ως εκ τούτου, πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια βάση αναφοράς για την αποτίμηση ή σύγκριση των προηγούμενων, σημερινών και μελλοντικών τιμών. Για παράδειγμα, μια επιχείρηση θέλει να εκτιμήσει την επιτυχία ενός προϊόντος που διαθέτει ή προτίθεται να διαθέσει στην αγορά. Μπορεί να χρησιμοποιήσει ως σενάριο αναφοράς τον αριθμό των μονάδων που πωλήθηκαν το πρώτο έτος και με βάση αυτό να αξιολογήσει τη μετέπειτα ανάπτυξη των πωλήσεων.

Η υλοποίηση ενός ευφυούς δικτύου παράγει οφέλη των οποίων οι παράμετροι μέτρησης και αντίστοιχες λειτουργίες έχουν περιγραφεί στα προηγούμενα βήματα. Για να εκτιμηθεί η αλλαγή που επέρχεται σε αυτά τα οφέλη

κάθε αρμόδια αρχή πρέπει να εξασφαλίζει ότι εξετάζονται τουλάχιστον δύο σενάρια, το σενάριο διατήρησης της υφιστάμενης κατάστασης δεν πραγματοποιείται καμία παρέμβαση ούτε αλλαγή») και το σενάριο που εξετάζει την εφαρμογή και εξάπλωση των ευφυών τεχνολογιών. Τα δύο αυτά σενάρια πρέπει επίσης να συνεκτιμούν τις συνέργειες μεταξύ των υφιστάμενων και των μελλοντικών μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας καθώς και μοντέλα πρόβλεψης της ζήτησης φορτίου και των τιμών της ενέργειας, των καυσίμων και των ρύπων.

Στην συνέχεια της ανάλυσης τα δύο σενάρια θα αναφέρονται ως εξής:

- Σενάριο αναφοράς ή «**γραμμή βάσης**». Αντανακλά τις συνθήκες που θα επικρατούσαν στο ενεργειακό σύστημα αν δεν εγκατασταθεί το ευφύες δίκτυο.
- Σενάριο υλοποίησης ή «**σενάριο εξάπλωσης**». Οι πραγματικές και μετρήσιμες συνθήκες όταν εγκατασταθεί το ευφύες δίκτυο.

Η ποσοτικοποίηση του κάθε οφέλους είναι η αλλαγή της οικονομικής του αξίας μεταξύ των σεναρίων 1 και 2. Ιδανικά, το σενάριο 1 πρέπει να εντοπίζει με ακρίβεια τις «χωρίς το ευφύες δίκτυο» συνθήκες. Σε πολλές περιπτώσεις, ωστόσο, μπορεί να είναι δύσκολο πρακτικά να ληφθούν μετρήσεις αναφοράς ενώ με τα ευφυή συστήματα οι ίδιες μετρήσεις, που αντιστοιχούν στο σενάριο 2, πραγματοποιούνται πολύ ευκολότερα. Μερικές περιπτώσεις γραμμών βάσης θα μπορούσαν να είναι:

- Παράδειγμα 1
 - Όφελος: Οι αναβαλλόμενες επενδύσεις στις εγκαταστάσεις διανομής λόγω της μείωσης του φορτίου αιχμής.
 - Λειτουργία: Μέσω της αμφίδρομης επικοινωνίας ενημερώνονται οι πελάτες για τις τιμές της ενέργειας και αποφασίζουν πόση ενέργεια θα καταναλώσουν.
 - Παράμετρος μέτρησης: Το μέγιστο φορτίο που καταναλώνεται ανά πελάτη.
 - Σενάριο αναφοράς: Το μέγιστο φορτίο που θα αντιστοιχούσε κανονικά σε κάθε καταναλωτή. Ωστόσο, επειδή είναι δύσκολο πρακτικά να γίνει η

μέτρηση αυτή ατομικά σε κάθε εγκατάσταση, θα μπορούσαν να ληφθούν μετρήσεις ανά ομάδες πελατών, όπως οικιακοί ή βιομηχανικοί.

- Εκτίμηση: Η εκτίμηση του οφέλους θα βασιστεί στην αξία της διαφοράς μεταξύ του μετρούμενου φορτίου αιχμής στο πλαίσιο του ευφυούς δικτύου και του μέγιστου φορτίου αναφοράς.

- Παράδειγμα 2:
 - Όφελος: Μειωμένες διακοπές ρεύματος.
 - Λειτουργία: Προσαρμοστική προστασία με αυτοματοποιημένα συστήματα που ρυθμίζονται ανάλογα με τις συνθήκες του ηλεκτρικού δικτύου.
 - Παράμετρος μέτρησης: Ο αριθμός και η διάρκεια των διακοπών ρεύματος.
 - Σενάριο αναφοράς: Η συχνότητα και η διάρκεια των διακοπών που θα είχαν συμβεί αν δεν είχε εγκατασταθεί το ευφύες δίκτυο.
 - Εκτίμηση: Η εκτίμηση του οφέλους θα βασιστεί στην αξία της διαφοράς μεταξύ του πλήθους και της συχνότητας των διακοπών ρεύματος πριν και μετά την εφαρμογή του ευφυούς δικτύου.

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες σεναρίων αναφοράς που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Τα σενάρια που βασίζονται σε ιστορικά δεδομένα είναι τα πλέον συνήθη. Ωστόσο, για κάθε παράμετρο μέτρησης πρέπει να ληφθεί υπόψη ένα αντιπροσωπευτικό έτος. Για παράδειγμα, στην εκτίμηση του ποσοστού διακοπών ρεύματος το πρόσφατο-τελευταίο έτος μπορεί να μην είναι κατάλληλο, καθώς μπορεί να μην υπήρξαν τόσα περιστατικά διακοπής όσα τα προηγούμενα χρόνια. Ένας μέσος όρος τριών χρόνων αποτελεί μια καλή αναφορά.

Σενάρια πρόβλεψης μπορούν επίσης να αποτελέσουν τη βάση για εκτιμήσεις. Η αναμενόμενη αύξηση της ζήτησης ενέργειας και των τιμών του ρεύματος είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη στις εκτιμήσεις για τονώσουν ακόμη περισσότερο τη σημασία των οφελών του ευφυούς δικτύου. Σενάρια αναφοράς σχετικά με συνθήκες έκτακτης ανάγκης παίζουν ρόλο στην ποσοτικοποίηση οφελών που συνδέονται με τη χαμηλή πιθανότητα να σημειωθούν τέτοια περιστατικά. Επίσης, για την αξιολόγηση των επιπτώσεων που έχει, για παράδειγμα, η χρονομεταβλητή τιμολόγηση στη συμπεριφορά των καταναλωτών είναι επιθυμητό να επιλέγονται τυχαία ομάδες προς έλεγχο (νοικοκυριά με παρόμοιο εισόδημα, νοικοκυριά με

παρόμοιες παροχές όπως κεντρική θέρμανση). Οι ομάδες προς έλεγχο εξακολουθούν να χρησιμοποιούν το συμβατικό ηλεκτρικό δίκτυο και συγκρίνονται με αντίστοιχες ομάδες που συμμετέχουν στην εφαρμογή του ευφυούς δικτύου.

Τέλος, για το διαφανή και τεκμηριωμένο υπολογισμό κάθε είδους αναμενόμενου οφέλους και κόστους, πρέπει και στα δύο σενάρια να υπολογίζονται χαρακτηριστικές τιμές παραμέτρων μέτρησης, ορισμένες από τις οποίες φαίνονται ενδεικτικά στον πίνακα 5.7 [26].

| Μεταβλητές/δεδομένα που πρέπει να καθορίζονται/να συλλέγονται | Μονάδα |
|--|-----------------------------|
| Αναμενόμενη διακύμανση της κατανάλωσης ενέργειας | % |
| Αναμενόμενη διακύμανση των ενεργειακών τιμών | % |
| Μετάδοση φορτίου αιχμής | % |
| Απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας σε επίπεδο μεταφοράς και σε επίπεδο διανομής | % |
| Κατ' εκτίμηση λεπτά της ώρας χωρίς παροχή | Λεπτά της ώρας |
| Αξία απωλειών φορτίου· αξία παροχής ενέργειας | EUR/kWh |
| Κόστος υλικού εξοπλισμού (π.χ. ευφυούς μετρητή) | EUR |
| Πλήθος των ευφύων συστημάτων μέτρησης που θα εγκατασταθούν | Πλήθος ευφύων μετρητών |
| Δαπάνες εγκατάστασης ευφύων συστημάτων | EUR |
| Προσδόκιμο ζωής των ευφύων συστημάτων | Έτη |
| Κόστος ανάγνωσης μετρητών | EUR/έτος |
| Ποσοστό επιτυχούς επικοινωνίας | % |
| Ποσοστό πληθωρισμού | % |
| Χρονοδιάγραμμα εγκατάστασης | Πλήθος ευφύων μετρητών/έτος |
| Μετρητές που τοποθετούνται σε αγροτικές περιοχές ως ποσοστό των μετρητών που τοποθετούνται σε αστικές περιοχές | % |
| Κόστος διοξειδίου του άνθρακα | EUR/τόνο |

Πίνακας 5.7 Στάδιο 4: Μη εξαντλητικός κατάλογος των μεταβλητών/δεδομένων που πρέπει να καθορίζονται/συλλέγονται για την οικονομική αποτίμηση των οφελών και του κόστους

Γ. Στάδιο 5: Χρηματική αποτίμηση των οφελών

i. Βελτιστοποιημένη λειτουργία εγκαταστάσεων παραγωγής

(Optimized Generator Operation)

Η βελτιστοποίηση της λειτουργίας των γεννητριών μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω των εξής λειτουργιών:

- Παρακολούθηση και απεικόνιση του δικτύου (wide area monitoring and visualization)
- Διείσδυση ηλεκτρικών υβριδικών οχημάτων (Plug-in Electric Vehicles)
- Ανάπτυξη μονάδων αποθήκευσης ενέργειας (Stationary Electricity Storage)

Το όφελος θα μπορούσε να προκύψει από δύο επιμέρους οφέλη: το κόστος εκκίνησης της γεννήτριας που εξοικονομείται και το κέρδος από τη βελτιωμένη απόδοσή της. Προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η αξία του οφέλους σε οικονομικούς όρους πρέπει να ληφθούν μετρήσεις σχετικά με την ετήσια παραγωγή ενέργειας (MWh) που εξοικονομείται καθώς και το ωριαίο κόστος της παραγόμενης ενέργειας (EUR/MWh).

- ✓ Για την παρακολούθηση και απεικόνιση του δικτύου:

Αξία (EUR) = κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως (EUR) γραμμής βάσης
— κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως (EUR) σενάριο εξάπλωσης

- ✓ Για την αποθήκευση ενέργειας και τα ηλεκτρικά οχήματα:

Αξία (EUR) = [ωριαίο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (EUR/MWh)* παρεχόμενη συμβατική ηλεκτρική ενέργεια ετησίως (MWh)] γραμμής βάσης
— [ωριαίο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (EUR/MWh)* (παρεχόμενη συμβατική ενέργεια ετησίως (MWh) – παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια από μονάδες αποθήκευσης ή ηλεκτρικά οχήματα)] σενάριο εξάπλωσης

ii. Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές ηλεκτροπαραγωγής

(Reduced Generation Capacity Investments)

Η αναβολή των επενδύσεων νέας παραγωγικής ικανότητας μπορεί να υλοποιηθεί μέσω των εξής λειτουργιών:

- Βελτιστοποίηση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας από τον πελάτη (customer electricity use optimization)

- Διείσδυση κατανεμημένων πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (distributed generation)
- Διείσδυση ηλεκτρικών-υβριδικών οχημάτων (Plug-in Electric Vehicles)
- Ανάπτυξης μονάδων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (Stationary Electricity Storage)

Το όφελος μπορεί να προκύψει από δύο επιμέρους οφέλη:

- ✓ Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές παραγωγής φορτίου αιχμής

Αξία (EUR) = ετήσια επένδυση για την ενίσχυση της παραγωγής φορτίου αιχμής (EUR/έτος) * διάρκεια αναβολής (αριθμός ετών)

- ✓ Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές στρεφόμενης εφεδρείας ισχύος

Αξία (EUR) = ετήσια επένδυση για την ενίσχυση της παραγωγής στρεφόμενης εφεδρείας ισχύος (EUR/έτος) * διάρκεια αναβολής (αριθμός ετών)

iii. Μείωση του κόστους βοηθητικών υπηρεσιών

(Reduced Ancillary Service Cost)

Η μείωση των βοηθητικών υπηρεσιών μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω των εξής λειτουργιών:

- Παρακολούθηση και απεικόνιση του δικτύου (wide area monitoring and visualization)
- Καταμέτρηση και διαχείριση φορτίων σε πραγματικό χρόνο (real time measurement and management)
- Αυτοματοποιημένος έλεγχος της τάσης και της άεργου ισχύος (automated voltage and VAR control)
- Διείσδυση κατανεμημένων πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (distributed generation)
- Διείσδυση ηλεκτρικών υβριδικών οχημάτων (Plug-in Electric Vehicles)
- Ανάπτυξη μονάδων αποθήκευσης ενέργειας (Stationary Electricity Storage)

Οι λειτουργίες αυτές θα επιτρέψουν στους διαχειριστές του δικτύου να περιορίσουν την αναγκαιότητα βοηθητικών υπηρεσιών. Επιπλέον, μπορούν να παρέχουν τις βοηθητικές υπηρεσίες από εναλλακτικές πηγές (και όχι με χρήση πάντα των συμβατικών πηγών) ενώ παράλληλα μπορούν να περιορίσουν την αναγκαιότητα βοηθητικών υπηρεσιών.

Το όφελος μπορεί να προκύψει από τη σχέση:

$Αξία \text{ (EUR)} = [\text{κόστος βοηθητικών υπηρεσιών (EUR/MW)} * \text{παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια (MW)}]_{\text{γραμμική βάση}}$
— $[\text{κόστος βοηθητικών υπηρεσιών (EUR/MW)} * \text{παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια (MW)}]_{\text{σενάριο εξάπλωσης}}$

iv. Μείωση του κόστους συμφόρησης δικτύου

(Reduced Congestion Cost)

Ο περιορισμός φαινομένων συμφόρησης, και συνεπώς η μείωση του κόστους που αυτή συνεπάγεται, μπορεί να προκύψει από τις εξής λειτουργίες:

- Παρακολούθηση και απεικόνιση του δικτύου (wide area monitoring and visualization)
- Δυναμική εκτίμηση της ικανότητας μεταφοράς ενέργειας (dynamic capability rating)
- Έλεγχος ροής ενέργειας (flow control)
- Διείσδυση κατανεμημένων πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (distributed generation)
- Διείσδυση ηλεκτρικών υβριδικών οχημάτων (Plug-in Electric Vehicles)
- Ανάπτυξη μονάδων αποθήκευσης ενέργειας (Stationary Electricity Storage)

Η οικονομική αποτίμηση της αξίας του οφέλους αυτού βασίζεται στην παρακολούθηση και καταμέτρηση της αποφυγής της συμφόρησης ανά ώρα, που μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της πρόβλεψης της ζήτησης, του ελέγχου ροής, της παροχής ενέργειας από εναλλακτικούς πόρους, και του τυπικού κόστους της συμφόρησης ως εξής:

$Αξία \text{ (EUR)} = [\text{συμφόρηση (MW)} * \text{κόστος συμφόρησης (EUR/MW)}]_{\text{γραμμική βάση}}$
— $[\text{συμφόρηση (MW)} * \text{κόστος συμφόρησης (EUR/MW)}]_{\text{σενάριο εξάπλωσης}}$

v. Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς/διανομής

(Deferred Transmission and Distribution Capacity Investments)

Η αναβολή στις επενδύσεις στο δίκτυο μεταφοράς μπορούν να υλοποιηθούν μέσω των εξής λειτουργιών:

- Παρακολούθηση και απεικόνιση του δικτύου (wide area monitoring and visualization)
- Περιορισμός των σφαλμάτων ρεύματος (fault current limiting)
- Βελτιστοποίηση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας από τον πελάτη (customer electricity use optimization)
- Δυναμική εκτίμηση της ικανότητας μεταφοράς ενέργειας (dynamic capability rating)
- Έλεγχος ροής ενέργειας (flow control)

- Διείσδυση κατανεμημένων πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (distributed generation)
- Διείσδυση ηλεκτρικών υβριδικών οχημάτων (Plug-in Electric Vehicles)
- Ανάπτυξη μονάδων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (Stationary Electricity Storage)

Για τον περιορισμό των σφαλμάτων ρεύματος πρέπει να ληφθεί υπόψη το κόστος αντικατάστασης ή αναβάθμισης των συμβατικών διακοπών ή άλλου εξοπλισμού μεταφοράς και διανομής με προηγμένες συσκευές περιορισμού σφαλμάτων. Για την παρακολούθηση του δικτύου, τη δυναμική αξιολόγηση της μεταφοράς ενέργειας και τον έλεγχο της ροής γίνεται η συσχέτιση μεταξύ της αύξησης της ικανότητας μεταφοράς και διανομής, της καλύτερης διαχείρισης του δικτύου ως αποτέλεσμα της ανάλυσης των πληροφοριών και της αναβαλλόμενης αναβάθμισης που επιτυγχάνεται. Για τους χρήστες εναλλακτικών πόρων ενέργειας αναφέρεται η ποσότητα ενέργειας (MW) που παρέχουν κατά τις ώρες αιχμής, η οποία μειώνει τη φόρτιση στοιχείων του δικτύου μεταφοράς αναβάλλοντας έτσι την ανάγκη αναβαθμίσεων ή αντικαταστάσεων εξοπλισμού.

Το όφελος μπορεί να αναλυθεί σε δύο επιμέρους οφέλη:

- ✓ Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς/διανομής λόγω της οικονομικής απόδοσης των εγκαταστάσεων του δικτύου

Αξία (EUR) = ετήσια επένδυση για την ενίσχυση της υποδομής μεταφοράς/διανομής (EUR/έτος) * διάρκεια αναβολής (αριθμός ετών)

- ✓ Αναβολή/αποφυγή επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς/διανομής λόγω της απόσβεσης των εγκαταστάσεων του δικτύου

Αξία (EUR) = ετήσια επένδυση για την ενίσχυση της υποδομής μεταφοράς/διανομής (EUR/έτος) * διάρκεια αναβολής (αριθμός ετών) * αριθμός ετών για την απόσβεση των εγκαταστάσεων για την ενίσχυση της υποδομής μεταφοράς/διανομής

vi. Μειωμένο κόστος βλαβών εξοπλισμού

(Reduced Equipment Failures)

Ένα από τα μεγαλύτερα οφέλη των ευφυών τεχνολογιών είναι η επέκταση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού τόσο των κεντρικών σταθμών όσο και του δικτύου μεταφοράς και διανομής. Μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω των εξής λειτουργιών:

- Περιορισμός των σφαλμάτων ρεύματος (fault current limiting)

- Δυναμική εκτίμηση της ικανότητας μεταφοράς ενέργειας (dynamic capability rating)
- Ενισχυμένη προστασία από σφάλματα (enhanced fault protection)
- Διάγνωση & κοινοποίηση της κατάστασης του εξοπλισμού (Diagnosis & Notification of Equipment Condition)

Για τις τρεις πρώτες λειτουργίες πρέπει να ληφθεί υπόψη το κόστος αποτυχίας ενός εξοπλισμού ως εξής:

Κόστος βλάβης (EUR) = δαπάνη για αντικατάσταση εξοπλισμού (EUR) * ποσοστό εξοπλισμού που απέτυχε λόγω σφάλματος (%)

Για τη διάγνωση και κοινοποίηση της κατάστασης του εξοπλισμού πρέπει να αναφερθεί το κόστος του εξοπλισμού που δεν υπήρχε ανάγκη να αντικατασταθεί, και θα μπορούσε να έχει αποφευχθεί, καθώς και ποιο μερίδιο καταλαμβάνει από το συνολικό κεφάλαιο που διαθέτει ετησίως η επιχείρηση για συντηρήσεις και αναβαθμίσεις.

Κόστος βλάβης (EUR) = δαπάνη για αντικατάσταση εξοπλισμού (EUR) * ποσοστό εξοπλισμού που απέτυχε λόγω απουσίας δυνατότητας διάγνωσης των συνθηκών (%)

Γενικά το όφελος προκύπτει από:

**Αξία (EUR) = [κόστος των βλαβών εξοπλισμού (EUR/έτος)]_{γραμμή βάσης}
— [κόστος των βλαβών εξοπλισμού (EUR/έτος)]_{σενάριο εξάπλωσης}**

vii. Μείωση του κόστους συντήρησης

(Reduced Distribution Equipment Maintenance Cost)

Η μείωση του κόστους συντήρησης εξοπλισμού μπορεί να υλοποιηθεί μέσω της λειτουργίας:

- Διάγνωση και κοινοποίηση της κατάστασης του εξοπλισμού (Diagnosis and Notification of Equipment Condition)

και προκύπτει από:

✓ Μειωμένο κόστος συντήρησης των εγκαταστάσεων του δικτύου

**Αξία (EUR) = [κόστος για τη συντήρηση των εγκαταστάσεων του δικτύου (EUR/έτος)]_{γραμμή βάσης}
— [κόστος για τη συντήρηση των εγκαταστάσεων του δικτύου (EUR/έτος)]_{σενάριο εξάπλωσης}**

viii. Μείωση του κόστους λειτουργίας

(Reduced Distribution Operations Cost)

Η μείωση του κόστους λειτουργίας μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω των λειτουργιών:

- Αυτοματοποιημένη τάση & έλεγχος της άεργου ισχύος (automated voltage and VAR control)
- Αυτοματοποιημένα συστήματα τροφοδοσίας (automated feeder switching)

Το όφελος μπορεί να ποσοτικοποιηθεί από τα επιμέρους οφέλη:

- ✓ Μειωμένο κόστος ρύθμισης της τάσης και της αέργου ισχύος

Αξία (EUR) = [ετήσιο κόστος λειτουργίας των ρυθμιστών τάσης (EUR)]_{γραμμή βάσης}
— [ετήσιο κόστος λειτουργίας αυτοματοποιημένων ρυθμιστών τάσης]_{σενάριο εξάπλωσης}

- ✓ Μειωμένο κόστος για τη ρύθμιση των συστημάτων τροφοδοσίας

Αξία (EUR) = [ετήσιο κόστος λειτουργίας των συστημάτων τροφοδοσίας (EUR)]_{γραμμή βάσης}
— [ετήσιο κόστος λειτουργίας αυτοματοποιημένων συστημάτων τροφοδοσίας (EUR)]_{σενάριο εξάπλωσης}

- ✓ Μειωμένο κόστος λειτουργίας των σταθμών αιχμής

Η οικονομική αποτίμηση του επιμέρους αυτού οφέλους μπορεί να λαμβάνει υπόψη την ικανότητα σε MWh που παρέχουν σταθμοί αποθήκευσης, πόροι κατανεμημένης παραγωγής και ηλεκτρικά οχήματα ή το ποσό του φορτίου που μειώνεται λόγω της βελτιστοποιημένης χρήσης ενέργειας από τους πελάτες και το κόστος παραγωγής της ενέργειας (EUR/MWh) που αντιπροσωπεύει τις κεφαλαιουχικές δαπάνες για τη συμβατική παραγωγή. Η εξοικονόμηση χρημάτων μπορεί να υπολογιστεί και ανά ώρα, ιδίως για τις ώρες αιχμής. Η χρηματική αξία του οφέλους μπορεί να δοθεί από τον ακόλουθο τύπο:

Αξία (EUR) = [κόστος λειτουργίας σταθμού αιχμής (EUR/MW) * πρόσθετη κατανάλωση ενέργειας στην αιχμή (MW)]_{ετησίως γραμμή βάσης}
— [κόστος λειτουργίας σταθμού αιχμής (EUR/MW) * (βελτιστοποιημένη κατανάλωση ενέργειας από τους χρήστες - κατανάλωση ενέργειας από μονάδες αποθήκευσης, κατανεμημένης παραγωγής, ηλεκτρικών οχημάτων) (MW)]_{ετησίως γραμμή εξάπλωσης}

ix. Μείωση του κόστους ανάγνωσης και λειτουργίας των μετρητών

(Reduced Meter Operation and Reading Cost)

Το μειωμένο κόστος λήψης μετρήσεων μπορεί να επιτευχθεί μέσω της λειτουργίας:

- Καταμέτρηση και διαχείριση φορτίων σε πραγματικό χρόνο (real time measurement and management)

Το όφελος αναλύεται στα επιμέρους οφέλη:

- ✓ Μειωμένο κόστος λειτουργίας μετρητών

Αξία (EUR) = [εκτιμώμενες μειώσεις του κόστους λόγω απόσταση χειρισμών των μετρητών (EUR/έτος)]_{γραμμική βάση}
— [εκτιμώμενες μειώσεις του κόστους λόγω απόσταση χειρισμών των μετρητών (EUR/έτος) * ποσοστό αστοχίας επικοινωνίας (%/100)]_{σενάριο εξάπλωσης}

- ✓ Μειωμένο κόστος ανάγνωσης μετρητών

Αξία (EUR) = [κόστος για τις τοπικές αναγνώσεις μετρητών (EUR)]_{γραμμική βάση}
— [εκτιμώμενο κόστος για τις τοπικές αναγνώσεις «αποκεντρωμένων» μετρητών (EUR)]_{σενάριο εξάπλωσης}

Όπου:

Κόστος για τις τοπικές αναγνώσεις μετρητών (EUR)]_{γραμμική βάση} = αριθμός πελατών επιπέδου XT * ιστορικό κόστος ανάγνωσης μετρητή/πελάτη/έτος (EUR)

Εκτιμώμενο κόστος για τις τοπικές αναγνώσεις «αποκεντρωμένων» μετρητών (EUR)]_{σενάριο εξάπλωσης} = [αριθμός πελατών επιπέδου XT * % πελατών μη συμπεριλαμβανομένων στην εξάπλωση * μέσο κόστος αποκεντρωμένης ανάγνωσης ανά πελάτη (EUR/ πελάτη)]
+ [αριθμός πελατών επιπέδου XT * % πελατών συμπεριλαμβανομένων στην εξάπλωση * ποσοστό αστοχίας επικοινωνίας (%) * μέσο κόστος αποκεντρωμένης ανάγνωσης ανά πελάτη (EUR/αριθμός πελατών)]

- ✓ Μειωμένο κόστος τιμολόγησης για το χειρισμό των μετρητών

Αξία (EUR) = [αριθμός πελατών επιπέδου XT* κόστος τιμολόγησης/πελάτη/έτος (EUR)]_{γραμμική βάση}
— [αριθμός πελατών XT* κόστος τιμολόγησης/πελάτη/έτος (EUR)]_{σενάριο εξάπλωσης}

- ✓ Μειωμένο κόστος κέντρου κλήσεων/εξυπηρέτησης πελατών

Αξία (EUR) = [αριθμός πελατών επιπέδου XT* κόστος εξυπηρέτησης πελατών/πελάτη/έτος(EUR)]_{γραμμική βάση}
— [αριθμός πελατών επιπέδου XT* κόστος εξυπηρέτησης πελατών/πελάτη/έτος(EUR)]_{σενάριο εξάπλωσης}

(XT = χαμηλή τάση)

x. Μειωμένη κλοπή ηλεκτρικής ενέργειας

(Reduced Electricity Theft)

Ο περιορισμός της κλοπής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί μέσω της λειτουργίας:

- Καταμέτρηση και διαχείριση φορτίων σε πραγματικό χρόνο (real time measurement and management)

Η οικονομική αποτίμηση λαμβάνει υπόψη τον αριθμό των περιστατικών κλοπής που έχουν εντοπιστεί και την εκτίμηση του φορτίου που δεν καταγράφεται (KWh/ έτος).

Αξία (EUR) = [% των πελατών για τους οποίους διαπιστώθηκε κλοπή ηλεκτρικής ενέργειας (%/100)*εκτιμώμενη μέση τιμή του ενεργειακού φορτίου που δεν καταγράφηκε /πελάτη/έτος (KWh/έτος) * λιανική τιμή ρεύματος (EUR/kWh) * συνολικός αριθμός πελατών XT (αριθμός πελατών)] γραμμή βάσης

— [% των πελατών για τους οποίους εντοπίζεται κλοπή ηλεκτρικής ενέργειας (%/100) * μέση τιμή του ενεργειακού φορτίου που ιδιοποιείται/πελάτη/έτος (KWh/έτος) * λιανική τιμή ρεύματος (EUR/kWh) * συνολικός αριθμός πελατών XT (αριθμός πελατών)] σενάριο εξάπλωσης

xi. Μείωση των απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας

(Reduced Electricity Losses)

Έξι λειτουργίες θα οδηγήσουν σε λιγότερες απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας:

- Αυτοματοποιημένος έλεγχος της τάσης και της άεργου ισχύος (automated voltage and VAR control)
- Καταμέτρηση και διαχείριση φορτίων σε πραγματικό χρόνο (real time measurement and management)
- Μεταφορά φορτίου σε πραγματικό χρόνο (real time load transfer)
- Βελτιστοποίηση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας από τον πελάτη (customer electricity use optimization)
- Διείσδυση καταναλωμένων πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (distributed generation)
- Ανάπτυξη μονάδων αποθήκευσης ενέργειας (Stationary Electricity Storage)

Η καλύτερη προσέγγιση για τον προσδιορισμό των απωλειών είναι να ληφθούν μετρήσεις στο τμήμα του δικτύου που υφίσταται τις απώλειες. Για παράδειγμα, σε μια γραμμή μεταφοράς λαμβάνονται μετρήσεις του ωριαίου φορτίου και της τάσης στον υποσταθμό και στην εγκατάσταση του καταναλωτή, ώστε να υπολογιστεί η διαφορά τους που είναι στην ουσία η απώλεια. Η χρηματική αποτίμηση του οφέλους μπορεί να προκύψει από τη σχέση:

$$\text{Αξία (EUR)} = [\text{απώλειες(KWh)} * \text{τιμή πώλησης ενέργειας (EUR /kWh)}]_{\text{γραμμή βάσης}} \\ - [\text{μειωμένες απώλειες(KWh)} * \text{τιμή πώλησης ενέργειας (EUR /kWh)}]_{\text{σενάριο εξάπλωσης}}$$

ή διαφορετικά

$$\text{Αξία (EUR)} = \text{μειωμένες απώλειες λόγω ενεργειακής απόδοσης (EUR/έτος)} \\ + \text{μειωμένες απώλειες λόγω ρύθμισης της τάσης (EUR/έτος)} \\ + \text{μειωμένες απώλειες σε επίπεδο μεταφοράς (EUR/έτος)}$$

xii. Εξοικονόμηση κόστους ηλεκτρικής ενέργειας

(Reduced Electricity Cost)

Το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να μειωθεί μέσω των λειτουργιών:

- Βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας του πελάτη (customer electricity use optimization)
- Διείσδυση καταναλωμένων πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (distributed generation)
- Διείσδυση ηλεκτρικών υβριδικών οχημάτων (Plug-in Electric Vehicles)
- Ανάπτυξη μονάδων αποθήκευσης ενέργειας (Stationary Electricity Storage)

Η οικονομική αποτίμηση του οφέλους προϋποθέτει την παρακολούθηση της ενεργειακής χρήσης κάθε καταναλωτή. Αυτή περιλαμβάνει την καταναλισκόμενη ενέργεια που παράγεται από συμβατικούς σταθμούς, το είδος της τιμολόγησης που εφαρμόζεται, τη ζήτηση εναλλακτικής ενέργειας από καταναλωμένους πόρους, σταθμούς αποθήκευσης, ηλεκτρικά οχήματα και το αντίτιμό τους (tariff).

Το όφελος μπορεί να προκύψει από τα επιμέρους οφέλη:

- ✓ Μείωση της κατανάλωσης

$$\text{Αξία (EUR)} = \text{τιμή ενέργειας (EUR/MWh)} * \text{συνολική κατανάλωση ενέργειας XT (MWh)} * \\ \text{εκτιμώμενο \% της μείωσης της κατανάλωσης λόγω της εξάπλωσης (\%/100)}$$

- ✓ Μετάθεση φορτίου αιχμής

$$\text{Αξία (EUR)} = \text{διαφορά μεταξύ του κέρδους χονδρικής κατά την παραγωγή φορτίου αιχμής} \\ \text{και του κέρδους χονδρικής εκτός των περιόδων παραγωγής φορτίου αιχμής (EUR/MWh)} * \\ \% \text{ μετάθεση φορτίου αιχμής (\%/100)} * \text{συνολική κατανάλωση ενέργειας XT (MWh)}$$

- ✓ Επέκταση των αγορών καταναλωμένων πηγών

$$\text{Αξία (EUR)} = \{[\text{καταναλισκόμενη ενέργεια από συμβατικούς σταθμούς (KWh)}] * \text{τιμολόγηση} \\ \text{(EUR/kWh)}\}$$

+ [ζήτηση εναλλακτικής ενέργειας(KWh)* τιμολόγηση (EUR /kWh)]^{γραμμή βάσης}
— {[καταναλισκόμενη ενέργεια από συμβατικούς σταθμούς (KWh)* τιμολόγηση (EUR/kWh)]
+ [ζήτηση εναλλακτικής ενέργειας(KWh)* τιμολόγηση (EUR /kWh)]^{σενάριο εξάπλωσης}

xiii. Αύξηση του χρόνου διαθεσιμότητας παροχής

(Reduced Sustained Outages)

Η μείωση της διάρκειας των διακοπών ρεύματος μπορεί να επιτευχθεί μέσω των λειτουργιών:

- Προσαρμοστική προστασία (adaptive protection)
- Αυτοματοποιημένα συστήματα τροφοδοσίας (automated feeder switching)
- Αυτοματοποιημένη νησιδοποίηση και επανασύνδεση (automated islanding and reconnection)
- Ενισχυμένη προστασία από σφάλματα (enhanced fault protection)
- Διάγνωση και κοινοποίηση της κατάστασης του εξοπλισμού (Diagnosis and Notification of Equipment Condition)
- Καταμέτρηση και διαχείριση φορτίων σε πραγματικό χρόνο (real time measurement and management)
- Διείσδυση κατανεμημένων πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (distributed generation)
- Διείσδυση ηλεκτρικών υβριδικών οχημάτων (Plug-in Electric Vehicles)
- Ανάπτυξη μονάδων αποθήκευσης ενέργειας (Stationary Electricity Storage)

Οι χρόνοι διακοπής μπορούν να μετρηθούν από τους ευφυείς μετρητές ή τα συστήματα διαχείρισης των διακοπών ρεύματος. Τα δεδομένα αυτά μπορούν μετέπειτα να συγκριθούν με τη τυπική ωριαία ζήτηση για να εκτιμηθεί το φορτίο που δεν εξυπηρετήθηκε συνολικά. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μέτρο της αξίας της υπηρεσίας (Value of Service) ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή ή την κατηγορία του καταναλωτή. Αν για παράδειγμα, όλοι οι κάτοικοι που αντιμετωπίσαν μια διακοπή ρεύματος είναι οικιακοί υπολογίζονται η διάρκεια διακοπής, το μη παρεχόμενο φορτίο και η αξία του VoS στους οικιακούς καταναλωτές. Στην περίπτωση, όμως, όπου από 100 χρήστες οι 75 είναι οικιακοί και οι 25 βιομηχανικοί, πρέπει να γίνει χωριστός υπολογισμός των ανωτέρω μεγεθών. Οι βιομηχανικοί χρήστες καταναλώνουν διαφορετική ποσότητα ενέργειας που χρεώνεται διαφορετικά.

Το όφελος μπορεί να αναλυθεί στα επιμέρους οφέλη:

- ✓ Την αξία της υπηρεσίας διαρκούς παροχής δηλαδή την αξία του μη εξυπηρετούμενου φορτίου που πλέον θα παρέχεται με το ευφυές δίκτυο.

Αξία (EUR) = [συνολική κατανάλωση ενέργειας (MWh)/λεπτά της ώρας ανά έτος (αριθμός/έτος) * αξία VoS (EUR/MWh) * μέσος όρος μη διαθεσιμότητας παροχής σε λεπτά της ώρας/έτος (αριθμός/έτος)]_{γραμμική βάση}

— [συνολική κατανάλωση ενέργειας (MWh)/λεπτά της ώρας ανά έτος (αριθμός/έτος) * αξία VoS (EUR/MWh) * μέσος όρος μη διαθεσιμότητας παροχής σε λεπτά της ώρας/έτος (αριθμός/έτος)]_{σενάριο εξάπλωσης}

Αξίζει να σημειωθεί ότι το φορτίο που δεν εξυπηρετείται όταν έχει εφαρμοστεί το ευφυές δίκτυο θα είναι μικρότερο από το αντίστοιχο του σεναρίου αναφοράς λόγω της αμφίδρομης επικοινωνίας και της διαχείρισης της ενεργειακής χρήσης από την πλευρά των πελατών.

✓ Μειωμένο κόστος για την αποζημίωση πελατών

Αξία (EUR) = μέση ετήσια αποζημίωση πελατών (EUR) * % μείωση των αποζημιώσεων πελατών

xiv. Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών ρεύματος

(Reduced Major Outages)

Ο περιορισμός των εκτεταμένων διακοπών ρεύματος μπορεί να υλοποιηθεί μέσω των ακόλουθων λειτουργιών:

- Παρακολούθηση και απεικόνιση του δικτύου (wide area monitoring and visualization)
- Μεταφορά φορτίου σε πραγματικό χρόνο (real time load transfer)
- Αυτοματοποιημένη νησιδοποίηση και επανασύνδεση (automated islanding and reconnection)
- Καταμέτρηση και διαχείριση φορτίων σε πραγματικό χρόνο (real time measurement and management)

ενώ το κέρδος που αποκομίζεται σε χρηματικούς όρους δίνεται από τη σχέση:

Αξία (EUR) = [διάρκεια διακοπής (ώρες)*φορτίο που δεν εξυπηρετείται (kW) * VoS (EUR/MW)]_{γραμμική βάση}

— [διάρκεια διακοπής (ώρες)*φορτίο που δεν εξυπηρετείται (kW) * VoS (EUR/MW)]_{σενάριο εξάπλωσης}

Το μειωμένο κόστος που επιτυγχάνεται σχετικά με την αποζημίωση πελατών δίνεται από τη σχέση:

Αξία (EUR) = μέση ετήσια αποζημίωση πελατών (EUR) * % μείωση των αποζημιώσεων πελατών

xv. Μείωση του κόστους αποκατάστασης

(Reduced Restoration Cost)

Τέσσερις λειτουργίες επιτυγχάνουν μείωση του κόστους αποκατάστασης του δικτύου:

- Προσαρμοστική προστασία (adaptive protection)
- Αυτοματοποιημένα συστήματα τροφοδοσίας (automated feeder switching)
- Διάγνωση και κοινοποίηση της κατάστασης του εξοπλισμού (Diagnosis and Notification of Equipment Condition)
- Ενισχυμένη προστασία από σφάλματα (enhanced fault protection)

Για την ποσοτικοποίηση του οφέλους πρέπει να αναφερθούν ο αριθμός των διακοπών ρεύματος, τα αίτια και το κόστος αποκατάστασης τους για το σενάριο αναφοράς και για τη φάση υλοποίησης του ευφυούς δικτύου. Η σύγκριση των δαπανών θα δώσει την αξία του οφέλους:

**Αξία (EUR) = [κόστος αποκατάστασης (EUR)]_{γραμμή βάσης}
— [κόστος αποκατάστασης (EUR)]_{σενάριο εξάπλωσης}**

xvi. Μειωμένες στιγμιαίες διακοπές ρεύματος

(Reduced Momentary Outages)

Ο περιορισμός των στιγμιαίων διακοπών ρεύματος μπορεί να υλοποιηθεί μέσω των παρακάτω λειτουργιών:

- Ενισχυμένη προστασία από σφάλματα (enhanced fault protection)
- Ανάπτυξη μονάδων αποθήκευσης ενέργειας (Stationary Electricity Storage)

Το όφελος αυτό σχετίζεται με την αξία της υπηρεσίας (Value of Service) ανάλογα με την γεωγραφική περιοχή ή το είδος του καταναλωτή (οικιακό, εμπορικό, βιομηχανικό). Το μέτρο αυτό θεωρείται γνωστό. Με τους ευφυείς μετρητές μπορούν να εντοπίζονται όλα τα στιγμιαία γεγονότα διακοπών, η ακριβής τοποθεσία τους και οι απαιτούμενες διαδικασίες επαναφοράς. Κάτι τέτοιο φυσικά ίσως να μην είναι εύκολο να γίνει με ακρίβεια στο σενάριο αναφοράς.

Το όφελος θα μπορούσε να προκύψει από τα επιμέρους οφέλη:

- ✓ Το μειωμένο κόστος λόγω περιορισμού των στιγμιαίων διακοπών μέσω της βελτιωμένης διαχείρισης των σφαλμάτων

Αξία (EUR) = [αριθμός περιστατικών στιγμιαίων διακοπών * ποσοστό που οφείλεται σε λάθος χειρισμούς σφαλμάτων (%) * VoS (EUR/περιστατικό διακοπής)]_{γραμμή βάσης}
— [αριθμός στιγμιαίων διακοπών * ποσοστό που οφείλεται σε λάθος χειρισμούς σφαλμάτων (%) * VoS (EUR/περιστατικό διακοπής)]_{σενάριο εξάπλωσης}

- ✓ Το μειωμένο κόστος λόγω περιορισμού των στιγμιαίων διακοπών με τη χρήση της αποθηκευμένης ενέργειας ως εφεδρικής

Αξία (EUR) = [αριθμός περιστατικών στιγμιαίων διακοπών * VoS (EUR/περιστατικό διακοπής)]_{γραμμή βάσης}
— [αριθμός περιστατικών στιγμιαίων διακοπών * VoS (EUR/περιστατικό διακοπής)]_{σενάριο εξάπλωσης}

xvii. Μειωμένες διαταραχές της τάσης

(Reduced Sags and Swells)

Ο περιορισμός των διαταραχών τάσης μπορεί να υλοποιηθεί μέσω των ακόλουθων λειτουργιών:

- Ενισχυμένη προστασία από σφάλματα (enhanced fault protection)
- Σταθμοί αποθήκευσης ενέργειας (Stationary Electricity Storage)

Η οικονομική αποτίμηση του οφέλους βασίζεται στην παρακολούθηση του δικτύου για τον καθορισμό του αριθμού και της σοβαρότητας περιστατικών διαταραχών καθώς και ποιούς καταναλωτές επηρεάζουν ως εξής:

Αξία (EUR) = [πλήθος περιστατικών * VoS (EUR /περιστατικό)]_{γραμμή βάσης}
— [πλήθος περιστατικών * VoS (EUR /περιστατικό)]_{σενάριο εξάπλωσης}

xviii. Μείωση των εκπομπών CO₂ και των αιωρούμενων σωματιδίων SO_x, NO_x

(Reduced CO₂, SO_x, NO_x Emissions)

Η μείωση των εκπομπών ρύπων μπορεί να προέλθει από τις εξής λειτουργίες:

- Έλεγχος ροής ενέργειας (flow control)
- Αυτοματοποιημένα συστήματα τροφοδοσίας (automated feeder switching)
- Αυτοματοποιημένος έλεγχος της τάσης και άεργου ισχύος (automated voltage and VAR control)

- Καταμέτρηση και διαχείριση φορτίων σε πραγματικό χρόνο (real time measurement and management)
- Βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας από τον πελάτη (customer electricity use optimization)
- Διείσδυση κατανεμημένων πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (distributed generation)
- Διείσδυση ηλεκτρικών υβριδικών οχημάτων (Plug-in Electric Vehicles)
- Ανάπτυξη μονάδων αποθήκευσης ενέργειας (Stationary Electricity Storage)

Το όφελος αναλύεται στα επιμέρους οφέλη:

- ✓ Μειωμένες εκπομπές CO₂ και ατμοσφαιρικής ρύπανσης (αιωρούμενα σωματίδια, NO₂, SO₂) λόγω περιορισμού των διαδρομών τεχνικού προσωπικού με φορτηγά

Αξία (EUR) = [αριθμός περιστατικών που απαιτούν χειροκίνητους χειρισμούς * απόσταση μεταφοράς εργαζομένων (μίλια/περιστατικό) * απόδοση οχήματος (λίτρα καυσίμου/μίλι) * εκπεμπόμενοι ρύποι (τόνοι/ λίτρο καυσίμου) * κόστος ρύπου (EUR/ τόνο)] γραμμή βάσης
 — [αριθμός περιστατικών που απαιτούν χειροκίνητους χειρισμούς * απόσταση μεταφοράς εργαζομένων (μίλια/περιστατικό) * απόδοση οχήματος (λίτρα καυσίμου/μίλι) * εκπεμπόμενοι ρύποι (τόνοι/ λίτρο καυσίμου) * κόστος ρύπου (EUR/ τόνο)] σενάριο εξάπλωσης

- ✓ Μειωμένες εκπομπές CO₂ και ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω της μείωσης των απωλειών γραμμής

Αξία (EUR) = [απώλειες γραμμής (MWh) * περιεκτικότητα σε CO₂/ατμοσφαιρικούς ρύπους (τόνοι/MWh) * τιμή CO₂/ατμοσφαιρικού ρύπου (EUR/ τόνο)] γραμμή βάσης
 — [απώλειες γραμμής (MWh) * περιεκτικότητα σε CO₂/ατμοσφαιρικούς ρύπους (τόνοι/MWh) * Τιμή CO₂/ατμοσφαιρικού ρύπου (EUR/ τόνο)] σενάριο εξάπλωσης

- ✓ Μειωμένες εκπομπές CO₂ και ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω της ευρύτερης διάδοσης των πηγών ηλεκτροπαραγωγής χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών (ως συνέπεια της εμπορικής εξάπλωσης των ανανεώσιμων πηγών, των μονάδων αποθήκευσης και των ηλεκτρικών οχημάτων)

Αξία (EUR) = [εκπομπές CO₂ /ατμοσφαιρικών ρύπων (τόνοι) * τιμή CO₂ /ατμοσφαιρικού ρύπου (EUR/ τόνο)] γραμμή βάσης
 — [εκπομπές CO₂ /ατμοσφαιρικών ρύπων (τόνοι) * τιμή CO₂ /ατμοσφαιρικού ρύπου (EUR/ τόνο)] σενάριο εξάπλωσης

xix. Μειωμένη χρήση πετρελαίου

(Reduced Oil Usage)

Η μειωμένη χρήση πετρελαίου επιτυγχάνεται μέσω:

- Αυτοματοποιημένα συστήματα τροφοδοσίας (automated feeder switching)
- Διάγνωση και κοινοποίηση της κατάστασης του εξοπλισμού (Diagnosis and Notification of Equipment Condition)
- Καταμέτρηση και διαχείριση φορτίων σε πραγματικό χρόνο (real time measurement and management)
- Διείσδυση ηλεκτρικών υβριδικών οχημάτων (Plug-in Electric Vehicles)

Το όφελος προκύπτει από τα επιμέρους οφέλη:

- ✓ Μειωμένη κατανάλωση καυσίμων λόγω περιορισμού των διαδρομών τεχνικού προσωπικού με φορτηγά

Αξία (EUR) = [αριθμός περιστατικών που απαιτούν χειροκίνητους χειρισμούς * απόσταση μεταφοράς εργαζομένων (μίλια/περιστατικό) * απόδοση οχήματος (λίτρα καυσίμου/μίλι) * βαρέλια πετρελαίου/ λίτρο καυσίμου * τιμή βαρελιού πετρελαίου (EUR)]_{γραμμική βάση}
 — [αριθμός περιστατικών που απαιτούν χειροκίνητους χειρισμούς * απόσταση μεταφοράς εργαζομένων (μίλια/περιστατικό) * απόδοση οχήματος (λίτρα καυσίμου/μίλι) * βαρέλια πετρελαίου/ λίτρο καυσίμου * τιμή βαρελιού πετρελαίου (EUR)]_{σενάριο εξάπλωσης}

- ✓ Από την επέκταση της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων

Αξία (EUR) = [καταναλισκόμενη ενέργεια (kWh) * λίτρα καυσίμου/kWh * βαρέλια πετρελαίου/ λίτρο καυσίμου * τιμή βαρελιού πετρελαίου (EUR)]_{γραμμική βάση}
 — καταναλισκόμενη ενέργεια (kWh) * λίτρα καυσίμου/kWh * βαρέλια πετρελαίου/ λίτρο καυσίμου * τιμή βαρελιού πετρελαίου (EUR)]_{σενάριο εξάπλωσης}

xx. Μειωμένες ολικές διακοπές (blackouts)

(Reduced Widescale Blackouts)

Οι ολικές διακοπές (blackouts) μειώνονται μέσω τριών λειτουργιών:

- Παρακολούθηση και απεικόνιση του δικτύου (wide area monitoring and visualization)
- Δυναμική εκτίμηση της ικανότητας μεταφοράς ενέργειας (dynamic capability rating)
- Ενισχυμένη προστασία από σφάλματα (enhanced fault protection)

Η αξία αυτού του οφέλους ποσοτικοποιείται μετρώντας τον αριθμό των blackouts που θα μπορούσαν να αποφευχθούν και το αντίστοιχο κόστος τους. Εντοπίζονται, δηλαδή, οι συνθήκες που θα οδηγούσαν το δίκτυο σε εκτεταμένη βλάβη στο παρελθόν.

Αξία (EUR) = [αριθμός περιστατικών * εκτιμώμενο κόστος περιστατικού (EUR)]_{γραμμική βάση}
 — [αριθμός περιστατικών (εφόσον σημειωθούν) * εκτιμώμενο κόστος περιστατικού (EUR)]_{σενάριο εξάπλωσης}

5.3 Σύγκριση κόστους- οφελών

A. Στάδιο 6: Εκτίμηση κόστους

Κριτήριο αποδοχής ή απόρριψης ενός επενδυτικού σχεδίου αποτελεί η αναμενόμενη απόδοσή του, δηλαδή τα οφέλη που προσδοκά να αποκομίσει ο επενδυτής για τα επόμενα έτη με δεδομένο τον κίνδυνο που ενέχει το εξεταζόμενο έργο. Προκειμένου, δηλαδή, να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα της εγκατάστασης ενός ευφυούς δικτύου είναι απαραίτητο, εκτός από τη χρηματική αποτίμηση των οφελών, να συλλεχθούν πληροφορίες σχετικά με τις δαπάνες που θα απαιτηθούν. Η σύγκρισή τους θα δείξει κατά πόσο η επένδυση αξίζει να χρηματοδοτηθεί.

Η αναγνώριση των κατάλληλων δαπανών που πρέπει να συμπεριληφθούν στην ανάλυση οφέλους-κόστους εξαρτάται από την προοπτική του φορέα που διεξάγει την ανάλυση. Για παράδειγμα, έστω ότι σε ένα πρόγραμμα ευφυούς δικτύου η ηλεκτρική εταιρεία παρέχει στους συμμετέχοντες χρονομεταβλητή τιμολόγηση με καταβολή χρηματικού ποσού στους πελάτες που είναι πρόθυμοι να μειώσουν την ενέργεια που καταναλώνουν κατά τις ώρες αιχμής. Από τη σκοπιά του καταναλωτή, η παροχή αυτή συγκαταλέγεται στα οικονομικά μετρήσιμα οφέλη. Από τη σκοπιά της ενεργειακής επιχείρησης, η πληρωμή αυτή πρέπει να συμπεριληφθεί στις δαπάνες του έργου.

Δαπάνες που σχετίζονται με την εφαρμογή του ευφυούς δικτύου μπορούν να τοποθετηθούν στις γενικές κατηγορίες του πίνακα 5.8. Ο κατάλογος αυτός, ωστόσο, είναι μη εξαντλητικός υπό την έννοια ότι μπορούν να υπάρχουν πρόσθετες κατηγορίες ή πρόσθετοι τύποι εξόδων για τις υπάρχουσες κατηγορίες ανάλογα με το εκάστοτε έργο. Επιπλέον, μπορεί να αναφέρεται σε όλους τους δικαιούχους (καταναλωτές, ενεργειακές επιχειρήσεις, κοινωνία) ανάλογα με την προοπτική αξιολόγησης της κάθε μελέτης.

| Γενική κατηγορία | Είδος κόστους |
|------------------------|---|
| Κεφαλαιουχικές δαπάνες | Επένδυση σε εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής (κατανεμημένοι πόροι, ηλεκτρικά οχήματα) |
| | Επένδυση σε εγκαταστάσεις μεταφοράς ενέργειας |
| | Επένδυση σε εγκαταστάσεις διανομής ενέργειας |

| | |
|--|--|
| | Επένδυση σε ευφυή συστήματα μέτρησης |
| | Επένδυση σε τεχνολογία πληροφορίας και επικοινωνίας (αυτός ο όρος περιλαμβάνει κάθε συσκευή επικοινωνίας όπως ραδιόφωνο, τηλεόραση, κινητά τηλέφωνα, λειτουργικό και λογισμικό μέρος υπολογιστή και δικτύου, δορυφορικά συστήματα κλπ, όπως επίσης και τις ποικίλες υπηρεσίες και εφαρμογές που συνδέονται με όλα τα ανωτέρω, όπως η βιντεοδιάσκεψη και η από απόσταση μάθηση. |
| | Επένδυση σε οικιακές οθόνες απεικόνισης μετρήσεων, ευφυείς θερμοστάτες |
| | Αποφευχθείσα επένδυση σε συμβατικούς μετρητές (αρνητικό κόστος το οποίο πρέπει να προστεθεί στον κατάλογο των οφελών) |
| | Αποφευχθείσα επένδυση σε συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (αρνητικό κόστος το οποίο πρέπει να προστεθεί στον κατάλογο των οφελών) |
| Λειτουργικά έξοδα | Κόστος διαχείρισης δικτύου (κόστος βοηθητικών υπηρεσιών, πληρωμή διαχειριστών δικτύου) |
| | Κόστος επικοινωνιών/διαβίβασης δεδομένων (π.χ. ραδιοεπικοινωνιών κ.λπ.) |
| | Κόστος συντήρησης εξοπλισμού (σταθμών παραγωγής, μετρητών, επικοινωνιών, οικιακών συσκευών) |
| | Αντικατάσταση (σταδιακή)/αστοχία των ευφών συστημάτων |
| | Κόστος διαχείρισης σεναρίων, μοντέλων πρόβλεψης |
| | Μειώσεις εσόδων (π.χ. λόγω της αποδοτικότερης κατανάλωσης) |
| | Ηλεκτροπαραγωγή |
| | Διανομή και μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας |
| | Ανάγνωση μετρήσεων |
| | Κέντρο κλήσεων/εξυπηρέτηση πελατών |
| | Δαπάνες κατάρτισης (π.χ. του προσωπικού εξυπηρέτησης πελατών και του προσωπικού εγκατάστασης) |
| | Πληρωμές συμμετεχόντων |
| Απώλειες, κλοπή | Κόστος απωλειών και κλοπής |
| Αξιοπιστία | Κόστος αποκατάστασης παροχής |
| Περιβάλλον | Κόστος εκπομπών (εξοπλισμός ελέγχου CO ₂ , SO ₂ , NO _x , άδειες λειτουργίας και εκπομπών) |
| Ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού | Κόστος των ορυκτών καυσίμων που καταναλώνονται για την ηλεκτροπαραγωγή |
| | Κόστος των ορυκτών καυσίμων για τη μεταφορά και τη λειτουργία |
| | Κόστος αποκατάστασης blackout εφόσον προκύψει κατά τη διάρκεια εφαρμογής τους ευφούς δικτύου |
| Λοιπά | Κόστος των προγραμμάτων συμμετοχής των καταναλωτών |
| | Μη ανακτήσιμες δαπάνες για προγενέστερα εγκατεστημένους (συμβατικούς) σταθμούς, μετρητές κλπ. |

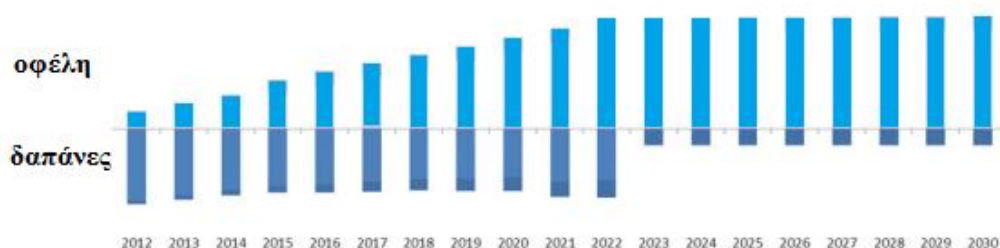
Πίνακας 5 Στάδιο 6: Μη εξαντλητικός κατάλογος των ειδών κόστους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την εμπορική εξάπλωση των ευφών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας

B. Στάδιο 7: Σύγκριση κόστους και οφελών

Από τη στιγμή όπου οι δαπάνες και τα οφέλη έχουν εκτιμηθεί μπορούν πλέον να συγκριθούν για να αποτιμηθεί πλήρως η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας κατά την ανάπτυξη ενός έργου ευφυούς δικτύου. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για τη σύγκριση αυτή, μερικές από τις οποίες συνοψίζονται ακολούθως:

- Ετήσια σύγκριση

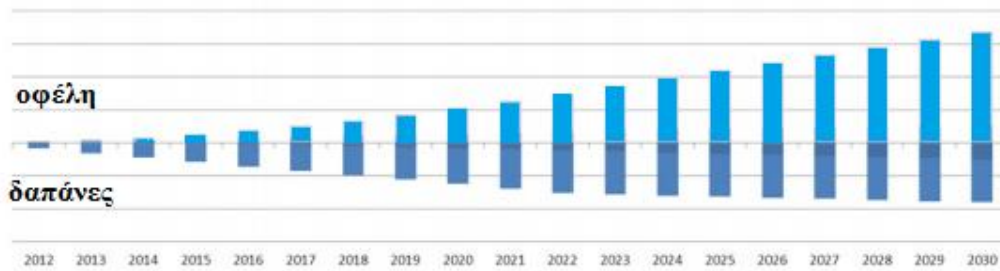
Αν συλλέγονται τα κόστη και η αξία των οφελών ανά έτος της περιόδου μελέτης τότε μπορεί να γίνει μια σύγκριση ανά έτος. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τον εντοπισμό συγκεκριμένων ετών στα οποία το κόστος υπερέβη ή θα υπερβεί τα οφέλη ή αντίστροφα. Η σύγκριση θα μπορούσε ακόμα να γίνει και σε εποχιακή βάση ανάλογα με τις πληροφορίες που είναι διαθέσιμες.



Σχήμα 5.1 Στάδιο 7: Παράδειγμα ετήσιας σύγκρισης

- Αθροιστική σύγκριση

Τα κόστη και τα οφέλη παρουσιάζονται αθροιστικά. Αυτό σημαίνει ότι το όφελος κάθε έτους είναι η συσσωρευτική αποτίμηση του οφέλους μέχρι το υπόψη έτος. Το ίδιο εφαρμόζεται και για τα κόστη. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στον εντοπισμό του «νεκρού σημείου», δηλαδή του έτους για παράδειγμα όπου δεν υπήρχε αύξηση στο όφελος (βρίσκεται στο ίδιο ύψος με το προηγούμενο έτος) ενώ το ύψος των δαπανών έχει μεταβληθεί ή και αντίστροφα.



Σχήμα 5.2 Στάδιο 7: Παράδειγμα ετήσιας σύγκρισης

- Μέθοδος Καθαρής Παρούσας Αξίας NPV

Η μέθοδος της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) αποδίδει τη συμβολή της επένδυσης στην αξία της επιχείρησης. Η καθαρή παρούσα αξία ενός επενδυτικού προγράμματος ισούται με την παρούσα αξία των αναμενόμενων ταμειακών ροών προεξοφλημένων με ένα επιτόκιο (r) ανάλογο του κινδύνου της επένδυσης. Ο όρος ταμειακή ροή αναφέρεται σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο λειτουργίας μιας επιχείρησης, συνήθως είναι ετήσια και ορίζεται από τη διαφορά δύο μεγεθών: της ταμειακής εισροής (έσοδα-οφέλη) και της ταμειακής εκροής (έξοδα). Αν η παρούσα αξία των μελλοντικών ταμειακών ροών ενός προγράμματος είναι μεγαλύτερη από το αρχικό κόστος, τότε αξίζει να γίνει η επένδυση. Με απλά λόγια η καθαρή παρούσα αξία αντιπροσωπεύει το συνολικό ποσό με το οποίο τα οφέλη υπερβαίνουν το κόστος.

$$NPV = PV - I = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

οπου PV = παρούσα αξία

I = αρχικές επενδεδυμένες δαπάνες

CF = ταμειακές ροές

r = απαιτούμενη αποδοχή

- Δείκτης αναλογίας οφέλους-κόστους (Benefit-Cost ratio)

Ο δείκτης BCR επιχειρεί να συνοψίσει τη συνολική αξία των χρημάτων εισροής και εκροής ενός έργου ή επενδυτικής πρότασης. Ο BCR είναι ο λόγος των εσόδων, που εκφράζεται σε χρηματικούς όρους προς το κόστος, επίσης

εκφρασμένο σε νομισματικούς όρους. Τόσο ο αριθμητής όσο και ο παρανομαστής του πηλίκου πρέπει να είναι εκφρασμένα σε προεξοφλημένη παρούσα αξία. Πρόκειται για μια απλή μέθοδο που ελέγχει αν επιτεύχθηκε ή θα επιτευχθεί χρηματικό κέρδος από την εκτέλεση του έργου. Γενικός κανόνας είναι ότι αν ο δείκτης είναι μεγαλύτερος της μονάδας τότε πρόκειται είναι μια καλή επένδυση. Ένα απλό παράδειγμα χρησιμοποιώντας αριθμούς έχει ως εξής: αν κάποιος επενδύσει 100 χρηματικές μονάδες και αποκομίσει εισροές από το έργο 120 χρηματικές μονάδες τότε το BCR είναι $120/100 = 1,2 > 1$, άρα επωφελήθηκε ο επενδυτής.

Ανεξάρτητα από τη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της σχέσης οφέλους-κόστους, τα αποτελέσματα εξαρτώνται από το χρονικό ορίζοντα που επιλέγεται ως περίοδος μελέτης. Μια τυπική επιλογή είναι να θεωρείται το έργο ενεργό και μελετήσιμο για δύο έως τρία έτη. Ωστόσο, αυτό είναι πιθανό να μην καταγράψει οφέλη που μπορεί να πραγματοποιηθούν δυνητικά μετά τη λήξη της μελέτης του έργου. Όταν βέβαια η εφαρμογή του ευφυούς δικτύου γίνεται σε μεγαλύτερη κλίμακα λαμβάνεται συνήθως χρονικός ορίζοντας 10 έως 20 έτη. Σημαντικό ρόλο στην επιλογή μπορεί να παίζει η αναμενόμενη διάρκεια ζωής των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται.

Τέλος, ένα ακόμα κρίσιμο σημείο στην σύγκριση κόστους-οφέλους είναι η αξία των χρημάτων. Δεδομένου ότι ένα ευρώ σήμερα κοστίζει περισσότερο από ένα ευρώ αύριο πρέπει να γίνει μια προσεκτική επιλογή του προεξοφλητικού επιτοκίου-απόδοσης της επένδυσης. Συχνά, η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ 3% και 7% αλλά μπορεί να μεταβληθεί για κάθε μεμονωμένο έργο ανάλογα με την προοπτική της ανάλυσης και τις εκάστοτε υποθέσεις.

6. Υπολογισμός βασικών οφελών από την εγκατάσταση του ευφυούς δικτύου στην Ελλάδα

Αναβολή επενδύσεων ηλεκτροπαραγωγής

| | |
|---|-------------|
| τρέχουσα εγκατεστημένη ισχύς (MW) | 12.800 |
| μελλοντική εγκατεστημένη ισχύς (MW) | |
| αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος κατά 5% | 13.440 |
| αύξηση σε MW | 640 |
| ανέγερση 3 σταθμών των 250 MW | 750 |
| κόστος κατασκευής (EUR/MW) | 700.000 |
| | |
| συνολικό κόστος κατασκευής (EUR) | 525.000.000 |
| χρήματα που εξοικονομούνται (εκατ. EUR/έτος) | 525 |

Μείωση του κόστους συντήρησης και λειτουργίας

| | |
|---|--------------|
| κόστος (EUR) | 148.667.000 |
| μείωση του κόστους κατά 20% | |
| κόστος (EUR) | 118.933.600 |
| | |
| χρήματα που εξοικονομούνται (EUR) | 29.733.400 |
| χρήματα που εξοικονομούνται (εκατ. EUR/έτος) | 29,73 |

Μείωση των τεχνικών απωλειών

| | |
|---|--------------|
| απώλειες (MWh) | 2.214.204 |
| τιμή πώλησης (EUR/MWh) | 100 |
| κόστος (EUR) | 221.420.400 |
| μείωση των απωλειών κατά 10% | |
| απώλειες (MWh) | 1.992.783 |
| τιμή πώλησης (EUR/MWh) | 100 |
| κόστος (EUR) | 199.278.360 |
| | |
| χρήματα που εξοικονομούνται (EUR) | 22.142.040 |
| χρήματα που εξοικονομούνται (εκατ. EUR/έτος) | 22,14 |

Μείωση του κόστους βλαβών του δικτύου

| | |
|---|--------------|
| κόστος (EUR) | 190.000.000 |
| μείωση του κόστους κατά 30% | |
| κόστος (EUR) | 139.650.000 |
| | |
| χρήματα που εξοικονομούνται (EUR) | 59.850.000 |
| χρήματα που εξοικονομούνται (εκατ. EUR/έτος) | 59,85 |

Μείωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

| | |
|---|---------------|
| κόστος (EUR) | 3.159.961.000 |
| μείωση του κόστους κατά 30% | |
| κόστος (EUR) | 2.843.964.900 |
| | |
| χρήματα που εξοικονομούνται (EUR) | 315.996.100 |
| χρήματα που εξοικονομούνται (εκατ. EUR/έτος) | 315,99 |

Μείωση του κόστους βοηθητικών υπηρεσιών

| | |
|---|---------------|
| κόστος (EUR) | 631.992.200 |
| μείωση του κόστους κατά 30% | |
| κόστος (EUR) | 442.394.540 |
| | |
| χρήματα που εξοικονομούνται (EUR) | 189.597.660 |
| χρήματα που εξοικονομούνται (εκατ. EUR/έτος) | 189,59 |

Μειωμένες εκπομπές CO₂

| | |
|---|--------------|
| παραγωγή ενέργειας (MWh) | 41.500.000 |
| τόνοι CO ₂ /MWh | 1,13 |
| τόνοι CO ₂ | 46.895.000 |
| μείωση των εκπομπών κατά 10% | |
| τόνοι CO ₂ | 42.205.500 |
| τιμή CO ₂ (EUR /tn) | 10 |
| | |
| χρήματα που εξοικονομούνται (EUR) | 46.895.000 |
| χρήματα που εξοικονομούνται (εκατ. EUR/έτος) | 46,89 |

Μειωμένα blackouts

| | |
|--|-------------|
| εγκατεστημένη ισχύ (MW) | 12.800 |
| τιμή πώλησης (EUR/MWh) | 100 |
| ενέργεια που δεν πωλείται λόγω blackouts*(MWh) | 51.200 |
| απώλεια εσόδων (EUR/έτος) | 5.120.000 |
| μείωση της διάρκειας των blackouts κατά 30% | |
| ενέργεια που δεν πωλείται λόγω blackouts | 35.840 |
| απώλεια εσόδων (EUR/έτος) | 3.584.000 |
| χρήματα που εξοικονομούνται (EUR/έτος) | 1.536.000 |
| χρήματα που εξοικονομούνται (εκατ.EUR/έτος) | 1,53 |

*Θεωρώντας ότι θα συμβεί ένα περιστατικό blackout διάρκειας 24 ωρών με απώλειες ίσες περίπου με το ένα τρίτο της πωληθείσας ενέργειας. Η πωληθείσα ενέργεια είναι περίπου ίση με τη μισή της μέγιστης δυνατής ικανότητας παραγωγής.

ενέργεια που δεν πωλείται λόγω blackouts = $(24 \text{ h} * 12.800 \text{ MW} * 0,5) / 3$

Περιορισμός των εκτεταμένων χρονικά διακοπών

| διάρκεια περιστατικού (μισή ώρα) | κατηγορία καταναλωτών | | | |
|--|-----------------------|-----------|-----------|--------------|
| | οικιακοί | γεωργικοί | εμπορικοί | Βιομηχανικοί |
| αριθμός περιστατικών (αριθμός/έτος) | 40 | 40 | 40 | 40 |
| κόστος περιστατικού (EUR) | 0,6325 | 623,5 | 7026,25 | 7272,25 |
| κόστος (EUR/έτος) | 25,3 | 24940 | 281050 | 290890 |
| απώλεια εσόδων (EUR/έτος) | 1.790.716 | | | |
| μείωση κατά 30 % των περιστατικών | | | | |
| αριθμός περιστατικών (αριθμός/έτος) | 28 | 28 | 28 | 28 |
| κόστος περιστατικού (EUR) | 0,6325 | 623,5 | 7026,25 | 7272,25 |
| κόστος (EUR/έτος) | 17,71 | 17458 | 196735 | 203623 |
| απώλεια εσόδων (EUR/έτος) | 1.253.501 | | | |
| χρήματα που εξοικονομούνται (EUR/έτος) | 537.215 | | | |
| χρήματα που εξοικονομούνται (εκατ.EUR/έτος) | 0,54 | | | |

7. Βιβλιογραφία

- [1] <http://apod.nasa.gov/apod/ap001127>.
- [2] “The electricity economy, New Opportunities from the Transformation of the Electric Power Sector” Global Environment Fund, Αύγουστος 2008
- [3] “Stern Review on the Economics of Climate Change”, 2006
- [4] “System for the Analysis of Global Energy Markets” Energy Information Administration, 2007
- [5] <http://www.galvinpower.org/> Galvin Electricity Initiative, 2007
- [6] “The Smart Grid: An introduction” Book publication, U.S. Department of Energy (DOE), 2008
- [7] <http://en.wikipedia.org>
- [8] Chun-Hao Lo and Nirwan Ansari “The Progressive Smart Grid System from Both Power and Communications Aspects” IEEE Communications surveys & tutorials, no. 99, pp. 1-23, Αύγουστος 2011
- [9] “U.S. Smart Grid: Finding new ways to cut carbon and create jobs” The Center on Globalization, Governance & Competitiveness (CGGC), Απρίλιος 2011
- [10] Γιάννης Χατζηβασιλειάδης “ Έξυπνα Ηλεκτρικά Δίκτυα για Μεγάλη Διείσδυση ΑΠΕ”, Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (IENE), Νοέμβρης 2009
- [11] Steve Browning “Future Power Systems 21 - The Smart Customer” U.S. Department of Energy (DOE), Μάιος 2010

- [12] Time-of-Use and Critical Peak Pricing Considerations for Program Design and the Role of Enabling Technologies, energy insights, an IDC company
- [13] Pesco Power Cents DC pilot District of Columbia, “Final Report” Σεπτέμβριος 2010
- [14] <http://design-lab.gr> energy smart grids
- [15] “The economic Impacts of the August 2003 Blackout”, Electricity Consumers Resource Council (ELCON), Φεβρουάριος 2004
- [16] Thomas B.Smith “Electricity theft: a comparative analysis” Department of Social and Behavioral Sciences, Zayed University, P.O. Box 19282, Dubai, United Arab Emirates,2003
- [17] “Fighting Electricity Theft with Advanced Metering Infrastructure” White Paper, ECI Telecom, Μάρτιος 2011
- [18] “Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid: A Preliminary Estimate of the Investment Requirements and the Resultant Benefits of a Fully Functioning Smart Grid” EPRI Electrical Power Research Institute, 2011 TECHNICAL REPORT.
- [19] “The Smart Grid: An Estimation of the Energy and CO2 Benefits”, Pacific Northeast National Laboratory, Ιανουάριος 2010
- [20] “The Green Grid” EPRI Electrical Power Research Institute, 2011 TECHNICAL REPORT, Ιούνιος 2008
- [21] <http://www.accenture.com> “Achieving high performance with theft analytics Leveraging smart grid deployments to enhance revenue protection”, Αύγουστος 2011
- [22] <http://silverspringnet.com/>

- [23] “Methodological Approach for Estimating the Benefits and Costs of Smart Grid Demonstration Projects” EPRI Electrical Power Research Institute, FINAL REPORT, Ιανουάριος 2010
- [24] Vincenzo Giordano, Ijeoma Onyeji, Gianluca Fulli, Manuel Sanchez Jimenez, Constantina Filiou, “Guidelines for conducting a cost-benefit analysis of smart grid projects”, Ευρωπαϊκή Επιτροπή-Ινστιτούτο Ενέργειας και Μεταφορών, 2012
- [25] “Guidelines for cost-benefit analysis of smart metering deployment” Ευρωπαϊκή Επιτροπή-Ινστιτούτο Ενέργειας και Μεταφορών, 2012
- [26] Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ της 9ης Μαρτίου 2012 σχετικά με τις προετοιμασίες για την εμπορική εξάπλωση των έξυπνων συστημάτων μέτρησης
- [27] “A framework for the evaluation of smart grids”, Frontier Economics Ltd, London, Νοέμβριος 2011
- [28] “Smart grid Cyber Security” Korea smart grid Institute, 25 Απριλίου 2012
- [29] Joseph H. Eto, Robert J. Thomas, “Computational Needs For the Next Generation Electric Grid”, Department of Energy, ΗΠΑ, Απρίλιος 2011
- [30] “Achieving high performance with theft analytics”, www.accenture.com
- [31] “Grid of the Future” IEEE power & energy magazine, p.51, Μάρτιος-Απρίλιος 2009
- [32] Brandon Davito, Humayan Tai, Robert Uhlamer, “The Smart Grid and the promise of demand-side management”, McKinsey on Smart Grid, 2010
- [33] “Impact of smart grid Technologies on Peak Load to 2050” Working Paper, International Energy Agency, Αύγουστος 2011
- [34] “Smart grid deployment plan” California public utility commission, Ιούνιος 2011
- [35] “Reducing Carbon dioxide emissions in the electric sector” ASME general position statement, Απρίλιος 2009

[36] Ετήσιος απολογισμός 2011, ΔΕΗ, Ιούνιος 2012, Department of energy (το κεφάλαιο 6)

