



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## **Οι Τεχνολογίες Πληροφοριών & Επικοινωνιών (ΤΠΕ) Για Την Ενεργειακή Βελτιστοποίηση**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Παγωνόπουλος Παναγιώτης**

**Επιβλέπων : Ιωάννης Ψαρράς**  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2015





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## Οι Τεχνολογίες Πληροφοριών & Επικοινωνιών (ΤΠΕ) Για Την Ενεργειακή Βελτιστοποίηση

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παγωνόπουλος Παναγιώτης

Επιβλέπων : Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 26<sup>η</sup> Μαρτίου 2015.

.....  
Ιωάννης Ψαρράς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Δημήτριος Ασκούνης  
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Βασίλειος Ασημακόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2015

.....  
Παγωνόπουλος Παναγιώτης

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

Copyright © Παγωνόπουλος Παναγιώτης, 2015

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.

## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι οι Τεχνολογίες Πληροφοριών & Επικοινωνιών (ΤΠΕ) για την Ενεργειακή Βελτιστοποίηση.

Θα ήθελα να εκφράσω την μεγάλη μου ευγνωμοσύνη στον Καθηγητή κ. Ιωάννη Ψαρρά για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας, την άψογη συνεργασία που είχαμε και κυρίως το έντονο ενδιαφέρον και την στήριξη που έδειξε σε όλα τα ζητήματα που κατά καιρούς με απασχόλησαν.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου, Μαριάννα και Σπύρο, για την αμέριστη αγάπη τους και στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια, τα οποία με βοήθησαν και μου έδωσαν την δύναμη να κυνηγήσω και να πραγματοποιήσω τους στόχους μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους πολύ καλούς μου φίλους Γιώργο Σαντίκο και Λίνα Σταυρίδου για τις πολύτιμες συμβουλές τους, την υπομονή τους και την στήριξη τους.

Αθήνα, Μάρτιος 2015

Παγωνόπουλος Παναγιώτης



## Περίληψη

Η αιεφόρος παραγωγή και διανομή ενέργειας είναι σήμερα ένα από τα πιο σημαντικά και κρίσιμα θέματα σε παγκόσμιο επίπεδο. Πλέον αποτελεί θέμα συζήτησης σε τεχνικό και πολιτικό επίπεδο. Επίσης η αξιοπιστία, οι προσιτές τιμές και η οικονομική αποδοτικότητα της ενέργειας είναι διαστάσεις που βρίσκονται επίσης στο επίκεντρο και υπάρχει επιτακτική ανάγκη να αντιμετωπιστούν άμεσα.

Η ραγδαία εξέλιξη και ανάπτυξη των Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) τα τελευταία χρόνια ανοίγει νέους ορίζοντες, και προσφέρει τεράστιες δυνατότητες για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών και κυρίως στην μεταφορά δεδομένων.

Αυτή η διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να αναδείξει τη δυναμική και τις λύσεις που έχουν να προσφέρουν οι Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) για την ενεργειακή βελτιστοποίηση. Η εφαρμογή των ΤΠΕ μπορεί να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο για τον εκσυγχρονισμό του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, σε όλους τους τομείς του, δηλαδή στους τομείς της παραγωγής ενέργειας, μεταφοράς, διανομής και παροχής ενέργειας.

Αναλύεται η δυναμική των ΤΠΕ για την αποδοτική ενσωμάτωση και λειτουργία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), της αποκεντρωμένης παραγωγής και των εικονικών εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας· για τον εκσυγχρονισμό, την αξιόπιστη λειτουργία, τον έλεγχο και την αποτελεσματικότητα του δικτύου μεταφοράς· για την εφαρμογή προγραμμάτων και ανταπόκρισης στη ζήτηση και την αποδοτική λειτουργία του δικτύου διανομής και τη συμμετοχή των καταναλωτών μέσω της ανταπόκρισης στη ζήτηση, και έξυπνων συστημάτων μέτρησης· και για την υλοποίηση των έξυπνων σπιτιών/κτιρίων. Τέλος γίνεται αναφορά στις μελλοντικές προκλήσεις που θα πρέπει να ξεπεραστούν για την αποτελεσματική ενσωμάτωση και εφαρμογή των λύσεων που προσφέρουν οι ΤΠΕ.

### Λέξεις Κλειδιά:

Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών, ΤΠΕ, Σύστημα Ενέργειας, Ενεργειακή Βελτιστοποίηση, Ενεργειακή και Οικονομική Αποδοτικότητα.





## Abstract

Sustainable energy production and distribution is currently one of the most important and critical issues worldwide. Now more than ever it is a matter of debate and discussion at technical and political level. Also the parameters of the reliability, affordability and cost-effectiveness of energy are at the focus of our attention and there is an urgent need to address them immediately.

The rapid evolution and development of Information and Communication Technologies (ICT) in recent years opens up new horizons and offers huge potential for a wide range of applications, mainly in data transfer.

This thesis aims to highlight the potential and the solutions that Information and Communication Technologies (ICT) have to offer for energy optimization. The implementation of ICT based solutions can play a decisive role in the modernization of the electricity system, in all areas, i.e. in energy production, transmission, distribution and supply.

It analyzes the potential of ICT for efficient integration and operation of renewable energy sources (RES), distributed generation and virtual power plants; for the modernization, reliability, control and efficiency of the transmission grid; for the implementation of demand response programs and the efficiency of the distribution grid and the participation of the consumer through demand response and smart metering; and the realization of smart houses/ buildings. Finally reference is made to the future challenges that must be overcome for the effective implementation of these ICT based solutions.

### **Keywords:**

Information and Communication Technologies, ICT, Power System, Energy Optimization, Energy and Economic Efficiency.



## Περιεχόμενα

<b>Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή .....</b>	<b>13</b>
1.1 Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας.....	15
1.2 Φάσεις Εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας.....	16
1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	17
<b>Κεφάλαιο 2. Ο Ρόλος Των ΤΠΕ Στον Τομέα Της Ενεργειακής Βελτιστοποίησης .....</b>	<b>19</b>
2.1 Εισαγωγή Στις Τεχνολογίες Πληροφοριών Και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) - Ορισμός	21
2.2 ΤΠΕ – Η Εξέλιξη Και Οι Δυνατότητες Τους .....	26
2.3 Σύνδεση Των ΤΠΕ Με Την Βελτιστοποίηση Ενέργειας .....	28
<b>Κεφάλαιο 3. Οι ΤΠΕ Για Την Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Σε Συγκεκριμένους Τομείς Της Ενεργειακής Αλυσίδας .....</b>	<b>39</b>
3.1 Παραγωγή / Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	41
3.1.1 Εισαγωγή .....	41
3.1.2 Οι ΤΠΕ Για Τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) .....	44
3.1.3 Αποκεντρωμένη Παραγωγή & Εικονικές Εγκαταστάσεις Παραγωγής .....	48
3.2 Δίκτυο Μεταφοράς .....	57
3.2.1 Εισαγωγή .....	57
3.2.2 Κέντρα Ελέγχου .....	60
3.2.3 Γραμμές Μεταφοράς.....	62
3.2.4 Υποσταθμοί .....	63
3.2.5 Απόθεμα Ισχύος .....	64
3.3 Δίκτυο Διανομής.....	67
3.3.1 Εισαγωγή .....	67
3.3.2 ΤΠΕ Για Το Δίκτυο Διανομής .....	70
3.3.3 Ανταπόκριση Στην Ζήτηση .....	73
3.4 Τεχνολογίες Μετρήσεων.....	82
3.4.1 Εισαγωγή .....	82
3.4.2 Έξυπνοι Μετρητές .....	83
3.5 Σπίτια/Κτίρια .....	89
3.5.1 Εισαγωγή .....	89
3.5.2 Έξυπνα Σπίτια/Κτίριο.....	91
<b>Κεφάλαιο 4. Μελλοντικές Προκλήσεις .....</b>	<b>97</b>

<b>Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα.....</b>	<b>105</b>
Βιβλιογραφία .....	111

## ***Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή***

---



## 1.1 Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας

Η αιφόρος παραγωγή και διανομή ενέργειας είναι σήμερα ένα από τα πιο σημαντικά και κρίσιμα θέματα σε παγκόσμιο επίπεδο. Πλέον αποτελεί θέμα συζήτησης σε τεχνικό και πολιτικό επίπεδο. Κατά συνέπεια, η ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές όπως είναι η αιολική και η ηλιακή παίζει πολύ κρίσιμο ρόλο και βρίσκεται διαρκώς στο επίκεντρο. Εκτός από την αιφόρο ανάπτυξη, και η αξιοπιστία, οι προσιτές τιμές και η οικονομική αποδοτικότητα της ενέργειας είναι διαστάσεις που βρίσκονται επίσης στο επίκεντρο και υπάρχει επιτακτική ανάγκη να αντιμετωπιστούν άμεσα.

Η ραγδαία εξέλιξη και ανάπτυξη των Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) τα τελευταία χρόνια ανοίγει νέους ορίζοντες, και προσφέρει τεράστιες δυνατότητες για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών και κυρίως στην μεταφορά δεδομένων, δηλαδή στη χρήση τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού, ηλεκτρονικού εξοπλισμού πληροφορικής και αντίστοιχου λογισμικού για τη μετατροπή, αποθήκευση, προστασία, επεξεργασία, μετάδοση και ανάκτηση κυρίως ψηφιοποιημένων πληροφοριών και δεδομένων.

Μελέτες έχουν δείξει ότι οι ΤΠΕ θα βελτιώσουν όχι μόνο την ενεργειακή και οικονομική αποδοτικότητα αλλά και βοηθήσουν στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

Οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο, έχουν υποστεί θεμελιώδεις αλλαγές τα τελευταία χρόνια που καθιστούν αναγκαία την χρήση των ΤΠΕ. Τρία ζητήματα έχουν παίξει κύριο ρόλο:

- Πρώτον, η απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, και αναδυόμενος ανταγωνισμός,
- Δεύτερον, η ισχυρή ανάπτυξη της αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας, ιδίως στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, και η δυνατότητα για εικονικές εγκαταστάσεις παραγωγής,
- Και, τρίτον, η ανάγκη για αποτελεσματική χρήση και κατανάλωση της ενέργειας για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Αυτή η διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να αναδείξει τη δυναμική και τις λύσεις που έχουν να προσφέρουν οι Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) για την ενεργειακή βελτιστοποίηση. Η εφαρμογή των ΤΠΕ μπορεί να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο για τον εκσυγχρονισμό του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, σε όλους τους τομείς της ενεργειακής αλυσίδας, δηλαδή στους τομείς της παραγωγής ενέργειας, μεταφοράς, διανομής και παροχής ενέργειας.

## 1.2 Φάσεις Εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας

Η εκπόνηση της διπλωματικής πραγματοποιήθηκε μεταξύ Απριλίου 2014 και Δεκεμβρίου 2014 και η πορεία αυτής ακολούθησε τις εξής φάσεις, οι οποίες περιγράφονται συνοπτικά.

**Φάση 1<sup>η</sup>:** Μελέτη της ανάγκης για αειφόρο παραγωγή και διανομή ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο και ο ρόλος των ΤΠΕ.

Μελέτη και αναζήτηση για την ανάγκη για αειφόρο παραγωγή και διανομή ενέργειας και τον εκσυγχρονισμό του σημερινού συστήματος ενέργειας και για τον ρόλο των ΤΠΕ στην βελτίωση όχι μόνο της ενεργειακής και οικονομικής αποδοτικότητας του συστήματος ενέργειας αλλά και στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

**Φάση 2<sup>η</sup>:** Αναζήτηση του ορισμού των ΤΠΕ

Η παροχή ενός επίσημου ορισμού για τις Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) και ποιες ακριβώς τεχνολογίες ανήκουν σε αυτές είναι πιο δύσκολο από ό, τι μπορεί να φαίνεται με την πρώτη ματιά. Υπάρχουν πολλοί ελλιπείς ορισμοί του όρου οπότε ένας όσο το δυνατόν πιο ακριβής και επίσημος ορισμός των ΤΠΕ ήταν απαραίτητος, για να μας δώσει την κατάλληλη βάση, για την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

**Φάση 3<sup>η</sup>:** Σύνδεση των ΤΠΕ με την ενεργειακή βελτιστοποίηση

Μελέτη, αναζήτηση και καταγραφή της δυναμικής και των λύσεων που μπορούν να προσφέρουν οι ΤΠΕ για την ενεργειακή βελτιστοποίηση. Αναγνώριση και εντοπισμός των σημαντικότερων τομέων του ενεργειακού συστήματος στους οποίους μπορούν να συμβάλλουν και να δώσουν λύσεις οι ΤΠΕ για την ενεργειακή και οικονομική αποδοτικότητα και αξιοπιστία του συστήματος ενέργειας.

**Φάση 4<sup>η</sup>:** Ανάλυση και καταγραφή της δυναμικής των ΤΠΕ για την ενεργειακή βελτιστοποίηση.

Ανάδειξη της δυναμικής και των λύσεων που έχουν να προσφέρουν οι Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) για την ενεργειακή βελτιστοποίηση. Εκτενής καταγραφή και ανάλυση του καθοριστικού ρόλου που μπορούν να διαδραματίσουν οι ΤΠΕ στον εκσυγχρονισμό του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, σε όλους τους τομείς της ενεργειακής αλυσίδας, δηλαδή στους τομείς της παραγωγής ενέργειας, μεταφοράς, διανομής και παροχής ενέργειας, δίνοντας μεγάλη βαρύτητα και σημασία στον κάθε τομέα ξεχωριστά.

**Φάση 5<sup>η</sup>:** Ανάλυση μελλοντικών προκλήσεων

Γίνεται αναφορά και ανάλυση των μελλοντικών προκλήσεων (και εμποδίων) για την ενσωμάτωση και εφαρμογή των ΤΠΕ στο υπάρχον σύστημα ενέργειας.



## 1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Το πρώτο κεφάλαιο, είναι μια εισαγωγή πάνω στις σημερινές ανάγκες για αειφόρο ανάπτυξη και παραγωγή, αξιοπιστία, και οικονομική αποδοτικότητα της ενέργειας και στην εξέλιξη των Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) και τον στόχο της εργασίας που είναι η ανάδειξη της δυναμική τους για την ενεργειακή βελτιστοποίηση. Επιπλέον γίνεται μία αναφορά στα στάδια υλοποίησης της διπλωματικής και την δομή της.

Στο δεύτερο, κεφάλαιο δίνεται ο επίσημος ορισμός για τις Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) που είναι απαραίτητος, και μας δίνει την κατάλληλη βάση, για την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Επίσης γίνεται μια σύντομη αναφορά στην εξέλιξη και τις δυνατότητες των ΤΠΕ. Τέλος γίνεται η σύνδεση των ΤΠΕ με την βελτιστοποίηση ενέργειας και μία γενική αναφορά και ανάλυση για την δυναμική και τις λύσεις που μπορούν να προσφέρουν στους σημαντικότερους τομείς του ενεργειακού συστήματος για τον εκσυγχρονισμό του.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται μία εκτενής ανάλυση που εξετάζει τις λύσεις και τις δυνατότητες (και προκλήσεις) των ΤΠΕ για την ενεργειακή βελτιστοποίηση σε συγκεκριμένους τομείς της ενεργειακής αλυσίδας. Οι τομείς αυτοί είναι : Η Παραγωγή Ενέργειας/Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, το Δίκτυο Μεταφοράς, το Δίκτυο Διανομής, οι Τεχνολογίες Μετρήσεων και, τέλος, τα Σπίτια/Κτίρια.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε μελλοντικές προκλήσεις (και εμπόδια) για την ενσωμάτωση και εφαρμογή των ΤΠΕ στο υπάρχον σύστημα ενέργειας.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν.



## ***Κεφάλαιο 2. Ο Ρόλος Των ΤΠΕ Στον Τομέα Της Ενεργειακής Βελτιστοποίησης***

---



## 2.1 Εισαγωγή Στις Τεχνολογίες Πληροφοριών Και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) - Ορισμός

Η παροχή ενός επίσημου ορισμού για τις Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) είναι πιο δύσκολο από ό, τι μπορεί να φαίνεται με την πρώτη ματιά. Ενώ όλοι φαίνεται να έχουμε μια διαισθητική κατανόηση της έννοιας του συγκεκριμένου όρου, οι απόπειρες ορισμού είναι εκπληκτικά αραιές. Είναι χαρακτηριστικό, στο πλαίσιο αυτό, ότι το έβδομο Πρόγραμμα-Πλαίσιο της ΕΕ, για παράδειγμα, δεν ορίζει επισήμως της ΤΠΕ, αν και προβλέπει 9,1 δις ευρώ για χρηματοδότησή τους. Επιπλέον, τόσο έντυπες όσο και ιντερνετικές εγκυκλοπαίδειες έχουν μάλλον κακούς και ελλιπείς ορισμούς του όρου.

Για την αξιολόγηση του ρόλου των ΤΠΕ στην κατανάλωση ενέργειας και την ενεργειακή αποδοτικότητα, ένας ορισμός του τι συνιστά ΤΠΕ (και τι όχι) είναι ωστόσο απαραίτητος - μια ανάγκη που ήδη αντιμετωπίζουν οι εθνικές και διεθνείς οργανώσεις κατά τη μέτρηση του μεγέθους του τομέα των ΤΠΕ στο εσωτερικό των οικονομιών. Έτσι, προκαλεί μικρή έκπληξη το γεγονός ότι οι λίγοι υφιστάμενοι ορισμοί του όρου (που ακολουθούν) προέρχονται από τους παρακάτω οργανισμούς

Το "Διεθνές Πρότυπο Βιομηχανικής Ταξινόμησης Όλων των Οικονομικών Δραστηριοτήτων" (ISIC - International Standard of Industrial Classification of All Economic Activities), που αναπτύχθηκε από το Στατιστικά Τμήμα των Ηνωμένων Εθνών, είναι ένα πρότυπο που χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό για την ταξινόμηση των οικονομικών δραστηριοτήτων. Ενώ η τελευταία του αναθεώρηση (αναθ.4) περιέχει για πρώτη φορά μια υψηλού επιπέδου κατηγορία "Πληροφοριών και Επικοινωνιών", η ταξινόμηση ISIC, ακόμα και σε πιο λεπτομερές επίπεδο, αποτελείται από αρκετά γενικές υποκατηγορίες. Επιπλέον, οι ΤΠΕ ορίζονται με μία ιδιαίτερα ευρεία έννοια, συμπεριλαμβανομένων των λεγόμενων "content industries" (εταιρίες μέσων ενημέρωσης/μουσικής/ταινιών κ.λ.π.) που βασίζονται στις ΤΠΕ. Το κατά πόσο κατηγορίες όπως "Παραγωγή κινηματογραφικών ταινιών, βίντεο και τηλεοπτικών προγραμμάτων", ή "Τηλεοπτικός προγραμματισμός και ραδιοφωνικές δραστηριότητες" ανήκουν στις ΤΠΕ ή όχι είναι συζητήσιμο, αν και οι περισσότεροι ειδικοί δεν τις βλέπουν ως μέρος των ΤΠΕ (ΟΟΣΑ 2005). Άλλα προϊόντα όμως, όπως ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, ψηφιακές συσκευές αναπαραγωγής μουσικής, κ.λπ. που πιο πιθανό που ανήκουν στις ΤΠΕ και συνεχώς αποκτούν μεγαλύτερη σημασία, τόσο σε οικονομικό επίπεδο όσο και σε σχέση με την ενέργεια που καταναλώνουν δεν εμφανίζονται στην ταξινόμηση ISIC. [1]

Αναγνωρίζοντας την ίδια ανάγκη, ο Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης - ΟΟΣΑ (Organisation for Economic Co Operation and Development - OECD) άρχισε το 1997 τις προσπάθειές του για τον ορισμό του τομέα των ΤΠΕ, υπό την καθοδήγηση του "Working Party on Indicators for the Information Society"(WPIIS) (OECD 2005)

Κατά τον προσδιορισμό του τομέα των ΤΠΕ, ο ΟΟΣΑ ξεκίνησε από τις ίδιες κατηγορίες των αγαθών και των υπηρεσιών της ISIC. Προχώρησε, ωστόσο, πέρα από μια απλή απαρίθμηση των κατηγοριών. Οι εμπειρογνώμονες του ΟΟΣΑ προσπάθησαν σε πολλές συναντήσεις να απαντήσουν τόσο στο ερώτημα σχετικά με το τι αντιπροσωπεύει την ουσία ενός προϊόντος ΤΠΕ, δηλαδή ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας ΤΠΕ - και πώς οι σχετικές παράμετροι μετρώνται και εκφράζονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο (OECD 2005). Μετά από χρόνια συζητήσεων, συμβιβασμούς, και στοιχειώδεις τροποποιήσεις, ο ορισμός του ΟΟΣΑ για το τομέα των ΤΠΕ αποτελείται από τρεις κύριους πυλώνες: την κατασκευή ΤΠΕ, το εμπόριο και τις βιομηχανίες παροχής υπηρεσιών (ΟΟΣΑ 2005). Οι βιομηχανίες κατασκευής περιλαμβάνουν την παραγωγή αγαθών, όπως πλακέτες κυκλωμάτων, ηλεκτρονικών υπολογιστών, ή μαγνητικών και οπτικών μέσων, οι εμπορικές βιομηχανίες περιλαμβάνουν το χονδρικό εμπόριο ηλεκτρονικών υπολογιστών και άλλων ηλεκτρονικών συσκευών και οι υπηρεσίες περιλαμβάνουν προγραμματισμό ηλεκτρονικών υπολογιστών, web hosting, ή συμβουλευτικές υπηρεσίες για τις ΤΠΕ.

Σε εννοιολογικό επίπεδο, ο ΟΟΣΑ αναφέρει ότι τα αγαθά των ΤΠΕ "θα πρέπει είτε να προορίζονται για την εκπλήρωση της λειτουργίας της επεξεργασίας πληροφοριών και επικοινωνίας με ηλεκτρονικά μέσα, συμπεριλαμβανομένης της μετάδοσης και προβολής, ή χρήση ηλεκτρονικής επεξεργασίας για τον εντοπισμό, τη μέτρηση ή και καταγραφή φυσικών φαινομένων, ή για τον έλεγχο μιας φυσικής διαδικασίας"(ΟΟΣΑ 2002). Οι υπηρεσίες των ΤΠΕ, από την άλλη πλευρά, "πρέπει να προορίζονται να επιτρέψουν τη λειτουργία της επεξεργασίας των πληροφοριών και την επικοινωνία με ηλεκτρονικά μέσα "(ΟΟΣΑ 2002).

Τα συστατικά από τις τρεις κύριες κατηγορίες (κατασκευή ΤΠΕ, το εμπόριο και οι υπηρεσίες) παρουσιάζονται επίσης και ως υποκατηγορίες στην ISIC. Για να γίνει αυτό, η ταξινόμηση του ΟΟΣΑ συνδυάζει κάποια (αλλά όχι όλα) από τα συστατικά της ISIC στην ενότητα "Πληροφοριών και Επικοινωνιών" με τις υποκατηγορίες από άλλα τμήματα της ISIC. Επιπλέον, και μόνο για προϊόντα ΤΠΕ, μια περαιτέρω ταξινόμηση χρησιμοποιείται, καθώς και το "Εναρμονισμένο σύστημα" (ΕΣ) του Παγκόσμιου Οργανισμού Τελωνείων. Το 6 ψηφίο Εναρμονισμένο Σύστημα δεν είναι μόνο πολύ πιο λεπτομερές από ό, τι σχετικά γενική κατηγοριοποίηση ISIC, αλλά επίσης προσφέρει ένα μοναδικό πλεονέκτημα: ενώ το σύστημα ISIC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις εθνικές στατιστικές, το διεθνές εμπόριο μετριέται (αν όχι καθόλου) μόνο μέσω του ΕΣ: "Το ΕΣ είναι το μόνο σύστημα ταξινόμησης εμπορευμάτων που χρησιμοποιείται σε αρκετά ευρεία βάση για την υποστήριξη της διεθνούς σύγκρισης δεδομένων. Ένας μεγάλος αριθμός χωρών το χρησιμοποιούν για την ταξινόμηση των εξαγωγών και των εισαγωγών, και πολλές χώρες χρησιμοποιούν αυτό (ή μια ταξινόμηση που προκύπτει από αυτό) για την κατηγοριοποίηση των εγχώριων εκροών"(ΟΟΣΑ 2003).

Ως τελευταία παρατήρηση, και όπως μπορεί να έχει ήδη γίνει σαφές από την παραπάνω περίληψη, πολύ νωρίς στην διαδικασία του ΟΟΣΑ είχε ληφθεί η απόφαση να εξαιρεθούν οι λεγόμενες "content industries" από τον ορισμό του τομέα των ΤΠΕ.

Οι "content industries" προσφέρουν υπηρεσίες, όπως η τηλεόραση ή η παραγωγή τηλεοπτικών και ραδιοφωνικών εκπομπών. Κατά την άποψη του ΟΟΣΑ, ένας ευρύτερος τομέας υπάρχει, ο οποίος περιλαμβάνει τον τομέα των ΤΠΕ σε συνδυασμό με τις "content industries".[1]

Στην έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής «Ο Αντίκτυπος των Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών για την Εξοικονόμηση Ενέργειας» του 2008 (European Commission DG INFSO - Impacts of Information and Communication Technologies on Energy Efficiency ) δίνεται ένας εκτενής ορισμός των ΤΠΕ (και με βάση το ISIC και τον ΟΟΣΑ) ο οποίος είναι απαραίτητος, και μας δίνει την κατάλληλη βάση, για την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Σε γενικές γραμμές, ο όρος Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) αφορά τη χρήση τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού, ηλεκτρονικού εξοπλισμού πληροφορικής και αντίστοιχου λογισμικού για τη μετατροπή, αποθήκευση, προστασία, επεξεργασία, μετάδοση και ανάκτηση κυρίως ψηφιοποιημένων πληροφοριών.

Έτσι λοιπόν, για τους σκοπούς και της παρούσας μελέτης, ο κλάδος των ΤΠΕ μπορεί να χωριστεί σε τρία επίπεδα:

- Τεχνολογία - που περιλαμβάνει τα υλικά, τις μεθόδους, τις τεχνικές αρχές που δημιουργούν τα βασικά στοιχεία υλικού
- Εξοπλισμός - ο συνδυασμός των βασικών στοιχείων υλικού (hardware) και λογισμικού (software) ο οποίος δημιουργεί ένα λειτουργικό σύστημα ή συσκευή
- Υπηρεσίες - εφαρμογές του υλικού και λογισμικού με περιεχόμενο

### **Τεχνολογία :**

Όσον αφορά την τεχνολογία, μπορεί να γίνει μια γενική διάκριση ανάμεσα σε τεχνολογίες πληροφοριών και τεχνολογίες επικοινωνιών. Οι τεχνολογίες πληροφοριών καλύπτουν βασικά στοιχεία του υλικού, όπως ενεργητικά και παθητικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα και μικρο-συστήματα. Οι τεχνολογίες επικοινωνιών, καλύπτουν την αρχική μετάδοση δεδομένων και τις τεχνολογίες δικτύου. Η διάκριση των βασικών στοιχείων υλικού (τεχνολογία) βοηθά στο να προσδιοριστεί το λειτουργικό φάσμα των ΤΠΕ.

Ακολουθούν λεπτομερώς τα στοιχεία σε επίπεδο τεχνολογίας:

- Τεχνολογίες πληροφοριών
  - Επεξεργασία δεδομένων (π.χ. κύριος / συγκεκριμένος επεξεργαστής, όπως CPU (Central Processing Unit), DSP (Digital Signal Processor), GPU (Graphics Processing Unit) )

- Η αποθήκευση των δεδομένων (π.χ. ημιαγωγός IC, οπτικός δίσκος, μαγνητικός σκληρός δίσκος)
- Εισαγωγή των δεδομένων (π.χ. οπτικών, ακουστικών, τη θερμοκρασία, την επιτάχυνση, αισθητήρων πίεσης κ.λ.π. δεδομένα [τυπικά μικρο-συστήματα])
- Έξοδος των δεδομένων (π.χ. οπτικές [οθόνες], ακουστικές [ηχεία], Μικρο-ηλεκτρο-μηχανικά [MEMS])
- Τεχνολογίες επικοινωνιών
  - Ενσύρματη τηλεφωνία (π.χ. ISDN, ADSL, IP-Telephony)
  - Ραδιοφωνική μετάδοση (π.χ. τηλεόραση και ραδιόφωνο μετάδοσης σήματος)
  - Κινητή τηλεφωνία (π.χ. GSM, GPRS, UMTS)
  - Ενσύρματη μετάδοση δεδομένων (π.χ. φυσική, ζεύξης δεδομένων, δικτύου, μεταφορά μέσω του διαδικτύου ή μέσω τοπικών δικτύων)
  - Ασύρματη μετάδοση δεδομένων-επικοινωνία και τεχνολογία ραδιοσυχνοτήτων [RF] (π.χ. Wi - Fi, Bluetooth, ZigBee)

### **Εξοπλισμός :**

Υπό τον όρο εξοπλισμός καλύπτουμε τις συσκευές τελικού χρήστη, καθώς και τις υποδομές που αποτελούνται από στοιχεία υλικού και λογισμικού (hardware & software). Τα προϊόντα λογισμικού όπως προγράμματα συστήματος ή εφαρμογές τα συναντάμε στο τελευταίο επίπεδο των ΤΠΕ (επίπεδο υπηρεσιών), γιατί αυτά συνήθως συνδέονται με ένα συγκεκριμένο περιεχόμενο.

Ακολουθούν λεπτομερώς τα στοιχεία σε επίπεδο εξοπλισμού:

- Συσκευές τελικού χρήστη με βάση τις ΤΠΕ
  - Ηλεκτρονικοί υπολογιστές και περιφερειακά (π.χ. διακομιστές, μεμονωμένος υπολογιστής, κονσόλα παιχνιδιών, φορητός υπολογιστή, τον εξοπλισμό απεικόνισης γραφείου κ.λ.π.)
  - Συσκευές εγγραφής-αποθήκευσης-αναπαραγωγής ψηφιακών δεδομένων (π.χ. DVD, HDD, μνήμη USB, MP3)
  - Μόντεμ (π.χ. διεπαφές υψηλής και χαμηλής ταχύτητας δίκτυο)
  - Τηλέφωνα και πολυμέσα κινητών τηλεφώνων (π.χ. κανονικά και ασύρματα τηλέφωνα, κινητά τηλέφωνα)
  - Οι συσκευές φαξ (π.χ. με βάση τηλέφωνο ή MFD)
  - Τηλεόραση και περιφερειακά (π.χ. τηλεόραση, STB, κεραία, δορυφορικό πιάτο)



Πάντως είναι πολύ δύσκολο να θέσουμε το όριο μεταξύ του εξοπλισμού ΤΠΕ και των καταναλωτικών ηλεκτρονικών συσκευών (Consumer Electronics - CE). Για παράδειγμα, triple play set-top boxes (που επιτρέπουν πρόσβαση στο διαδίκτυο και τηλεφωνία, όπως καθώς και πρόσβαση σε υπηρεσίες ψηφιακής τηλεόρασης) είναι στη σύγκλιση των ΤΠΕ και CE. Για το σκοπό της παρούσας μελέτης, θεωρήθηκε ότι ο τομέας των ΤΠΕ περιλαμβάνει τα CE που ορίζονται με βάση: τηλεοράσεις, φορητές συσκευές, συστήματα ήχου, VHS/ DVD και εξοπλισμό set-top boxes. Οι καταναλωτικές ηλεκτρονικές συσκευές είναι κυρίως για περιστασιακή χρήση και ψυχαγωγία παρά για επαγγελματική χρήση και προβλέπεται να διαδραματίσουν έναν σαφώς λιγότερο σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των λύσεων εξοικονόμησης ενέργειας που βασίζονται στις ΤΠΕ.

- Υποδομές ΤΠΕ
  - Server και κέντρα δεδομένων (π.χ. διακομιστές (servers) διαδικτύου)
  - Ενσύρματα δίκτυα τηλεπικοινωνιακών (π.χ. γραμμές χαλκού ή οπτικών ινών γραμμές, router / διακόπτες δικτύου)
  - Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας (π.χ. GSM ή UMTS σταθμούς βάσης πομποδέκτη [κόμβων], κύριους διακόπτες, συστήματα κεραιών)
  - Ασύρματα τοπικά δίκτυα (π.χ. Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee κόμβους και κεραία)
  - Εξοπλισμός ραδιοφωνικής μετάδοσης / τηλεόρασης (π.χ. ραδιόφωνο ρελέ, κεραίες ραδιοφώνου)
  - Μικρο-Συστήματα

### **Υπηρεσίες :**

Το τελικό επίπεδο των ΤΠΕ ορίζεται από τη χρήση ή την εφαρμογή των προϊόντων, συμπεριλαμβάνοντας το αντίστοιχο υλικό, το λογισμικό, καθώς και επιμέρους περιεχόμενο πολυμέσων. Οι υπηρεσίες ΤΠΕ που παρέχονται μέσω της αξιοποίησης των υπολογιστών και των δικτύων αποτελούν τη βάση για απούλοποίηση των διαδικασιών και των αντικειμένων. Οι πλατφόρμες τεχνολογίας και εξοπλισμού για την παροχή υπηρεσιών ΤΠΕ είναι αλληλένδετες και μπορούν να δομηθούν σύμφωνα με τις αναγκαίες υποδομές.

Ακολουθούν λεπτομερώς τα στοιχεία σε επίπεδο υπηρεσιών:

- Με βάση υπολογιστές
  - Επεξεργασία δεδομένων
  - Μέσα επεξεργασίας
  - Computer aided design (CAD)
  - Οι προσομοιώσεις υπολογιστών

- Με βάση τηλεπικοινωνίες
  - Τηλε-εργασία
  - Τηλε-ψώνια
  - Τηλεδιάσκεψη
- Με βάση το διαδίκτυο
  - E-business
  - E-commerce
  - E-government
  - E-learning
- Με βάση το GPS
  - Συστήματα πλοήγησης
  - Συστήματα ελέγχου της κυκλοφορίας
  - Συστήματα ασφαλείας
  - Συστήματα διάσωσης [2]

Ο παραπάνω ορισμός είναι απαραίτητος, και μας δίνει την κατάλληλη βάση, για την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Με βάση τα παραπάνω λοιπόν θα δούμε πως οι τεχνολογίες, ο εξοπλισμός και οι υπηρεσίες ΤΠΕ έχουν εξελιχθεί τα τελευταία χρόνια και πλέον μας δίνουν την δυνατότητα να βελτιστοποιήσουμε το ενεργειακό σύστημα και να εξοικονομήσουμε ενέργεια, χρήματα και να μειώσουμε τους ρύπους.

## **2.2 ΤΠΕ – Η Εξέλιξη Και Οι Δυνατότητες Τους**

Η βάση για την μετατροπή των συστημάτων ενέργειας σε αποδοτικότερα είναι η διαθεσιμότητα των ΤΠΕ. Το πλαίσιο για την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών έχει αλλάξει σημαντικά τα τελευταία χρόνια για διάφορους λόγους. Η πλήρης απελευθέρωση των αγορών τηλεπικοινωνιών σε πάρα πολλές χώρες παγκοσμίως έχει οδηγήσει στην είσοδο όχι μόνο των νέων φορέων εκμετάλλευσης δικτύων, αλλά και ανταγωνιστών που ψάχνουν για καινοτόμα επιχειρηματικά μοντέλα και εισάγουν νέες υπηρεσίες με διάφορους τομείς εφαρμογής.

Επιπλέον, η έρευνα και ανάπτυξη (R&D) στην μικροηλεκτρονική, και ειδικότερα η ανάπτυξη και εξέλιξη των μικροτσιπ, οι καθιστά εφικτές συνεχώς όλο και πιο αποδοτικές εφαρμογές σε όλο και μικρότερο κόστος. Για παράδειγμα, η ενσωμάτωση μικροτσιπ σε οικιακές συσκευές (πλυντήρια, ψυγεία, κ.λ.π.) επιτρέπει σε αυτές τις συσκευές να λάβουν εντολές, να επηρεάσουν παράγοντες ή και να παράγουν















δεδομένα ζήτησης που αποστέλλονται σε έναν κεντρικό server μέσω γραμμής δεδομένων [3].

Ταυτόχρονα, η ψηφιοποίηση των δικτύων και κέντρων μεταγωγής έχει πολλαπλασιάσει όχι μόνο τις διαθέσιμες υπηρεσίες, αλλά οδήγησε και σε μείωση του κόστους ανά μονάδα δεδομένων που μεταφέρονται. Η λειτουργικότητα αυτή επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων με μηδενικό οριακό κόστος, δηλαδή χωρίς dial-up σύνδεση, έτσι δεδομένα σχετικά με την ενέργεια να μπορούν να μεταφερθούν πολύ αποδοτικά από άποψη κόστους. [4]

Η ταχεία ανάπτυξη του διαδικτύου το έχει καταστήσει την βασική ραχοκοκαλιά των μεταφορά δεδομένων που περιγράψαμε παραπάνω και χρησιμεύει ως μια παγκόσμια πλατφόρμα για νέες υπηρεσίες που δεν έχουν προσφέρει στο παρελθόν. Λόγω των ισχυρών και αποδοτικών από πλευράς κόστους υποδομών του, το διαδίκτυο θα αποτελέσει τον επιταχυντή για μελλοντικές πολύ-λειτουργικές εφαρμογές. Η εισαγωγή του νέου πρωτοκόλλου διαδικτύου IPv6 θα επεκτείνει το τρέχον χώρο διευθύνσεων έτσι ώστε μια πολύ μεγαλύτερη ποσότητα εφαρμογών και συσκευών να μπορούν να εφοδιαστούν με τη δική τους διεύθυνση IP. [5]

Μια περαιτέρω ώθηση προς μια μεγαλύτερη διείσδυση των ΤΠΕ είναι αποτέλεσμα της ευρείας ανάπτυξης των ασύρματων δικτύων επικοινωνίας (GPRS, WiMAX, UMTS, δορυφόροι). Τα δίκτυα αυτά επιτρέπουν εύκολη ασύρματη ενεργοποίηση διαδικασιών, όπως η τηλε-μέτρηση ή δραστηριότητες κατεύθυνσης και καθοδήγησης (steering activities). Το κινητό τηλέφωνο για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα κινητό τηλεχειριστήριο για να ενεργοποιήσετε την θέρμανση ή ηλεκτρικές συσκευές στα έξυπνα σπίτια/κτίρια [6]. Ωστόσο όλες οι τεχνολογίες μετάδοσης διαφέρουν σε διείσδυση, διαθεσιμότητα, και στην ικανότητα μετάδοσης δεδομένων. Η Εικόνα 2.1 (παράδειγμα για την Γερμανία) παρέχει μια επισκόπηση αυτών των χαρακτηριστικών.

**Table 1**  
Comparison of transmission technologies in Germany.

Technology	Penetration of households (%)	Availability	Transmission capacity
Analogue/ ISDN	99		
DSL	90		
CATV	52		
Powerline	100		
GSM/GPRS	90 <sup>a</sup>		
UMTS	50 <sup>a</sup>		
WiMAX	-		

<sup>a</sup> Estimated value.

### Εικόνα 2.1 [12]

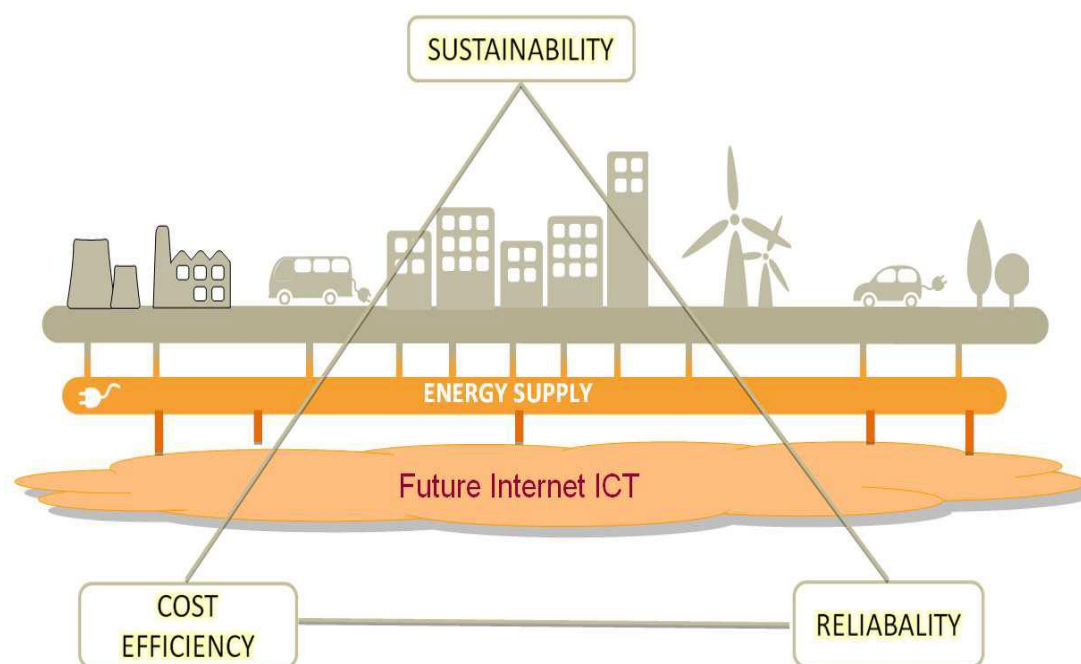
Φαίνεται από την Εικόνα 2.1 ότι οι ΤΠΕ είναι κατά κύριο λόγο διαθέσιμες για να εξυπηρετήσουν στην πρόκληση της αναδιάρθρωσης του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι η μεγάλη πλειοψηφία των νοικοκυριών και των επιχειρήσεων θα μπορούσε θεωρητικά να έχει ευρυζωνική πρόσβαση, ανεξάρτητα από την τεχνολογία (DSM, καλωδιακή τηλεόραση, κ.λπ.). Η πρόκληση είναι στην εισαγωγή των ΤΠΕ στα συστήματα ενέργειας, έτσι ώστε κάθε συσκευή και εφαρμογή να μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα [7].

Στην εισαγωγή αυτή λοιπόν έγινε αναφορά στην εξέλιξη και ανάπτυξη των ΤΠΕ, στις τεράστιες δυνατότητες που προσφέρουν για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών και κυρίως στην μεταφορά δεδομένων, και στην δυνατότητα που έχουν να εφαρμοστούν στα συστήματα ενέργειας. Στην συνέχεια θα κάνουμε την σύνδεση των ΤΠΕ με την βελτιστοποίηση ενέργειας, θα δούμε πως μπορούμε να τις εφαρμόσουμε σε συγκεκριμένους τομείς της ενεργειακής αλυσίδας για την ενεργειακή και οικονομική αποδοτικότητα.

## 2.3 Σύνδεση Των ΤΠΕ Με Την Βελτιστοποίηση Ενέργειας

Η αιφόρος παραγωγή και διανομή ενέργειας είναι σήμερα ένα από τα πιο σημαντικά και κρίσιμα θέματα. Πλέον αποτελεί θέμα συζήτησης σε τεχνικό και πολιτικό επίπεδο. Κατά συνέπεια, η ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές όπως

είναι η αιολική και η ηλιακή παίζει πολύ κρίσιμο ρόλο και βρίσκεται διαρκώς στο επίκεντρο. Εκτός από την αειφόρο ανάπτυξη, και η αξιοπιστία, οι προσιτές τιμές και η οικονομική αποδοτικότητα της ενέργειας είναι διαστάσεις που βρίσκονται επίσης στο επίκεντρο όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2.2. Είναι απαραίτητο να βρεθούν βέλτιστοι συμβιβασμοί μεταξύ αειφόρας παραγωγής, αξιοπιστίας και κόστους ούτως ώστε να έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Μία από τις σημαντικές προκλήσεις είναι η μεταβλητότητα πολλών από αυτές τις πηγές ενέργειας. Είναι κοινώς κατανοητό ότι αυτό απαιτεί σημαντική χρήση των τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ), οι οποίες ταιριάζουν με τις αντίστοιχες απαιτήσεις.



Εικόνα 2.2 [8]

Μελέτες έχουν δείξει ότι οι ΤΠΕ θα βελτιώσουν όχι μόνο την ενεργειακή απόδοση αλλά και βοηθήσουν στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, και θα προωθήσουν επίσης την ανάπτυξη μιας μεγάλης πρωτοποριακής αγοράς για νέες τεχνολογίες ενεργειακής βελτιστοποίησης μέσω των ΤΠΕ που θα ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα της ευρωπαϊκής βιομηχανίας και θα δημιουργήσει νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες (Heras and Zarli, 2008).

Η προοπτική των ΤΠΕ για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης είναι γενικά αποδεκτή ( REEB, 2008 ).

Με την παρακολούθηση και την άμεση διαχείριση της ενέργειας κατανάλωσης, οι ΤΠΕ μπορούν να καταστήσουν εφικτή τη βελτίωση της αποδοτικότητας σε σημαντικούς τομείς της ενέργειας. Μελέτες δείχνουν ότι η ικανότητα αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων στην ΕΕ έως και κατά 17 % (Bio, 2008).

Το κλασικό σύστημα ενέργειας αποτελείται από μεγάλης ισχύος εργοστάσια, που συνδέονται με το δίκτυο μετάδοσης και από τους χρήστες, οι οποίοι συνδέονται με το δίκτυο διανομής. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται προς τα τελικούς χρήστες μέσω του δικτύου διανομής. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.3.1, έχουμε μια μονόδρομη μετάδοση ισχύος, από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προς τους χρήστες.

Η έννοια των ευφύων δικτύων δεν αφορά μόνο αναβάθμιση του υπάρχοντος συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας από τον παθητικό σε ένα πιο ενεργό τρόπο εργασίας, αλλά προϋποθέτει μια εντελώς νέα προσέγγιση στο σχεδιασμό και τη λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. (Εικόνα 2.3.2) Οι τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) θα διαδραματίσουν βασικό ρόλο σε αυτή την διαδικασία.



**Εικόνα 2.3.1** Κλασικό Σύστημα Ενέργειας [9]



**Εικόνα 2.3.2** Μελλοντικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Smart Grid) [9]

Ο τομέας της ενεργειακής παραγωγής, που κυριαρχείται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιεί περίπου το ένα τρίτο του συνόλου της πρωτογενούς ενέργειας. Έχοντας υπόψη τις δυνατότητες για βελτίωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (υπολογίζεται σε 30-40 %) και τις σημαντικές απώλειες κατά τη μετάδοση ( 2 %) και διανομή ( 8 % ), είναι κρίσιμο να βελτιωθεί η αποδοτικότητα

του μετασχηματισμού της ενέργειας, να αντιμετωπισθούν οι απώλειες και να εντοπιστούν τυχόν προβλήματα πριν αυτά θέτουν σε κίνδυνο την παραγωγή και τον εφοδιασμό. Οι ΤΠΕ έχουν να παίξουν σημαντικό ρόλο όχι μόνο στην μείωση των ζημιών και στην αύξηση της αποτελεσματικότητας, αλλά και στη διαχείριση και τον έλεγχο του ολοένα και πιο πολυδιάστατου δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας για τη διασφάλιση της σταθερότητας και της την ενίσχυση της ασφάλειας αυτού, καθώς και στην υποστήριξη της δημιουργίας μιας εύρυθμης αγοράς ενέργειας.

Επίσης καινοτόμες εφαρμογές σε πολλούς άλλους τομείς χρήσης, όπως ευφυή συστήματα μεταφορών, λογισμικά ή «έξυπνες» εφαρμογές (για Smart Homes), θα απαιτήσουν λειτουργίες και διείσδυση των ΤΠΕ. Και πολλές από αυτές τις απαιτήσεις αναμένεται να είναι αρκετά παρόμοιες, έτσι ώστε να μπορούν να παρέχονται με γενικό τρόπο.

Όλο και περισσότερο, οι ανανεώσιμες πηγές παραγωγής ενέργειας θα πρέπει να διεισδύσουν στην παραγωγή ενέργειας ώστε να περιοριστεί η κλιματική αλλαγή και η μόλυνση και να αντικαταστήσουν κατά το δυνατόν άλλες πηγές που είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον. Μία πρόκληση είναι ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξαρτώνται άμεσα από τις, συνεχώς μεταβαλλόμενες, καιρικές συνθήκες και το σύστημα ενέργειας πρέπει να αντιμετωπίσει αυτή τη μεταβλητότητα. Ολόκληρο το σύστημα πρέπει να χρησιμοποιήσει κατά τον βέλτιστο δυνατό τρόπο τις υφιστάμενες υποδομές δικτύου και να τις προσαρμόσει στις νέες απαιτήσεις κάνοντας το σύστημα ευφυέστερο. Επιπλέον, η απελευθέρωση του αγοράς ενέργειας επιτρέπει ακόμα και απαιτεί νέες υπηρεσίες και νέους ρόλους της αγοράς. Οι σημαντικές αυτές εξελίξεις απαιτούν ένα συνδυασμό πεδίων δράσης. Ο βασικός καταλύτης για την δημιουργία ενός τέτοιου, ενεργειακά και οικονομικά αποδοτικού, συστήματος ενέργειας είναι οι ΤΠΕ.

Η πρόκληση των ΤΠΕ είναι η ανταλλαγή πληροφοριών σε πολλούς τομείς, μεταξύ συσκευών, και μεταξύ υποσυστημάτων διαφορετικής πολυπλοκότητας. Εκτός από την δια-λειτουργική επικοινωνία μεταξύ αυτών των στοιχείων, το μέλλον θα εξαρτηθεί από τη διαθεσιμότητα πρόσβασης και την σωστή διαμόρφωση των συστημάτων και ορίων διαχείρισης αυτών (όπως τα όρια μεταξύ των συστημάτων διαχείρισης της ενέργειας, των ενεργειακών αγορών, της διανομής του ηλεκτρισμού με καταναμημένους πόρους και τα όρια ανάμεσα στους δια-δραστικούς πελάτες με έξυπνους μετρητές (Smart Meters), και έξυπνες συσκευές). [8-9-10]

Μερικά από τα οφέλη ενός τέτοιου εκσυγχρονισμένου δικτύου ενέργειας εξοπλισμένου με ΤΠΕ περιλαμβάνουν τη δυνατότητα να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας στην πλευρά των καταναλωτών κατά τις ώρες αιχμής, που ονομάζεται διαχείριση της ζήτησης, επιτρέπει τη σύνδεση στο δίκτυο αποκεντρωμένων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (με φωτοβολταϊκές συστοιχίες, μικρές άνεμο τουρμπίνες, μικρο υδροηλεκτρικά κ.λ.π.), ενσωματώνουν την δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας στο δίκτυο για την εξισορρόπηση φορτίου διανομής και τέλος την εξάλειψη αποτυχιών, όπως η εκτενής υπερχείλιση του δικτύου. Η αυξημένη

αποτελεσματικότητα και αξιοπιστία ενός εκσυγχρονισμένου δικτύου ενέργειας εξοπλισμένου με ΤΠΕ αναμένεται να εξοικονομήσει χρήματα για τους καταναλωτές και να βοηθήσει στην σημαντική μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Οι κυβερνήσεις επικεντρώνονται όλο και περισσότερο στην ενεργειακή ασφάλεια, επενδύοντας σε ένα τέτοιο έξυπνο δίκτυο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση της εξάρτησης από μη εγχώριες πηγές ενέργειας. [14]

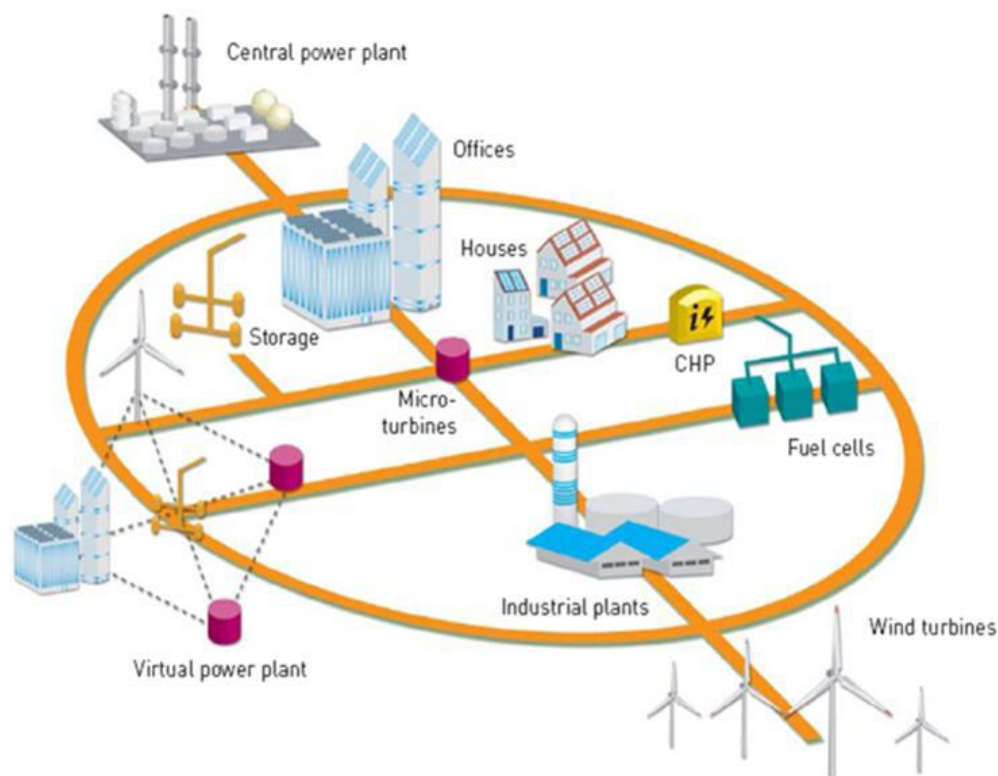
Αποτελεσματικά συστήματα ΤΠΕ μπορούν, για παράδειγμα, να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της κατανάλωσης, την παραγωγή, τη μεταφορά και την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας (Smart Grids). Επίσης οι ΤΠΕ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να τον έλεγχο και τον προγραμματισμό συσκευών μεγάλης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και παραγωγής με βέλτιστο τρόπο. Ως εκ τούτου, οι ΤΠΕ διαδραματίζουν καίριο ρόλο στη μείωση της ενεργειακής έντασης της οικονομίας, βοηθώντας έτσι στην αποδέσμευση της ανάπτυξης από την κατανάλωση ενέργειας και δημιουργώντας νέες ευκαιρίες, ενώ παράλληλα βοηθούν στην επίτευξη του στόχου της αειφόρου ανάπτυξης και της προστασίας του περιβάλλοντος.

Έρευνα για τη χρήση των ΤΠΕ για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης μπορεί να περιλαμβάνει θέματα όπως π.χ.

- ευέλικτα συστήματα ΤΠΕ για (αποκεντρωμένη) διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας
- τις τεχνολογίες και τα εργαλεία για αξιόπιστα συστήματα ΤΠΕ που συνεχίζουν να λειτουργούν όταν τα στοιχεία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας αποτυγχάνουν (Smart Grids)
- ευέλικτων, πολλαπλών χρήσεων και ενεργειακά αποδοτικών ΤΠΕ συστημάτων και υποδομές επικοινωνίας που μπορούν να χειριστούν ένα ευρύ εύρος των ( μελλοντικών ) υπηρεσιών για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας και
- ενεργειακά συστήματα που ενσωματώνουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο από (ασύρματα) δίκτυα αισθητήρων και εξωτερικές πηγές πληροφοριών, όπως πρόγνωση καιρού. [11]

Στο επόμενο κεφάλαιο λοιπόν θα αναλύσουμε σε γενικές γραμμές τις επιλογές και δυνατότητες που υπάρχουν για την εφαρμογή των ΤΠΕ στο σύστημα ενέργειας σε επιμέρους τομείς της ενεργειακής αλυσίδας. Στην Εικόνα 2.4 φαίνεται η δομή ενός μελλοντικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, όπου οι διάφοροι εμπλεκόμενοι φορείς αλληλεπιδρούν μεταξύ τους συνεχώς και προς όλες τις κατευθύνσεις.





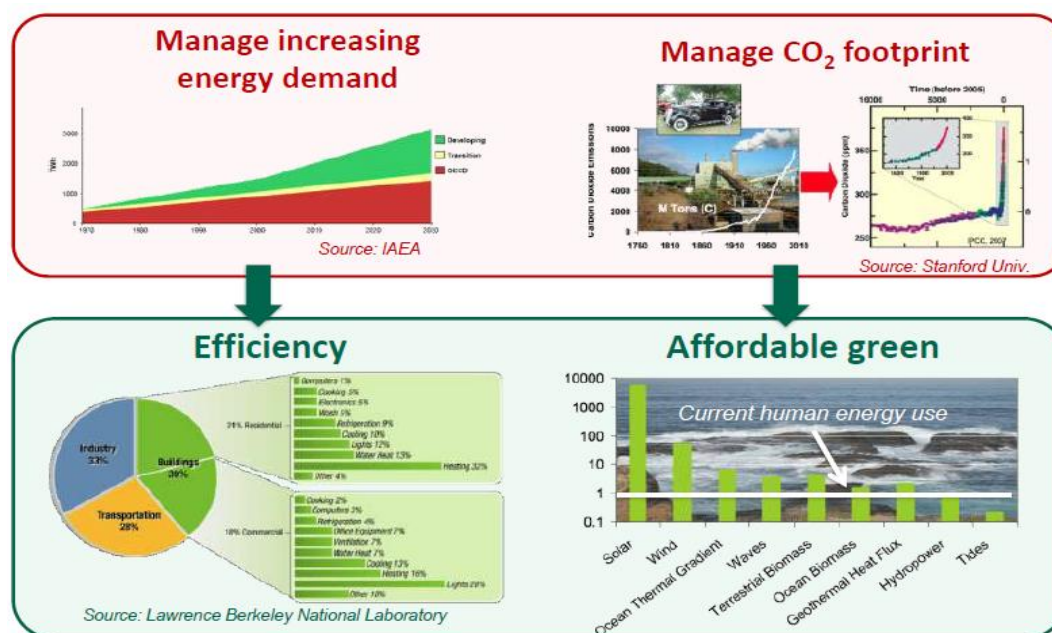
**Εικόνα 2.4:** Μελλοντικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Smart Grid) [13]

Η ιδέα ενός ενεργειακού συστήματος εξοπλισμένου με ΤΠΕ είναι ότι οι τεχνολογίες αυτές εφαρμόζονται κατά τέτοιο τρόπο και παρέχουν τα κατάλληλα μέσα ώστε όλοι οι φορείς να είναι σε θέση να επικοινωνούν και να λειτουργούν με συντονισμένο, αποτελεσματικό και αξιόπιστο τρόπο με τους ομολόγους τους, όταν είναι απαραίτητο. Επίσης όπως θα δούμε παρακάτω (και αναλυτικότερα στα επόμενα κεφάλαια) θα έχουν αποφασιστικό ρόλο στην βελτιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας και κατά συνέπεια στην οικονομική αποδοτικότητα και στην αγορά ενέργειας. Μακροπρόθεσμα, το κύριο μέρος αυτής της επικοινωνίας, ανάμεσα στους διάφορους φορείς, θα πρέπει να διενεργείται αυτόματα, δηλαδή με όσο το δυνατόν μικρότερη ανθρώπινη παρέμβαση.

Επίσης η χρήση των ΤΠΕ θα αυξήσει σημαντικά το ποσοστό, την ποιότητα και τη χρήση των δεδομένων που λαμβάνονται από διάφορους αισθητήρες και μετρητές. Αυτό θα λύσει δύο κύρια προβλήματα των σημερινών δικτύων ενέργειας: περιβαλλοντικές ανησυχίες και διαταραχές ισχύος. Η εισαγωγή των ΤΠΕ θα βοηθήσει να αυξηθεί τόσο η ασφάλεια όσο και η αποτελεσματικότητα της διανομής ενέργειας, να αποφευχθεί η συμφόρηση του δικτύου και να επιτραπεί η αποκεντρωμένη παραγωγή, δίνοντας έμφαση στη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. [12]

Οι ΤΠΕ αποτελούν βασική συνιστώσα για την επίλυση σύγχρονων προκλήσεων όπως είναι η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, η γήρανση των υποδομών παραγωγής και δικτύου, καθώς και η περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αερίων του

θερμοκηπίου που δημιουργούνται με τους συμβατικούς τρόπους παραγωγής ενέργειας. Τέτοιες λύσεις συνδυάζουν προηγμένες τεχνολογίες μετρήσεων, αμφίδρομη και υψηλής ταχύτητας μεταφορά δεδομένων και ισχύος, λογισμικό για συνεχή παρακολούθηση και ανάλυση δεδομένων, καθώς και άλλες συναφείς υπηρεσίες με στόχο την παροχή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, καθώς και λύσεις διαχείρισης της ενέργειας στο σπίτι. Όταν συνδυαστούν, οι λύσεις αυτές θα αυξήσουν σημαντικά την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία των ηλεκτρικών δικτύων. Και την ίδια στιγμή, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις θα μειωθούν σημαντικά λόγω της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. (Εικόνα 2.5) Παρ' όλα αυτά, πρέπει να σημειωθεί πρόοδος σε διάφορους τομείς, έτσι ώστε να πληρούνται οι προϋποθέσεις για τη συγκρότηση ενός νέου συστήματος ενέργειας. [13]



**Εικόνα 2.5:** Μακροπρόθεσμος Στόχος: Η αειφόρα ανάπτυξη [13]

Είναι απαραίτητο να καθορίσουμε τα καθήκοντα και να ενσωματώσουμε τις απαραίτητες προδιαγραφές για την χρήση των ΤΠΕ και των λύσεων που προσφέρουν στα μελλοντικά συστήματα ενέργειας. Η εφαρμογή των ΤΠΕ είναι προαπαιτούμενο για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των διαφόρων παραγόντων της αγοράς στο τομέα της ενέργειας και για την ασφαλή, οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον λειτουργία του συστήματος ενέργειας.

Σήμερα οι ΤΠΕ εφαρμόζονται σε επίπεδο δικτύου μεταφοράς και γραμμών μεταφοράς και καταλήγουν στους ζυγούς των δευτερευουσών γραμμών (110 kV) / υποσταθμών μέσης τάσης. Αυτή την στιγμή χρησιμοποιούνται διαφορετικά πρότυπα πρωτοκόλλων σε διάφορα επίπεδα τάσης και για διαφορετικά είδη εξοπλισμού. Τα επίπεδα μέσης και χαμηλής τάσης χαρακτηρίζονται από περιορισμένη ΤΠΕ, για οικονομικούς λόγους. Αυτό που χρειάζεται αυτή την στιγμή είναι τυποποιημένα, ανοικτά πρότυπα πληροφόρησης και επικοινωνίας για όλες τις ανταλλαγές δεδομένων

στο σύνολο της αλυσίδας εφοδιασμού και του συστήμα τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας.

Διαφορετικές τεχνολογίες ΤΠΕ θα πρέπει να διερευνηθούν και να δοκιμαστούν επί τόπου με το στόχο την εισαγωγή των ΤΠΕ σε επίπεδο διανομής στηριζόμενοι στις υπάρχουσες υποδομές επικοινωνίας (ασύρματες τεχνολογίες, γραμμές τροφοδοσίας οπτικές ίνες), εφαρμοσμένες με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Η πρόκληση θα είναι να συντονίσουμε όλες αυτές τις βάσεις δεδομένων μέσω μία μεγάλης αποθήκης δεδομένων βασισμένη σε κοινά μοντέλα πληροφοριών (CIM). Η αποθήκη δεδομένων διασυνδέεται με όλες τις άλλες βάσεις δεδομένων εξασφαλίζοντας με αυτό τον τρόπο την αναγκαία συνοχή των δεδομένων.

Βασικά στοιχεία και συστατικά προτεραιότητας:

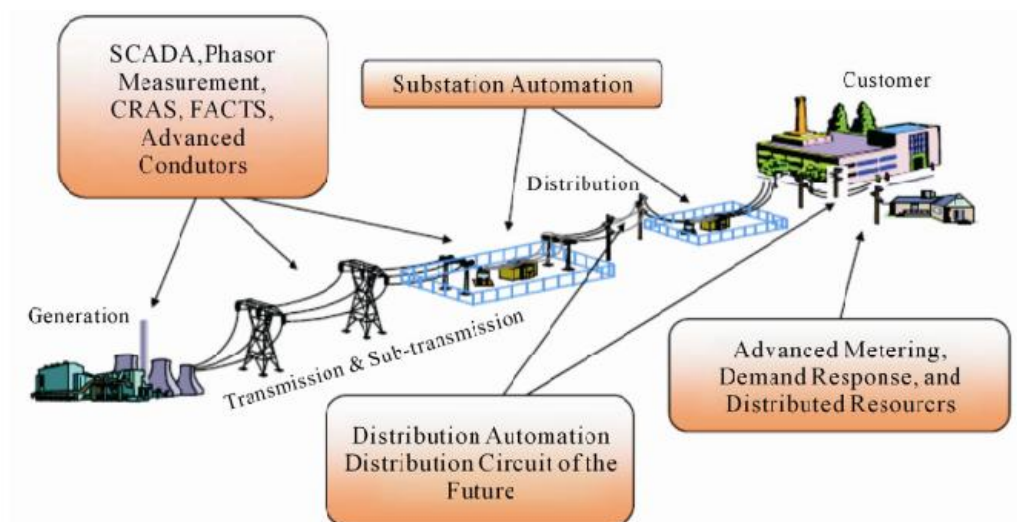
- Απλές, ανθεκτικές, ασφαλής και ευέλικτες υποδομές επικοινωνίας για να καταστεί δυνατή η παρακολούθηση, η διαχείριση, ο έλεγχος και η αποστολή εργασιών σε όλα τα επίπεδα μέχρι την διανομή και τους πελάτες.
- Κοινά μοντέλα και πρότυπα πληροφοριών και δεδομένων για όλα τα δομικά στοιχεία των πληροφοριών, προκειμένου να εξασφαλιστεί η συνεπής διαχείριση των βάσεων δεδομένων, πρέπει να καθοριστούν σε όλα τα επίπεδα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η καλή λειτουργία των εφαρμοσμένων ΤΠΕ είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ασφάλειας του δικτύου και για την αποτελεσματική αλληλεπίδραση των παραγόντων της αγοράς.
- Μία πραγματικά ανταγωνιστική κατάσταση για όλα τα είδη των προϊόντων που στηρίζονται σε στρατηγικές πολλαπλών προμηθευτών μπορεί να επιτευχθεί μόνο με σαφώς καθορισμένες και τυποποιημένες λύσεις ΤΠΕ. [14]

Όπως αναφέραμε παραπάνω λοιπόν τα έξυπνα συστήματα ενέργειας & δίκτυα περιλαμβάνουν ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών συμμετεχόντων, εγκαταστάσεων, και ως εκ τούτου πολλές διαφορετικά συστήματα. Γι' αυτό το λόγο, η τυποποίηση και η ενσωμάτωση διαφορετικών και εναλλακτικών συστημάτων πληροφοριών και επικοινωνιών είναι απαραίτητη.

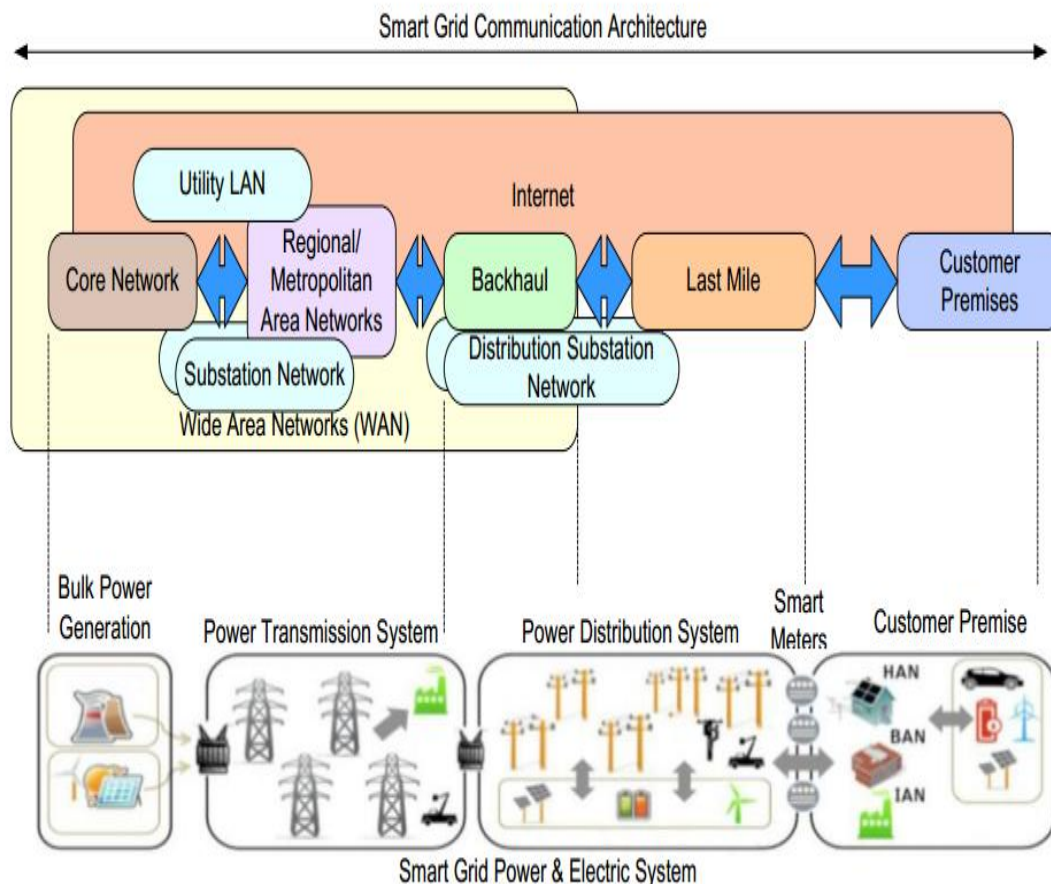
Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εξέδωσε μια εντολή τυποποίησης προς τους οργανισμούς CEN, CENELEC και ETSI. Κύριες κατευθυντήριες γραμμές της, θα πρέπει να δοθούν στην συνέχεια. Είναι πολύ σημαντικό να δημιουργηθεί ένα εννοιολογικό μοντέλο για τα έξυπνα συστήματα ενέργειας & δίκτυα (Smart Grid), που θα καθορίζει τους κύριους συμμετέχοντες και τις αμοιβαίες σχέσεις τους. Η Τεχνική Έκθεση IEC no.62357 παρέχει μια αναφορά ενσωμάτωσης υποδομών (Εικόνα 5) για την ένταξη συσκευών, συστημάτων και εφαρμογών συστημάτων ενέργειας. Στον κάτω οριζόντιο άξονα της Εικόνας 2.7 (καθώς και στην Εικόνα 2.6) υπάρχουν οι σημαντικότεροι τομείς της ενεργειακής αλυσίδας. Κάθε ένας από αυτούς

συνδέεται κατά κάποιον τρόπο με ένα ή περισσότερα συστήματα πληροφοριών και επικοινωνιών, τα οποία περιλαμβάνουν :

- SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)
- Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας - EMS (Energy Management System)
- Σύστημα Διαχείρισης Διανομής - DMS (Distribution Management System)
- Εφαρμογές Λειτουργίας της Αγοράς (Market Operation Applications)
- Μηχανολογικές Εφαρμογές και Εφαρμογές Συντήρησης
- Εξωτερικές εφαρμογές [9]



Εικόνα 2.6 [14]



**Εικόνα 2.7** [9]

Με βάση αυτά, η παρακάτω ανάλυση επικεντρώνεται σε σημαντικούς τομείς της ενεργειακής αλυσίδας και εξετάζει τις δυνατότητες και τις προκλήσεις για την εφαρμογή των ΤΠΕ στην επίλυση ζητημάτων που σχετίζονται με τα συστήματα ενέργειας. Οι τομείς αυτοί είναι : Η Παραγωγή Ενέργειας/Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (που θα παίξουν καθοριστικό ρόλο στην ενεργειακή βελτιστοποίηση και παραγωγή), το Δίκτυο Μεταφοράς, το Δίκτυο Διανομής, οι Τεχνολογίες Μετρήσεων και, τέλος, τα Σπίτια/Κτίρια (Smart Houses). (Εικόνες 2.6 & 2.7 )

Πρέπει να τονίσουμε ότι οι παραπάνω τομείς συνδέονται άμεσα και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους (όπως θα γίνει ξεκάθαρο στα επόμενα κεφάλαια), οπότε λόγω αυτής της εξάρτησης είναι πολύ σημαντικό η εφαρμογή των ΤΠΕ να γίνει σε όλους τους τομείς ώστε να είναι εφικτή η δημιουργία ενός ευέλικτου, προσιτού, αξιόπιστου και οικονομικού νέου συστήματος ενέργειας. Οι ΤΠΕ θα είναι ένας καταλύτης σε αυτή τη διαδικασία και θα οδηγήσουν στη δημιουργία νέων ενεργειακών αγορών, αποκεντρωμένου έλεγχου, και στην υψηλότερη ποιότητα, αποδοτικότητα και αξιοπιστία του συστήματος.



***Κεφάλαιο 3. Οι ΤΠΕ Για Την Ενεργειακή  
Βελτιστοποίηση Σε Συγκεκριμένους Τομείς  
Της Ενεργειακής Αλυσίδας***

---



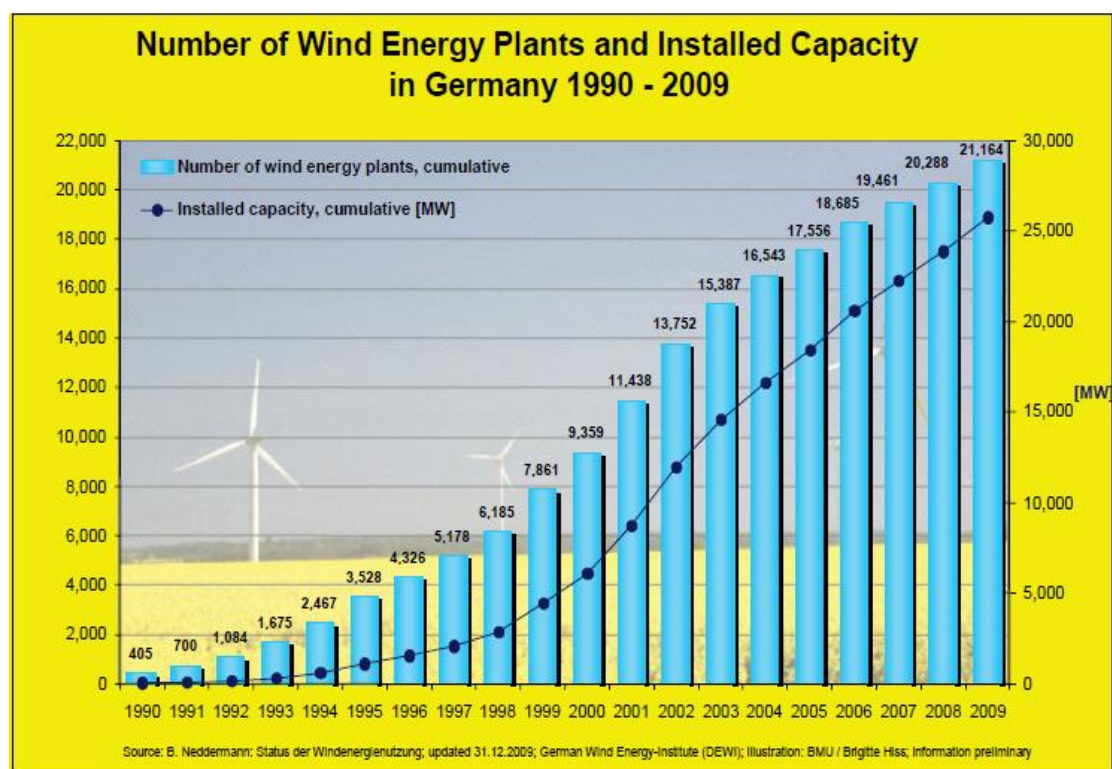


## 3.1 Παραγωγή / Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

### 3.1.1 Εισαγωγή

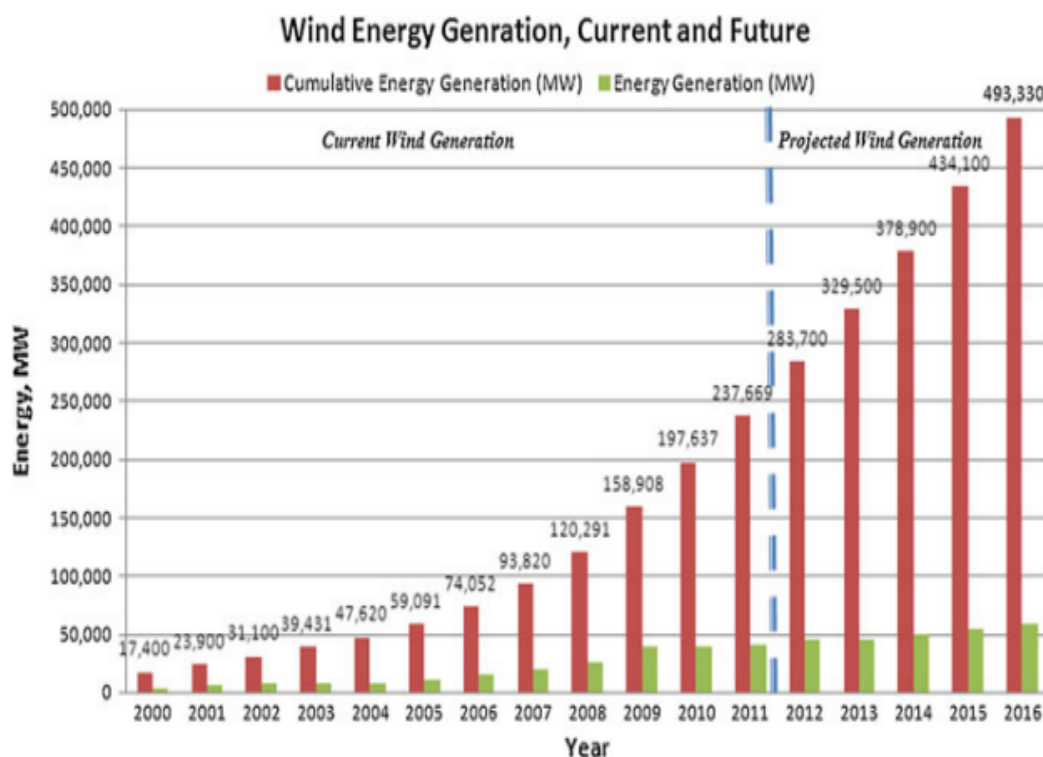
Μία καίρια επιλογή που προσφέρουν οι ΤΠΕ στη παραγωγή ενέργειας είναι η καλύτερη και αποτελεσματικότερη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια. Οι ΑΠΕ αναμένεται ότι θα εφαρμοστούν όλο και περισσότερο στην παραγωγή και στα δίκτυα διανομής, δηλαδή στα χαμηλά και μεσαία επίπεδα τάσης.

Για παράδειγμα η αιολική ενέργεια είναι η ταχύτερα αναδυόμενη ενεργειακή τεχνολογία στον κόσμο αυτή την στιγμή. Η εγκατεστημένη δυναμικότητα αιολικής ενέργειας για παράδειγμα, έχει αυξηθεί σταθερά τα τελευταία χρόνια στη Γερμανία. Το 2008 η εγκατεστημένη ισχύς ανήλθε σε σχεδόν 24 TW και έφτασε περίπου στο 8% της καθαρής κατανάλωσης ρεύματος. Λαμβάνοντας υπόψη τον στόχο της γερμανικής κυβέρνησης να φτάσει σε ποσοστό τουλάχιστον 30% η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέχρι το 2020 καθώς και τους υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης των προηγούμενων ετών (Εικόνα 3.1), θα πρέπει να περιμένουμε ακόμα μεγαλύτερη και σημαντική αύξηση της εγκατεστημένης δυναμικότητας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τα επόμενα χρόνια.[15]



**Εικόνα 3.1:** Ανάπτυξη των εγκαταστάσεων αιολικής ενέργειας και της εγκατεστημένης ισχύος στην Γερμανία (1990 – 2009) [15]

Συνολικά η αθροιστική εγκατεστημένη ισχύς της αιολικής ενέργειας στον κόσμο μέχρι το 2000 ήταν 17.400 MW, ενώ το 2011, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ανέρχεται στις 237.669 MW όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2. Ετήσια εγκατάσταση αιολικής ισχύος το 2000 ήταν μόνο 3.760 MW αλλά με την ταχεία ανάπτυξη, η ετήσια εγκατάσταση αιολικής ισχύος το 2011 έφτασε στα 40.564 MW. Το 2010, ο ρυθμός αύξησης της παραγωγής αιολικής ενέργειας παγκοσμίως ήταν 24,1%, αν και υπήρξε μια μικρή μείωση του ρυθμού ανάπτυξης από ότι νωρίτερα λόγω της παγκόσμιας χρηματοπιστωτικής κρίσης. Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Συμβούλιο Αιολικής Ενέργειας, ο ρυθμός ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας θα αυξηθεί ραγδαία, και έως το 2016, η παγκόσμια εγκατεστημένη αιολική ισχύς θα αυξηθεί σε 493 GW από τα 237 GW που ήταν διαθέσιμα στο τέλος του 2011, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.2. Ενώ η ικανότητα εγκατάστασης το 2011 ήταν 40,6 GW, η ικανότητα αναμένεται να αυξηθεί το 2016 στα 59,24 GW. Ως εκ τούτου, ο μέσος όρος των προβλεπόμενων ετήσιων ρυθμών ανάπτυξης κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου θα είναι 13,65%. [16]



**Εικόνα 3.2:** Global wind energy installed capacity, current and projected [16]

Μια κρίσιμη πρόκληση είναι να αντιμετωπιστεί η διαλείπουσα παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι απρόβλεπτες αλλαγές καιρικών συνθηκών που αποτελούν αστάθμητο παράγοντα και επηρεάζουν άμεσα την παραγωγή ενέργειας (καταιγίδες κ.λ.π.) Αν και υπάρχουν προβλέψεις (πρόγνωση καιρού) και μοντέλα σε απευθείας σύνδεση με το σύστημα και τους μηχανισμούς πρόγνωσης που προβλέπουν την αναμενόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ακρίβεια 96% για την τετράωρη πρόγνωση και 94 % για την

επόμενη ημέρα, η σταθερή αύξηση των ενεργειακών εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθιστά αναγκαία την εφαρμογή και συμμετοχή των ΤΠΕ για την καλύτερη ενσωμάτωση και αξιοποίηση των εν λόγω εγκαταστάσεων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. [17]

Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και της αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας (Distributed/Decentralized Generation-DG) στο υπάρχον σύστημα ενέργειας σε μαζική κλίμακα είναι ένα από τα πιο σημαντικά σημεία που μπορούν να συμβάλλουν οι ΤΠΕ. Ενώ πολλές από τις λύσεις για ανανεώσιμες μορφές ενέργειας - όπως η αιολική και η ηλιακή - υπάρχουν εδώ και δεκαετίες, αυτό που λείπει είναι η κατάλληλη υποδομή για να υποστηρίξει την εισαγωγή τους που θα μεγιστοποιήσει τον αντίκτυπο που θα έχουν στην παραγωγή. Οι ΤΠΕ αποτελούν βασική συνιστώσα για την επίλυση σύγχρονων προκλήσεων όπως είναι η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, η γήρανση των υποδομών παραγωγής και δικτύου, καθώς και η περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αερίων του θερμοκηπίου που δημιουργούνται με τους συμβατικούς τρόπους παραγωγής ενέργειας. Η συνεχής ανάπτυξη της αληθινής διαλειτουργικότητας θα προωθήσει την ανάπτυξη και την ευρεία εξάπλωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της αποκεντρωμένης παραγωγής, φέρνοντας μια εις βάθος μεταμόρφωση της παραγωγή ενέργειας κατά τα προσεχή χρόνια. [13]

Οι όροι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποκεντρωμένη παραγωγή, οι οποίοι μερικές φορές χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν την ίδια έννοια, δεν είναι σε καμία περίπτωση το ίδιο. Η αποκεντρωμένη παραγωγή αναφέρεται σε μικρότερης κλίμακας παραγωγή ή την αποθήκευση ενέργειας, και περιλαμβάνει τόσο τις ανανεώσιμες όσο και τις παραδοσιακές (με βάση τα ορυκτά) πηγές ενέργειας εγκατεστημένες σε ή κοντά στο σημείο όπου η ενέργεια που καταναλώνεται (δηλαδή στο δίκτυο διανομής).(Εικόνα 3.3) [18]

	Combined Heat and Power	Renewable Energy Sources
Large-scale Generation	- Large district heating* - Large industrial CHP	- Large hydro** - Off-shore wind - Co-firing biomass in coal power plants - Geothermal energy - Concentrated solar power
Distributed Generation	- Medium district heating - Medium industrial CHP - Utility building CHP - Micro CHP	- Medium and small hydro - On-shore wind - Tidal energy - Biomass and waste incineration - Biomass and waste gasification - PV solar energy

\* Typically > 50MW<sub>e</sub>; \*\* Typically > 10MW<sub>e</sub>

### Εικόνα 3.3 [18]

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να είναι είτε μεγάλης κλίμακας κεντρικές εγκαταστάσεις (όπως ένα αιολικό πάρκο ή μία συγκεντρωτική ηλιακή θερμική

μονάδα) ή μικρότερης κλίμακας, αποκεντρωμένα στοιχεία (όπως ηλιακοί συλλέκτες οροφής ή μικρές ανεμογεννήτριες).[18]

Η διασταύρωση των ΑΠΕ και της αποκεντρωμένης παραγωγής είναι το επόμενο σύνορο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή ενέργειας σχεδόν οπουδήποτε και η καθιέρωση των Εικονικών Εγκαταστάσεων Ηλεκτροπαραγωγής (VPP) θα φέρει τα πάνω κάτω στο υπάρχον ενεργειακό σύστημα. Μια εικονική εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής είναι μια ομάδα μικρών μονάδων παραγωγής (micro CHP, ανεμογεννήτριες, μικρά υδροηλεκτρικά, εφεδρικές γεννήτριες κ.λ.π.) που επιτυγχάνουν το χαρακτηριστικό μίας μεγάλης εγκατάστασης παραγωγής μέσω του συνδυασμού τους. Οι ΤΠΕ θα παίξουν καθοριστικό ρόλο στην καθιέρωση και λειτουργία των Εικονικών Εγκαταστάσεων Ηλεκτροπαραγωγής. [19]

### **3.1.2 Οι ΤΠΕ Για Τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)**

Όπως αναφέραμε παραπάνω οι ΤΠΕ στη παραγωγή ενέργειας θα επιτρέψουν την καλύτερη και αποτελεσματικότερη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο υπάρχον σύστημα ενέργειας (ΑΠΕ), όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια. Τα οφέλη (οικονομικά και περιβαλλοντικά) θα είναι τεράστια. Σε αυτό το κεφάλαιο θα μιλήσουμε για το πολύ σημαντικό κομμάτι της πρόβλεψης της παραγωγής (μέσω της πρόβλεψης του καιρού) καθώς και για άλλες δυνατότητες που μας προσφέρουν οι ΤΠΕ σε σχέση με τις ΑΠΕ

Το κύριο πρόβλημα της πρόβλεψης της παραγωγής, σε ένα σύγχρονο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, είναι η ολοένα και αυξανόμενη ενσωμάτωση και ανάπτυξη των Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) σε αυτό. Η ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ μπορεί να ποικίλλει, και η διακύμανσή της εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω (κλιματικές συνθήκες, τη θέση των μονάδων παραγωγής ενέργειας, κ.λ.π.). Με αυτή την έννοια, η συμβολή τους στην παραγωγή ενέργειας και η διακυμάνσεις σε αυτή είναι δύσκολο να προβλεφθούν, επειδή οι μεταβλητές που επηρεάζουν τις ΑΠΕ και πρέπει να λάβουμε υπόψη είναι πάρα πολλές. Παρόλα αυτά με βάση την δυνατότητες που έχουμε και την αρκετά μεγάλη ακρίβεια στην πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών μπορούμε να δημιουργήσουμε μοντέλα για την πρόβλεψη παραγωγής των ΑΠΕ με αρκετή ακρίβεια. Μέσω της πρόβλεψης παραγωγής, το σύστημα είναι σε θέση να εξισορροπήσει τα φορτία, να βελτιστοποιήσει τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας και να διαχειρίζεται τις αποτυχίες. [20]

Πιο αναλυτικά το γεγονός ότι η παραγωγή των ΑΠΕ δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί με τους παραδοσιακούς τρόπους μπορεί να προκαλέσει προβλήματα για τη συμβατική λειτουργία του συστήματος. Ένα σύγχρονο σύστημα ενέργειας θα πρέπει να εκμεταλλευτεί τις δυνητικές βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν στη συμβατική λειτουργία του συστήματος με τη χρήση των ΤΠΕ. Ενώ οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν μπορούν απαραίτητα να λειτουργήσουν με τον συμβατικό τρόπο, η

συμπεριφορά τους μπορεί να προβλεφθεί και οι πληροφορίες πρόβλεψης είναι ακριβώς το είδος των πληροφοριών που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του συστήματος. Οι αποφάσεις θα πρέπει να λαμβάνονται δυναμικά με βάση τις πληροφορίες σχετικά με την προσφορά και τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Στον κόσμο της ταχείας ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η πρόβλεψη της παραγωγής έχει τεράστια σημασία για το σύστημα ενέργειας. [21]

Οι καιρικές συνθήκες καθορίζουν την παραγωγή ενέργειας των ΑΠΕ και έτσι αυτή είναι εγγενώς μεταβλητή. Αυτή η μεταβλητότητα συμβαίνει σε όλα τα χρονικά πλαίσια της λειτουργίας τους από πραγματικού χρόνου λεπτό προς λεπτό διακυμάνσεις έως και σε ετήσιες μεταβολές που επηρεάζουν τον μακροπρόθεσμο προγραμματισμό. Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες που αφορούν την αιολική ενέργεια έχουν δείξει ότι οι μεταβολές που έχουν τις μεγαλύτερες επιπτώσεις στην αξιοπιστία του συστήματος και στο κόστος λειτουργίας είναι εκείνες στα ωριαία και ημερήσια χρονικά πλαίσια. Κατά συνέπεια τα σύγχρονα συστήματα πρόβλεψης της αιολικής ενέργειας πρέπει να επικεντρωθούν σε αυτά τα χρονικά πλαίσια προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες των διαχειριστών των συστημάτων και της αγοράς. Σε ένα σύγχρονο σύστημα ενέργειας πολλές από τις ανθρώπινες αλληλεπιδράσεις που προς το παρόν προσπαθούν να διαχειριστούν τη λειτουργία του συστήματος θα μπορούν να αντικατασταθούν από τεχνολογίες που θα έχουν ταχύτερο χρόνο απόκρισης και θα μπορούν να επεξεργαστούν μεγαλύτερο όγκο δεδομένων (που θα υπάρχει με την όλο και αυξανόμενη είσοδο των ΑΠΕ στα συστήματα). [22]

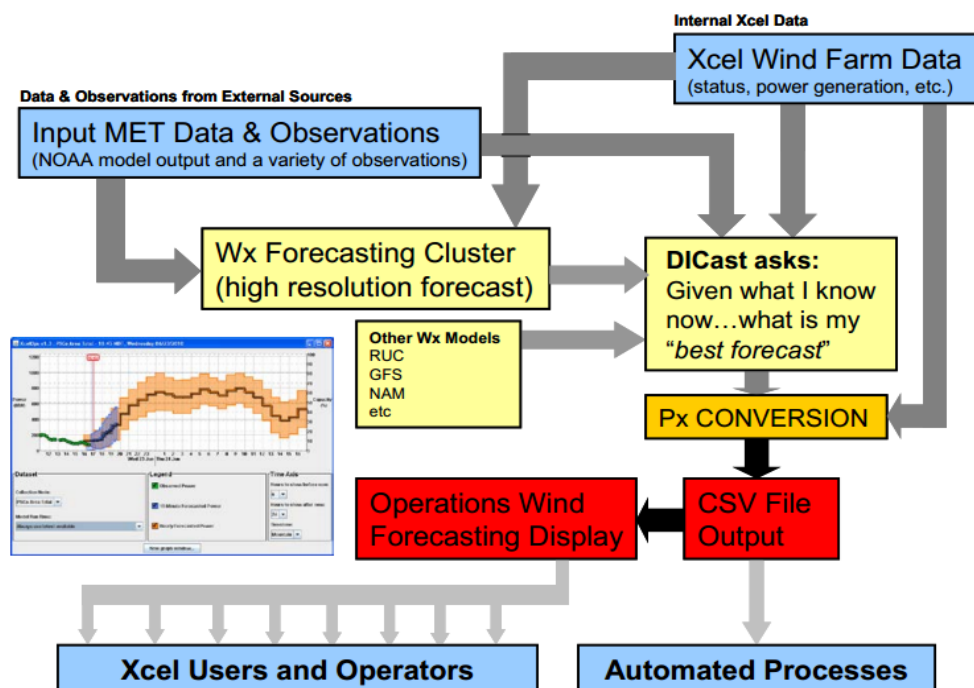
Επιπλέον, είναι επίσης ζωτικής σημασίας να κατανοήσουμε την αβεβαιότητα των προβλέψεων προκειμένου να είμαστε σε θέση να εκτιμήσουμε την απαραίτητη ικανότητα αποθεματικού για το σύστημα, την αξιοπιστία και τις απαιτήσεις ελέγχου συχνότητας. Η ικανότητα ενός συστήματος ενέργειας εξοπλισμένου με ΤΠΕ για την επεξεργασία αυτού του είδους των πληροφοριών θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις στην λειτουργία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. [21]

Η χρήση των ΤΠΕ θα βελτιώσει την πρόβλεψη της παραγωγής των ΑΠΕ. Τα σύγχρονα συστήματα προβλέψεων επεξεργάζονται μεγάλο όγκο δεδομένων και όσο πιο αξιόπιστη και έγκαιρη είναι η μεταφορά δεδομένων, τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια των προβλέψεων ειδικά για την περιοχή πρόβλεψης για την επόμενη μία ώρα (hour-ahead). Συνήθως οι προβλέψεις hour-ahead χρησιμοποιούν στατιστικές μεθόδους κατά κύριο λόγο με βάση τις πιο πρόσφατες παρατηρήσεις. Η επαύριον προβλέψεις δημιουργούνται συνήθως με παρόμοιο τρόπο με τη χρήση αριθμητικών μοντέλων πρόγνωσης καιρού για την αξιοποίηση πληροφοριών από παγκόσμιου βεληνεκούς μοντέλα καιρού. Η πρώτη φάση στην ανάπτυξη της hour-ahead πρόβλεψης συνίσταται στον εντοπισμό, την κατάρτιση και ενσωμάτωση δεδομένων από μια ευρεία ποικιλία πηγών: θέση των ανεμογεννητριών και ανεμόμετρα, τα διαθέσιμα αρχεία παρατήρησης, κ.λπ. Η δεύτερη φάση συνίσταται στην ανάπτυξη και εκπαίδευση διαφόρων μεθόδων πρόβλεψης χρησιμοποιώντας όλα τα διαθέσιμα δεδομένα και διατηρώντας ιστορικό για την δημιουργία προτύπων. Το τελικό προϊόν

παρέχει έγκαιρη, αξιόπιστη και ακριβή πρόγνωση. Εκμεταλλευόμενοι ένα τεράστιο δίκτυο επικοινωνίας τα συστήματα πρόβλεψης της παραγωγής ΑΠΕ θα είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν πληροφορίες από ένα ακόμη ευρύτερο σύνολο των πηγών. [23]

Όπως αναλύσαμε, τα συστήματα για τη διαχείριση της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές μπορεί να λάβουν υπόψη την πρόβλεψη καιρού για να προβλέψουν με ακρίβεια την διαθεσιμότητα της αιολικής ενέργειας και της ηλιακής ενέργειας. Ένα παράδειγμα αυτού είναι το "Hybrid Renewable Energy Forecasting - HyRef" (Energy Manager Today, 2013) αναπτύχθηκε από την IBM. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί μοντέλα καιρού, προηγμένη τεχνολογία απεικόνισης των σύννεφων και κάμερες που αντιμετωπίζει για την παρακολούθηση των κινήσεων των σύννεφων. Εκτός αυτού, αισθητήρες τοποθετούνται στις ανεμογεννήτριες και χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της ταχύτητας του ανέμου, τη θερμοκρασία και την κατεύθυνση. Σε συνδυασμό με τεχνολογία ανάλυσης, αυτά τα δεδομένα μπορούν να προβλέψουν τις επιδόσεις κάθε ανεμογεννήτριας και να υπολογίσουν την ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι το σύστημα πρόβλεψης Xcel Energy Wind, το οποίο αποτελείται από τέσσερις ενότητες: απόκτηση δεδομένων, πρόβλεψη ανέμου, μετατροπή ενέργειας, και απόδοση, όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 3.4). Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό που παρέχεται από τη μονάδα συλλογής δεδομένων είναι η άνευ προηγουμένου απόκτηση των δεδομένων στο επίπεδο της τουρμπίνας σε πραγματικό χρόνο για χρήση στο σύστημα. [24]



Εικόνα 3.4: Σύστημα πρόβλεψης Xcel Energy Wind [24]

Ενδιαφέρουσες άλλες επιλογές, όπως η αξιόπιστη παροχή της αιολικής ενέργειας μέσα από την ομαδοποίηση των αιολικών πάρκων μπορεί να είναι ένα πρώτο βήμα

και να δημιουργήσει μια νέα ζήτηση για ΤΠΕ. Επιπλέον, η αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ των διαχειριστών του δικτύου και των αιολικών εγκαταστάσεων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σημαντικό στοιχείο για την εξασφάλιση της ασφαλούς διαχείρισης του δικτύου. Όσο περισσότερες πληροφορίες πάρουν οι διαχειριστές του δικτύου από μεμονωμένες μονάδες τόσο καλύτερα θα είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν την πρόκληση των αυξημένων, σε αριθμό, αποκεντρωμένων πηγών ενέργειας με κυμαινόμενη παροχή. Η μέγιστη οικονομική δυναμική μπορεί έτσι να φανεί σε μία διαδικτύωση όλων των εγκαταστάσεων αιολικής ενέργειας με ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και την προώθηση αυτών στους αρμόδιους φορείς. Στα επόμενα χρόνια, θα μπορούμε να επικεντρωθούμε στην επικοινωνιακή ένταξη των υπεράκτιων εγκατεστημένων αιολικών πάρκων, καθώς η συντήρηση και η επισκευή αυτών από το προσωπικό είναι πολύ πιο ακριβή από ό, τι για τις χερσαίες εγκαταστάσεις. Ασύρματες λύσεις μπορούν να παίξουν πολύ σημαντικό ρόλο στον τομέα αυτό.[25]

Επί του παρόντος, υπάρχει μια ποικιλία από εργαλεία που προορίζονται για τη διαχείριση, τη συντήρηση και τη βελτιστοποίηση των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Συνήθως, αυτά τα εργαλεία βασίζονται σε λογισμικό διαχείρισης που έχει σχεδιαστεί ειδικά για κάθε περίπτωση. Μερικά από αυτά τα λογισμικά μπορούν να διασυνδέονται με εξωτερικά συστήματα συλλογής δεδομένων για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τις επιδόσεις εγκαταστάσεις. Σήμερα, η διαχείριση των εν λόγω εγκαταστάσεων μπορεί να γίνει μέσω του διαδικτύου. Για παράδειγμα, για την αιολική ενέργεια, η διαχείριση θα πρέπει να διασφαλίζει τη σωστή λειτουργία του συστήματος, την αξιολόγηση της απόδοσης των στοιχείων του, να εντοπίσει τις ελαττωματικές συσκευές, να επιτρέπει τη βαθμονόμηση των εργαλείων, ή και να επιτρέπει τον προσδιορισμό μέτρων βελτίωσης, μεταξύ άλλων. Η πλέον χρησιμοποιούμενη τεχνολογία είναι τα SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα παρακολούθησης.

Τέλος άξια αναφοράς είναι μια άλλη τεχνολογία ΤΠΕ η PHM (Prognostics and Health Management) για ανεμογεννήτριες θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την απομακρυσμένη επαλήθευση συνθηκών βλάβης στο αρχικό στάδιο, χωρίς την ανάγκη για συμβατικές μεθόδους ελέγχου, ελαχιστοποιώντας τους ψευδής συναγερούς. Για υπεράκτιες ανεμογεννήτριες συγκεκριμένα, υπάρχει ένα οικονομικό πλεονέκτημα στη διασφάλιση ότι κάθε απαραίτητη συντήρηση μπορεί να προβλεφθεί και, στη συνέχεια, να προγραμματιστεί και να πραγματοποιηθεί στο πιο βολικό χρονικό διάστημα, ελαχιστοποιώντας έτσι το σχετικό κόστος και το χρόνο διακοπής. Η PHM κινείται πέρα από τα συμβατικά συστήματα παρακολούθησης, προσθέτοντας το κρίσιμο στοιχείο του χρονικού πλαισίου για να ενεργοποιήσει πραγματικά προληπτικές μεθόδους συντήρησης που πρέπει να εφαρμοστούν. Αυτή η τεχνολογία περιλαμβάνει εξελιγμένα συστήματα παρακολούθησης αλλά θα πρέπει να γίνουν πολλές βελτιώσεις και έρευνα στην ανάπτυξη των PHM καθώς και για να λυθούν κάποια προβλήματα. [26]

### 3.1.3 Αποκεντρωμένη Παραγωγή & Εικονικές Εγκαταστάσεις Παραγωγής

Σε αντίθεση με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με το παραδοσιακό σύστημα ενέργειας, μια πιο έξυπνη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθίσταται δυνατή μέσω των ΤΠΕ καθώς υποστηρίζεται η αμφίδρομη (two way) ροή, και της ηλεκτρικής ενέργειας και των πληροφοριών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η Αποκεντρωμένη Παραγωγή (Distributed/Decentralized Generation-DG).

Αποκεντρωμένη Παραγωγή (DG) είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες συνδεδεμένες απευθείας με το δίκτυο διανομής ή στο χώρο του πελάτη. [19]

Η αποκεντρωμένη παραγωγή εκμεταλλεύεται τα συστήματα αποκεντρωμένων ενεργειακών πόρων (Distributed Energy Resources- DER) (π.χ. φωτοβολταϊκά και μικρές ανεμογεννήτριες), οι οποίες είναι συχνά παραγωγικές μονάδες ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας (τυπικά κυμαίνονται στην περιοχή από 3kW έως 10000kW), προκειμένου να βελτιώσει την ποιότητα ισχύος και την αξιοπιστία. Μία μελέτη από το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (International Energy Agency) επεσήμανε ότι ένα σύστημα ενέργειας βασισμένο σε ένα μεγάλο αριθμό αξιόπιστων μικρών σταθμών αποκεντρωμένης παραγωγής μπορούν να λειτουργούν με την ίδια αξιοπιστία και χαμηλότερο όριο ικανότητας από ότι ένα σύστημα με εξίσου αξιόπιστες μεγάλες γεννήτριες. [19]

Η Αποκεντρωμένη Παραγωγή ενέργειας (Distributed/Decentralized Generation-DG) είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την εξέλιξη του συστήματος ενέργειας και της παραγωγής. Η ενσωμάτωσή της στο σύστημα ενέργειας αποδείχθηκε ότι φέρει πολλά οφέλη για τους πελάτες, την ενεργειακή απόδοση, και την ίδια τη λειτουργία του δικτύου. Αυτή η ενσωμάτωση έχει ενεργοποιηθεί μέσω ενός αριθμού διαφορετικών τεχνολογιών, ορισμένες από τις οποίες θα αναλυθούν στην παρούσα έρευνα καθώς ανήκουν στις ΤΠΕ. Χαρακτηριστικές είναι :

- Προηγμένες Υποδομές και Τεχνολογίες Μετρήσεων
- Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας
- Προηγμένα Συστήματα Αποκεντρωμένης Διαχείρισης (Διανομή)

Στο [27], οι συγγραφείς παρέχουν μια μεθοδολογία για την ένταξη της DG σε ένα έξυπνο πλέγμα. Αυτό βασίζεται στην σύνδεση μίας αποκεντρωμένης γεννήτριας με έναν τροφοδοτικό, σε συνδυασμό με σύστημα Αυτόματου Ελέγχου της Τάσης (Automatic Voltage Control-AVC) και τεχνολογία Δυναμικής Αξιολόγησης Γραμμής (Dynamic Line Rating-DLR). Στη μελέτη τους, παρέχουν επίσης μια μελέτη οικονομικής σκοπιμότητας, ως μια σειρά από βήματα, η οποία μπορεί να επεκταθεί σε ένα γενικό πρόγραμμα που περιλαμβάνει τεχνολογίες αποκεντρωμένης παραγωγής. Τα καθορισμένα βήματα είναι τα εξής:



- Καθορισμός του κόστους εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης του έργου
- Καθορισμός πρόσθετων οικονομικών παραμέτρων όπως η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, πληθωρισμός, κ.λπ.
- Ποσοτικοποίηση πρόσθετων πλεονεκτημάτων που προσφέρονται στο δίκτυο, από την άποψη της πριμοδότησης της τιμής της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ανά μονάδα παραγωγής
- Αξιολόγηση των εξωτερικών παραγόντων, όπως η μείωση των αερίων θερμοκηπίου (GHG), για να τα προστεθούν ως ένα όφελος
- Υπολογισμός των οικονομικών παραμέτρων: Συντελεστής Εσωτερικής Απόδοσης (Internal Rate of Return-IRR) και Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value-NPV) για να αξιολογηθεί η σκοπιμότητα του έργου. [27]

Ωστόσο, η εφαρμογή της στην πράξη δεν είναι μια εύκολη υπόθεση κάτι που οφείλεται σε διάφορους λόγους. Πρώτον, η αποκεντρωμένη παραγωγή περιλαμβάνει μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, των οποίων η απόδοση, ωστόσο, υπόκειται σε μεγάλες διακυμάνσεις όπως έχουμε αναφέρει. Σε γενικές γραμμές, η παραγωγή που προκύπτει από αυτές τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας απέχουν ακόμα από το να είναι ίσες, αν και χάρη στις ΤΠΕ μπορούμε πλέον να προβλέψουμε τις καιρικές συνθήκες και το φορτίο με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια. Ως εκ τούτου, η αποτελεσματική αξιοποίηση της αποκεντρωμένης παραγωγής με τέτοιο τρόπο που να αναγνωρίζει και να αντιμετωπίζει τη μεταβλητότητα της απόδοσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι απαραίτητη. Δεύτερον, οι συνήθεις δαπάνες λειτουργίας αποκεντρωμένων γεννητριών για την παραγωγή μιας μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλές σε σύγκριση με εκείνες των παραδοσιακών, μεγάλης κλίμακας, κεντρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Λαμβάνοντας υπόψη τα δυνητικά οφέλη της αποκεντρωμένης παραγωγής για την ποιότητα του ρεύματος, μια συστηματική έρευνα για το πώς να εξισορροπήσουμε τις υψηλές δαπάνες και την αξιόπιστη τροφοδοσία ενέργειας από αυτή είναι απαραίτητη. [28]

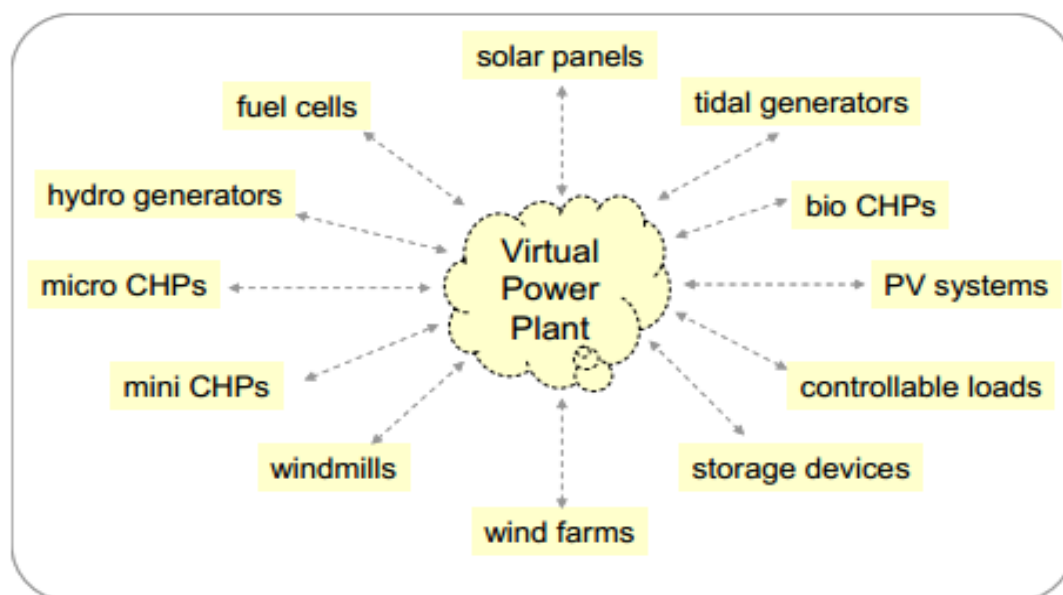
Η ανάπτυξη και εγκατάσταση μονάδων αποκεντρωμένης παραγωγής οδηγεί περαιτέρω σε μία νέα ιδέα, την Εικονική Εγκατάσταση Ηλεκτροπαραγωγής (Virtual Power Plant-VPP) η οποία διαχειρίζεται μια μεγάλη ομάδα αποκεντρωμένων ηλεκτροπαραγωγών με συνολική χωρητικότητα συγκρίσιμη με εκείνη ενός συμβατικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. [29]

Δηλαδή μία Εικονική Εγκατάσταση Ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να οριστεί ως "ένα σύστημα πληροφοριών και επικοινωνιών με κεντρικό έλεγχο πάνω σε ένα σύνολο αποκεντρωμένων μονάδων παραγωγής, ελεγχόμενων φορτίων και συσκευών αποθήκευσης". Η κύρια λειτουργία της είναι να ελέγχει την προσφορά και

διαχειρίζονται την ροή ηλεκτρικής ενέργειας όχι μόνο μέσα στο σύμπλεγμα, αλλά και σε συναλλαγή με το κύριο δίκτυο. Αντιπροσωπεύει μία μόνο οντότητα στον διαχειριστή του συστήματος και στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας και επιτρέπει την προβολή και τον έλεγχο ενός συμπλέγματος αποκεντρωμένων μονάδων παραγωγής. Οι εικονικές εγκαταστάσεις σε ένα υψηλό στάδιο ανάπτυξης μπορούν επίσης να προσφέρουν βοηθητικό σύστημα και υπηρεσίες ποιότητας ισχύος. [30]

Η συντονισμένη επιχειρησιακή λειτουργία προσφέρει επιπλέον οφέλη, όπως η δυνατότητα να παραδοθεί το φορτίο αιχμής της ηλεκτρικής ενέργειας σε σύντομο χρονικό διάστημα. Μια τέτοια εικονική εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να αντικαταστήσει μια συμβατική μονάδα παραγωγής ενέργειας, παρέχοντας παράλληλα υψηλότερη αποδοτικότητα και μεγαλύτερη ευελιξία. Σημειώστε ότι μεγαλύτερη ευελιξία επιτρέπει στο σύστημα να αντιδρά καλύτερα στις διακυμάνσεις. [29]

Η εικονική εγκατάσταση είναι έτσι, μια ελεγχόμενη λειτουργία των αποκεντρωμένων μονάδων παραγωγής ως απεικονίζεται στην Εικόνα 3.5.



**Εικόνα 3.5:** Αποκεντρωμένες μονάδες παραγωγής, ελεγχόμενα φορτία και συσκευές αποθήκευσης στις VPP [30]

Ωστόσο, μία εικονική εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής είναι επίσης ένα περίπλοκο σύστημα που απαιτεί μια περίπλοκη βελτιστοποίηση, έλεγχο, και ασφαλή μεθοδολογία επικοινωνίας και εδώ είναι που οι ΤΠΕ θα παίξουν καθοριστικό ρόλο. Οι απαραίτητες υποδομές ΤΠΕ, οι οποίες αποτελούνται από ευφυείς συσκευές και έξυπνους μετρητές, ασύρματες και καλωδιακές συνδέσεις, κεντρικό υπολογιστή ελέγχου (Central Control Computer - CCC) και το λογισμικό εφαρμογών. [29]

Για την υλοποίηση ενός εικονικού σταθμού η επικοινωνιακή διασύνδεση των μικρών παραγωγικών μονάδων είναι ένα κρίσιμο ζήτημα όπου επιβάλλεται η χρήση ΤΠΕ. Μόνο αν μεμονωμένες (μικρές) μονάδες παραγωγής ενέργειας είναι αξιόπιστα

συνδεδεμένες με μία κεντρική μονάδα ελέγχου ή ακόμη και μεταξύ τους είναι η ιδέα μιας εικονικής εγκατάστασης πραγματοποιήσιμη. Εκτός από την επικοινωνιακή σύνδεση που μεταφέρει δεδομένα μετρήσεων ή εντολές ελέγχου, ακόμα μεγαλύτερη επικοινωνιακή υποδομή είναι απαραίτητη που θα στηρίζεται σε ΤΠΕ. Πρέπει να υπάρχουν συσκευές και τεχνολογίες μετρήσεων που θα δίνουν πληροφορίες σχετικά με την παραγωγή και την κατανάλωση, καθώς και σχετικά με την κατάσταση του δικτύου και ενδεχομένως και μετεωρολογικών δεδομένων (π.χ. στην περίπτωση των εγκαταστάσεων αιολικής & ηλιακής ενέργειας). Τέλος, πρέπει να υπάρχει μία κεντρική μονάδα ελέγχου που είναι σε θέση να λειτουργήσει την εικονική μονάδα παραγωγής ενέργειας. [31]

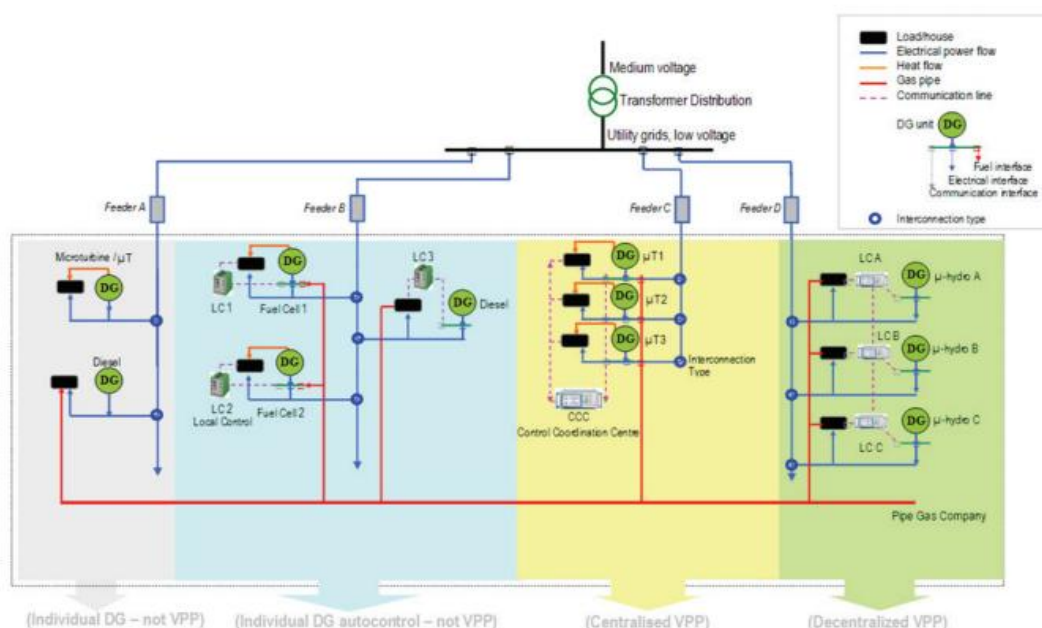
Οι Εικονικές Εγκαταστάσεις Ηλεκτροπαραγωγής (VPP) είναι ίσως η περιοχή εφαρμογής που καταδεικνύει καλύτερα το πώς οι ΤΠΕ μπορούν να επισπεύσουν ορισμένες εξελίξεις και διαδικασίες στον τομέα της ενέργειας. Τα πλεονεκτήματα είναι προφανή : σε σχέση με τρίτους, η εικονική εγκατάσταση μπορεί να λειτουργήσει σαν μια μεγάλης κλίμακας εγκατάσταση με πολλά μεγαβάτ (MW) χωρητικότητα. Αυτό αυξάνει την πιθανότητα επίτευξης περισσότερων παραληπτών στην αγορά από ό, τι εάν οι μεμονωμένες μονάδες παραγωγής ήταν μόνες τους [32].

Το πλεονέκτημα σε σχέση με τις ενιαίες εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας είναι η μεγαλύτερη ευελιξία στην παραγωγή. Απρόβλεπτες αποκλίσεις μπορούν να εκκαθαρίζονται εντός της δεξαμενής ενέργειας της εικονικής μονάδας. Επίσης για παράδειγμα, το όριο των 15 MW για να λάβουν μέρος στην τριτογενή γερμανική αγορά αποθέματος ισχύος δεν αποτελεί πλέον άπιαστο εμπόδιο για τις μικρές μονάδες. Όσον αφορά τις οικολογικές πτυχές, η εικονική εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής είναι μια κατάλληλη μέθοδος σύνδεσης εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μερικά μειονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως για παράδειγμα η διακύμανση παροχής ενέργειας από μονάδες αιολικής ενέργειας, μπορεί να εξισορροπηθεί μέσα στην δεξαμενή ενέργειας της ομάδας. Όλα αυτά δείχνουν ότι υπάρχουν τεράστιες δυνατότητες για τις εικονικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά. [31]

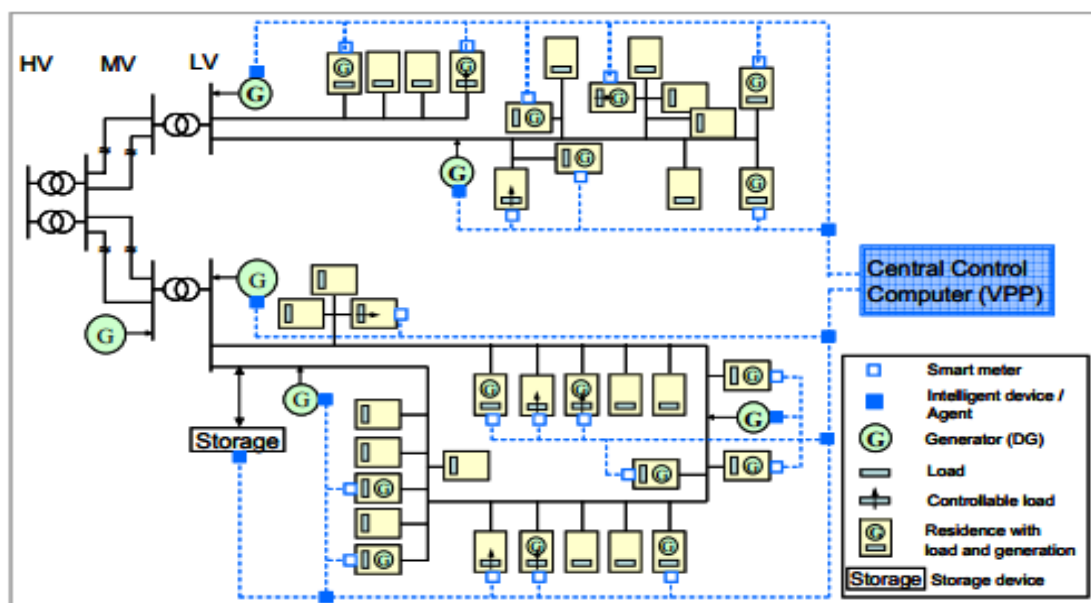
Οι σημαντικότερες πτυχές που καθορίζουν το σχεδιασμό μιας εικονικής εγκατάστασης παραγωγής είναι οι τεχνολογικές δυνατότητες, οι εμπορικές και οικονομικές ευκαιρίες και οι κανονιστικοί περιορισμοί. Οι διαθέσιμες ΤΠΕ θα διευκολύνουν τις απαιτούμενες επικοινωνίες, τον έλεγχο και τη διαχείριση του συστήματος για την επίτευξη των εμπορικών και οικονομικών στόχων των διαχειριστών των VPP και των ιδιοκτητών των μονάδων αποκεντρωμένης παραγωγής εντός των ρυθμιστικών/κανονιστικών περιορισμών της εκάστοτε χώρας. Επιπλέον, η στρατηγική ελέγχου του δικτύου διανομής, καθώς και οι ιδιότητες των διαθέσιμων μονάδων αποκεντρωμένης παραγωγής, συσκευών αποθήκευσης και ελεγχόμενων φορτίων μπορεί να παράγουν τεχνικές προϋποθέσεις και περιορισμούς που οι VPP θα πρέπει να πληρούν.

Αρχικά η προσοχή του διαχειριστή της εικονικής εγκατάστασης κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και της ανάπτυξη είναι στραμμένη στον έλεγχο και τον χειρισμό των διαθέσιμων μονάδων αποκεντρωμένης παραγωγής, των συσκευών αποθήκευσης και των ελεγχόμενων φορτίων. Για το σκοπό αυτό η απαιτούμενη υποδομή ΤΠΕ, καθώς και εφαρμογές πρόβλεψης, παρακολούθησης και ελέγχου θα πρέπει να αναπτυχθούν. Ο διαχειριστής μπορεί να επιλέξει να κάνει χρήση των διαθέσιμων ΤΠΕ και λογισμικού, εάν αυτά ικανοποιούν τις απαιτήσεις.[33]

Για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της αποκεντρωμένης παραγωγής έξυπνα συστήματα μετρήσεων παροχής ενέργειας και συσκευές ελέγχου πρέπει να εγκατασταθούν στην πλευρά του πελάτη. Αυτές οι συσκευές μέτρησης και ελέγχου επικοινωνούν μέσω ενδιάμεσων συσκευών (παραγόντων) με το κεντρικό υπολογιστή ελέγχου. Λόγω του μεγέθους της εικονικής εγκατάστασης, της γεωγραφικής κατανομής των αποκεντρωμένων μονάδων και των διαθέσιμων κατηγοριών αποκεντρωμένης παραγωγής ο διαχειριστής μπορεί να επιλέξει κεντρική ή αποκεντρωμένη λειτουργία (Εικόνα 3.6). [31] Προφανώς μεγαλύτερες εικονικές εγκαταστάσεις χρειάζονται αποκεντρωμένη λειτουργία που επιτυγχάνεται μέσω της προσθήκης λειτουργιών λήψης αποφάσεων στους ενδιάμεσους παράγοντες εμπορίας σύμφωνα με προκαθορισμένους αλγόριθμους. Στην περίπτωση αυτή, ένα σύστημα πολλαπλών παραγόντων εμπορίας εγκαθίστατε στην υποδομή ΤΠΕ της VPP [33] όπως φαίνεται στο Εικόνα 3.7



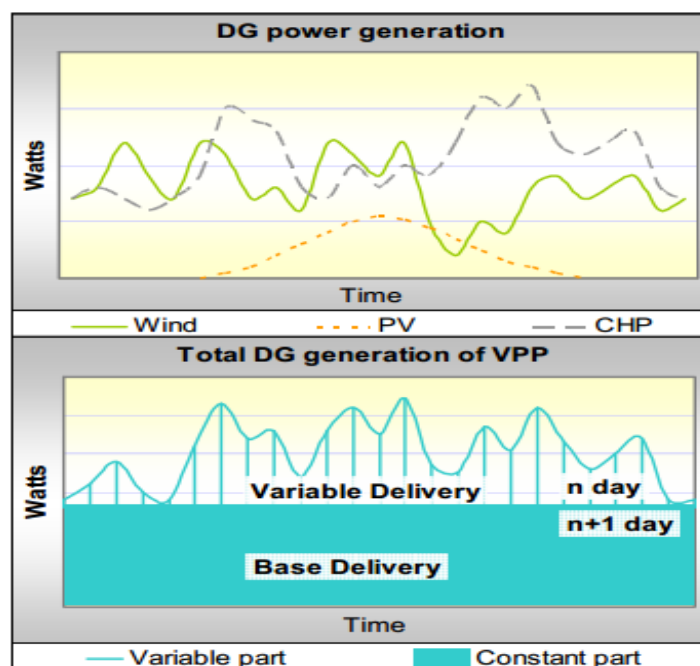
**Εικόνα 3.6:** Είδη εικονικών εγκαταστάσεων σε σχέση με την τοπολογία ελέγχου [31]



**Εικόνα 3.7 :** Εικονική εγκατάσταση με αποκεντρωμένο έλεγχο [33]

Αυτό το σύστημα ελέγχου συνεπάγεται τεράστια μεταφορά δεδομένων ανάμεσα στους έξυπνους μετρητές, τους πράκτορες εμπορίας και το κεντρικό υπολογιστική ελέγχου, ώστε να διαχειριστεί τις διαθέσιμες αποκεντρωμένες μονάδες παραγωγής. Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις, όπως τα ευρυζωνικά καλώδια (ίνες γυαλιού) ή ασύρματων επικοινωνιών (WMAX) μπορούν να παρέχουν συνδέσεις με αρκετή ταχύτητα και την ικανότητα να μεταφέρουν τα απαιτούμενα δεδομένα. Με ένα τέτοιο σύστημα ΤΠΕ η εικονική εγκατάσταση μπορεί να παρουσιαστεί στον διαχειριστή του συστήματος ως μια ενιαία οντότητα οποία είναι σε θέση να προσφέρουν βοηθητικές υπηρεσίες συστήματος.[33]

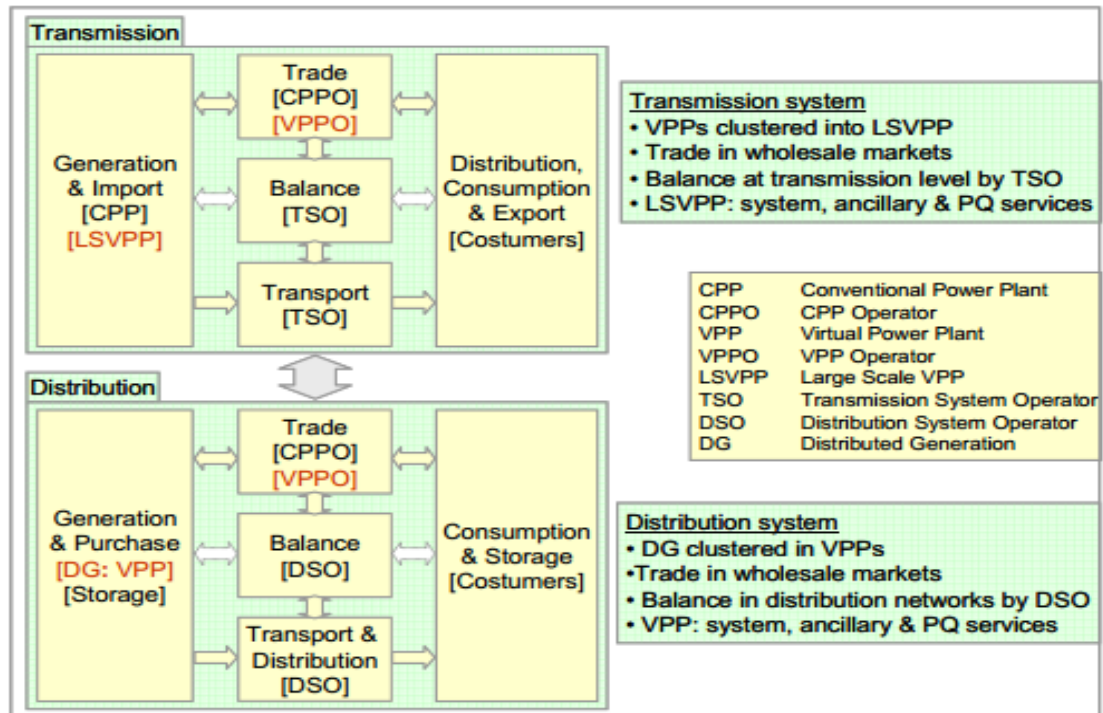
Ακόμα η εικονική εγκατάσταση αντιπροσωπεύει όλες τις συμβεβλημένες μονάδες αποκεντρωμένης παραγωγής στις αγορές χονδρικής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, ως μιας ενιαία εμπορική οντότητα. Προκειμένου να συμμετάσχουν σε αυτές τις αγορές, οι διαχειριστές VPP πρέπει να αναπτύξουν ή να κάνουν χρήση εφαρμογών λογισμικού που να είναι σε θέση να προβλέψουν της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης. Οι απαιτούμενες πληροφορίες για τις προβλέψεις μπορούν να ανακτηθούν από τη σύμβαση πληροφοριών με τους ιδιοκτήτες αποκεντρωμένων μονάδων σε συνδυασμό με τις προβλέψεις καιρού, ιστορικά και πραγματικά στοιχεία παραγωγής. Στην περίπτωση αυτή, κάθε σύμβαση περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τη μέγιστη ικανότητα της αποκεντρωμένης μονάδας. Όταν το σχέδιο παραγωγής ολοκληρωθεί η παροχή/παράδοση ενέργειας της εικονικής εγκατάστασης και η συμμετοχή μπορούν να διακριθούν και να διαιρεθούν σε δύο κύρια μέρη, τα βασικά και μεταβλητά σχέδια παροχής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.8.



**Εικόνα 3.8 :** Η αποκεντρωμένη παραγωγή σε σχέση με την παροχή της εικονικής εγκατάστασης στο δίκτυο [30]

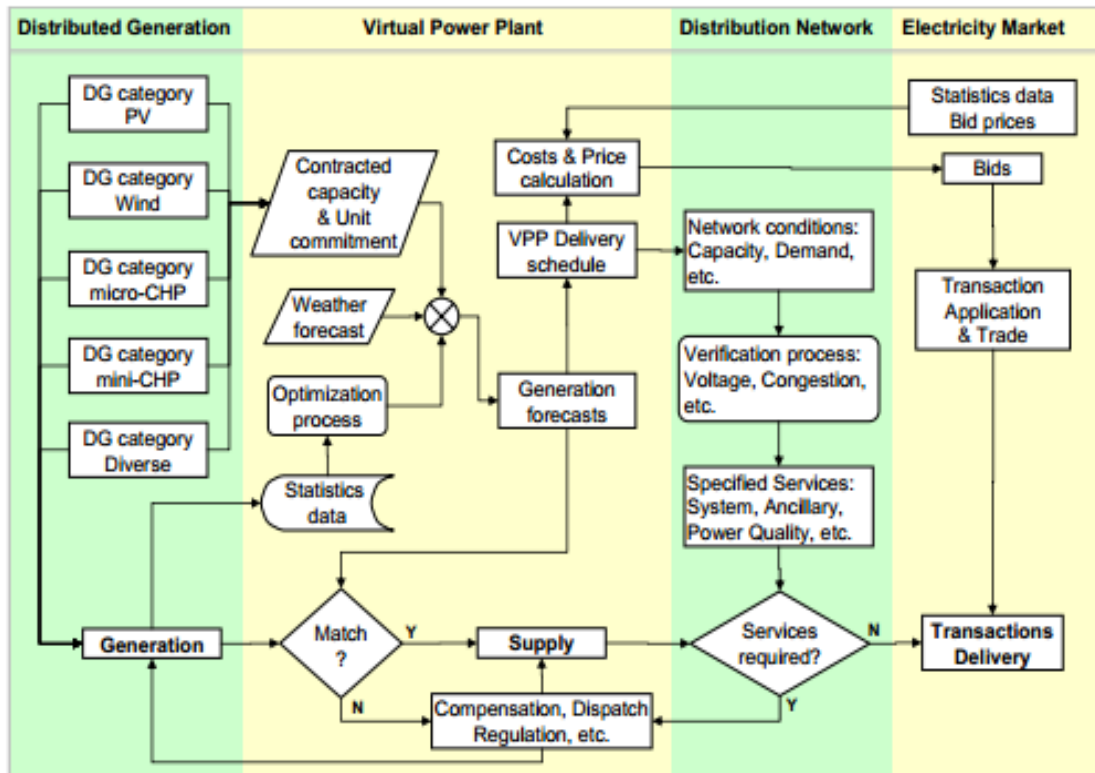
Το σταθερό μέρος της βασικής παροχής μπορεί να διατίθενται στο εμπόριο για την επαύριον ή μακροπρόθεσμη αγορά ενώ το μεταβλητό μέρος θα πρέπει να αποτελεί αντικείμενο διαπραγμάτευσης σε μικρότερα χρονικά διαστήματα. [34]

Ο πλήρης διαχωρισμός μεταξύ παραγωγής και μεταφοράς στις απελευθερωμένες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας θα οδηγήσει σε μια κατάσταση όπου ο διαχειριστής της εικονικής εγκατάστασης θα βρίσκεται δίπλα στον διαχειριστή του δικτύου. Ως εκ τούτου, ανάλογα με τους κανονιστική τους περιορισμούς της εκάστοτε χώρας, η λειτουργία των VPP θα μπορούσε να διαχωριστεί από ή να συγχωνευθεί με τη λειτουργία του δικτύου. Παρ'όλα αυτά, ο διαχειριστής της εικονικής εγκατάστασης θα την εισαγάγει στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και στις μελλοντικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.9



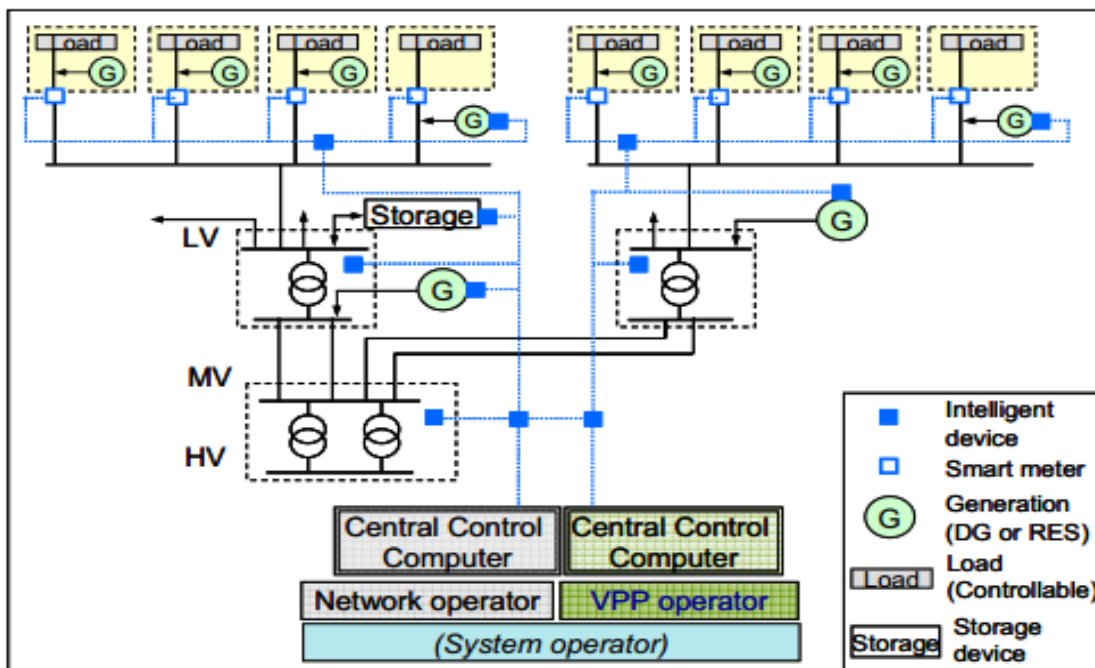
**Εικόνα 3.9 :** Οι εικονικές εγκαταστάσεις παραγωγής στις μελλοντικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας [30]

Με βάση τις σχεδιαστικές πτυχές που αναφέρονται στα προηγούμενα η εικονική εγκατάσταση παραγωγής μπορεί να λειτουργήσει σύμφωνα με το αλγόριθμο που φαίνεται στην Εικόνα 3.10. Φαίνεται ξεκάθαρα ότι υπάρχει άμεση συνεργασία και χρειάζεται συντονισμός ανάμεσα στο διαχειριστή της εικονικής εγκατάστασης και τον διαχειριστή του δικτύου διανομής.



Εικόνα 3.10 : Αλγόριθμος λειτουργίας εικονικής εγκατάστασης [30]

Επιπλέον, οι υποδομές ΤΠΕ των εικονικών εγκαταστάσεων, οι οποίες παρέχουν ενεργό έλεγχο, μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να εισαγάγουν τον ενεργό έλεγχο στο παθητικό σημερινό δίκτυο διανομής όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3.11



Εικόνα 3.11 : Υποδομές ΤΠΕ εικονικών εγκαταστάσεων και δικτύου διανομής [30]



Τέλος εάν δεν ληφθούν μέτρα, η συμμετοχή της αποκεντρωμένης παραγωγής σε ένα ρεύμα βραχυκύκλωσης μπορεί να εισάγει αρνητικές επιπτώσεις στη λειτουργία της προστασίας του δικτύου. Για να μειωθούν ή να εξαλείφουν οι επιδράσεις αυτές απαιτείται ένας σφιχτός συντονισμός μεταξύ του διαχειριστή της εικονικής εγκατάστασης και του διαχειριστή του δικτύου διανομής.

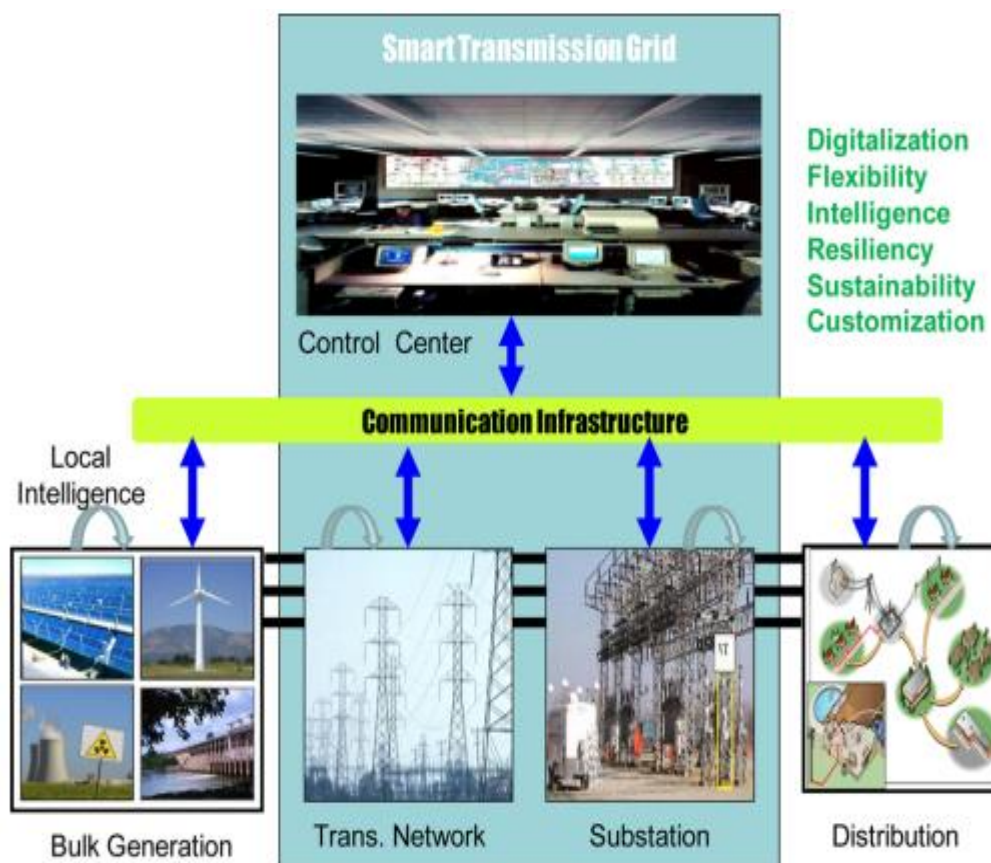
Για να αποφευχθεί μια ανερχόμενη επίδραση των βραχυκυκλωμάτων, η οποία μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς την προστασία μιας ελαττωματικής τροφοδοσίας, οι συσκευές παρακολούθησης και ελέγχου της VPP μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δράσουν ως διαφορική προστασία της τροφοδοσίας. Όταν η κατεύθυνση και το μέγεθος των ρευμάτων και στις δύο πλευρές διαφέρει μία εντολή θα πρέπει να δοθεί στην προστασία της μονάδας αποκεντρωμένης παραγωγής για να αποσυνδεθεί η μονάδα. Η ταχύτητα σύνδεσης και ο χρόνος (ανά)δράσης των έξυπνων συσκευών ΤΠΕ θα καθορίσει αν μια τέτοια επιλογή θα είναι αποτελεσματική. Τέτοιες αυτοματοποιημένες και αποκεντρωμένες λύσεις σε θέματα προστασίας θα είναι πιο εύκολο να αναπτυχθούν και να συντονιστούν με τη χρήση των υποδομών ΤΠΕ των εικονικών εγκαταστάσεων. [30]

## 3.2 Δίκτυο Μεταφοράς

### 3.2.1 Εισαγωγή

Όσο αφορά το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (Transmission Grid), παράγοντες όπως προκλήσεις και προβλήματα των υποδομών (αυξανόμενες απαιτήσεις φορτίου και γρήγορη γήρανση εξοπλισμού) και καινοτόμες τεχνολογίες (νέα υλικά, προηγμένα ηλεκτρονικά ισχύος, και οι τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών - ΤΠΕ) οδηγούν την ανάπτυξη των σύγχρονων "έξυπνων" δικτύων μεταφοράς. Ένα σύγχρονο "έξυπνο" δίκτυο μεταφοράς μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα που όσο αφορά την λειτουργία του αποτελείται από τρεις διαδραστικές "έξυπνες" συνιστώσες: τα κέντρα ελέγχου, τις γραμμές μεταφοράς ισχύος, και τους υποσταθμούς (Εικόνα 3.12).

Εν συντομία, με μια κοινή ψηφιοποιημένη πλατφόρμα, το "έξυπνα" δίκτυο μεταφοράς είναι δυνατόν να επιτρέψει μεγαλύτερη ευελιξία στον έλεγχο και στη λειτουργία, και να ενισχύσει την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα του δικτύου. [29]



**Εικόνα 3.12 :** Interaction Among Smart Grid Transmission Generation and Distribution [35]

Το υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς βρίσκεται υπό σημαντική πίεση από τις διαφοροποιημένες προκλήσεις και ανάγκες του περιβάλλοντος, των πελατών, και της αγοράς, καθώς και από τα υφιστάμενα προβλήματα υποδομής. Αυτές οι προκλήσεις και ανάγκες είναι πιο σημαντικές και επείγουσες από ποτέ και θα οδηγήσουν στην επέκταση του υπάρχοντος δικτύου μεταφοράς και θα ενισχύσουν τις λειτουργίες του με την ενσωμάτωση νέων ταχέως αναπτυσσόμενων τεχνολογιών. Για να μπορέσει το δίκτυο μεταφοράς να ανταποκριθεί στις προκλήσεις θα πρέπει να συμπεριλάβει και να αναπτύξει τα εξής "έξυπνα" χαρακτηριστικά:

- **Ψηφιοποίηση:** ψηφιακή πλατφόρμα για γρήγορη και αξιόπιστη ανίχνευση, μέτρηση, επικοινωνία, υπολογισμούς, έλεγχο, προστασία, απεικόνιση, και συντήρηση ολόκληρου του συστήματος μεταφοράς.
- **Ευελιξία:** δυνατότητα για μελλοντική ανάπτυξη με τη διείσδυση των καινοτόμων και διαφορετικών τεχνολογιών παραγωγής, πολλαπλές στρατηγικές ελέγχου για τον συντονισμό των αποκεντρωμένων συστημάτων ελέγχου μεταξύ των υποσταθμών και ελέγχου κέντρα κ.λ.π.
- **Νοημοσύνη:** ευφυείς τεχνολογίες, αυτο-ίαση (self-healing) μέσω συντονισμένης προστασίας και συστήματα ελέγχου.

- Ανθεκτικότητα: μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε πελάτες με ασφάλεια και αξιοπιστία σε περίπτωση οποιασδήποτε εξωτερικής ή εσωτερικής αναταραχής ή κινδύνους. Αυτο-ίαση, σε περίπτωση φυσικών καταστροφών, διακοπής ρεύματος, ή βλαβών των κατασκευαστικών στοιχείων του δικτύου.
- Λειφορία: επάρκεια, αποτελεσματικότητα, και δίκτυο φιλικό προς το περιβάλλον, αύξηση της ενεργειακής εξοικονομήσεις μέσω της τεχνολογίας στη λειτουργία παράδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας και του συστήματος, και μετριασμός της συμφόρησης του δικτύου.
- Προσαρμογή: στις νέες συνθήκες της αγοράς, θα απελευθερώσει περαιτέρω την αγορά ενέργειας με την αύξηση της διαφάνειας και στη βελτίωση του ανταγωνισμού για τους συμμετέχοντες στην αγορά. [29,35]

Οι απαραίτητες τεχνολογίες και ενέργειες για την επίτευξη των παραπάνω χαρακτηριστικών περιλαμβάνουν:

- Νέα υλικά και συσκευές που με την εφαρμογή τους στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας θα βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της παροχής ρεύματος με την αύξηση της δυνατότητας μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας τις απώλειες ενέργειας, και μειώνοντας το κόστος κατασκευής, προηγμένων ηλεκτρονικών ισχύος και συσκευών.
- Προηγμένα ηλεκτρονικά ισχύος και συσκευές που θα είναι σε θέση να βελτιώσουν σημαντικά την ποιότητα της τροφοδοσίας και την ευελιξία του ελέγχου της ροής ισχύος.
- Εξελιγμένοι αισθητήρες και τεχνολογίες μετρήσεων και προηγμένες τεχνολογίες οργάνων που θα αποτελέσουν την βάση για τις επικοινωνίες, τον έλεγχο, και νοημοσύνη.
- Προσαρμοσμένα δίκτυα επικοινωνίας που θα επιτρέπουν τα ανοικτά-τυποποιημένα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Έλεγχο σε πραγματικό χρόνο με βάση την γρήγορη και ακριβή ανταλλαγή πληροφοριών σε διαφορετικές πλατφόρμες θα βελτιώσει την ανθεκτικότητα του συστήματος ενισχύοντας την αξιοπιστία του συστήματος και την ασφάλειας.
- Σύνθετες μεθοδολογίες ελέγχου και χρήση υπολογιστών υψηλών επιδόσεων που θα επιτρέψει σε πραγματικό χρόνο την μοντελοποίηση και την προσομοίωση των πολύπλοκων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ωριμες ρυθμίσεις και πολιτικές για την βελτίωση της διαφάνειας, ελευθερίας και του ανταγωνισμού της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. [36]

Όπως παρατηρούμε (εκτός των άλλων τεχνολογιών) οι τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) έχουν να παίξουν καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη και τον εκσυγχρονισμό του δικτύου μεταφοράς. Παρακάτω λοιπόν θα αναλύσουμε

λεπτομερώς τις δυνατότητες και τις εφαρμογές των ΤΠΕ στα κέντρα έλεγχου, στις γραμμές μεταφοράς, και στους υποσταθμούς.

Τέλος ένας άλλος τομέας (που θα αναλύσουμε παρακάτω) που οι ΤΠΕ μπορούν να προσφέρουν είναι οι αγορές αποθέματος ισχύος (ή εφεδρικής ισχύος) οι οποίες συνδέονται άμεσα με το δίκτυο μεταφοράς.

### 3.2.2 Κέντρα Ελέγχου

Τα σύγχρονα κέντρα ελέγχου θα έχουν ως βάση τα σημερινά κέντρα ελέγχου. Με βάση λοιπόν τα υπάρχοντα κέντρα ελέγχου, τα μελλοντικά κέντρα ελέγχου με τις κατάλληλες υποδομές και χρήση των ΤΠΕ θα επιτρέπουν πολλά νέα χαρακτηριστικά, όπως δυνατότητες για την ανάλυση, τον έλεγχο/παρακολούθηση, και την απεικόνιση.[29]

Το παρόν σύστημα παρακολούθησης σε ένα κέντρο ελέγχου εξαρτάται από εκτιμητές κατάστασης, οι οποίοι βασίζονται σε δεδομένα που συλλέγονται μέσω συστημάτων SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) και απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (RTUs - Remote Terminal Units). Στα σύγχρονα κέντρα ελέγχου, οι πληροφορίες στο επίπεδο του συστήματος θα λαμβάνονται από μονάδες μέτρησης κατάστασης βασισμένες/αποτελούμενες σε μονάδες μέτρησης κυματομορφών (PMU - Phasor Measurement Units). Η μέτρηση κατάστασης με βάση τις PMU αναμένεται να είναι πιο αποτελεσματική από την παρούσα εκτίμηση της κατάστασης από την στιγμή που τα συγχρονισμένα σήματα κυματομορφών παρέχουν τις μεταβλητές κατάστασης, και ειδικότερα, γωνίες τάσης. Συγκριτικά, η παρούσα εκτίμηση κατάστασης απαιτεί επιπλέον χρόνο λειτουργίας και είναι λιγότερο ισχυρή, δεδομένου ότι τα στοιχεία που συλλέγονται από τις RTUs δεν είναι συγχρονισμένα και πρέπει να γίνει σημαντική προσπάθεια για τον έλεγχο τοπολογίας και την ανίχνευση "κακών" δεδομένων. [37]

Η παρούσα τεχνολογία απεικόνισης εμφανίζει τη διαμόρφωση/διάταξη του συστήματος με μονογραμμικά διαγράμματα τα οποία μπορούν να απεικονίσουν ποιοι ζυγοί συνδέονται με ένα συγκεκριμένο ζυγό. Ωστόσο, δεν ταιριάζουν ακριβώς με τη γεωγραφική τοποθεσία. Επιπλέον, είναι χαρακτηριστικό ότι μόνο οι ζυγοί στη ζώνη ελέγχου, μαζί με κάποιους γειτονικούς ζυγούς, εμφανίζονται στο σύστημα παρακολούθησης. Στο μέλλον, τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις καταστάσεις πρέπει να συνδυάζονται με ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών ευρείας περιοχής (GIS - Geographical Information System) για την οπτική απεικόνιση στις οθόνες του κέντρου ελέγχου. Το ευρείας περιοχής GIS καλύπτει μια ευρύτερη περιοχή, συμπεριλαμβανομένου του κέντρου ελέγχου, καθώς και όλες τις αλληλένδετες περιοχές.

Δεδομένου ότι οι μελλοντικές τεχνολογίες απεικόνισης και παρακολούθησης θα καλύπτουν ένα πολύ ευρύτερο πεδίο, η ενίσχυση της ανταλλαγής πληροφοριών είναι απαραίτητη. Η σημερινή τεχνολογία για τις επικοινωνίες μεταξύ περιοχών

περιλαμβάνει ένα μείγμα απαρχαιωμένων και τρεχουσών τεχνολογιών, όπως τηλεφωνικές γραμμές, ασύρματες τεχνολογίες, και οπτικές ίνες. Στο μέλλον, τα κανάλια επικοινωνίας αναμένεται να χρησιμοποιούν ένα δίκτυο οπτικών ινών για την επικοινωνία παρέχοντας ποιοτικές υπηρεσίες (QoS - Quality of Service). Δεν αποτελεί έκπληξη, ότι αυτό απαιτεί επίσης ένα ενιαίο πρωτόκολλο για καλύτερη επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων τομέων/περιοχών ελέγχου. [38]

Με τις μεταβλητές κατάστασης που λαμβάνονται από τις μετρήσεις κατάστασης και τα δεδομένα από το GIS, είναι επιθυμητό να εμφανίζονται τα μέτρα σταθερότητας του συστήματος σε πραγματικό χρόνο. Η παρούσα τεχνολογία συνήθως εμφανίζει το μέγεθος τάσης. Δεδομένου ότι το σύστημα πιέζεται περισσότερο πλέον και η τάση κατάρρευσης γίνεται μια επαναλαμβανόμενη απειλή, που δεν εξαρτάται απλώς και μόνο από το μέγεθος τάσης, ένας αληθινός δείκτης του περιθωρίου ευστάθειας τάσης χρειάζεται για καλύτερη παρακολούθηση. Παρομοίως, η παρούσα τεχνολογία παρακολουθεί την τοπική συχνότητα. Ωστόσο, εάν η συχνότητα και ειδικότερα η αλλαγή συχνότητας μπορεί να παρακολουθηθεί και να ανιχνευθεί, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η θέση της βλάβης, ακόμη και σε μια απομακρυσμένη θέση, μέσω της χρήσης των πιθανών τεχνολογιών ανάλυσης κύματος συχνότητας. Μόλις αυτές οι νέες τεχνολογίες παρακολούθησης εφαρμοστούν μαζί με τα δεδομένα από το GIS, τότε το περιθώριο ευστάθειας τάσης και συχνότητας κυμάτωσης μπορεί να εμφανιστεί πάνω στον πραγματικό χάρτη ευρείας περιοχής σε πραγματικό χρόνο. Αυτό θα βοηθήσει σε μεγάλο βαθμό τις επιχειρήσεις και τους διαχειριστές του δικτύου για τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων σε πραγματικό χρόνο. [38-40]

Επί του παρόντος, οι ρυθμίσεις προστασίας και ελέγχου έχουν διαμορφωθεί ως σταθερές τιμές βασισμένες σε offline μελέτες. Στο μέλλον, οι ρυθμίσεις αυτές θα πρέπει να διαμορφώνονται σε πραγματικό χρόνο με μια προληπτική και προσαρμοστική προσέγγιση για την καλύτερη αξιοποίηση της παραγωγής και της μεταφοράς όταν το σύστημα δεν είναι υπό πίεση και για την καλύτερη προστασία του συστήματος κάτω από εξαιρετικά ακραίες συνθήκες. [39]

Η παρούσα τεχνολογία δεν έχει τον επαρκή συντονισμό των συστημάτων προστασίας και ελέγχου. Τα μελλοντικά κέντρα ελέγχου πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να συντονίσουν πολλαπλές συσκευές ελέγχου που είναι καταναμημένες στο σύστημα, ώστε ο βέλτιστος συντονισμός να μπορεί να επιτευχθεί για καλύτερο έλεγχο. [39]

Τέλος, πιο εξελιγμένα εργαλεία θα πρέπει να παρέχονται από τα κέντρα ελέγχου για να διευκολύνουν την ικανότητα των διαχειριστών του συστήματος για την παρακολούθηση και την άμβλυνση της ισχύος στην αγορά. Οι αλγόριθμοι της αγοράς θα πρέπει να είναι αρκετά ισχυροί για να φιλοξενήσουν την ευμετάβλητη παραγωγή ορισμένων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ανεμογεννήτριες, με καλύτερους μηχανισμούς πρόβλεψης και μεθόδους προγραμματισμού. Οι συμμετέχοντες στην πλευρά της ζήτησης θα πρέπει να έχουν πρόσβαση στην αγορά μέσω ορισμένων επικοινωνιών, ελέγχου, και διαύλων πληροφοριών. Η διαχείριση της συμφόρησης είναι ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό που πρέπει να έχουν τα σύγχρονα κέντρα

ελέγχου. Τα κέντρα ελέγχου θα πρέπει να προβλέπουν και να προσδιορίζουν τις πιθανές συμφορήσεις στο δίκτυο και να τις ανακουφίζουν με τη βοήθεια των ευρείας περιοχής συστημάτων GIS.[40]

### 3.2.3 Γραμμές Μεταφοράς

Η εμφάνιση των νέων τεχνολογιών (π.χ. νέα υλικά, ηλεκτρονικά ισχύος, αισθητήρες, επικοινωνίας, πληροφοριών, πληροφορικής, και επεξεργασίας σημάτων) μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας, της ποιότητας ισχύος, και στην ασφάλεια και αξιοπιστία και αξιοπιστία του συστήματος, και ως εκ τούτου οδηγούν το ανάπτυξη μιας νέας αρχιτεκτονικής πλαισίου για τις γραμμές μεταφοράς ισχύος. [29]

Τα δίκτυα μεταφοράς θα πρέπει να ενσωματώσουν σε μεγάλο βαθμό προηγμένες τεχνολογίες ανίχνευσης, επεξεργασίας σήματος, και επικοινωνίας για να παρακολουθούν τις συνθήκες λειτουργίας των γραμμών μεταφοράς, τους μετασχηματιστές, τους διακόπτες ισχύος σε πραγματικό χρόνο. [29]

Ένα οικονομικά αποδοτικό σύστημα παρακολούθησης της κατάστασης των γραμμών τροφοδοσίας, βασισμένο σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, στο οποίο, κάθε μονάδα αισθητήρα έχει ενσωματωμένες προηγμένες λειτουργίες επεξεργασίας σημάτων και επικοινωνίας, είναι σε θέση να μετρά συνεχώς τις παραμέτρους της γραμμής και να παρακολουθεί την κατάσταση της γραμμής στην άμεση περιοχή που βρίσκεται ο αισθητήρας. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία και χρησιμοποίηση της γραμμής, συμπεριλαμβανομένων της μέτρησης του βέλους κρέμασης των εναέριων αγωγών, της εκτίμηση θερμοκρασίας του αγωγού, της εκτίμηση της δυναμικής θερμικής ικανότητας της γραμμής, της ανίχνευσης της βλάστησης κοντά στην γραμμή ρεύματος, της ανίχνευσης του πάγου στις γραμμές, της εκτίμησης της μηχανική αντοχής των πύργων, της πρόβλεψης βλάβης στους μονωτές και στους πύργους, του προσδιορισμού των κρίσιμων χρονικών περιορισμών της χωρητικότητας της γραμμής, και τον προσδιορισμό της θέσης βλάβης της γραμμής. [41,42]

Ένα εξελιγμένο σύστημα παρακολούθησης μετασχηματιστών είναι σε θέση να παρακολουθήσει την υγεία και την αποδοτικότητα τους, να μετρήσει διαλυμένα αέρια-σε-έλαιο, και τα συστήματα των μετασχηματιστών για την αλλαγή τάσης υπό φορτίο σε πραγματικό χρόνο. Ένα σύστημα εποπτείας διακόπτων είναι σε θέση να μετρήσει τον αριθμό των λειτουργιών από την τελευταία συντήρηση, να μετρήσει τα επίπεδα μονωτικού ελαίου ή αερίου, και την παρακολούθηση της υγείας και λειτουργίας των διακοπών κυκλώματος σε πραγματικό χρόνο.

Με βάση τις παραμέτρους και τις συνθήκες λειτουργίας των εγκαταστάσεων μεταφοράς ένα τέτοιο σύστημα, μπορεί να ανιχνεύσει αυτόματα, να αναλύσει και να απαντήσει σε διαφαινόμενα προβλήματα πριν αυτά επηρεάσουν την υπηρεσία, να αποκαταστήσει γρήγορα ελαττωματικά ή με βλάβη τμήματα του συστήματος κατά τη

διάρκεια μιας έκτακτης ανάγκης. Ως εκ τούτου, ενισχύεται η αποδοτικότητα, η αξιοπιστία και η ασφάλεια του δικτύου μεταφοράς.

Σύγχρονοι μέθοδοι συντήρησης και τεχνολογίες παρακολούθησης της κατάστασης της γραμμής επιτρέπουν την συντήρηση με βάση τις πραγματικές ανάγκες και κατάσταση του εξοπλισμού, προγράμματα πρόληψης, προγράμματα αντικατάστασης "έξυπνου" εξοπλισμού κ.λ.π. Αυτό μειώνει καταστροφικές αποτυχίες του συστήματος και το κόστος συντήρησης, και βελτιώνει τη συνολική αξιοπιστία του δικτύου μεταφοράς. [41,42]

### 3.2.4 Υποσταθμοί

Το όραμα της έξυπνης υποσταθμού βασίζεται στις υπάρχουσες ολοκληρωμένες τεχνολογίες αυτοματισμού των υποσταθμών. Αν και οι βασικές ρυθμίσεις των υποσταθμών υψηλής τάσης δεν έχουν αλλάξει πολύ τα τελευταία χρόνια, ο εξοπλισμός παρακολούθησης, μετρήσεων, και ελέγχου έχει υποστεί ριζικές αλλαγές κατά τα τελευταία χρόνια. Κύρια χαρακτηριστικά ενός σύγχρονου "έξυπνου" υποσταθμού πρέπει να περιλαμβάνουν : ψηφιοποίηση, αυτονόμηση, συντονισμό, και αυτο-ίαση. Με την υποστήριξη αυτών των χαρακτηριστικών, ο υποσταθμός μπορεί να ανταποκρίνεται γρήγορα και να παρέχει αυξημένη ασφάλεια. [29]

Σε ένα σύγχρονο "έξυπνο" υποσταθμό, όλα τα σήματα μέτρησης θα χαρακτηρίζονται χρονικά με υψηλή ακρίβεια χρησιμοποιώντας το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS). Η λειτουργία των RTU (απομακρυσμένες τερματικές μονάδες) θα πρέπει να αντικατασταθεί από τις PMU (μονάδες μέτρησης κυματομορφών) στο μέλλον. Οι παραδοσιακοί μετασχηματιστές ρεύματος (CT) και μετασχηματιστές τάσεως (PT) θα αντικατασταθούν από οπτικούς ή ηλεκτρονικούς CT και PT μετασχηματιστές των οποίων τα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν μεγάλο εύρος ζώνης, υψηλή ακρίβεια μέτρησης, και χαμηλό κόστος συντήρησης. Υπολογιστικές τεχνολογίες θα ενσωματωθούν στα κυκλώματα ανίχνευσης και μέτρησης για να μειωθεί η επιβάρυνση των επικοινωνιών. [43]

Κάθε σύγχρονος υποσταθμός θα έχει το δικό του υψηλής ταχύτητας τοπικό δίκτυο (LAN) που θα συνδέει όλες τις μονάδες μέτρησης και τις τοπικές εφαρμογές. Θα πρέπει να έχει επίσης ένα διακομιστή (server) που να συνδέεται με το υψηλότερο επίπεδο του δικτύου επικοινωνίας μέσω ενός router. Θα πρέπει να βασίζεται σε ένα εξελιγμένο δίκτυο επικοινωνίας για να βελτιωθεί σημαντικά η αξιοπιστία του ελέγχου των υποσταθμών. Με βάση τις ΤΠΕ, είναι εφικτή μία πλατφόρμα που θα παρέχει μια συμβατή διασύνδεσης για διάφορες ενσύρματες και ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας, ευέλικτη δικτύωση για ενσύρματες και ασύρματες τοπολογίες, και δίκτυο SCADA. Αν τα υπάρχοντα ενσύρματα δίκτυα πάθουν κάποια βλάβη, τότε το πανταχού παρόν δίκτυο θα αναδιαμορφώνει την λειτουργία του για να παρακάμψει τη βλάβη στον τοπικό υποσταθμό. [43]

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας ενός υποσταθμού θα πρέπει να είναι τυποποιημένο και ανοικτό. Μια καλή επιλογή είναι το πρότυπο IEC 61850 [43], το οποίο παρέχει μια ανοικτή διασύνδεση όχι μόνο μεταξύ των ευφών ηλεκτρονικών συσκευών (IED) μέσα σε έναν υποσταθμό, αλλά και μεταξύ των υποσταθμών και μεταξύ των υποσταθμών και των κέντρων ελέγχου. Αυτό βελτιώνει σημαντικά τη διαλειτουργικότητα των δικτύων επικοινωνίας.

Σε ένα σύγχρονο υποσταθμό, οι αποκεντρωμένες εφαρμογές απαιτούν ένα ισχυρό σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων, το οποίο θα διαχειρίζεται και θα διαμοιράζει όλα τα δεδομένα στον υποσταθμό και θα επικοινωνεί με άλλες μονάδες επικοινωνίας, όπως κέντρα ελέγχου και άλλους υποσταθμούς. Όλα τα στοιχεία από τις μονάδες PMU, ρελέ, συσκευές εγγραφής βλάβης, παρακολούθησης ποιότητας ρεύματος και εξοπλισμού θα πρέπει να διαχειρίζονται αποτελεσματικά και να εμφανίζονται στους διαχειριστές. Η οπτικοποίηση σε πραγματικό χρόνο δεδομένων παρέχει στους φορείς μια σαφή εικόνα της τρέχουσας κατάστασης λειτουργίας του τοπικού υποσταθμού καθώς και του δικτύου. [44]

Η εξέλιξη και πρόοδος στις σύγχρονες επικοινωνίες επιτρέπει στους απομακρυσμένους φορείς να ενημερώνονται άμεσα για τις αλλαγές κατάστασης του εξοπλισμού. Για παράδειγμα, οι υποσταθμοί θα μπορούν να παρέχουν άμεση προειδοποίηση σε εξουσιοδοτημένους χρήστες μέσω κινητών τηλεφώνων, βομβητές, για άμεση ενημέρωση. Ενώ ένα αυξανόμενο ποσό δεδομένων σχετικά με συνθήκες σφάλματος συγκεντρώνεται σε έναν υποσταθμό, μια πιο έξυπνη διαχείριση συναγερμών και σύστημα επεξεργασίας, όπως ένα έμπειρο σύστημα, θα πρέπει να αναπτυχθεί για να βρεθεί η πραγματική αιτία του σφάλματος. Αλλά αν δεν γίνει επίσκεψη στον υποσταθμό, η βλάβη μπορεί να περάσει απαρατήρητη για μεγάλα χρονικά διαστήματα. [44]

Η γρήγορη διάγνωση και πρόγνωση είναι απαραίτητες σε ένα υποσταθμό, και διάφορες τεχνολογίες έχουν παραχθεί για την επίτευξη τους. Η παρακολούθηση σε απευθείας σύνδεση της κατάστασης του εξοπλισμού, που βασίζεται σε προηγμένες τεχνολογίες αισθητήρων, παρέχει σταθερή λειτουργία και μειώνει τον χρόνο επισκευής. [44]

### **3.2.5 Απόθεμα Ισχύος**

Τα μελλοντικά φορτία (δηλαδή η ζήτηση) δεν μπορεί να προβλεφθούν στην εντέλεια, οι έξοδοι των φορτίων και της γεννήτριας μπορεί να ποικίλουν ουσιαστικά σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα, και ο μεγάλος εξοπλισμός του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αποτύχει σε κάθε δεδομένη στιγμή και χωρίς προειδοποίηση. Οι διαχειριστές των συστημάτων ενέργειας εξασφαλίζουν διαφορετικές ποσότητες και είδη αποθεμάτων ισχύος (ή αλλιώς λειτουργικών αποθεμάτων) για να αντισταθμίσουν αυτά τα χαρακτηριστικά, προκειμένου να

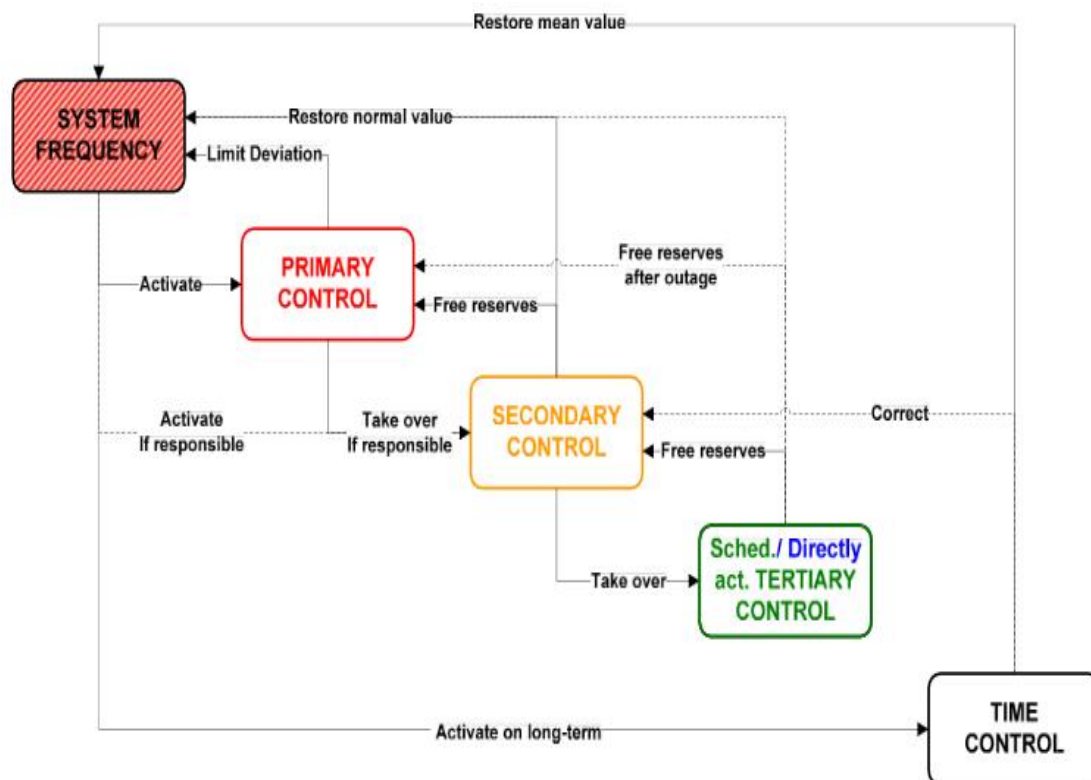


εξυπηρετήσουν τη ζήτηση αξιόπιστα και να διατηρήσουν τη συχνότητα του συστήματος.

Το δίκτυο μεταφοράς έχει επίσης αντίκτυπο στην ανάγκη για αποθέματα ισχύος, δεδομένου ότι μπορεί να παρέχει πρόσβαση σε πρόσθετες προμήθειες αποθεμάτων και να μειώσει τη συνολική ανάγκη για αποθεματικά αυξάνοντας της από κοινού διαθέσιμες πηγές αποθεματικού. [45]

Οι μεγάλες εταιρείες μεταφοράς είναι υπεύθυνες όχι μόνο για την ίδια τη μεταφορά/μετάδοση ενέργειας, αλλά για το απόθεμα ισχύος σε επίπεδο υψηλής τάσης. Οι εταιρείες αυτές δημοπρατούν το απόθεμα ισχύος για να αντισταθμίσουν ανισορροπίες εντός της υψηλής και της χαμηλής τάσης. Στην πραγματικότητα, ο στόχος είναι να εξισωθεί η παραγωγή με τη ζήτηση. Με τον τρόπο αυτό, οι διαχειριστές του δικτύου καταφεύγουν στο απόθεμα ενέργειας για να εξισορροπήσουν βραχυπρόθεσμα όλες τις αποκλίσεις του δικτύου.

Τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχουν πρωτογενές απόθεμα ισχύος αντιδρούν μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα αυτόματα και με έναν αποκεντρωμένο τρόπο στις αποκλίσεις συχνότητας αυξάνοντας ή μειώνοντας (ανάλογα με την περίπτωση) την ισχύ. Τα δευτερογενή αποθέματα ισχύος αντικαθιστούν το πρωτογενές αποθεματικό ισχύος το συντομότερο δυνατόν για να το ελευθερώσουν και να διασφαλίσουν από πιθανές νέες διαταραχές. Αυτό ενεργοποιείται αυτόματα από τον κεντρικό σταθμό ελέγχου του δικτύου και πρέπει να παραδοθεί η ισχύς μέσα σε λίγα λεπτά μέσω προεπιλεγμένων σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, τα τριτογενή αποθέματα ισχύος αντικαθιστούν τα δευτερογενή. Αυτό δεν ενεργοποιείται αυτόματα, αλλά γίνεται με αίτηση μέσω τηλεφώνου μέσα σε 7,5-15 λεπτά. (Εικόνα 3.13) [46]



**Εικόνα 3.13 :** Μηχανισμός ελέγχου και δράσεις αρχίζοντας με την συχνότητα του συστήματος [45]

Το περιγραφόμενο σύστημα τέθηκε σε εφαρμογή πολύ πριν την ύπαρξη των σύγχρονων ΤΠΕ, όταν η μετάδοση των απαραίτητων δεδομένων και σημάτων επιτεύχθηκε μέσω 'συμβατικών' τρόπων. Ως εκ τούτου, για τους περισσότερους παίκτες στην αγορά αποθέματος ισχύος, οι σύγχρονες ΤΠΕ μπορούν να παίξουν ένα σημαντικό σήμερα. Το πρωτογενές απόθεμα ισχύος παίρνει της πληροφορίες διεύθυνσης του απευθείας από τη συχνότητα του δικτύου. Το δευτερογενές απόθεμα ισχύος συχνά ενεργοποιούνται από τον έλεγχο κυματισμού στο παρελθόν, ενώ το τριτογενές απόθεμα ισχύος μέσω τηλεφώνου.

Ωστόσο η ασφαλής, εύκολη και αποτελεσματική επικοινωνία είναι σημαντική τόσο για το δευτερογενές όσο και για το τριτογενές απόθεμα ισχύος. Οι διαχειριστές του δικτύου μεταφοράς πρέπει να είναι βέβαιοι ότι τα σήματα, πληροφορίες και εντολές τους φθάνουν στους υπεύθυνους για την καθοδήγηση των αποθεμάτων ισχύος στους ενιαίους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο διαχειριστής του δικτύου μεταφοράς έχει το δικαίωμα να ζητήσει απευθείας σύνδεση με τις πληροφορίες από κάθε εμπλεκόμενη τεχνική μονάδα (δηλαδή σταθμού). Αυτά μπορεί να είναι πραγματικά δεδομένα που αφορούν την τρέχουσα ικανότητα, σχεδιαζόμενη παραγωγή ή την τρέχουσα κατάσταση της εγκατάστασης (on / off), ώστε να είναι δυνατόν να ελέγξει αν το προβλεπόμενο απόθεμα ισχύος παρέχεται πραγματικά [45].

Η επικοινωνία μεταξύ του φορέα εκμετάλλευσης του δικτύου μεταφοράς και το κεντρικό σταθμό γίνεται από τηλεφώνου και επιπλέον σε γραπτή μορφή μέσω

ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ή προαιρετικά μέσω της τεχνολογίας ελέγχου ή fax. Η επικοινωνία για την καταχώριση του προγράμματος του δικτύου πραγματοποιείται ηλεκτρονικά και σε πλεονασμό. Τα προγράμματα καταχωρηθεί μέσω FTP ή άλλης σύνδεσης internet (πρωτογενή τρόπο) ή / και σε πλεονασμό μέσω email [45].

Υπάρχουν βέβαια αρκετά περιθώρια για την αναβάθμιση της επικοινωνίας χρησιμοποιώντας ευρυζωνικές τεχνολογίες στους τομείς του δευτερογενούς και τριτογενούς αποθεματικού για την περαιτέρω αυτοματοποίηση των διαδικασιών αυτών. Οι αγορές τριτογενούς αποθεματικού αναμένεται να γίνουν πιο ανταγωνιστικές με την ενσωμάτωση μικρότερων μονάδων ενέργειας στη τριτογενή αγορά αποθέματος ισχύος. Για να χειριστούμε όλο και περισσότερους αλλά και μικρότερους πάροχους αποθεματικών ισχύος, οι ΤΠΕ είναι απαραίτητες. Για παράδειγμα θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν την αναγκαία ως τώρα τηλεφωνική κλήση και έτσι παρέχουν μια ταχύτερη και πιο αποτελεσματική κλήση του τριτογενούς αποθέματος ισχύος.

### 3.3 Δίκτυο Διανομής

#### 3.3.1 Εισαγωγή

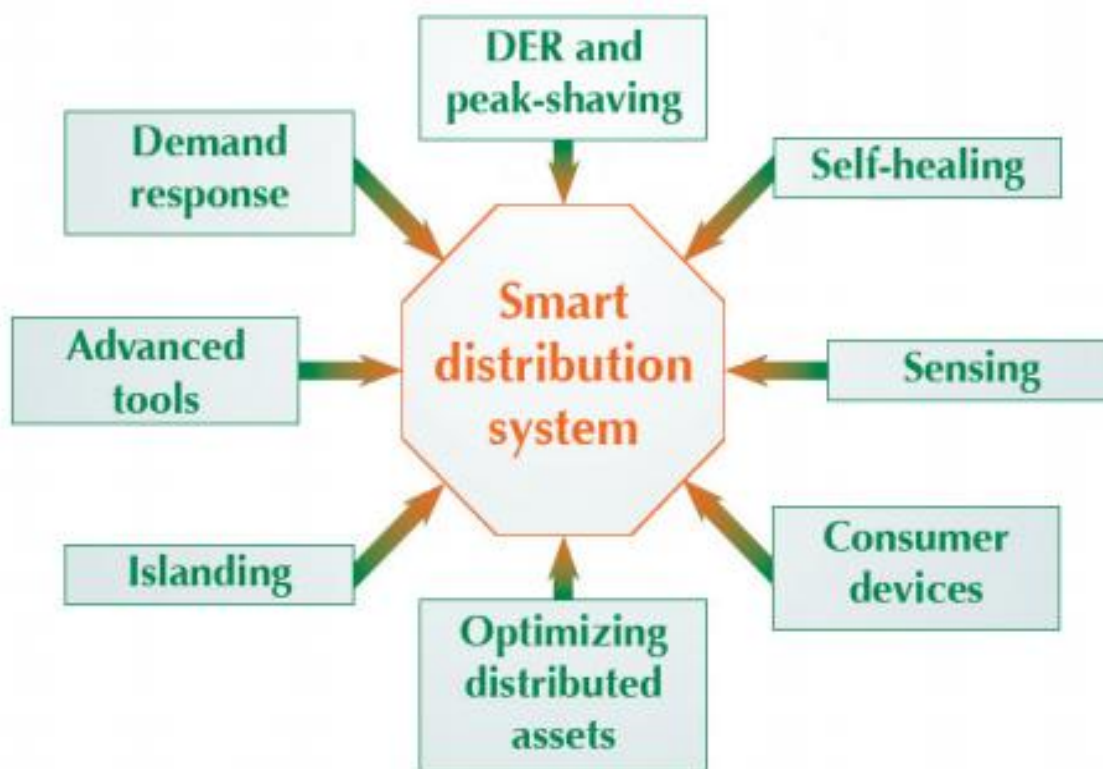
Ένα πραγματικά σύγχρονο σύστημα ενέργειας θα πρέπει να ενσωματώσει αποδοτικά της μονάδες αποκεντρωμένης παραγωγής, να βοηθήσει στην εξέλιξη και την απελευθέρωση της αγοράς και να δώσει την δυνατότητα στους πελάτες να έχουν ενεργό ρόλο και να μπορούν να ελέγξουν αποτελεσματικά την κατανάλωση τους. Το δίκτυο διανομής είναι ο τομέας που θα αναλάβει το βάρος αυτών και άρα χρειάζεται αυτοματοποίηση, ευφυΐα και βελτιστοποίηση κάτι που θα γίνει εφικτό με την χρήση των ΤΠΕ. (Οι προκλήσεις στο δίκτυο μεταφοράς είναι λιγότερο σχετικά με την ευφυΐα και την επικοινωνία-μεταφορά δεδομένων, και περισσότερο για τη διασφάλιση ότι υπάρχουν επαρκείς ποσότητες ενέργειας για να μεταφέρουμε και ότι όλα τα στοιχεία του δικτύου και ο εξοπλισμός λειτουργεί σωστά.) [13]

Τα στοιχεία, όσο αφορά τους πελάτες και την αγορά, που αποτελούν τους πυλώνες ενός σύγχρονου "έξυπνου" δικτύου διανομής είναι τα εξής:

- Πελάτες : το σύνολο των τεχνολογιών που επιτρέπουν στους καταναλωτές να παρατηρούν και να ελέγχουν την κατανάλωσή τους
- Αγορά : μια οικονομικά αποδοτική διάρθρωση της αγοράς που ενσωματώνει ΤΠΕ, τη λήψη αποφάσεων και πληροφοριών, τον έλεγχο και την τιμολόγηση, και προγράμματα διαχείρισης ζήτησης & ανταπόκρισης στην ζήτηση [20]

Στο επίπεδο λοιπόν της διανομής πρέπει να γίνουν σημαντικές αλλαγές. Το πρώτο βήμα προς την ένα σύγχρονο έξυπνο δίκτυο διανομής έχει ήδη γίνει ως ένα βαθμό και αυτό είναι η ενσωμάτωση των έξυπνων μετρητών έξυπνη. Το επόμενο βήμα

περιλαμβάνει την αποδοτική ενσωμάτωση και διαχείριση της αποκεντρωμένης παραγωγής, την εφαρμογή προγραμμάτων Διαχείρισης της Ζήτησης (DSM - Demand Side Management) και Ανταπόκρισης στη Ζήτηση (DR-Demand Response) (στην υλοποίηση των οποίων οι ΤΠΕ θα παίξουν καθοριστικό ρόλο), την ευρεία διάδοση τεχνολογιών αισθητήρων και τηλεπικοινωνιών, λειτουργίες αυτο-ίασης, αυτοματισμού, και τη συμμετοχή των καταναλωτών μέσω της ανταπόκρισης στη ζήτηση, έξυπνων συσκευών, και έξυπνων συστημάτων μέτρησης. (Εικόνα 3.14 ) [47]



**Εικόνα 3.14 :** Η φιλοσοφία ενός σύγχρονου έξυπνου δικτύου διανομής [47]

Η Διαχείριση της Ζήτησης (DSM - Demand Side Management) και η Ανταπόκριση στη Ζήτηση (DR-Demand Response) θα γίνουν ένα αναπόσπαστο τμήμα του συστήματος και της αγοράς ενέργειας. Προηγμένες υποδομές μέτρησης (AMI - Advanced Metering Infrastructure ) και άλλες τεχνολογίες θα αυξήσουν περαιτέρω τη χρήση της Ανταπόκρισης στη Ζήτηση στην καθημερινότητα και θα δώσουν νέα προνόμια στις αγορές. [48]

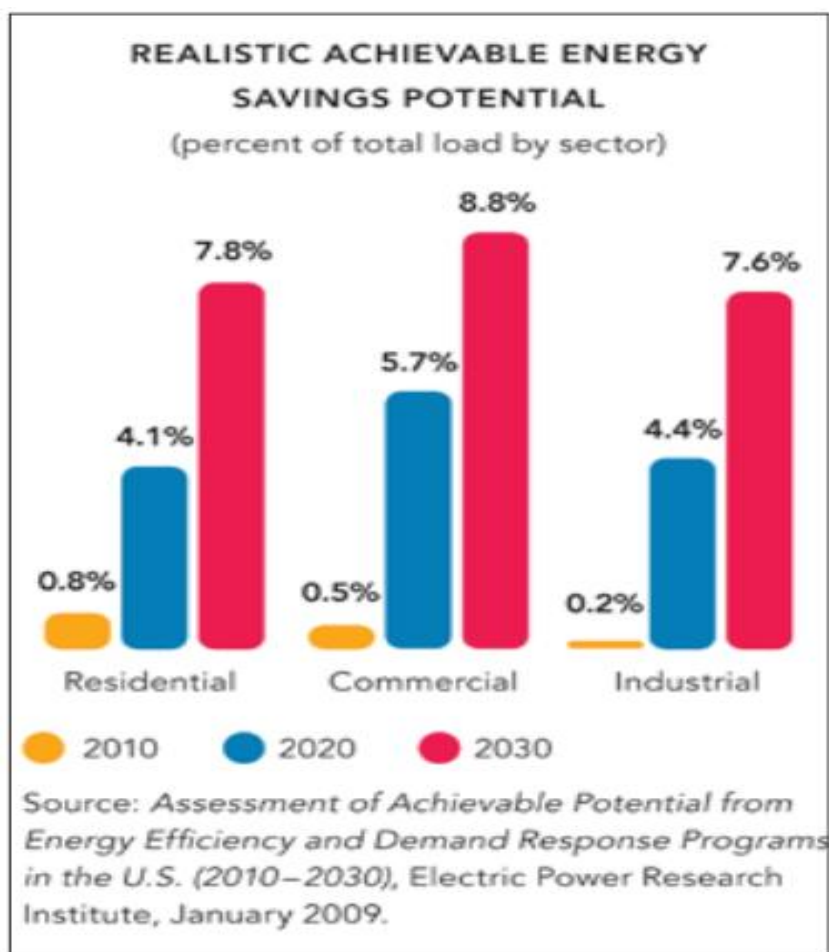
Η Ανταπόκριση στη Ζήτηση (DR-Demand Response) είναι μια σχετικά απλή ιδέα. Δίνει βοηθητικά κίνητρα στους πελάτες να μειώσουν την κατανάλωσή τους σε κρίσιμες στιγμές μεγάλης ζήτησης. Μέχρι σήμερα, οι περισσότερες προσπάθειες Ανταπόκρισης στη Ζήτηση στη Βόρεια Αμερική έχουν συντονιστεί με τους μεγαλύτερους χρήστες ενέργειας, δηλαδή εμπορικούς και βιομηχανικούς χρήστες. Τώρα, με την πρόοδο των επικοινωνιών και της τεχνολογίας (ΤΠΕ), οι οικιακοί χρήστες θα έχουν όλο και περισσότερο τη δυνατότητα να εγγραφούν σε προγράμματα ανταπόκρισης ζήτησης, δίνοντας τη δυνατότητα σε ένα σημαντικό μέρος του

συνολικό συστήματος να αξιοποιήσει αυτά τα προγράμματα. πολλοί παρατηρητές του κλάδου έχει εκφράσει ότι κάθε γνήσιο όραμα ενός ολοκληρωμένου "έξυπνου" συστήματος ενέργειας είναι ατελές χωρίς περιλαμβάνονται προγράμματα Ανταπόκρισης στη Ζήτηση και Διαχείρισης της Ζήτησης.

Αναμένεται ότι η Ανταπόκριση στη Ζήτηση θα είναι από τις πρώτες εφαρμογές ενός σύγχρονου συστήματος ενέργειας και διανομής που θα μπορέσει να έχει σημαντική και άμεση διείσδυση στην αγορά ενέργειας. Η αγορά της ανταπόκρισης στη ζήτηση αναφέρεται πλέον ως ένα ορυχείο χρυσού και αναλυτές του κλάδου έχουν ζητήσει για την αγορά αυτή να τετραπλασιαστεί κατά τα επόμενα πέντε χρόνια. Είναι εύκολο να καταλάβει κανείς το γιατί: Η συνεχιζόμενη ανάπτυξη των περίπου 40 εκατομμυρίων έξυπνων μετρητών στις ΗΠΑ θα ανοίξει την πόρτα για τα προγράμματα Ανταπόκρισης στη Ζήτηση για να προσφερθούν τέτοιες υπηρεσίες σε εκατομμύρια οικιακούς χρήστες ενέργειας για πρώτη φορά. Η ανάπτυξη και η εγκατάσταση έξυπνων μετρητών και άλλων ΤΠΕ θα επιταχύνουν το ρυθμό ανάπτυξης και αποδοχής των προγραμμάτων Ανταπόκριση στη Ζήτηση, καθώς η αναγκαία ραχοκοκαλιά επικοινωνίας μεταξύ των τελικών χρηστών, των διαχειριστών του δικτύου διανομής και κατ'επέκταση των παραγωγών θα είναι πλέον γεγονός.

Ανταπόκριση στη ζήτηση είναι μια επικερδής λύση και για επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας και τους πελάτες/καταναλωτές. Σε περιόδους αιχμής της ζήτησης ενέργειας, η ανταπόκριση στη ζήτηση είναι φθηνότερη, πιο γρήγορη, πιο καθαρή και πιο αξιόπιστη λύση από την προσθήκη ενός ακόμα σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για να καλύψει την ζήτηση. Ενώ οι ανησυχίες για το περιβάλλον αυξάνονται στις ΗΠΑ και την ΕΕ, το γεγονός ότι τόσο οι παραγωγοί όσο και ο καταναλωτής θα έχουν χρηματικό όφελος θα είναι η βασική κινητήρια δύναμη για την μαζική υιοθέτηση των προγραμμάτων Ανταπόκρισης στη Ζήτηση. [13,48]

Στην Εικόνα 3.15 φαίνεται ξεκάθαρα η εφικτή εξοικονόμηση ενέργειας (ειδικά για τα επόμενα χρόνια μέσω της ενσωμάτωσης και χρήσης προγραμμάτων Ανταπόκρισης στη Ζήτηση).



Εικόνα 3.15 : Ανταπόκριση στη Ζήτηση - εφικτή εξοικονόμηση ενέργειας [13]

### 3.3.2 ΤΠΕ Για Το Δίκτυο Διανομής

Στα σύγχρονα δίκτυα διανομής ενέργειας, παραγωγή και της ζήτηση θα πρέπει πάντα να ταυτίζονται σε πραγματικό χρόνο. Οι ΤΠΕ θα παίξουν καθοριστικό ρόλο. Αυτό σημαίνει ότι το σύγχρονο δίκτυο είναι ένα δίκτυο διανομής σε πραγματικό χρόνο, και έτσι χρειάζεται ακριβή συγχρονισμό μεταξύ συσκευών της. Σύγχρονες υποδομές στο δίκτυο διανομής προσφέρουν πολλές λειτουργίες, όπως έλεγχο προστασίας, ανίχνευση βλαβών (αντίστοιχα με το δίκτυο μεταφοράς), την εξισορρόπηση φορτίου, μετάδοση & διαχείριση πληροφοριών και τον προγραμματισμό μέσω συγχρονισμού.[20]

Η διαχείριση των δεδομένων και ο έλεγχος έχουν μεγάλη σημασία για το δίκτυο διανομής. Επί του παρόντος, στα κέντρα ελέγχου είναι διαθέσιμα ελάχιστα λειτουργικά δεδομένα της κατάστασης του δικτύου διανομής και αναμένεται ότι η ποσότητα των δεδομένων αυτών να αυξηθεί δραματικά στο εγγύς μέλλον. Για να αποκτήσει και να είναι σε θέση να επεξεργαστεί όλα αυτά τα μελλοντικά δεδομένα το δίκτυο διανομής πρέπει να είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες, συστήματα SCADA και τις δυνατότητες να μεταφέρει τα στοιχεία μετρήσεων σε συστήματα ΤΠΕ. Στο

μέλλον, τα κανάλια επικοινωνίας των δικτύων διανομής θα πρέπει επίσης να ενσωματωθούν σε συστήματα προστασίας τα οποία καθιστούν δυνατά τα ευφυή συστήματα προστασίας. Με τη βοήθεια των περισσότερων διαθέσιμων δεδομένων, το έξυπνο σύστημα προστασίας θα μπορεί να αποκτήσει ένα πιο γρήγορο και πιο επιλεκτικό τρόπο αντιμετώπισης πιθανών βλαβών, και θα βοηθήσει σημαντικά στην ασφάλεια για το δίκτυο ενσωμάτωση τη αποκεντρωμένης παραγωγής.[49]

Πλέον οι σύγχρονες τεχνολογίες δίνουν τεράστιες δυνατότητες για τη προστασία και τη αυτοματοποίηση του συστήματος διανομής και την ασφάλεια και αυτο-ίαση. Η προστασία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι πού σημαντική, προκειμένου να επιτευχθεί η συνέχεια, η αξιοπιστία, και η ασφάλεια του εφοδιασμού. Τα συστήματα προστασίας ασχολούνται με την ανίχνευση και εκκαθάριση ανωμαλιών του δικτύου, όπως βλάβες και υπερφορτώσεις. Η υψηλή διεύθυνση της αποκεντρωμένης παραγωγής μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τα υφιστάμενα συστήματα προστασίας. Πρόσφατη δραστηριότητα σε θέματα προστασίας (για τον αυτοματισμό της) φαίνεται να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη των συσκευών που βασίζονται σε μικροεπεξεργαστή και ονομάζονται ευφυής ηλεκτρονικές συσκευές (IED). Τέτοιες συσκευές μπορεί να είναι έξυπνοι διακόπτες διανομής ή ολοκληρωμένες λύσεις για υποσταθμούς. Το πρότυπο IEC 61850 (Δίκτυα Επικοινωνιών και Συστήματα σε Υποσταθμούς) παρέχει έγκυρες πληροφορίες σχετικά με το σχεδιασμό του αυτοματισμού υποσταθμού. [59]

Ένα σύστημα προστασίας μπορεί να βασίζεται σε ένα κεντρικό υπολογιστή στο κεντρικό υποσταθμό και τα απαραίτητα δεδομένα να λαμβάνονται μέσω διαύλων επικοινωνίας. Αυτά τα κανάλια επικοινωνίας χρησιμοποιούνται επίσης για να σταλθούν τα κατάλληλα σήματα στους διακόπτες κυκλώματος. Τα απαραίτητα δεδομένα βασίζονται σε τοπικές μετρήσεις ρεύματος ή τάσεως και μετά από επικοινωνία με τους γύρω παράγοντες οι αποφάσεις λαμβάνονται από τους τοπικούς παράγοντες. Ο στόχος του συστήματος προστασίας είναι να περιορίσει το αποσυνδεδεμένο τμήμα του δικτύου διανομής και να βελτιώσει τη διαθεσιμότητα της αποκεντρωμένης παραγωγής μετά από μια διαταραχή. Οι ΤΠΕ λοιπόν θα πρέπει να αξιοποιηθούν για να έχουμε γρήγορη και αξιόπιστη επικοινωνία. Κατά συνέπεια, διαφορετικά κανάλια επικοινωνίας όπως το ραδιόφωνο, οπτικές ίνες, φορέα γραμμή τροφοδοσίας, τα καλώδια τηλεπικοινωνιών, ασύρματες λύσεις, το διαδίκτυο θα πρέπει να εφαρμόζονται και να αξιοποιούνται εντός του δικτύου. [49]

Τα συστήματα αυτο-ίασης είναι απαραίτητα για το δίκτυο διανομής, καθώς η πολυπλοκότητα και οι αλληλεπιδράσεις των διαφόρων παραγόντων της αγοράς αυξάνουν σημαντικά το κίνδυνο για βλάβες μεγάλης κλίμακας. Μια σημαντική συνιστώσα της αυτο-ίασης και παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο του δικτύου διανομής είναι η ευρεία ανάπτυξη των έξυπνων αισθητήρων και έξυπνων μετρητών. Το επίπεδο τάσης στο οποίο θα αναπτυχθούν οι έξυπνοι αισθητήρες και μετρητές θα επηρεάσει τους τύπους των πληροφοριών που θα μπορούν να στέλλουν στο σύστημα: την κατεύθυνση και τα ποσά της ροής της ενέργειας, τις θέσεις και τα πρότυπα χρήσης των αποκεντρωμένων μονάδων παραγωγής, και τις υπάρχουσες ρυθμίσεις

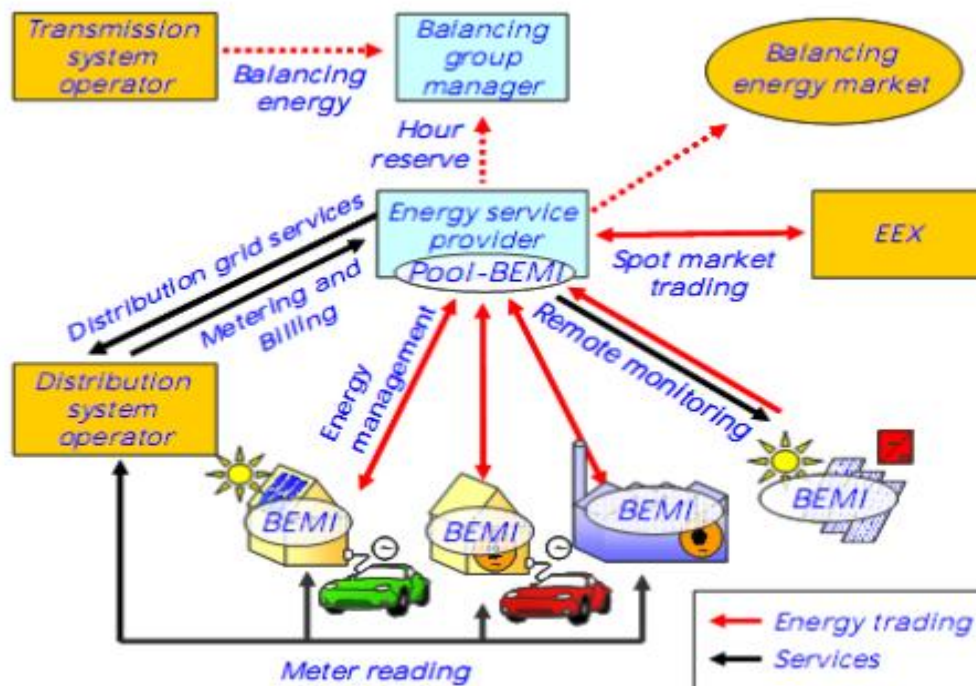
προστασίας με βάση την σύνθετη αντίσταση του συστήματος. Υπάρχουν πολλοί αισθητήρες και μετρητές που χρησιμοποιούνται σε επίπεδο μεταφοράς και που ακόμη δεν έχουν διεισδύσει στο επίπεδο της διανομής. Ένα έξυπνο σύστημα αυτο-ίασης θα πρέπει να βασίζεται σε ένα δίκτυο παρακολούθησης ευρείας περιοχής που περιλαμβάνει μία μεγάλη ποικιλία από αισθητήρες, όπως μονάδες μέτρησης κυματομορφών (PMU - Phasor Measurement Units) με συγχρονισμό μεταξύ τους μέσω της παγκόσμια υπηρεσίας προσδιορισμού θέσης (GPS) [47,59]

Σημαντικό λοιπόν είναι το ζήτημα της σωστής και αποδοτικής ενσωμάτωσης της αποκεντρωμένης παραγωγής στο δίκτυο διανομής για τα οποία χρειάζονται εξελιγμένες τεχνολογίες πληροφοριών και μοντέλα πρόβλεψης καθώς και συνεχείς συντονισμός μεταξύ του διαχειριστή τους και του διαχειριστή του δικτύου διανομής (όπως έχουμε αναφέρει και στο 3.1.3). Οι ΤΠΕ λοιπόν θα παίξουν καθοριστικό ρόλο σε αυτό καθώς ένα σύγχρονο δίκτυο διανομής θα περιλαμβάνει ενσωμάτωση στο δίκτυο των αποκεντρωμένων ενεργειακών μονάδων, λειτουργίες αυτο-ίασης, αυτοματισμού, και τη συμμετοχή των καταναλωτών μέσω της διαχείρισης της ζήτησης/ανταπόκρισης στη ζήτηση (όπως θα αναλύσουμε στο 3.3.3), έξυπνες συσκευές, και έξυπνα συστήματα μέτρησης. [47]

Η νέα αγορά με τα νέα αυτά δεδομένα (καθώς και την ενσωμάτωση προγραμμάτων Διαχείρισης Ζήτησης και Ανταπόκριση στη Ζήτηση για τα οποία θα μιλήσουμε στο επόμενο υποκεφάλαιο 3.3.3) θα πρέπει να υποστηριχθεί μέσω συστημάτων διαχείρισης που θα λαμβάνουν υπόψη αυτά τα νέα στοιχεία.

Ένα παράδειγμα μιας στρατηγικής προσέγγισης για ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης της ενέργειας είναι το σύστημα BEMI Σύστημα Αμφίδρομης Διαχείρισης Ενέργειας (BEMI - Bidirectional Energy Management System). Το BEMI είναι ένα σύστημα διαχείρισης της ενέργειας σχεδιασμένο για εγκατάσταση σε σύνδεση με το επίπεδο χαμηλής τάσης του δικτύου. Το κύριο καθήκον του είναι να βελτιστοποιήσει τις αποκεντρωμένες μονάδες παραγωγής ενέργειας που συνδέονται απευθείας με το δίκτυο διανομής. Αυτή η βελτιστοποίηση γίνεται ανάλογα με την κατανάλωση και την τιμολόγηση της παραγωγή. Το σύστημα BEMI επιβλέπει τη σύνδεση/αποσύνδεση και λειτουργία των μονάδων αποκεντρωμένης παραγωγής, και παρέχει επίσης στους πελάτες του δικτύου πλήρεις πληροφορίες σχετικά με τις διαφορετικές τιμές, το κόστος της ενέργειας και χρονοδιαγράμματα. Το σύστημα BEMI φαίνεται στην Εικόνα 3.16. [50]





**Εικόνα 3.16 :** Το σύστημα BEMΙ στην απελευθερωμένη αγορά ενέργειας [50]

Ένα άλλο έργο που αξίζει να αναφερθεί είναι το SmartGen, ένα Ιταλικό έργο που καθοδηγείται από διάφορες βιομηχανίες και δύο διαφορετικά ερευνητικά ιδρύματα (Πανεπιστήμιο της Μπολόνια και Γένοβα). Το έργο στοχεύει στην εξεύρεση και την εφαρμογή λύσεων για τη διαχείριση ενός σύγχρονου συστήματος ενέργειας. Οι συντάκτες προτείνουν ένα Σύστημα Διαχείρισης Διανομής (DMS - Distribution Management System), που θα είναι σε θέση να ελέγξει και να βελτιστοποιήσει τις ροές ηλεκτρικής ενέργειας, την αποκεντρωμένη παραγωγή και την εξισορρόπηση φορτίου. Η λειτουργική βάση ενός DMS μπορεί να διαιρεθεί σε:

- SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)
- Σταθμούς Ελέγχου

Το σύστημα SCADA παρέχει ειδική παρακολούθηση και λειτουργίες ελέγχου σε πραγματικό χρόνο, με έναν αυτοματοποιημένο τρόπο, ενώ οι σταθμοί ελέγχου επιτρέπουν στους χειριστές να αλληλεπιδρούν με τη συστήματος. [20]

### 3.3.3 Ανταπόκριση Στην Ζήτηση

Ένας κρίσιμος τομέας εφαρμογής των ΤΠΕ στα δίκτυα διανομής είναι η προώθηση προγραμμάτων για την Διαχείριση της Ζήτησης (DSM - Demand Side Management) και την Ανταπόκριση στη Ζήτηση (DR-Demand Response). Είναι ζωτικής σημασίας για τους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου διανομής να γνωρίζουν το πραγματικό

φορτίο του δικτύου και να μπορούν να το αναδιαμορφώσουν αν τεθεί σε κίνδυνο η σταθερότητα του δικτύου.

Η έννοια της Διαχείρισης της Ζήτησης (DSM - Demand Side Management) ορίστηκε από τον Gellings το 1980 ως ο σχεδιασμός και η υλοποίηση δραστηριοτήτων που βασίζονται στη βιώσιμη ανάπτυξη, στη προώθηση της ορθολογικής χρήσης της ενέργειας και την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης για τη μείωση των επιπτώσεων που σχετίζονται με την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Ίσως ο πιο ευρέως αποδεκτός ορισμός της Διαχείρισης της Ζήτησης είναι ο εξής: "Η Διαχείριση της Ζήτησης (DSM - Demand Side Management) είναι ο σχεδιασμός, η υλοποίηση και η παρακολούθηση των δραστηριοτήτων αυτών που είναι σχεδιασμένες για να επηρεάσουν τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε επίπεδο πελάτη με τρόπους που θα οδηγήσουν στις επιθυμητές αλλαγές στο προφίλ του φορτίου, δηλαδή, οι αλλαγές στο χρονικό μοτίβο και στο μέγεθος του φορτίου. Τα προγράμματα που εμπίπτουν κάτω από την ομπρέλα της Διαχείρισης της Ζήτησης περιλαμβάνουν: διαχείριση φορτίου, νέες χρήσεις, στρατηγική προστασία, ηλεκτροδότηση, την παραγωγή ενέργειας των πελατών, καθώς και προσαρμογές σε μερίδιο της αγοράς".

Αυτός ο ορισμός της Διαχείρισης της Ζήτησης που επικεντρώνεται πάνω στο προφίλ του φορτίου συνεπάγεται μια διαδικασία αξιολόγησης που εξετάζει την αξία των προγραμμάτων ανάλογα. Τα κίνητρα για πιο αποτελεσματική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να είναι ανησυχίες γενικού συμφέροντος:

- Εθνική οικονομία: μείωση των εισαγωγών πρωτογενούς ενέργειας
- Γενικός Πληθυσμός: Μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της υποβάθμισης του περιβάλλοντος, διατήρηση των ορυκτών πόρων και μεγιστοποίηση της ευημερίας των καταναλωτών
- Πάροχος: Αποφυγή ή αναβολή επενδυτικών αναγκών
- Prosumer (συμπααραγωγός καταναλωτής): συμπαραγωγή ενέργειας, να προκαλέσει μια πιο ορθολογική συμπεριφορά των καταναλωτών στη χρήση της ενέργειας και κατά συνέπεια, τη μείωση του κόστους με παράλληλη βελτίωση του τρόπου ζωής.

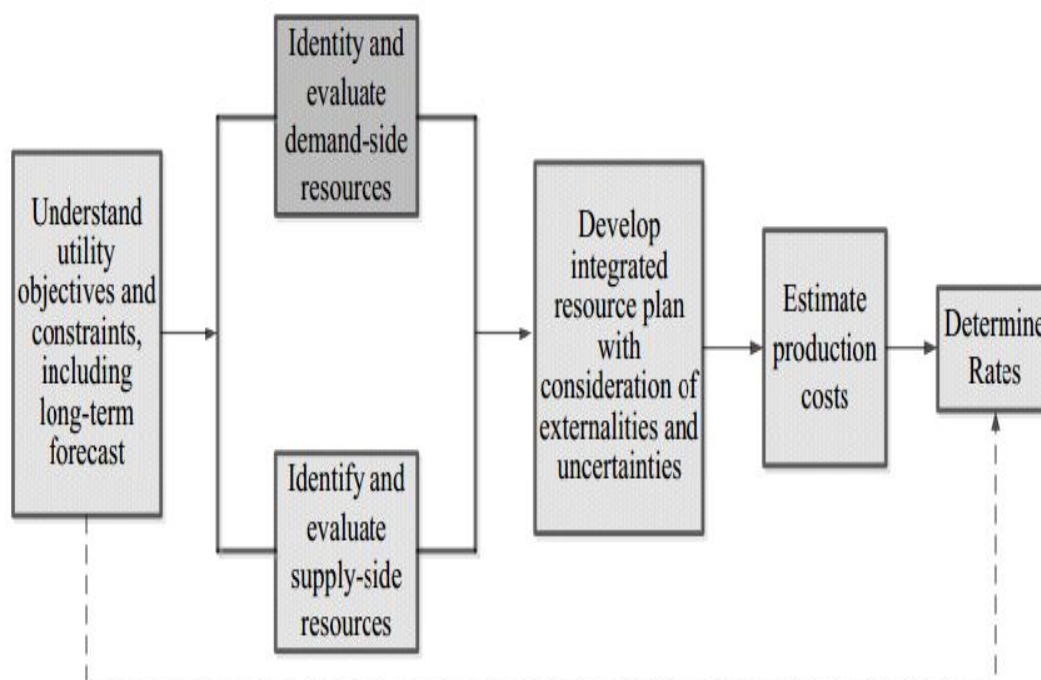
Σε γενικές γραμμές, η Διαχείριση της Ζήτησης περιλαμβάνει τις ακόλουθες κρίσιμες συνιστώσες του ενεργειακού σχεδιασμού :

- Η διαχείριση της ζήτησης από την πλευρά της θα επηρεάσει τη χρήση του πελάτη. Κάθε προτεινόμενο πρόγραμμα με στόχο να επηρεάσει την χρήση της ενέργειας του πελάτη αυτής θεωρείται διαχείριση της ζήτησης.
- Η διαχείριση της ζήτησης χρειάζεται να συνειδητοποιήσει ορισμένους στόχους. Για να δημιουργηθεί μία επιθυμητή αλλαγή στο προφίλ του φορτίου/ζήτηση το

πρόγραμμα διαχείριση της ζήτησης πρέπει να προωθήσει την επιτυχία ορισμένων στόχων, δηλαδή, θα πρέπει να οδηγήσει σε μείωση των μέσων τιμών, να σημειωθεί πρόοδος στην ικανοποίηση του πελάτη, να επιτευχθούν στόχοι αξιοπιστία, κ.λπ.

- Η διαχείριση της ζήτησης θα πρέπει να αξιολογηθεί σε σχέση με της μη-ζήτησης επιλογές διαχείρισης. Σε αυτό το στάδιο της αξιολόγησης, η διαχείριση της ζήτησης γίνεται μέρος της ολοκληρωμένης διαδικασίας σχεδιασμού των πόρων.
- Η διαχείριση της ζήτησης προσδιορίζει το πώς οι πελάτες θα ανταποκριθούν. Έτσι, η διαχείριση της ζήτησης περιλαμβάνει μια διαδικασία που αναγνωρίζει πως οι πελάτες θα ανταποκριθούν και όχι το πώς θα πρέπει να ανταποκριθούν.
- Η αξία της διαχείρισης της ζήτησης επηρεάζεται από το προφίλ του φορτίου.

Η λειτουργία ενός προγράμματος Διαχείρισης της Ζήτησης (DSM - Demand Side Management) φαίνεται στην Εικόνα 3.17. [51]



**Εικόνα 3.17 :** Πρόγραμμα Διαχείρισης της Ζήτησης [51]

Ανταπόκριση στη Ζήτηση (DR-Demand Response) είναι μια συγκεκριμένη κατάσταση / υποκατηγορία της Διαχείρισης της Ζήτησης. Ανταπόκριση στη Ζήτηση είναι η ικανότητα του καταναλωτή να αντιδράσει "αυτομάτως" στις τιμές ανάλογα με το χρόνο, για να μειώσει ή να αλλάξει την κατανάλωση του.

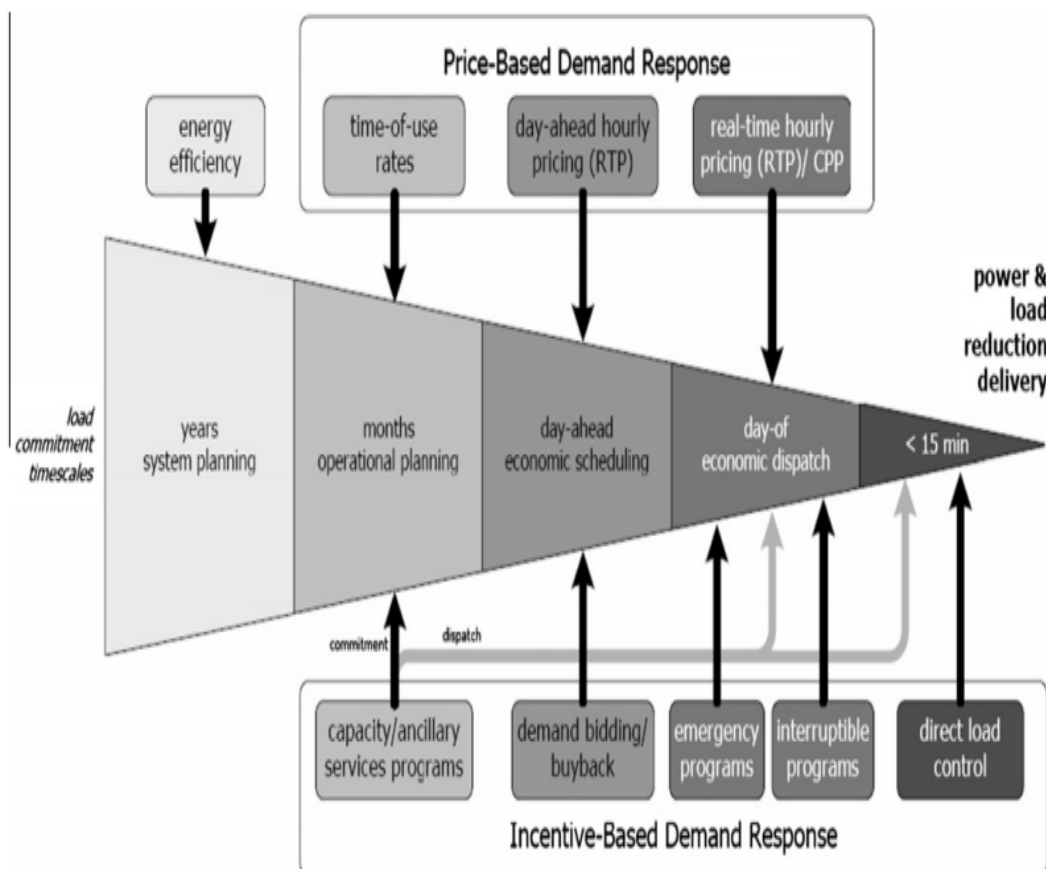
Η Ανταπόκριση στη Ζήτηση εμφανίζεται φυσικά σε περισσότερες αγορές, διότι οι προμηθευτές έχουν την ευελιξία να αυξήσουν ή να μειώσουν τις τιμές βασιζόμενοι σε

μια ποικιλία παραγόντων της αγοράς. Οι καταναλωτές ανταποκρίνονται σε αυτές τις τιμές με προσαρμογή της κατανάλωσης τους ή ψάχνουν για εναλλακτικές συσκευές με πιο αποδοτική κατανάλωση ενέργειας. [52]

Με τα προγράμματα Ανταπόκρισης στη Ζήτηση είναι δυνατόν να κατευθύνουμε άμεσα ή έμμεσα τη μείωση της κατανάλωσης σε κρίσιμες καταστάσεις, σε σύντομο χρονικό διάστημα. Δηλαδή η Ανταπόκρισης στη Ζήτηση είναι η μείωση χρήσης ενέργειας του πελάτη σε περιόδους αιχμής, προκειμένου να βοηθήσει στην αντιμετώπιση της αξιοπιστίας του συστήματος, η αντανάκλαση των συνθηκών της αγοράς και τιμολόγησης, και η υποστήριξη των υποδομών βελτιστοποίησης. Στο παρελθόν, το ηλεκτρικό σύστημα είχε σχεδιαστεί και λειτουργούσε υπό την προϋπόθεση ότι το σύστημα τροφοδοσίας έπρεπε να ικανοποιεί όλους τους πελάτες όσο αφορά τη χρήση της ενέργειας, και ότι δεν είναι δυνατόν να ελεγχθεί η ζήτηση. Ωστόσο, η υπόθεση αυτή έχει αρχίσει να αλλάζει λόγω της δημιουργίας ευκαιριών για τους πελάτες να διαχειρίζονται την ενεργειακή χρήση τους σε συνάρτηση με τις ενδείξεις (τιμές ή τις συμβάσεις του φορτίου).

Η ιδέα πίσω από την Ανταπόκριση στη Ζήτηση είναι ότι αν η οριακή τιμή του φορτίου είναι υψηλότερη από την ουσιαστική αξία που ένας καταναλωτής παίρνει από τις υπηρεσίες που απορρέουν από την ηλεκτρική ενέργεια, τότε ο καταναλωτής θα ήταν πρόθυμος να τροποποιήσει την κατανάλωση του, είτε πληρώνοντας τη τιμή αιχμής ή ελαφρώς λιγότερο από αυτή. Ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί να αποκτήσει οικονομικό όφελος πληρώνοντας έναν πελάτη για να μειώσει τη κατανάλωση του, αντί να πληρώσει ένα παραγωγό ενέργειας για να παράγει αρκετά περισσότερο, διότι σε περιόδους αιχμής, το κόστος παραγωγής μπορεί να είναι πολύ υψηλό. [52]

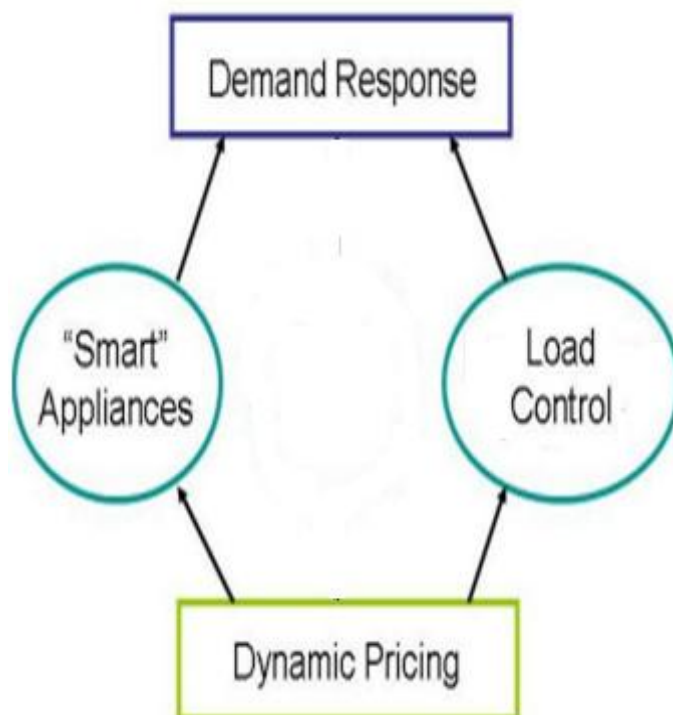
Διάφορα προγράμματα Ανταπόκρισης Ζήτησης (DR) που βασίζονται στις τιμές και στην ανάλυση των τάσεων της αγοράς έχουν αναπτυχθεί στο παρελθόν. Μία επισκόπηση του σχεδιασμού αυτών των προγραμμάτων σύμφωνα με τα χρονικά όρια της επιμέρους εφαρμογής τους στο σύστημα δίνεται στην Εικόνα 3.18. [53]



**Εικόνα 3.18:** Ο ρόλος της Ανταπόκρισης Ζήτησης (DR) στο σχεδιασμό και την λειτουργία ενός ηλεκτρικού συστήματος ενέργειας [53]

Η Ανταπόκριση στη Ζήτηση είναι η μείωση χρήσης ενέργειας του πελάτη σε περιόδους αιχμής, προκειμένου να βοηθήσει στην αντιμετώπιση της αξιοπιστίας του συστήματος, η αντανάκλαση των συνθηκών της αγοράς και τιμολόγησης, και η υποστήριξη των υποδομών βελτιστοποίησης. Υπάρχουν πολλές "έξυπνες" λειτουργίες που επιτρέπουν στους καταναλωτές να συμμετέχουν ενεργά στην ανταπόκριση ζήτησης, όπως η δυναμική τιμολόγηση, και ο έλεγχος του φορτίου. Διαφορετικές επιλογές για δυναμική τιμολόγηση περιλαμβάνουν τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο, τιμολόγηση με βάση τη χρονική στιγμή χρήσης, και την οριακή τιμή αιχμής κ.λ.π. [53]

Μείωση αιχμής θα μπορούσε να υλοποιηθεί βασισμένη στη δυναμική τιμολόγηση και θα μπορούσε να είναι εφικτή μέσω «έξυπνων» συσκευών ΤΠΕ, και ελέγχου φορτίου όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.19. [47]



Εικόνα 3.19 [47]

Προγράμματα βασισμένα στις τιμές (price based) κυμαίνονται μεταξύ μηνιαίων και ημερήσιων χρονικών περιόδων. Αυτό σημαίνει, για παράδειγμα, ότι οι χρεώσεις (tariffs) που θα λαμβάνουν υπόψη τις καθημερινές ή εποχιακές διακυμάνσεις του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να καθοριστούν μήνες προτού τεθούν σε ισχύ. Για παράδειγμα, ο Ιταλός προμηθευτής ENEL έχει προσφέρει τέτοιες υπηρεσίες.

Σε αντίθεση, η τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο (RTP - Real Time Pricing) συνεπάγεται την κοινοποίηση των χρεώσεων/τιμολογίων την επόμενη μέρα ή ακόμα και την ημέρα της ζήτησης, έτσι ώστε οι πελάτες να μπορούν να προσαρμόσουν ανάλογα τη συμπεριφορά τους. Οι τιμολογήσεις στη συνέχεια βασίζονται στις άμεσες (spot) τιμές της αγοράς ή στο οριακό κόστος της απόκτησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Το οικονομικό αποτέλεσμα των εν λόγω καθεστώτων τιμολόγησης είναι μια πιο ελαστική καμπύλη ζήτησης, γιατί δίνονται τα πραγματικά σήματα τιμών (παραγωγής) στους πελάτες. Η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας, στη συνέχεια, υποδηλώνει πιθανές ελλείψεις ή τη σχετικά εύκολη διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι καταναλωτές αναμένεται να μετατοπίσουν τουλάχιστον μερική από την ζήτηση τους από τις ώρες αιχμής φορτίου (Peak Load) σε ώρες βασικού φορτίου (Base Load), έτσι ώστε η καμπύλη φορτίου να οριζοντιώνεται. Η εμπειρία δείχνει ότι η τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο RTP με εφαρμογή κρίσιμων τιμών αιχμής (CPP) μπορεί πραγματικά να βοηθήσει τους πελάτες να εξοικονομήσουν ενέργεια [57].

Η τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο (RTP - Real Time Pricing) είναι ένα θεμελιώδες εργαλείο για την υλοποίηση μιας σύγχρονης "έξυπνης" αγοράς, διότι παρέχει στους καταναλωτές την δυνατότητα να ελέγχουν την ενεργειακή τους κατανάλωση με ένα διαφανή τρόπο, καθώς και στις επιχειρήσεις παραγωγής ένα ποσοστό ευελιξίας που τους επιτρέπει να αυξήσουν την ανταγωνιστικότητά τους και να εφαρμόσουν προγράμματα διαχείρισης της ζήτησης και ανταπόκρισης στην ζήτηση.

Σε αυτό το νέο σενάριο, οι ρόλοι του παραγωγού και του καταναλωτή πλησιάζουν. Ο καταναλωτής είναι πλέον σε θέση να παράγει ενέργεια, μέσω αποκεντρωμένων μικρής κλίμακας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτή η νέα αναδυόμενη οντότητα ονομάζεται prosumer (συμπαγωγός καταναλωτής). Συγγραφείς ορίζουν ορίζουν τον prosumer ως μία οντότητα με οικονομικά κίνητρα που:

- Καταναλώνει και παράγει ενέργεια
- Λειτουργεί ένα μικρό ή μεγάλο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, και έτσι μεταφέρει ηλεκτρισμό
- Βελτιστοποιεί τις οικονομικές και ενεργειακές αποφάσεις του

Ο prosumer μπορεί να μην είναι αυστηρά μια φυσική οντότητα, αλλά μάλλον ένας συνδυασμός διαφόρων συστατικών: πηγές ενέργειας, φορτία, ένα ηλεκτρικό δίκτυο, έλεγχος της λειτουργίας του συστήματος του, και μια αγορά, ή άλλο σύστημα λήψης οικονομικών αποφάσεων.[55]

Στην [56] προτείνεται ένας βέλτιστος αλγόριθμος τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο (RTP). Επικεντρώνεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των έξυπνων μετρητών και του πάροχου ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της ανταλλαγής μηνυμάτων ελέγχου που περιέχουν την κατανάλωση ενέργειας των καταναλωτών και τις πληροφορίες των τιμών σε πραγματικό χρόνο. Πρώτον, μοντελοποιεί αναλυτικά τις προτιμήσεις των καταναλωτών και τα πρότυπα της κατανάλωσης ενέργειας τους σε μία μορφή προσεκτικά επιλεγμένων λειτουργιών που βασίζονται σε έννοιες από την μικροοικονομική. Δεύτερον, προτείνεται ένας αλγόριθμος που διαχειρίζεται αυτόματα τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μονάδων ελέγχου κατανάλωσης ενέργειας (energy consumption controller - ECC) στους έξυπνους μετρητές και του πάροχου ενέργειας. Ο αλγόριθμος βρίσκει τα βέλτιστα επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας για κάθε συνδρομητή/καταναλωτή για να μεγιστοποιήσει το συνολικό όφελος όλων των συνδρομητών/καταναλωτών στο σύστημα με ένα δίκαιο και αποτελεσματικό τρόπο. [56]

Από την άλλη, προγράμματα βασισμένα στην ανάλυση των τάσεων της αγοράς (incentive based) κυρίως αφορούν στο δικαίωμα του φορέα εκμετάλλευσης του δικτύου ή τον προμηθευτή να μειώσει το φορτίο κατά ορισμένη ποσότητα. Αυτό μπορεί να συνεπάγεται, για παράδειγμα, τον άμεσο έλεγχο του φορτίου, όπου οι προμηθευτές ή οι φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου θα μπορούν να έχουν άμεση πρόσβαση σε συσκευές ή μηχανήματα των πελατών σε σύντομο χρονικό διάστημα

και να μειώσουν το φορτίο με αυτόν τον τρόπο. Στη Γερμανία, τα μέτρα αυτά προσφέρονται κυρίως σε μεγάλους πελάτες, ενώ σε άλλες χώρες τα νοικοκυριά και οι μικρές επιχειρήσεις είναι εμπλεκόμενες επίσης. Τα μέτρα αυτά μπορούν να οδηγήσουν μέχρι και σε μακροπρόθεσμες συμφωνίες προσφέροντας απόρριψη/μείωση φορτίου.[52]

Τα προγράμματα βασισμένα στις τιμές, καθώς και τα προγράμματα βασισμένα στην ανάλυση των τάσεων της αγοράς χρειάζονται κατάλληλες ΤΠΕ για να κατευθύνουν τα μέτρα αυτά. Για τα προγράμματα που βασίζονται στις τιμές, οι έξυπνοι μετρητές (smart meters) είναι ένα σημαντικό στοιχείο, επειδή είναι σε θέση να επικοινωνούν αμφίδρομα (βλέπε ενότητα 3.4). Τα προγράμματα βασισμένα στην ανάλυση των τάσεων της αγοράς πραγματοποιούνταν μέσω ελέγχου κυμάτωσης (ripple control) στη Γερμανία για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Παρόμοια με τις υπηρεσίες ραδιοτηλεοπτικής μετάδοσης, τα σήματα αποστέλλονται σε μια μεγάλη περιοχή και μπορούν να λαμβάνονται μόνο από συγκεκριμένους υποδοχείς. Τα μειονεκτήματα της έλεγχου κυμάτωσης είναι η μονόδρομη μετάδοση δεδομένων και τα συχνά ιδιόκτητα συστήματα. Αυτά όμως θα αλλάξουν με την χρήση των καταλλήλων ΤΠΕ δηλαδή ροή δεδομένων προς δύο κατευθύνσεις, έξυπνοι μετρητές κ.λ.π.. [54]

Σήμερα τα προγράμματα και οι τεχνολογίες (ΤΠΕ) Ανταπόκρισης στη Ζήτηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος, μειώνοντας στιγμιαία την κατανάλωση ενέργειας για την πρόληψη πιο ασύμμετρων καταστάσεων, όπως τα προβλήματα που προκύπτουν από το μεγάλη κατανάλωση ενέργειας για κλιματισμό επί ημέρες με μειωμένη ταχύτητα του ανέμου και υψηλές θερμοκρασίες. Καθώς όλο και περισσότεροι πελάτες εξασκούν αυτοματοποιημένη ανταπόκριση στην τιμή ή να λαμβάνουν αυτόματα και δίνουν κατευθυντήριες εντολές για να την αύξηση ή μείωση της χρήση τους σε ηλεκτρική ενέργεια, τα φορτία του συστήματος θα είναι σε θέση να ανταποκριθεί σε αυτά, και να διαχειρίζονται τη μεταβλητότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. [58]

Οι νέες τεχνολογίες στον τομέα αυτό έχουν φτάσει σε ετοιμότητα για την αγορά και χρήση. Ειδικά εξελίξεις που καθιστούν δυνατές της λεγόμενες φιλικές προς το δίκτυο συσκευές μπορεί να είναι μια ενδιαφέρουσα επιλογή. Διάφορα ιδρύματα έχουν αναπτύξει τσιπ υπολογιστών που μπορούν να εφαρμοστούν σε οικιακές συσκευές και μπορούν να της αποσυνδέσουν από το δίκτυο όταν η σταθερότητα του συστήματος είναι σε κίνδυνο. Τα τσιπ αυτά παρατηρούν αποκλίσεις συχνότητας και πράττουν ανάλογα και αυτόματα. Μακροπρόθεσμα μπορεί να είναι μέρος ενός ολοκληρωμένου συστήματος επικοινωνίας, έτσι ώστε, για παράδειγμα, οι διαχειριστές του δικτύου να γνωρίζουν και να ενημερώνονται σχετικά με το πού και πότε απορρίψεις φορτίου λαμβάνουν χώρα. [54]

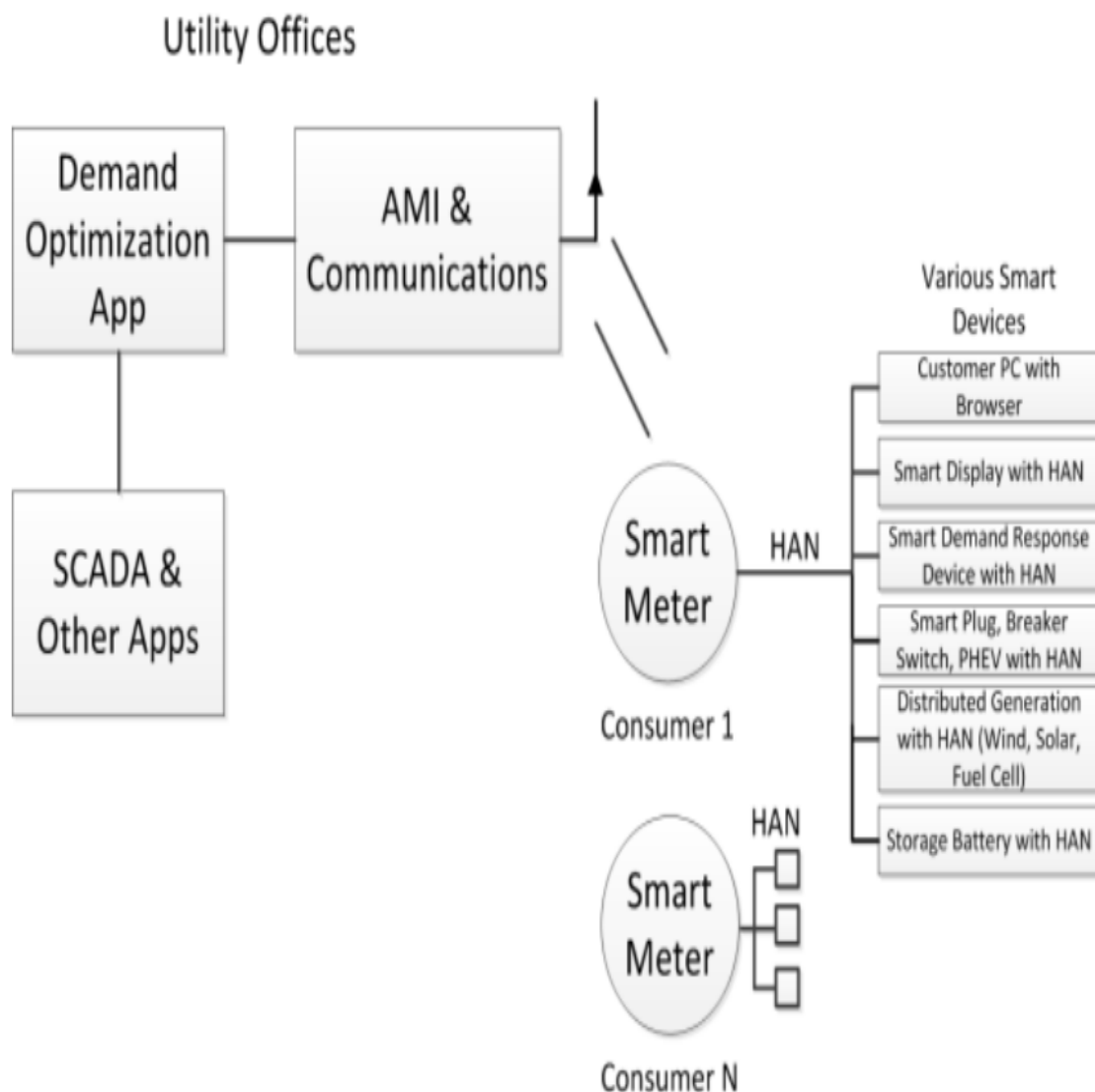
Οι τεχνολογίες, άμεσα συνδεδεμένες με τις ΤΠΕ, που θα επιτρέψουν την ανταπόκριση στη ζήτηση περιλαμβάνουν προηγμένες υποδομές μέτρησης (έξυπνοι μετρητές), "έξυπνες" συσκευές του καταναλωτή, το λογισμικό LEMS που θα επιτρέψει καταναλωτές να αυτο-διαχειρίζονται την κατανάλωση ενέργειας τους,



τεχνολογία κτιρίου EMS διασυνδεδεμένο με τις ενδείξεις της αγοράς, έξυπνες συσκευές διασυνδέεται με το σύστημα ενέργειας, καθώς και τεχνολογίες εκτίμησης του δικτύου διανομής. [47]

Εν κατακλείδι, η Ανταπόκριση στη Ζήτηση ενθαρρύνει τον τελικό χρήστη για να κάνουν τις βραχυπρόθεσμες μειώσεις ενεργειακής ζήτησης. Ένα δίκτυο διανομής εξοπλισμένο με ΤΠΕ εξασφαλίζει την επικοινωνία μεταξύ του καταναλωτή και του δικτύου (και κατ' επέκταση της παραγωγής ) και άρα επιτρέπει την εφαρμογή προγραμμάτων Ανταπόκρισης στη Ζήτηση. Σε ένα πλαίσιο με υψηλή διαλείπουσα τοπική παραγωγή ( βλ. αποκεντρωμένη παραγωγή, εικονικές μονάδες παραγωγής, ΑΠΕ), η Ανταπόκριση στη Ζήτηση είναι ένα σημαντικό εργαλείο για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας του δικτύου.

Στην Εικόνα 3.20 δίνεται η δομή της Ανταπόκρισης στη Ζήτηση και φαίνεται ξεκάθαρα η άμεση σύνδεση της με τις ΤΠΕ και πόσο απαραίτητες είναι για την υλοποίηση τέτοιων προγραμμάτων.



**Εικόνα 3.20 :** Δομή της Ανταπόκρισης στη Ζήτηση [60]

## 3.4 Τεχνολογίες Μετρήσεων

### 3.4.1 Εισαγωγή

Ο μετρητής ηλεκτρικής ρεύματος χτίζει τη φυσική σύνδεση ανάμεσα στους πελάτες και τους προμηθευτές. Τα δεδομένα των μετρήσεων είναι η βάση για τους λογαριασμούς των πελατών, τα οποία είναι συχνά, τουλάχιστον για τους οικιακούς πελάτες, η μόνη συνειδητή στιγμή της επαφής που έχουν με τον προμηθευτή ενέργειας τους. Αν και οι τεχνολογίες μετρήσεων έχουν υποστεί ίσως τις πιο εμφανείς αλλαγές συγκριτικά με όλα τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος ενέργειας τα τελευταία χρόνια, οι παραδοσιακοί μετρητές είναι ακόμα σε χρήση στα περισσότερα νοικοκυριά και μικρές επιχειρήσεις και κατηγορείται για την κακή επικοινωνία ανάμεσα σε πελάτη και προμηθευτή. Από την άλλη πλευρά, οι κατασκευαστές μετρητών προσφέρουν ήδη ένα ευρύτερο φάσμα ψηφιακών, ευφυών μετρητών - γνωστοί και ως "έξυπνοι μετρητές" (Smart Meters) - που έχουν πολύ περισσότερες δυνατότητες από ότι οι μηχανικοί προγονοί τους.

Για τον εκσυγχρονισμό και την βελτιστοποίηση του συστήματος ενέργειας, οι έξυπνες υποδομές μετρήσεων, και κατ'επέκταση οι έξυπνοι μετρητές, είναι απαραίτητες. Οι παραδοσιακές συσκευές μέτρησης, που παρέχονται από τις εταιρείες διανομής ενέργειας για τους πελάτες, συνήθως μετρούν την κατανάλωση ενέργειας μόνο σε όρους της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται, χωρίς να δίνουν έτσι οποιαδήποτε πληροφορία σχετικά με το πότε και πώς καταναλώνεται. Αυτές οι πληροφορίες είναι όμως πολύ σημαντικές γιατί μπορούν να οδηγήσουν σε ένα πιο έξυπνο ενεργειακό εφοδιασμό, τελειοποιημένο, ώστε να ανταποκρίνεται στις συγκεκριμένες ανάγκες των πελατών, και επίσης στη βελτιστοποίηση της διανομής ενέργειας στο δίκτυο. Οι δυνατότητες που μας προσφέρουν οι ΤΠΕ για έξυπνες υποδομές μετρήσεων και οι έξυπνοι μετρητές θα μας δώσουν πρόσβαση σε αυτές τις πολύτιμες πληροφορίες.

Τα χαρακτηριστικά έξυπνων υποδομών μετρήσεων περιλαμβάνουν:

- Αμφίδρομη επικοινωνία με το μετρητή της εταιρείας ηλεκτρισμού ενεργοποιώντας έτσι την ανταλλαγή πληροφοριών
- Εγγραφή των σημείων μέτρησης
- Αυτόματη ρύθμιση παραμέτρων μετά από μια αποτυχία στις επικοινωνίες
- Διασύνδεση με εταιρίες τιμολόγησης, με συστήματα διαχείρισης διακοπής ρεύματος, και άλλες εφαρμογές [20]

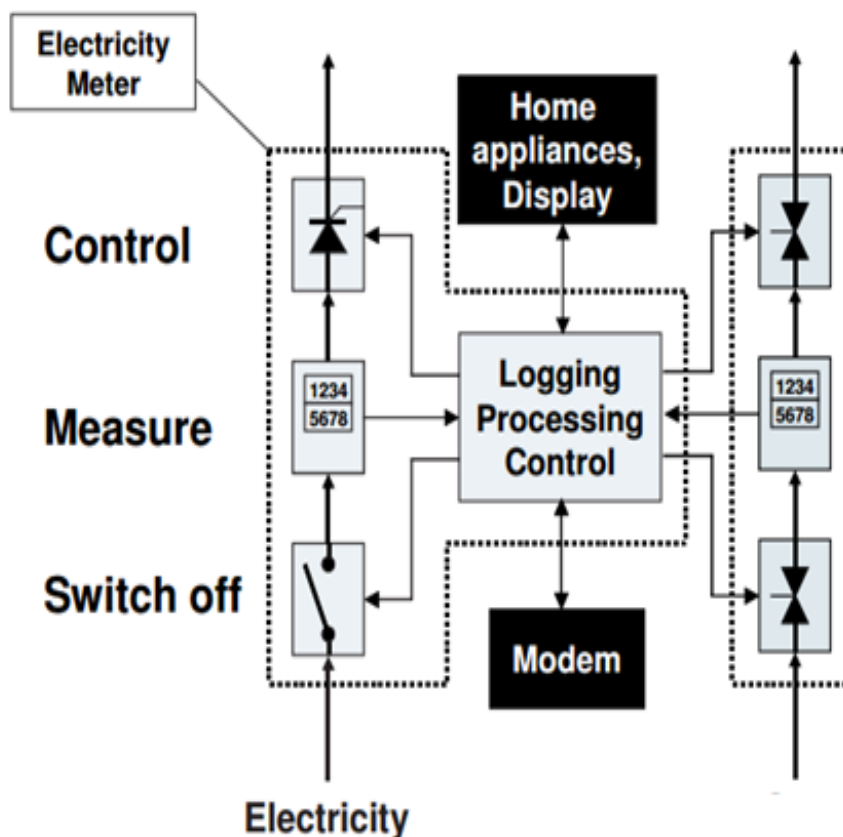
Παρακάτω λοιπόν θα αναλύσουμε την χρήση και τις τεράστιες δυνατότητες που προσφέρουν οι έξυπνες υποδομές μετρήσεων και τους έξυπνους μετρητές.

### 3.4.2 Έξυπνοι Μετρητές

Οι έξυπνες υποδομές μετρήσεων συνήθως συνεπάγονται την εγκατάσταση ενός έξυπνου μετρητή σε οικιακούς πελάτες και τη τακτική μέτρηση, επεξεργασία και ανατροφοδότηση των δεδομένων κατανάλωσης στον πελάτη. Ένας έξυπνος μετρητής (smart meter) έχει τις εξής δυνατότητες:

- εγγραφή σε πραγματικό χρόνο ή σχεδόν σε πραγματικό χρόνο της χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας και, ενδεχομένως, της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται τοπικά, π.χ., στην περίπτωση μικρών φωτοβολταϊκών,
- προσφέρει τη δυνατότητα να διαβάζετε ο μετρητής (δεδομένα κ.λ.π.) τόσο τοπικά όσο και εξ αποστάσεως,
- απομακρυσμένο περιορισμό της διακίνησης μέσω του μετρητή (στην ακραία περίπτωση ακόμα και διακοπή της ηλεκτρικής ενέργειας για τον πελάτη)
- διασύνδεση με το δίκτυο διανομής, με άλλα κοντινά δίκτυα και άλλες μονάδες - συσκευές (π.χ., η αποκεντρωμένη παραγωγή)
- ικανότητα να διαβάζουν άλλους, επί τόπου είτε κοντινούς βασικούς μετρητές (π.χ., φυσικού αερίου, νερού).

Στην Εικόνα 3.21, δίνεται ένα σχηματικό παράδειγμα ενός τυπικού έξυπνου μετρητή και των λειτουργιών του. [61]



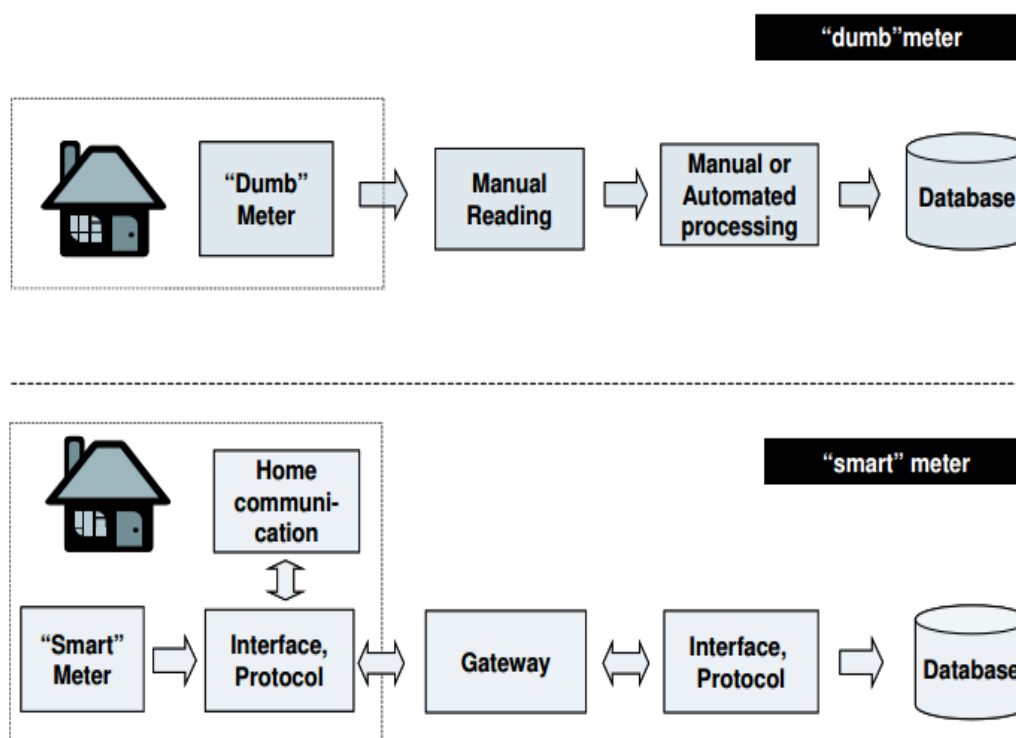
**Εικόνα 3.21 :** Σχηματικό διάγραμμα των λειτουργιών ενός τυπικού έξυπνου μετρητή [61]

Το πιο κρίσιμο στοιχείο της προόδου των μετρητών αυτών είναι η ικανότητά τους να επικοινωνούν μέσω των εγκατεστημένων διεπαφών επικοινωνίας. Αυτό τους επιτρέπει να κάνουν χρήση του σχεδόν όλων των διαθέσιμες τεχνολογίες μετάδοσης (Internet, Powerline, GPRS, κ.λπ.) και επιτρέπει τη ροή των πληροφοριών προς δύο κατευθύνσεις. Η πρώτη κατεύθυνση είναι από τους προμηθευτές στους πελάτες. Αυτή είναι η παραδοσιακή ροή πληροφοριών, αλλά είναι πλέον δυνατή σε υψηλότερο ποιοτικά και ποσοτικά επίπεδο. Δεύτερον, οι πληροφορίες μπορούν επίσης να ρέουν πίσω από τους πελάτες στους προμηθευτές. Αυτά τα συστήματα έξυπνων υποδομών μετρήσεων ανοίγουν ένα ευρύ φάσμα ευκαιριών και δυνατοτήτων για τους διαχειριστές του δικτύου, τους παραγωγούς και τους πελάτες μέσω της άμεσης πληροφόρησης και διαφόρων καινοτόμων προϊόντων. Οι νέες τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) μπορεί να αλλάξουν τους συμβατικούς μετρητές σε έξυπνους μετρητές για την εξοικονόμηση ενέργειας και την ενεργειακή ασφάλεια. Μέσα από αυτές τις πρόσφατες δυνατότητες που αποκτήθηκαν, ένα ευρύ φάσμα από οφέλη για τους προμηθευτές και τους πελάτες είναι πραγματοποιήσιμα. Η εξ αποστάσεως ανάγνωση του μετρητή μπορεί να πραγματοποιηθεί πλέον με μία πολύ υψηλότερη συχνότητα, για παράδειγμα σε διαστήματα των 15-λεπτών, και συγχρόνως παρέχει στον προμηθευτή ή στον χειριστή του δικτύου πολύτιμες πληροφορίες. Οι εκθέσεις για την ποιότητα της τάσης που θα παρέχονται από τις

πληροφορίες που θα μας δίνουν οι μετρητές μπορούν ταυτόχρονα να συμβάλουν στη σταθεροποίηση του δικτύου του και να διευκολύνουν την διαχείριση του δικτύου για τους φορείς εκμετάλλευσής του. Οι έξυπνοι μετρητές μπορούν επίσης να στείλουν προειδοποιήσεις για τυχόν παρεμβάσεις και με αυτόν τον τρόπο να συμβάλουν στον περιορισμό της κλοπής ρεύματος. Υπό την προϋπόθεση ότι θα εφαρμοστεί ένα κοινό πρότυπο δεδομένων, οι έξυπνοι μετρητές θα διευκολύνουν επίσης σημαντικά την αλλαγή προμηθευτή για τους πελάτες, επειδή η επί τόπου ανάγνωση του μετρητή από την τρέχουσα εταιρεία παροχής ρεύματος δεν θα είναι πλέον αναγκαία. Με τον τρόπο αυτό, η νέα αυτή τεχνολογία θα συμβάλει στην προώθηση του λιανικού ανταγωνισμού στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, λόγω της ικανότητάς τους να μετράνε ροές ισχύος σε δύο κατευθύνσεις, οι έξυπνοι μετρητές μπορούν να βοηθήσουν στην προώθηση των αποκεντρωμένων μονάδων ενέργειας. Για παράδειγμα, οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μικρής ισχύος στα νοικοκυριά δεν απαιτούν μόνο ενέργεια αλλά επίσης τροφοδοτούν και το δίκτυο. Και οι δύο ροές ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να μετρηθούν.[13,62]

Τα δεδομένα που παράγονται και μεταδίδονται από τους έξυπνους μετρητές ανοίγουν ένα ευρύ φάσμα επιχειρησιακών βελτιώσεων, συμπεριλαμβανομένων της παρακολούθησης και του ελέγχου των ενεργειακών χρήσεων. Αυτή η λεπτομερής πληροφόρηση του δικτύου βελτιώνει τις λειτουργίες του δικτύου και διευκολύνει περισσότερο την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, της αποκεντρωμένης παραγωγής και των εικονικών εγκαταστάσεων παραγωγής (όπως έχουμε αναφέρει). Το ευρύ φάσμα ευκαιριών και δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας που προσφέρει η αξιοποίηση συστημάτων και τεχνολογιών έξυπνων μετρήσεων τα καθιστά μια άκρως ελκυστική επιλογή για το δίκτυο διανομής και τους οικιακούς πελάτες. [62]

Στην Εικόνα 3.22 φαίνεται η τεράστια διαφορά, όσο αναφορά την επεξεργασία των δεδομένων, ανάμεσα στους παραδοσιακούς μετρητές (που χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα) και στους έξυπνους μετρητές.



**Εικόνα 3.21:** Οι διαφορές παραδοσιακού μετρητές & έξυπνων μετρητών στην επεξεργασία των δεδομένων [61]

Οι έξυπνες υποδομές μετρήσεων προσφέρουν κάτι περισσότερο από την ανάγνωση και τον έλεγχο των έξυπνων μετρητών. Ο κύριος σκοπός της έξυπνης μέτρησης στα δίκτυα διανομής και στους οικιακούς πελάτες είναι η άμεση παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας, και τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Μπορεί να θεωρηθεί ως μια ειδική πύλη προς τους πελάτες στο σπίτι, προσφέροντας πρόσθετες υπηρεσίες που σχετίζονται με την ενέργεια. Οι έξυπνοι μετρητές ενθαρρύνουν τους καταναλωτές να αλλάξουν συμπεριφορά, για την οικονομική και ενεργειακή αποδοτικότητα, και να κλείνουν τις ηλεκτρικές συσκευές κατά τη διάρκεια των περιόδων αιχμής της ζήτησης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την ανταπόκριση στη ζήτηση (για να αλλάξει ο πελάτης τη ενεργειακή του συμπεριφορά) και της διαχείρισης της ζήτησης (άμεσος έλεγχος των οικιακών συσκευών, όπως το πλυντήριο ρούχων ή το κλιματιστικό) όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω. Ο στόχος είναι ο καταναλωτής να μπορεί ρυθμίζει την κατανάλωση του με βάση τις οικονομικές και ενεργειακές του ανάγκες. [61,62]

Λαμβάνοντας υπόψη τον στόχο της αύξησης της ενεργειακής απόδοσης, οι έξυπνοι μετρητές μπορούν να συμβάλουν με πολλούς τρόπους. Πρώτον, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας διαβάζεται με υψηλότερη συχνότητα και κατ' επέκταση υπάρχει σχεδόν άμεση εικόνα της ζήτησης και της ανάγκης για ενέργεια. Είναι δυνατόν να αποθηκεύσουμε τα δεδομένα που μετρήθηκαν καθώς και να παρέχονται πληροφορίες σχετικά με το μοτίβο της ατομικής κατανάλωσης ρεύματος στους πελάτες και στους προμηθευτές. Αυτό μπορεί να χτίσει τη βάση για μια ατομική ανάλυση της κατανάλωσης. Αν ο έξυπνος μετρητής συνδέεται με αντίστοιχο κατάλληλο λογισμικό,

αυτή η ανάλυση μπορεί να διεξαχθεί σε κάθε προσωπικό υπολογιστή στο σπίτι. Ο ίδιος ο πελάτης μπορεί να αξιολογήσει τα δεδομένα ή να αναθέσει την αξιολόγηση αυτή σε μία συμβεβλημένη εταιρεία, η οποία θα του επιτρέψει να αξιοποιήσει σωστά τα δεδομένα και την ανάλυση για να μπορέσει εν τέλει να χρησιμοποιήσει την ηλεκτρική ενέργεια πιο αποτελεσματικά σύμφωνα με τις ανάγκες του. [63]

Μια άλλη πιθανή εφαρμογή είναι η μόνιμη πληροφόρηση σχετικά με την τρέχουσα κατανάλωση ενέργειας η οποία θα εμφανίζεται σε μία οθόνη οθόνη(ενός υπολογιστή, laptop, κ.λ.π.) έτσι ώστε ο πελάτης να μπορεί να ελέγξει την ενεργειακή του ζήτηση και κατανάλωση σε πραγματικό χρόνο. Έτσι ο πελάτης θα μπορεί άμεσα να έχει στην διάθεση του όλα τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να προσαρμόσει την κατανάλωση σύμφωνα με τις ανάγκες του και έχοντας ως στόχο την εξοικονόμηση και την ενεργειακή αποτελεσματικότητα. Από πιλοτικά προγράμματα κάποιων (λίγων) εταιρειών στο εξωτερικό έχει βρεθεί ότι είναι δυνατή η ενέργεια εξοικονόμηση έως και 6,5% στα νοικοκυριά, αν η κατανάλωση ενέργειας (και η τιμή όπως θα δούμε παρακάτω) γίνονται ορατές σε αυτά. Οι πελάτες τότε έχουν προφανώς μεγαλύτερη και καλύτερη επίγνωση της ζήτησης τους και της κατανάλωσης ενέργειας και έτσι τους δίνεται η δυνατότητα να αλλάξουν την ενεργειακή τους συμπεριφορά ανάλογα [64,65].

Η προσφορά μεταβλητών τιμολογήσεων (tariffs), έτσι ώστε η ηλεκτρική ενέργεια είναι σχετικά ακριβή σε περιόδους υψηλού συνολικού φορτίου στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και σχετικά φθηνή σε περιόδους χαμηλού συνολικού φορτίου, είναι, επομένως, ένα ακόμη βήμα προς την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας (Κεφάλαιο 3.3). Διάφορες μελέτες δείχνουν ότι οι μετατοπίσεις του φορτίου έως και 30% είναι δυνατές. Οι έξυπνοι μετρητές είναι σε θέση να αποθηκεύσουν διαφορετικές τιμολογήσεις που δείχνουν τέτοιες ελλείψεις - ανωμαλίες του δικτύου και κατά συνέπεια μπορούν να προβλεφτούν και να αντιμετωπιστούν.[66]

Εκτός από την άμεση επίδραση της μετατόπισης του φορτίου, η οποία μειώνει τη χρήση της στρεφόμενης εφεδρείας, οι πελάτες μπορούν μακροπρόθεσμα να έχουν μεγαλύτερη επίγνωση της ενεργειακής τους ζήτησης σε ηλεκτρισμό και να αγοράσουν αποδοτικότερες ηλεκτρικές συσκευές, οι οποίες θα μειώσουν το φορτίο του δικτύου γενικότερα. Η απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο της ζήτησης και η επιλογή μεταξύ διαφορετικών τιμολογίων μπορεί να παρέχει εξοικονόμηση ενέργειας. Για τα νοικοκυριά, μια εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 5% βασισόμενη σε διάφορες μετρήσεις φαντάζει εφικτή [66].

Μακροπρόθεσμα οι έξυπνοι μετρητές θα αποτελέσουν σημαντικό και καίριο στοιχείο ενός ενεργειακού συστήματος εξοπλισμένου με ΤΠΕ. Μπορούν να θεωρηθούν ως μία τεχνολογία μετεγκατάστασης δεδομένων που βοηθά στην εξέλιξη του δικτύου παραγωγής/μεταφοράς (Upstream) και του δικτύου διανομής/πελάτης (Downstream). Upstream, θα είναι ο απελευθερωτής των δεδομένων για τους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου διανομής για την βελτιστοποίηση της διαχείρισης του δικτύου και Downstream μπορούν να είναι η πύλη προς τα σπίτια των πελατών, στα οποία

περαιτέρω αυτοματοποίηση είναι δυνατή (Κεφάλαιο 3.5). Οι έξυπνοι μετρητές θα μπορούν να αλληλεπιδρούν άμεσα με ευφυείς συσκευές σε σπίτια ή να είναι η μονάδα διεύθυνσης του δικτύου με γνώμονα τις δραστηριότητες μετατόπισης του φορτίου.[63,66]

Η εισαγωγή των νέων υποδομών όμως θα πρέπει να συνδεθεί με τις αρχικές και τις τρέχουσες δαπάνες, όμως. Το αρχικό κόστος ενός έξυπνου μετρητή, το οποίο περιλαμβάνει το κόστος παραγωγής του μετρητή, εγκατάσταση και την ολοκλήρωση της σύνδεσης στο σύστημα, αποτιμώνται μεταξύ 33 και 253 €. Από Φυσικά, υπάρχουν διαφορές στις λειτουργίες που δικαιολογούν τέτοιες διαφορές στην τιμή του εκάστοτε έξυπνου μετρητή. Οι τρέχουσες δαπάνες περιλαμβάνουν τη μετάδοση δεδομένων, το κόστος συντήρησης και εκπαίδευσης (κατάρτισης), καθώς και κόστη τιμολόγησης και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που αποτιμώνται μεταξύ 11 και 34 ευρώ ετησίως. Οι δαπάνες αυτές πρέπει να ζυγίζονται από τα αναμενόμενα οφέλη που έχουν περιγραφεί παραπάνω. Διάφορες διεθνείς και εθνικές μελέτες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι τα οφέλη θα αντισταθμίζουν το κόστος μακροπρόθεσμα στις περισσότερες περιπτώσεις [61,66,67].

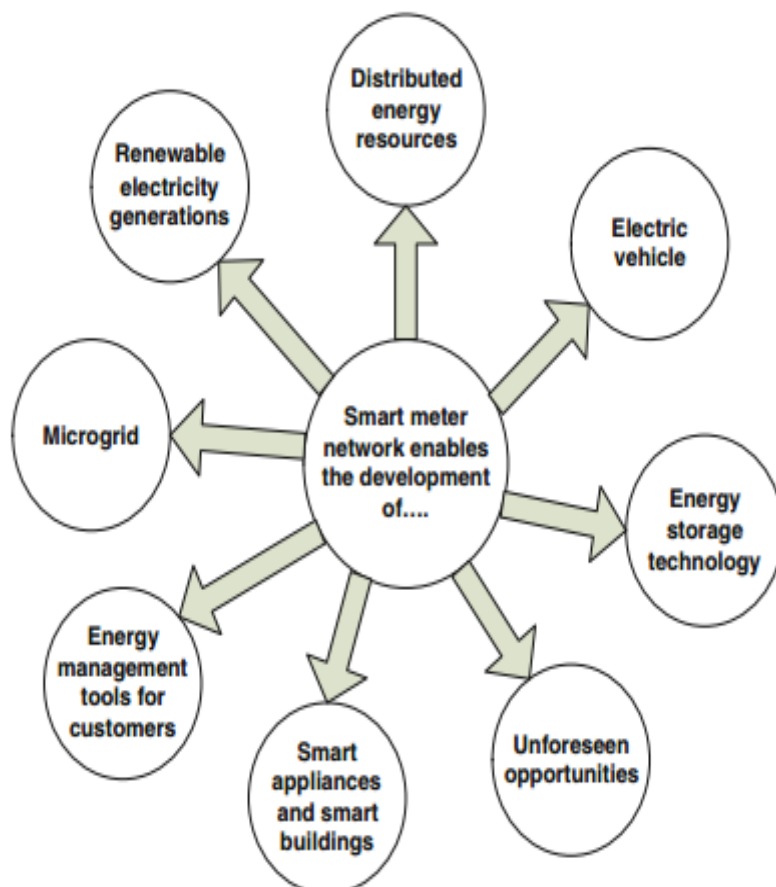
Τέλος έχει παρατηρηθεί ότι η ταχύτητα της ανάπτυξης και η ευρεία υιοθέτηση των έξυπνων μετρητών θα εξαρτηθεί από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας ή εθνικά πρότυπα τα οποία θα εφαρμοστούν σε μια σειρά σημαντικών περιοχών.

Ένα πρωτόκολλο επικοινωνιών ή πρότυπο είναι ένα σύστημα που έχει θεσπίσει κανόνες για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των κόμβων ή σταθμών. Σε δίκτυα και υποδομές έξυπνων μετρήσεων, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας & τα πρότυπα θα διευκολύνουν την επικοινωνία μεταξύ των έξυπνων μετρητών με το κεντρικό server και αντίστροφα. Το σύστημα επικοινωνίας χρησιμοποιούν καθορισμένες μορφές για να ανταλλάσσουν μηνύματα, και κάθε μήνυμα έχει μια ακριβή σημασία που σκοπεύουν να προκαλέσει μια ξεκάθαρη και καθοριστική απάντηση από τον δέκτη. Οι πληροφορίες αποτελούν πλέον ένα παράγοντα ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική λειτουργία και την επέκταση ενός σύγχρονου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η αυξημένη εξάπλωση του διαδικτύου και των διαδικτυακών επικοινωνιών και η μεγάλη κλίμακα εγκατάσταση της τεχνολογίας δικτύωσης ευρείας περιοχής διευκολύνουν τη χρήση του έξυπνου μετρητή. Ένα πιθανό εμπόδιο η απειλή που σχετίζεται με εγκατάσταση των νέων αυτών τεχνολογιών, χωρίς να έχουν συμφωνηθεί πρότυπα. Η έλλειψη προτύπων αυξάνει την απειλή και την πιθανότητα για χαμένα στοιχεία και δεδομένα. Τα πρότυπα μπορούν να βοηθήσουν στην μείωση της δημιουργίας επιπλοκών, καθιστούν δυνατή τη διαλειτουργικότητα και καθορίζουν τα θέματα ασφάλειας.[62]

Επί του παρόντος, ο τρόπος για να σπάσει αυτό το αδιέξοδο είναι ορίζοντας παγκόσμια και εθνικά πρότυπα και θεσπίζοντας τους κατάλληλους εθνικούς ή / και διεθνείς κανόνες και νόμους που να βασίζονται σε μια σταθερή ενεργειακή πολιτική.[61]



Εν κατακλείδι, οι έξυπνες υποδομές μετρήσεων και οι έξυπνοι μετρητές θα μας δώσουν πολλές δυνατότητες και πρόσβαση σε μεγάλο όγκο πληροφοριών, από την παραγωγή και το δίκτυο διανομής ως τους οικιακούς χρήστες που είναι απαραίτητες για την υλοποίηση ενός σύγχρονου ενεργειακού συστήματος και για την ενεργειακή βελτιστοποίηση. Στην Εικόνα 3.22 φαίνονται τα στοιχεία και οι δυνατότητες που μας προσφέρουν οι υποδομές έξυπνων μετρητών.



**Εικόνα 3.22 :** Τα στοιχεία και οι δυνατότητες που μας προσφέρουν οι υποδομές έξυπνων μετρητών. [62]

## 3.5 Σπίτια/Κτίρια

### 3.5.1 Εισαγωγή

Ο τελευταίος κρίκος της ενεργειακής αλυσίδας είναι τα σπίτια και τα κτίρια όπου καταναλώνεται το φορτίο και η ενέργεια γενικότερα. Στον τομέα αυτό, η εφεύρεση διάφορων νέων τεχνολογιών έχει προετοιμάσει το έδαφος και μας έχει δώσει την δυνατότητα για να κατασκευάσουμε ευφυή/έξυπνα σπίτια (Smart Houses). Αυτά τα σπίτια χαρακτηρίζονται από αυτοματοποιημένες διαδικασίες όσο αφορά την ρύθμιση της ηλεκτρικής ενέργειας και της θερμότητας, οι οποίες χρειάζονται μικρή

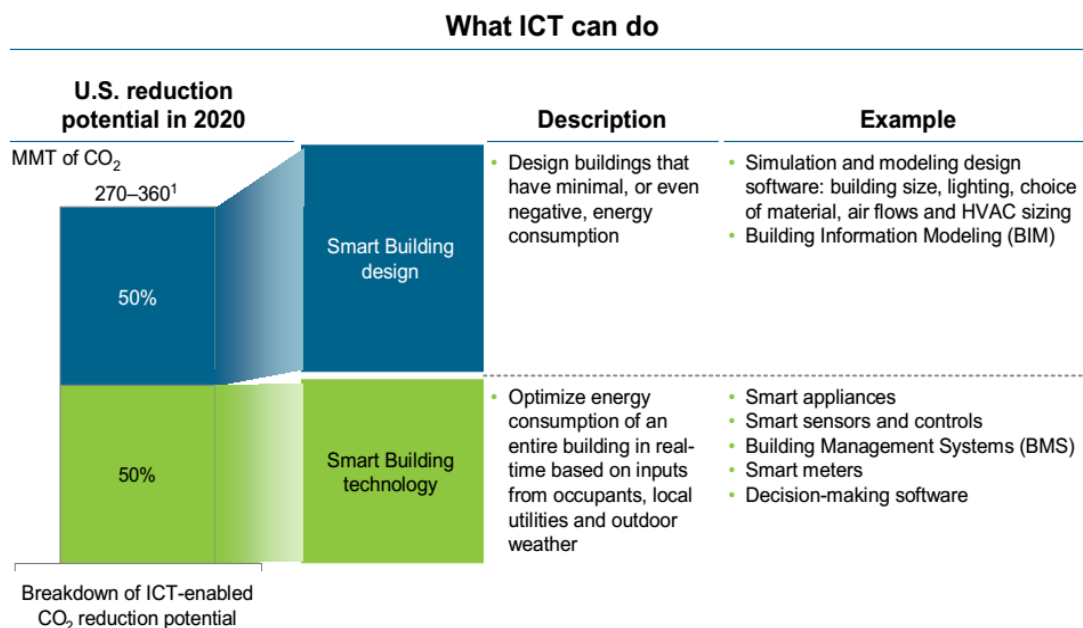
χειροκίνητη παρέμβαση. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι ο έλεγχος της θέρμανσης ή φωτισμού που εξαρτάται από την παρουσία ή απουσία των κατοίκων ή ο συντονισμός διαφόρων διαδικασιών, π.χ. κλείνουν τη θέρμανση αυτόματα αν ανοίγεται ένα παράθυρο. [68]

Τα κτήρια - εμπορικά, βιομηχανικά και οικιακά - καταναλώνουν περίπου το 40% της ενέργειας που χρησιμοποιείται στον κόσμο και ευθύνονται για σχεδόν το 40% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η πλειοψηφία της κατανάλωσης ενέργειας αφορά τη θέρμανση των χώρων και του νερού στο εσωτερικό των νοικοκυριών, αν και το μερίδιο της κατανάλωσης φωτισμού και συσκευών αυξάνεται με το χρόνο. Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων έχει αναγνωριστεί ως ένα από τα πιο σημαντικά θέματα στην προσπάθεια για εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση των αερίων ρύπων. Η ευκαιρία για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων είναι τεράστια. Με τα προϊόντα και τις τεχνολογίες που είναι διαθέσιμα σήμερα (ΤΠΕ), η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια θα μπορούσε να μειωθεί έως και κατά 70%, που ισοδυναμεί με την απομάκρυνση από τους δρόμους κάθε αυτοκινήτου, φορτηγού και λεωφορείου στον κόσμο (NSTC, 2008). Αυτό το επίπεδο της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας είναι εφικτό, αλλά απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση όσο αφορά το σχεδιασμό, την λειτουργία και την συντήρηση των κτιρίων με την υποστήριξη και βοήθεια καινοτομιών και λύσεων που βασίζονται στις ΤΠΕ. [69]

Τα κτίρια πρέπει να είναι στο κέντρο κάθε λύσης για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αυτοί αντιπροσωπεύουν περίπου το 40% των εκπομπών CO<sub>2</sub> στις ΗΠΑ. Ο αριθμός των νέων κατοικιών προβλέπεται να αυξηθεί κατά 34 εκατομμύρια μεταξύ του 2005 και του 2030. Ενώ Οι προβλέψεις αυτές μπορεί να χρειαστεί να αναθεωρηθούν υπό το φως του τρέχοντος οικονομικού κλίματος και κρίσης, η ανάγκη για κατασκευή περισσότερο ενεργειακά αποδοτικών σπιτιών/κτιρίων είναι ωστόσο σημαντική και αποτελεί ένα θέμα που πρέπει να αντιμετωπιστεί άμεσα. Οι εκπομπές από τα σπίτια/κτίρια αναμένεται να φθάσουν 2,570MMT CO<sub>2</sub> στις ΗΠΑ μέχρι το 2020. Ιδανικά, όλα τα νέα κτίρια θα πρέπει να χτίζονται εξ αρχής με σκοπό την ενεργειακή αποδοτικότητα. Είναι πολύ λιγότερο δαπανηρή η κατασκευή ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων από την ανακατασκευή ενός κατασκευασμένου εδώ και αρκετές δεκαετίες.

Τα έξυπνα σπίτια/κτίρια στηρίζονται στο σχεδιασμό και την ενσωματωμένη τεχνολογία για να μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση. Ενώ ο σχεδιασμός προβλέπει την αρχική ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου, η τεχνολογία βελτιστοποιεί τη ενεργειακή χρήση των λειτουργιών του κτιρίου. Εκτιμάται ότι ένα ποσό κοντά στα 270-360MMT των εκπομπών CO<sub>2</sub> θα μπορούσε να μειωθεί μέσω της κατασκευής έξυπνων σπιτιών και τις χρήσεις κατάλληλων τεχνολογιών στα υπάρχοντα σπίτια/κτίρια στις ΗΠΑ το 2020 (Εικόνα 3.23). Επιπλέον, τα έξυπνα σπίτια/κτίρια θα μπορέσουν να αποφέρουν 40-50 δισεκατομμύρια δολάρια σε ακαθάριστη εξοικονόμηση το 2020 στις ΗΠΑ από την χαμηλότερη κτιριακή κατανάλωση ενέργειας. Το εύρος αυτό των εκτιμήσεων υπάρχει γιατί δεν έχουν

συνταχθεί ακόμα αξιόπιστα στοιχεία σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας σε αρκετά μεγάλη κλίμακα. [70]



**Εικόνα 3.23 :** Τι μπορούν να κάνουν οι ΤΠΕ για την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> [70]

Δύο λοιπόν κύρια σημεία εκκίνησης μπορούν να διακριθούν: Η δημιουργία ενός νέου σπιτιού από το μηδέν παρέχει τη δυνατότητα να ξεκινήσει από το μηδέν και δίνει χώρο για πιο φρέσκιες εκτιμήσεις. Ωστόσο, η βελτίωση στα υπάρχοντα σπίτια είναι ίσως ακόμη πιο σημαντική μιας και είναι απολύτως μη βιώσιμο να γκρεμίσουμε τα υφιστάμενα σπίτια για την οικοδόμηση νέων σύγχρονων σπιτιών. Οι ΤΠΕ θα παίξουν καθοριστικό ρόλο και στις δύο περιπτώσεις [71]

### 3.5.2 Έξυπνα Σπίτια/Κτίριο

Υπάρχουν πέντε βασικοί τομείς στους οποίους υπάρχουν δυνατότητες βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των σπιτιών/κτιρίων μέσω της χρήσης των ΤΠΕ.

- **Ολοκληρωμένος σχεδιασμός και ενσωμάτωση προσομοίωσης:** Η χρήση μοντέλων πληροφοριών κτιρίου συμπεριλαμβανομένης της ενεργειακής προσομοίωσης σε όλη τη διάρκεια ζωής του κτιρίου θα έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη σημαντικών βελτιώσεων στον τομέα της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, μέσω αισθητήρων που θα μπορούν να βοηθήσουν στην ακριβή μέτρηση της χρήσης, της κατάστασης του συστήματος και του εξοπλισμού, καθώς και πλήρη στοιχεία για τις τιμές, δυναμική τιμολόγηση και ανταπόκριση στη ζήτηση, επιτρέποντας έτσι ενεργειακά αποδοτικές επιλογές των πελατών, υπηρεσίες και πιο ολοκληρωμένη και αυτοματοποιημένη διαχείριση της ζήτησης.

- Διαλειτουργικότητα: Υπάρχουν σημαντικές ευκαιρίες για αποδοτικότητα, αλλά οι περισσότερες έχουν χαθεί λόγω έλλειψης συμβατότητας.
- Ευφυής και ενσωματωμένος έλεγχος και αυτοματισμός: Τα συστήματα ελέγχου κτιρίων έχουν σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας των συνθηκών άνεσης, υγείας και ασφάλειας των εσωτερικών χώρων με ένα αποτελεσματικό και αποδοτικό τρόπο.
- Υποδομές έξυπνων μετρήσεων: επιτρέπουν την ακριβέστερη μέτρηση της κατανάλωσης μέσω της χρήσης έξυπνων μετρητών, οι οποίοι συνδέονται με μια κεντρική μονάδα μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας, βελτιώνοντας και επιτρέποντας την απόκτηση σημαντικών δεδομένων και επιτρέποντας τη ροή των πληροφοριών προς δύο κατευθύνσεις. Η έξυπνη μέτρηση παρέχει πληροφορίες σχετικά με τα πρότυπα και της συνήθειας κατανάλωσης ενέργειας συμβάλλοντας στην πιο βιώσιμη κατανάλωση και την εξοικονόμηση ενέργειας.
- Ευαισθητοποίηση του χρήστη και υποστήριξη της λήψης αποφάσεων: Η παροχή προς τους χρήστες/καταναλωτές πληροφοριών για την ενεργειακή τους κατανάλωση σε πραγματικό χρόνο θα έχει σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια για να αλλάξει ο χρήστης τη συμπεριφορά του και να μειώσει την κατανάλωση του. [69]

Ο όρος έξυπνα κτίρια/σπίτια περιγράφει μια σειρά από τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για να κάνουν το σχεδιασμό, την κατασκευή και λειτουργία των κτιρίων πιο αποτελεσματική και ισχύουν τόσο για τα υπάρχοντα όσο και νεόκτιστα ακίνητα. Αυτά θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν συστήματα διαχείρισης κτιρίων (Building Management Systems - BMS), που θα ρυθμίζουν τη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, σύμφωνα με τις ανάγκες του πελάτη, ή κατάλληλο λογισμικό που σβήνει όλους τους προσωπικά τους υπολογιστές και τις οθόνες (π.χ. τηλεόραση) όταν κανείς δεν είναι σπίτι. Τα δεδομένα των συστημάτων διαχείρισης κτιρίων μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό πρόσθετων ευκαιριών για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων. Οι ΤΠΕ μπορούν να συμβάλουν δυναμικά στην αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων μέσω της εφαρμογής συστημάτων διαχείρισης του κτιρίου και διαχείρισης ενέργειας, έξυπνων τεχνολογιών μέτρησης, συστημάτων ελέγχου φωτισμού, ευφυείς αισθητήρες και λογισμικού βελτιστοποίησης. Ενόψει της συμβολής στην ενεργειακή απόδοση πολλών διαφορετικών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων υλικών και τεχνολογιών, η ανάπτυξη συστηματικής κατανόησης της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου είναι ιδιαίτερα επιθυμητή. [71,72]

Η ενσωμάτωση ολόκληρου του κύκλου ζωής των κτιρίων σε μία ολιστική προσέγγιση για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης είναι μία σημαντική απαίτηση από τους εμπλεκόμενους φορείς. Η χρήση μοντέλων πληροφοριών του κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων ενεργειακών προσομοιώσεων σε όλη τη διάρκεια ζωής του κτιρίου θα έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη σημαντικών βελτιώσεων στην

ενεργειακή απόδοση κτίρια, παρέχοντας τεχνολογίες παρακολούθησης και αισθητήρες που μπορεί να βοηθήσουν περισσότερο στην ακριβή μέτρηση της χρήσης, της κατάστασης του συστήματος και του εξοπλισμού, καθώς και πλήρη στοιχεία για τις τιμές, δυναμική τιμολόγηση και ανταπόκριση στη ζήτηση, επιτρέποντας έτσι ενεργειακά αποδοτικές επιλογές των πελατών, υπηρεσίες και πιο ολοκληρωμένη και αυτοματοποιημένη διαχείριση της ζήτησης. Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στην Ευρώπη τόνισε ότι οι σχεδιαστές/αρχιτέκτονες/μηχανικοί μπορούν να επιτύχουν πολλές σημαντικές βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, εφόσον εφαρμόσουν εργαλεία ΤΠΕ που ελαχιστοποιούν την κατανάλωση ενέργειας για να σχεδιάσουν τα σπίτια/κτίρια - π.χ. προσομοιώνοντας και βελτιστοποιώντας μετρήσεις και τεχνικές παθητικών συστημάτων ηλιακής θέρμανσης. Σε μετρίως ψυχρά κλίματα, όπως αυτά της κεντρικής Ευρώπης, για παράδειγμα, οι ειδικές ανάγκες θέρμανσης μπορεί κατ' αυτό το τρόπο να μειωθούν από πάνω από 200 kWh / m<sup>2</sup> / έτος σε λιγότερο από 15 kWh / m<sup>2</sup> / έτος (WWF, 2008). [72]

Αν και ο αντίκτυπός τους είναι μεγαλύτερος όσο αφορά τα νέα κτίρια, τα εργαλεία σχεδιασμού και προσομοίωσης έχουν γίνει ένα απαραίτητο στοιχείο στην ανακαίνιση υφιστάμενων κτιρίων καθώς επιτρέπουν την αξιολόγηση διαφόρων λύσεων, προκειμένου να επιλέγει η καλύτερη για τη μείωση της ζήτησης/κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου (συμπεριλαμβάνοντας για παράδειγμα, οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας). [71,72]

Τα περισσότερα συστήματα ελέγχου κτιρίων σήμερα βασίζονται σε τοπικούς μικροεπεξεργαστές με ενσύρματους αισθητήρες. Δεν είναι ασυνήθιστο να υπάρχουν διαφορετικοί ελεγκτές για τη θέρμανση, την ψύξη του κλιματισμού κ.λπ. Υπάρχουν σημαντικές ευκαιρίες για αποδοτικότητα, αλλά οι περισσότερες έχουν χαθεί λόγω έλλειψης συμβατότητας. Η πιο κατάλληλη λύση θα είναι ένα ενιαίο σύστημα ελέγχου, που θα ελέγχει όλα τα HVAC (heating, ventilating, and air conditioning), το φωτισμό και άλλες ηλεκτρικές εφαρμογές και συσκευές, και των σχετικών υποσυστημάτων που έχουν εγκατασταθεί σε ένα κτίριο. Το κύριο εμπόδιο για αυτή τη λογική λύση είναι το γεγονός ότι τα διάφορα υποσυστήματα κατασκευάζονται και εγκαθίστανται και λειτουργούν από διαφορετικές εταιρείες. Πρέπει να υπάρχουν κοινά πρότυπα λειτουργίας που θα επιτρέπουν την διαλειτουργικότητα. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη ότι η διάρκεια ζωής ενός κτιρίου είναι πολύ μεγαλύτερη αυτή του τομέα των ΤΠΕ σύστημα, η αναβάθμιση θα είναι δύσκολη, δεδομένου εξακολουθεί να υπάρχει ανεπαρκής ανάπτυξη της τυποποίησης για τις διασυνδέσεις και την επικοινωνία, ακόμη και μεταξύ των αισθητήρων. Παρ' όλα αυτά, τα έξυπνα σπίτια μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης.[72,73]

Τα απαραίτητα τεχνικά στοιχεία για την υλοποίηση ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου μεταξύ των βασικών ηλεκτρικών συσκευών στα νοικοκυριά ή στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις υπάρχουν ήδη. Προϋπόθεση για την υλοποίηση αυτών των συστημάτων είναι όλες οι συνιστώσες του να είναι εξοπλισμένες με τις σχετικές διαπαφές επικοινωνίας και διεύθυνσης και κοινά πρότυπα. Η επικοινωνία όλων των

στοιχείων ενός τέτοιου συστήματος (συσκευές, τεχνικές εγκαταστάσεις, κ.λ.π.) χρειάζεται αντίστοιχες τεχνολογίες για τη μεταφορά μετρητικών δεδομένων ή δεδομένων έλεγχου σε μία κεντρική μονάδα έλεγχου, ένα διακομιστή ή μια πύλη. Οι μονάδες αυτές είναι με την σειρά τους και αυτές συνδεδεμένες με ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο (telecommunicative network). Τέτοιες μονάδες ή τεχνολογίες στο σπίτι μπορούν να είναι βασισμένες είτε σε ενσύρματες είτε σε ασύρματες τεχνολογίες για την επικοινωνία τους. [73]

Συμπεριλαμβανομένων των εφαρμογών θερμότητας, τα έξυπνα σπίτια μπορούν να μειώσουν το κόστος της ενέργειας κατά περισσότερο από 30%. Ωστόσο το κόστος των επενδύσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το επιλεγμένο σύστημα. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό ότι τα διάφορα πρότυπα τεχνολογιών να είναι συμβατά έτσι ώστε να είναι εύκολη η εγκατάσταση νέων τεχνικών πρόσθετων (add-ons) στο μέλλον. Θα πρέπει να είναι σημειωθεί, ωστόσο, ότι η αυτοματοποίηση στα σπίτια φέρνει μαζί κάποια άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα για τους χρήστες, όπως βελτιωμένη άνεση και υψηλότερη ασφάλεια. [73]

Στον τομέα του αυτοματισμού και του ελέγχου του κτιρίου, ο οποίος κύριο στόχο τη βελτίωση της ποιότητας ζωής (π.χ. περισσότερο άνετα, ασφαλέστερα σπίτια), οι ΤΠΕ έχουν τη δυνατότητα να συμβάλουν στην ενεργειακή απόδοση μέσω της χρήσης βελτιωμένων συστημάτων ελέγχου και διαχείρισης που βασίζονται σε έξυπνες συσκευές και δίκτυα επικοινωνίας. Τα συστήματα ελέγχου κτιρίων έχουν σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας των συνθηκών άνεσης, υγείας και ασφάλειας των εσωτερικών χώρων με ένα αποτελεσματικό και αποδοτικό τρόπο. Σε αντίθεση με τα παθητικά μέτρα ενεργειακής αποδοτικότητας (π.χ. μόνωση) και των συμβατικών τεχνολογιών θέρμανσης / ψύξης, τα συστήματα ελέγχου και αυτοματισμού κτιρίων έχουν εισαχθεί για να εξασφαλιστεί η ολοκληρωμένη αλληλεπίδραση ενός μεγάλου φάσματος τεχνολογικών στοιχείων (HVAC, φωτισμός, εξοπλισμός ασφάλειας ζωής, αρχιτεκτονική), καθώς και των ανθρώπων που ζουν / εργάζονται σε αυτά τα κτίρια προκειμένου να επηρεάσουν το εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου. Πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα της νανοτεχνολογίας, στις τεχνολογίες αισθητήρων, τις ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας και επεξεργασίας δεδομένων και ελέγχου επέτρεψαν την ενσωμάτωση της περιβάλλουσας νοημοσύνης στα κτίρια.[72]

Στην περίπτωση των έξυπνων σπιτιών, οι πελάτες πρέπει να αποφασίσουν ποια τεχνολογία ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες τους και είναι διαθέσιμη σε προσιτό για αυτούς κόστος. Μια σημαντική πτυχή είναι ότι οι πελάτες δεν θα πρέπει να επιβαρύνονται με την τεχνολογία που σε κάποιο σημείο δεν θα καταλαβαίνουν ή απλά δεν θα μπορούν να χειριστούν πια. Αν η αυτοματοποίηση οδηγεί σε χειροκίνητες παρεμβάσεις από τους χρήστες της τότε δεν έχει πλέον νόημα και κατά συνέπεια οδηγεί σε μια μείωση στην εξοικονόμηση ενέργειας. [72,73]

Κρίσιμη είναι επίσης η ενσωμάτωση και η εφαρμογή έξυπνων μετρητών, έτσι ώστε οι πελάτες να γνωρίζουν ακριβώς πια συσκευή καταναλώνει πόση ενέργεια και σε ποια χρονική στιγμή. Αυτό καθιστά σαφές ότι υπάρχει μία ομαλή μετάβαση μεταξύ των

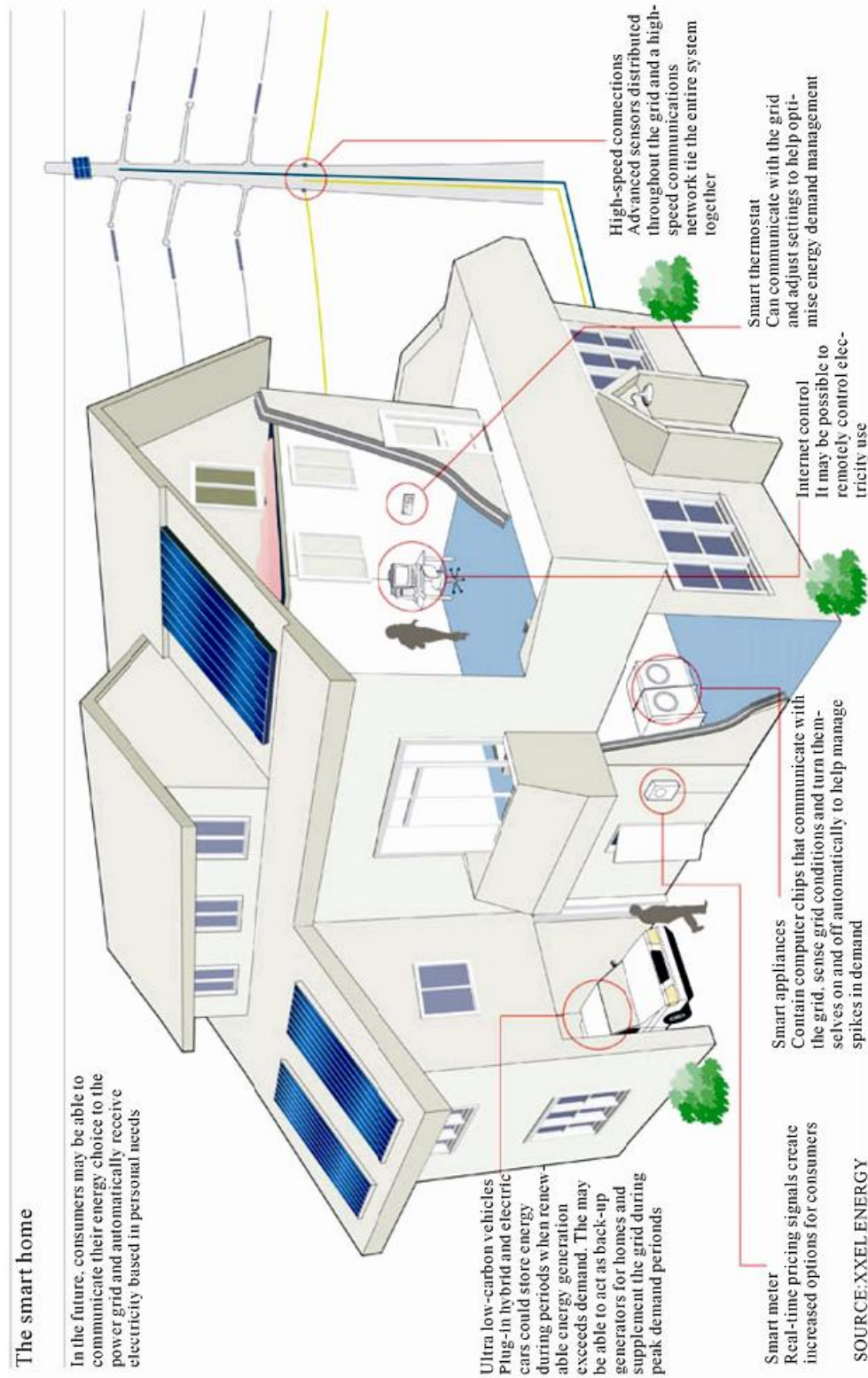
έξυπνων συστημάτων μέτρησης, των έξυπνων συσκευών και των έξυπνων σπιτιών και ότι οι νέες υπηρεσίες και προϊόντα για την εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να είναι μια ευκαιρία για τους νέους και καταξιωμένους παίκτες στον τομέα της ενέργειας. [63]

Οι υποδομές έξυπνων μετρήσεων επιτρέπουν την ακριβέστερη μέτρηση της κατανάλωσης μέσω της χρήσης έξυπνων μετρητών, οι οποίοι συνδέονται με μια κεντρική μονάδα μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας, βελτιώνοντας και επιτρέποντας την απόκτηση σημαντικών δεδομένων και επιτρέποντας τη ροή των πληροφοριών προς δύο κατευθύνσεις. Τα πλεονεκτήματα των έξυπνων μετρητών εξετάστηκαν λεπτομερώς στο κεφάλαιο 3.4. Η έξυπνη μέτρηση παρέχει πληροφορίες σχετικά με τα πρότυπα και της συνήθειας κατανάλωσης ενέργειας συμβάλλοντας στην πιο βιώσιμη κατανάλωση και την εξοικονόμηση ενέργειας. Η χρήση των έξυπνων μετρητών απλώς για τη σκοπούς συλλογής πληροφοριών και τιμολόγησης δεν αξιοποιεί πλήρως τις δυνατότητές τους. Είναι γεγονός ότι οι έξυπνοι μετρητές μας δίνουν της κατάλληλες πληροφορίες για την κατανόηση των μοτίβων χρήσης και κατανάλωσης της ενέργειας και μας δίνουν την δυνατότητα για την εφαρμογή πιο αποτελεσματικών μηχανισμών ελέγχου. Έχουν να προσφέρουν στους πελάτες (τόσο της ηλεκτρικής ενέργειας και του φυσικού αερίου), τα ακόλουθα πρόσθετα πλεονεκτήματα:

- Πιο ακριβείς λογαριασμούς (δηλαδή την αποφυγή των λογαριασμών με βάση την εκτιμώμενη χρήση)
- Πληροφορίες που θα μπορούσαν να τους βοηθήσουν να χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια και την ενθάρρυνση των επενδύσεων στην ενεργειακή απόδοση
- Μείωση του κόστους μέσω της μείωσης της κατανάλωσης αιχμής, διότι αυτό θα μείωνε την ανάγκη για νέες επενδύσεις στο δίκτυο
- Αυξημένη ασφάλεια του εφοδιασμού, επειδή λιγότερη ενέργεια χρησιμοποιείται
- Τη αειφόρο κατανάλωση μέσω της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.[72]

Τέλος το πιο σημαντικό μέρος ενός έξυπνου σπιτιού παραμένει ακόμα ο χρήστης. Αυτός επιλέγει περισσότερο ή λιγότερο συνειδητά τις δραστηριότητές του και τα καταναλωτικά του πρότυπα και έτσι επηρεάζει ουσιαστικά τις τελικές αποφάσεις όσο αφορά την κατανάλωση και την χρήση ενέργειας. Μια άλλη πιθανή εφαρμογή είναι η μόνιμη πληροφόρηση σχετικά με την τρέχουσα κατανάλωση ενέργειας η οποία θα εμφανίζεται σε μία οθόνη (ενός υπολογιστή, laptop, κ.λ.π.) έτσι ώστε ο πελάτης να μπορεί να ελέγξει την ενεργειακή του ζήτηση και κατανάλωση σε πραγματικό χρόνο. Στοχεύουμε λοιπόν στον τελικό χρήστη προκειμένου να του δώσουμε στοιχεία και πληροφορίες σχετικά με την ενεργειακή συμπεριφορά του και τη διαθέσιμη τοπικά παραγόμενη καθαρή ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι ο πελάτης θα μπορεί άμεσα να έχει στην διάθεση του όλα τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να προσαρμόσει την

κατανάλωση σύμφωνα με τις ανάγκες του και έχοντας ως στόχο την εξοικονόμηση και την ενεργειακή αποτελεσματικότητα. [64,71]



Εικόνα 3.23: Ένα Έξυπνο Σπίτι [64]



## ***Κεφάλαιο 4. Μελλοντικές Προκλήσεις***

---



Για όλους τους τομείς που εξετάζονται στο Κεφάλαιο 3, ένα κοινό συμπέρασμα μπορεί να βγει: οι ΤΠΕ είτε χρησιμοποιούνται σε όλους αυτούς τους τομείς ή αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο εγγύς μέλλον. Τόσο η οικονομική όσο και η ενεργειακή απόδοση μπορεί να είναι αυξηθεί μέσω της εισαγωγής νέων τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών. Η αλληλεξάρτηση των τομέων της ενεργειακής αλυσίδας, επιβεβαιώνει την ανάγκης μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης επί του θέματος. Οι έξυπνοι μετρητές, για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλληλεπιδρώντας με τις τεχνολογίες των έξυπνων σπιτιών, και στο δίκτυο διανομής για την εφαρμογή προγραμμάτων Διαχείρισης της Ζήτησης και Ανταπόκρισης στην Ζήτηση (καθώς και στην ομαλή και αποδοτική ενσωμάτωση της αποκεντρωμένης παραγωγής και τον εικονικών μονάδων στο δίκτυο) καθώς και για τη μεταφορά δεδομένων και τη λήψη εντολών ελέγχου από όλους τους φορείς του συστήματος γενικότερα. Για την πραγματοποίηση αυτής της αλληλεπίδρασης σε όλους τους τομείς της ενέργειας αλυσίδας, την αποδοτική διασύνδεση τους και την αποτελεσματική ενσωμάτωση των ΤΠΕ σε αυτούς, κάποιες προϋποθέσεις πρέπει να πληρούνται και κάποιες μελλοντικές προκλήσεις θα πρέπει να είναι ξεπεραστούν. Με βάση λοιπόν ότι τα στοιχεία που μας δίνει η ανάλυση στο κεφάλαιο 3 θα αναφέρουμε κάποιες σημαντικές προκλήσεις για την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος.

Ο τελικός στόχος για την εφαρμογή των ΤΠΕ σε ολόκληρη την ενεργειακή αλυσίδα είναι να υπάρχουν ολοκληρωμένες υποδομές πληροφοριών και επικοινωνιών, όπου οι περισσότερες διαδικασίες θα εκτελούνται αυτόματα και η ροή πληροφοριών ανάμεσα σε μεμονωμένους τομείς θα είναι αποτελεσματική και εύκολη. Υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι θα υπάρξουν θετικές επιπτώσεις για την ενεργειακή απόδοση από μια τέτοια ανανεωμένη αρχιτεκτονική του ενεργειακού συστήματος. Παρ' όλα αυτά, αρκετά εμπόδια θα πρέπει να είναι ξεπεραστούν, τόσο στην αλληλεπίδραση μεταξύ των τομέων όσο και στον κάθε τομέα ξεχωριστά. Κάποια από τα εμπόδια αυτά συνδέονται άμεσα με τις ΤΠΕ ενώ άλλα δεν έχουν σχέση και επηρεάζουν έμμεσα την εφαρμογή των ΤΠΕ στο υπάρχον σύστημα ενέργειας.

Τα δίκτυα επικοινωνίας διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην έξυπνη και αυτοματοποιημένη διαχείριση ενέργειας του συστήματος ενέργειας, οπότε η αξιοπιστία τους και τα θέματα ασφαλείας τους είναι ένα κρίσιμο μέρος της αξιοπιστίας και της ασφάλειας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, και ως εκ τούτου θα πρέπει να αντιμετωπιστούν με προσοχή. Το πιο σημαντικό, δεδομένου του χρόνου επείγοντος ορισμένων τύπων μηνυμάτων και δεδομένων στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, είναι η πρόκληση να βρούμε λύσεις για την αξιοπιστία και την ασφάλεια που να πληρούν τις αυστηρές απαιτήσεις.

Τα προβλήματα ασφαλείας των πληροφοριών και της επικοινωνίας μπορεί να καταταγούν σε πέντε γενικές κατηγορίες σε σχέση με τους στόχους τους, δηλαδή, τη διαθεσιμότητα, την ακεραιότητα, την εμπιστευτικότητα, και την αυθεντικότητα.

- Διαθεσιμότητα των Πληροφοριών: Τα δίκτυα επικοινωνιών θα πρέπει να είναι σε θέση να εκτελέσουν τις λειτουργίες επικοινωνίας φυσιολογικά και χωρίς

πρόβλημα, όταν γίνονται επιθέσεις στο σύστημα που προσπαθούν να εμποδίσουν την δίοδο και μεταφορά πληροφοριών στα δίκτυα. Η διαθεσιμότητα είναι το θεμέλιο και των άλλων ανησυχιών για την ασφάλεια. Τα δίκτυα επικοινωνίας θα πρέπει πρώτα να εγγυούνται την παράδοση των μηνυμάτων και τον πληροφοριών στον προορισμό τους και στη συνέχεια να προστατεύουν τα μηνύματα αυτά από άλλες απειλές ασφαλείας. Καθώς τα δίκτυα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται σε ένα σύγχρονο σύστημα ενέργειας εξοπλισμένο με ΤΠΕ θα είναι μια ολοκληρωμένη υποδομή μεγάλης κλίμακας, που θα περιλαμβάνει μια ποικιλία συστατικών και πρωτοκόλλων, οι επιτιθέμενοι θα μπορούν να εκμεταλλευτούν τα τρωτά σημεία της ασφαλείας σε διάφορους κόμβους του δικτύου και στρώματα του πρωτοκόλλου και να εμποδίσουν την πρόσβαση και χρήση των νόμιμων επικοινωνιών στο δίκτυο.

- **Ακεραιότητα των Πληροφοριών:** Τα δεδομένα και μηνύματα που διαβιβάζονται στο δίκτυο επικοινωνίας του συστήματος ενέργειας θα πρέπει να προστατεύονται από μη εξουσιοδοτημένες αλλαγές. Το περιεχόμενο αυτών των δεδομένων/ μηνυμάτων σχετίζεται με τις μετρήσεις του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, των ελέγχων και των δεδομένων του χρήστη, η παραποίηση των οποίων θα να θέσει σε κίνδυνο την λειτουργία και την αξιοπιστία του συστήματος ενέργειας. Για παράδειγμα, ένας μια αλλαγμένη μέτρηση κατάστασης μπορεί να χάσει ένα συναγερμό διακοπής ενός εξαρτήματος, μια παραποιημένη εντολή ελέγχου μπορεί να διακόψει τις λειτουργίες του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, και μια λανθασμένη ανταλλαγή δεδομένων χρηστών μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες ενέργειες στο σύστημα διαχείρισης της ενέργειας. Πρέπει να προβλεφθούν μηχανισμοί για την επαλήθευση της ακεραιότητας των πληροφοριών που περιέχονται στα μεταδιδόμενα δεδομένα/μηνύματα.
- **Αυθεντικότητα των Πληροφοριών:** Παραποιημένα και πλαστά δεδομένα και μηνύματα στα δίκτυα επικοινωνίας θα πρέπει επίσης να γίνονται ορατά και να αναγνωρίζονται εγκαίρως. Ψευδή δεδομένα που εγχέονται στα δίκτυα επικοινωνιών από εισβολείς διακόπτουν τις κανονικές λειτουργίες σύστημα τροφοδοσίας με παρόμοιο τρόπο όπως τα παραποιημένα μηνύματα. Μεταφέρουν ανακριβείς πληροφορίες μεταξύ συσκευών κατανομή ισχύος και οδηγούν σε λανθασμένες αποφάσεις διαχείρισης. Ως εκ τούτου, τα δίκτυα επικοινωνιών πρέπει να έχουν μηχανισμούς που είναι σε θέση να ελέγξουν τη γνησιότητα των μηνυμάτων. Μηνύματα που δεν θα περνούν τον έλεγχο αυθεντικότητας πρέπει να αγνοηθούν και, υπό ορισμένες περιπτώσεις, οι πραγματικές πηγές των πλαστών μηνυμάτων θα πρέπει να είναι εντοπιστούν.
- **Εμπιστευτικότητα των Πληροφοριών:** Οι ευαίσθητες πληροφορίες που μεταδίδονται μέσω των δικτύων επικοινωνίας θα πρέπει να παραμένουν εμπιστευτικές. Οι πληροφορίες αυτές περιλαμβάνουν για παράδειγμα τους λογαριασμούς και τα στοιχεία των συναλλαγών των χρηστών. Αποκάλυψη ευαίσθητων πληροφοριών των χρηστών μπορεί να παραβιάσει τα δικαιώματα τους, να τους προκαλέσει οικονομικές και όχι μόνο ζημιές, και να θέσει σε

κίνδυνο την πιστοληπτική ικανότητα των φορέων παροχής υπηρεσιών ηλεκτρικής ενέργειας. Κατάλληλοι μέθοδοι πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να αποτραπούν μη εξουσιοδοτημένοι χρήστες από την πρόσβαση στις ευαίσθητες πληροφορίες, τόσο κατά τη διάρκεια της μετάδοσης και όσο και της αποθήκευσης. Ο βαθμός προστασίας του απορρήτου πρέπει να είναι ανάλογος με τη περίοδο απορρήτου που απαιτείται από τα προστατευόμενα δεδομένα.

Το έξυπνο σύστημα ενέργειας εξοπλισμένο με ΤΠΕ είναι ένα μεγάλης κλίμακας πολύπλοκο σύστημα ενέργειας που διασύνδεει έναν τεράστιο αριθμό συσκευών ισχύος που είναι εξοπλισμένες με σημαντικά διαφορετικές δυνατότητες υπολογισμού και επικοινωνίας. Είναι δύσκολο να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα ασφαλείας στα δίκτυα επικοινωνίας του έξυπνου συστήματος ενέργειας λόγω του μεγέθους του δικτύου και της ανομοιογένειας. Συγκεκριμένα, υπάρχουν ερευνητικές προκλήσεις στις ακόλουθες κατηγορίες.

- **Χαρτογράφηση απαιτήσεων:** Τα δίκτυα επικοινωνιών του συστήματος ενεργείας μεταδίδουν διαφοροποιημένες τάξεις των μηνυμάτων και δεδομένων. Διαφορετικοί τύποι μηνυμάτων μπορεί να απαιτούν διαφορετικά προστατευτικά μέτρα ασφαλείας. Για παράδειγμα, τα μηνύματα ελέγχου του συστήματος πρέπει να προστατεύονται με τη διαθεσιμότητα, την ακεραιότητα και την αυθεντικότητα των πληροφοριών, ενώ τα δειγματοληπτικά (και όχι τόσο σημαντικά) στοιχεία για την κατάσταση του συστήματος μπορεί να χρειαστούν μόνο την ακεραιότητα και την αυθεντικότητα και η απαίτηση για διαθεσιμότητα μπορεί να μην είναι πάντοτε απαραίτητη, καθώς η περιστασιακή απώλεια πακέτων είναι αποδεκτή. Μια προσεκτική ταξινόμηση των τύπων μηνυμάτων και η χαρτογράφηση τους στην επίτευξη των στόχων της ασφάλειας πρέπει να προσδιοριστεί.
- **Λύσεις Ελάχιστης Χρονικής Καθυστέρησης:** Οι μηχανισμοί προστασίας ασφαλείας για αναδυόμενα μηνύματα πρέπει να επισύρουν ελάχιστη χρονική καθυστέρηση για να ικανοποιήσουν τις χρονικές απαιτήσεις καθυστέρησης των μηνυμάτων. Για τα χρονικά κρίσιμα μηνύματα, παράδοση τους πέρα από την αποδεκτή χρονική στιγμή και επιτρεπόμενη καθυστέρηση καθιστούν τα μηνύματα άχρηστα. Οι καθυστερήσεις που εισάγονται από τους υπολογισμούς της ασφάλειας και ρυθμίσεις πρωτόκολλων προσθέτουν στην κορυφή του μηνύματος καθυστερήσεις μετάδοσης και ως εκ τούτου θα πρέπει να διατηρηθούν ελάχιστο. Σε γενικές γραμμές, μεγάλης υπολογιστικής εντάσεως λύσεις ασφαλείας παρέχουν ισχυρή προστασία αλλά απαιτούν μακρά καθυστέρηση, έτσι, ένα πρακτικό δίλημμα μεταξύ της απόδοσης της ασφάλειας και της υπολογιστικής καθυστέρησης μπορεί και πρέπει να επιτευχθεί στο σχεδιασμό των λύσεων ασφαλείας.
- **Αξιολόγηση της Ασφάλειας:** Κάθε σύστημα ασφαλείας που χρησιμοποιείται στα δίκτυα επικοινωνίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να αξιολογείται προσεκτικά όσο αφορά την αποτελεσματικότητα του και τις

δυνάμεις του. Τυπικές μετρήσεις αξιολόγησης είναι ο υπολογιστικός χρόνος που απαιτείται για να τεθεί σε κίνδυνο το σύστημα ασφαλείας. Η δύναμη του συστήματος ασφαλείας θα πρέπει να είναι επαρκώς υψηλή έτσι ώστε να είναι πρακτικά αδύνατο να τεθεί σε κίνδυνο το σύστημα μέσα σε εύλογο χρονικό διάστημα. Για το σχεδιασμό ενός πρωτόκολλου ασφαλείας, κάθε βήμα στο πρωτόκολλο θα πρέπει να επιθεωρείται για να αποκλείει οποιαδήποτε πιθανά κενά ασφαλείας. Η αξιολόγηση της ασφάλειας πρέπει επίσης να περιλαμβάνει εκτίμηση των πιθανών ζημιών του εξοπλισμού και των απωλειών των υπηρεσιών σε περίπτωση που το σύστημα τεθεί σε κίνδυνο. [74]

Εν κατακλείδι, η διαλειτουργικότητα, η προστασία του απορρήτου των δεδομένων και η κρυπτογράφηση είναι προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν μέσα στο πλαίσιο των ΤΠΕ. Η διαλειτουργικότητα είναι ζωτικής σημασίας για την υλοποίηση ενός δικτύου εξοπλισμένου με ΤΠΕ. Μόνο αν όλοι οι συμμετέχοντες και τα εξαρτήματα του συστήματος είναι σε θέση να επικοινωνούν μεταξύ τους είναι δυνατή μια ολοκληρωμένη βελτιστοποίηση ροής ισχύος ανάμεσα σε όλους τους τομείς της ενεργειακής αλυσίδας. Αυτό μπορεί να υλοποιηθεί μόνο με τον καθορισμό κοινών τύπων/προτύπων δεδομένων, ώστε οι πληροφορίες, π.χ. τα δεδομένα μέτρησης, τοπολογικά δεδομένα, κ.λ.π., να μπορούν να μεταφερθούν και να αξιολογηθούν εύκολα και γρήγορα χωρίς πρόσθετα έξοδα. Δεύτερον, η εφαρμογή/χρήση των ΤΠΕ συνεπάγεται μεγάλη ποσότητα δεδομένων που παράγονται από εκατομμύρια ευφυείς μονάδες. Αυτά τα δεδομένα πρέπει να είναι προστατευμένα κάτι το οποίο θα εγγυηθεί ότι όλοι οι παράγοντες, ιδίως οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, θα συμφωνήσουν να συμμετάσχουν στο νέο σύστημα εξοπλισμένο με ΤΠΕ. Είναι επιτακτική ανάγκη οι ρόλοι και οι αρμοδιότητες είναι σαφώς καθορισμένοι και οι εταιρίες ενέργειας και ΤΠΕ να συνεργαστούν για να συντονίσουν μέτρα ασφαλείας για την αποτροπή ευάλωτων και απροστάτευτων σημείων στις επικοινωνίες και την μεταφορά δεδομένων. Επί του παρόντος, ο τρόπος για να σπάσει αυτό το αδιέξοδο είναι ορίζοντας παγκόσμια και εθνικά πρότυπα και θεσπίζοντας τους κατάλληλους εθνικούς ή / και διεθνείς κανόνες και νόμους που να βασίζονται σε μια σταθερή ενεργειακή πολιτική. Τέλος, η κρυπτογράφηση των δεδομένων θα πρέπει να εξασφαλιστεί επειδή τουλάχιστον μερικά από τα δεδομένα που παράγονται στο ενεργειακό σύστημα είναι εξαιρετικά ευαίσθητα, για παράδειγμα όταν ορισμένες εφαρμογές είναι σε χρήση. Ως εκ τούτου, τα δεδομένα πρέπει να προστατεύονται από διαρροές, εκμετάλλευση ή απώλεια της διαθεσιμότητας τους μέσω κατάλληλου υλικού (hardware) ή λογισμικού.

Από την άλλη πλευρά, εμπόδια που δεν έχουν άμεση σχέση με τις ΤΠΕ αλλά θα δημιουργήσουν προβλήματα πρέπει να αντιμετωπιστούν. Ένα ζήτημα είναι η αποδέσμευσή του συστήματος από της ήδη ενσωματωμένες στο σύστημα εταιρείες και η εμφάνιση νεοεισερχόμενων εταιρειών στην πορεία για την απελευθέρωση των αγορών ενέργειας. Στην εποχή πριν την απελευθέρωση των αγορών ήταν δυνατό για τα μονοπώλια να πραγματοποιήσουν έναν ολοκληρωμένο σχεδιασμό πόρων (από την παραγωγή ως την προσφορά. Αυτό επίσης διευκόλυνε την ροή των πληροφοριών.

Ένας ανεξάρτητος παίκτης σε μια απελευθερωμένη αγορά δεν ενδιαφέρεται πλέον για αυτά. Το ενδιαφέρον του είναι κυρίως η μεγιστοποίηση του κέρδους. Οι επιπτώσεις των ενεργειών του σχετικά με την παραγωγή είναι περισσότερο ή λιγότερο άσχετα με αυτόν. Για την αποτελεσματικότητα των διεργασιών που επηρεάζουν το σύνολο της ενεργειακής αλυσίδας αξιών, κοινές ροές και πρότυπα δεδομένων στο σύνολο του κλάδου είναι απαραίτητα. Μόνο αν όλοι οι παίκτες/παραγωγοί μιλούν την ίδια γλώσσα και ελέγχονται από τις ρυθμιστικές αρχές ενέργειας και με το κατάλληλο νομικό πλαίσιο (προσαρμοσμένο στις νέες ανάγκες) σε ισχύ το σύστημα θα αποδειχθεί επιτυχές ως σύνολο. Ως εκ τούτου, αυτά τα θέματα θα πρέπει να ξεπεραστούν και η διαλειτουργικότητα θα πρέπει να προβλέπεται.

Εντός των μεμονωμένων τομέων της ενεργειακής αλυσίδας αξιών, υπάρχουν διαφορετικά εμπόδια. Υπάρχει ανάγκη, για την έρευνα και την ανάπτυξη στον τομέα της ετοιμότητας των υποδομών που σχετίζονται με την ένταξη ενός μεγάλου αριθμού μονάδων αποκεντρωμένης παραγωγής μεγάλης κλίμακας και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σε ηλεκτρονικά ισχύος και ευφυείς αλγορίθμους που θα ενσωματωθούν στα μελλοντικά εξυπνότερα δίκτυα.

Ιδιαίτερα σημαντικός είναι και ο εκσυγχρονισμός του συστήματος ενέργειας όσο αφορά ηλεκτρολογικό και μηχανολογικό εξοπλισμό και σύγχρονα ηλεκτρονικά ισχύος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα απαρχαιωμένα δίκτυα μεταφοράς ακόμα και σε ανεπτυγμένες χώρες. Δεν ξέρουμε αν τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής θα μπορέσουν να ανταπεξέλθουν και να διαχειριστούν πλήρως στην όλο και αυξανόμενη παραγωγή και ενσωμάτωση των ΑΠΕ και της αποκεντρωμένης παραγωγής. Για αυτό και βελτιώσεις σε αυτούς τους τομείς είναι απαραίτητοι σε κάποιες περιπτώσεις για την υψηλή απόδοση, ποιότητα, και αξιοπιστία της μεταφοράς και της διανομής.

Υπάρχουν μεγάλες δυνατότητες όσον αφορά τη δημιουργία επιχειρηματικών σχεδίων για επενδύσεις σε ένα έξυπνο σύστημα ενέργειας εξοπλισμένο με ΤΠΕ, όπως η αντικατάσταση των γερασμένων υποδομών και περισσότερη ενεργή συμμετοχή του δικτύου και των καταναλωτών. Ωστόσο, αυτό μπορεί να γίνει αρκετά περίπλοκο από τον μεγάλο αριθμό των ιδιοκτητών / ενδιαφερόμενων μερών στη συνολική ενεργειακή αλυσίδα αξιών, δηλαδή τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας, τους διαχειριστές των δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, τους διαχειριστές του δικτύου διανομής, τους έμπορους λιανικής, τους διαχειριστές μετρήσεων, τους πάροχους τεχνολογιών και υπηρεσιών, τους καταναλωτές, τις ρυθμιστικές αρχές, κ.λπ., καθώς και η μοναδική και διαφορετική εθνική δομή της ενεργειακής αλυσίδας σε διαφορετικές χώρες.

Επίσης, στην παραγωγή, φορείς εικονικών εγκαταστάσεων ηλεκτροπαραγωγής που αποτελούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν επωφελούνται οικονομικά από την φιλική ως προς το δίκτυο ενέργεια τροφοδοσία τους. Ο διαχειριστής του συστήματος μεταφοράς/διανομής (και έτσι τελικά και των καταναλωτών) πρέπει να αναλάβει τα έξοδα για την επείγουσα εξισορρόπηση της ενέργειας που προκύπτει από

την διαλείπουσα ηλεκτροπαραγωγή και την απόκλιση των προβλέψεων. Αν η φιλική προς το δίκτυο τροφοδοσία στηριχτεί και επιβραβευθεί, θα έδινε πολύ μεγαλύτερο κίνητρο για τη δημιουργία εικονικών σταθμών παραγωγής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Σε άλλους τομείς της ενεργειακής αλυσίδας (διανομή, έξυπνοι μετρητές και οικιακός αυτοματισμός), ανεπαρκώς ενημερωμένοι πελάτες μπορεί να είναι ένα ακόμη εμπόδιο που πρέπει να ξεπεραστεί. Πρώτον, οι πελάτες συχνά απλά δεν γνωρίζουν τίποτα σχετικά με τις δυνατότητες που υπάρχουν και ποια πλεονεκτήματα προκύπτουν από αυτές, για την μείωση και την αποδοτική κατανάλωση ενέργειας καθώς και για την μείωση του κόστους. Ακόμη και εάν οι πελάτες έχουν επίγνωση των πλεονεκτημάτων, αυτά πρέπει να είναι πολύ πιο ουσιαστικά και σημαντικά σε σχέση με τα μειονεκτήματα ή το κόστος, έτσι ώστε οι πελάτες να έχουν κίνητρο και δυνατότητα να επιλέξουν αυτές τις τεχνολογίες. Μπορεί να υπάρχει προθυμία να δεχτούν αυτές τις αλλαγές, αλλά οι πελάτες να μην έχουν τα οικονομικά μέσα για να επενδύσουν σε νέες τεχνολογίες, ακόμη και αν μπορούν να πληρώσουν μακροπρόθεσμα. Συνεπώς, είναι απαραίτητο η πολιτεία να δημιουργήσει ένα πλαίσιο που να φέρνει στο προσκήνιο αυτές τις καινοτόμες λύσεις. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί παρέχοντας στους πελάτες κατάλληλες πληροφορίες και διεγείροντας/στηρίζοντας την εφαρμογή των ΤΠΕ, τόσο χρηματικά όσο και νομικά. Τέλος, ένα ακόμα ζήτημα (ανεξάρτητο του πελάτη) είναι η έλλειψη κινήτρων για τις ενεργειακές εταιρείες να πωλούν λιγότερη ενέργεια και να ενθαρρύνουν την αποδοτικότητα των πελατών. Οπότε όπως θα αναφέρουμε και παρακάτω είναι καθήκον της ρυθμιστικής αρχής και του κράτους να παρέχει τα κατάλληλα κίνητρα.

Εμπόδια όσον αφορά τους διαχειριστές του συστήματος ενέργειας μπορεί να βρίσκονται στις επιφυλάξεις τους σχετικά με τις αναγκαίες επενδύσεις σε ΤΠΕ. Για παράδειγμα, το κόστος των έξυπνων μετρητών με επιπλέον λειτουργίες δεν είναι πλήρως διαπιστευμένο από τις ρυθμιστικές αρχές. Εάν οι εταιρείες αποφασίσουν να επενδύσουν σε τέτοιους έξυπνους μετρητές, τα έξοδα τους θα αυξηθούν περισσότερο σε σχέση με τα επιτρεπόμενα έσοδα τους (τα οποία βασίζονται στο διαπιστευμένο κόστος). Αυτό μπορεί να αποτρέψει τις εταιρείες από τις επενδύσεις στις έξυπνες υποδομές και τις ΤΠΕ, διότι μπορεί να οδηγήσουν σε μη επιτυχία των ατομικών τους στόχων απόδοσης. Είναι καθήκον της εκάστοτε ρυθμιστικής αρχής κάθε χώρας να παρέχει κίνητρα ούτως ώστε αυτές οι επενδύσεις να μην αναβληθούν ή ακυρωθούν και να είναι δυνατός ο εκσυγχρονισμός του συστήματος ενέργειας. Ειδικοί επενδυτικοί λογαριασμοί για κάθε φορέα εκμετάλλευσης του συστήματος ενέργειας, καθώς και αναπτυξιακά προγράμματα μπορεί να είναι ένας κατάλληλος τρόπος για να αποφευχθούν τέτοιου είδους εξελίξεις.



## *Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα*

---



Αυτή η διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να αναδείξει της δυνατότητες και τις λύσεις που μας προσφέρουν οι Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) για την ενεργειακή βελτιστοποίηση. Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύσαμε την δυναμική των ΤΠΕ όσο αφορά την οικονομική και ενεργειακή αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα για τις πολύπλοκες απαιτήσεις στους τομείς της παραγωγής ενέργειας, μεταφοράς, διανομής και παροχής, δηλαδή σε όλους τους τομείς της ενεργειακής αλυσίδας

Οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο, έχουν υποστεί θεμελιώδεις αλλαγές τα τελευταία χρόνια που καθιστούν αναγκαία την χρήση των ΤΠΕ. Τρία ζητήματα έχουν παίξει κύριο ρόλο:

- Πρώτον, η απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, και αναδυόμενος ανταγωνισμός,
- Δεύτερον, η ισχυρή ανάπτυξη της αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας, ιδίως στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, και η δυνατότητα για εικονικές εγκαταστάσεις παραγωγής,
- Και, τρίτον, η ανάγκη για αποτελεσματική χρήση και κατανάλωση της ενέργειας για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται ως ακολούθως:

- Μία καίρια επιλογή που προσφέρουν οι ΤΠΕ στη παραγωγή ενέργειας είναι η καλύτερη και αποτελεσματικότερη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια. Οι ΑΠΕ αναμένεται ότι θα εφαρμοστούν όλο και περισσότερο στην παραγωγή και στα δίκτυα διανομής, δηλαδή στα χαμηλά και μεσαία επίπεδα τάσης. Επίσης η ενσωμάτωση της αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας (Distributed/Decentralized Generation-DG) στο υπάρχον σύστημα ενέργειας σε μαζική κλίμακα και η καθιέρωση και λειτουργία των Εικονικών Εγκαταστάσεων Ηλεκτροπαραγωγής είναι δύο από τα πιο σημαντικά σημεία που μπορούν να συμβάλλουν οι ΤΠΕ.
- Οι ΤΠΕ μπορούν να εκσυγχρονίσουν το υπάρχον σύστημα μεταφοράς με την ευρεία χρήση τεχνολογιών αισθητήρων, μετρητών και τηλεπικοινωνιών, και με λειτουργίες αυτο-ίασης και αυτοματισμού στα κέντρα ελέγχου, στις γραμμές μεταφοράς ισχύος, και στους υποσταθμούς. Επίσης θα παίξουν σημαντικό ρόλο στις αναπτυσσόμενες αγορές αποθεματικών ενέργειας με την αναβάθμιση των επικοινωνιών στους τομείς του δευτερογενούς και τριτογενούς αποθεματικού για την περαιτέρω αυτοματοποίηση των διαδικασιών.
- Οι ΤΠΕ στο δίκτυο διανομής θα συμβάλλουν σημαντικά στην αποδοτική ενσωμάτωση και διαχείριση της αποκεντρωμένης παραγωγής, την εφαρμογή προγραμμάτων Διαχείρισης της Ζήτησης (DSM - Demand Side Management) και

Ανταπόκρισης στη Ζήτηση (DR-Demand Response), στην ευρεία διάδοση τεχνολογιών αισθητήρων και τηλεπικοινωνιών, στις λειτουργίες αυτο-ίασης, αυτοματισμού, και στη συμμετοχή των καταναλωτών μέσω της ανταπόκρισης στη ζήτηση, έξυπνων συσκευών, και έξυπνων συστημάτων μέτρησης

- Στον τομέα των σπιτιών/κτιρίων, οι ΤΠΕ έχουν προετοιμάσει το έδαφος και μας έχει δώσει την δυνατότητα για να κατασκευάσουμε ευφυή/έξυπνα σπίτια (Smart Houses). Αυτά τα σπίτια χαρακτηρίζονται από διαλειτουργικότητα, έξυπνα συστήματα μετρήσεων, ευφυή έλεγχο και αυτοματοποιημένες διαδικασίες όσο αφορά την ρύθμιση της ηλεκτρικής ενέργειας και της θερμότητας, οι οποίες χρειάζονται μικρή χειροκίνητη παρέμβαση. Μία άλλη δυνατότητα που μας προσφέρουν οι ΤΠΕ είναι η μόνιμη πληροφόρηση σχετικά με την τρέχουσα κατανάλωση ενέργειας η οποία θα εμφανίζεται σε μία οθόνη (ενός υπολογιστή, laptop, κ.λ.π.) έτσι ώστε ο πελάτης να μπορεί να ελέγξει την ενεργειακή του ζήτηση και κατανάλωση σε πραγματικό χρόνο και να προσαρμόσει την κατανάλωση του σύμφωνα με τις ανάγκες του και έχοντας ως στόχο την εξοικονόμηση και την ενεργειακή αποτελεσματικότητα.

Για να αξιοποιηθεί αυτή η δυναμική των ΤΠΕ, κατάλληλες επενδύσεις πρέπει να πραγματοποιηθούν και κάποιες μελλοντικές προκλήσεις και εμπόδια πρέπει να εξαιρεθούν σε όλους τους τομείς που εξετάστηκαν (όπως αναλύσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο). Εάν ξεπεραστούν αυτά εμπόδια, αναμένεται ότι οι διαδικασίες και οι λειτουργίες στον ενεργειακό τομέα θα γίνουν πιο αποτελεσματικές από την άποψη τόσο της οικονομικής όσο και της ενεργειακής αποδοτικότητας. Επίσης οι παθητικές ομάδες όπως οι οικιακές οι πελάτες θα μπορούν να καταστούν ενεργοί παίκτες μέσω της ένταξής τους σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα ενέργειας που θα βασίζεται στις ΤΠΕ. Η καλύτερη πρόσβασή σε σημαντικές πληροφορίες και δεδομένα θα ενισχύσει τον ανταγωνισμό στην παραγωγή και την παροχή και θα κάνει το ενεργειακό σύστημα πιο έξυπνο και φιλικό προς το περιβάλλον. Πρέπει να τονίσουμε ότι οι τομείς του ενεργειακού συστήματος συνδέονται άμεσα και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους οπότε λόγω αυτής της εξάρτησης είναι πολύ σημαντικό η εφαρμογή των ΤΠΕ να γίνει σταδιακά σε όλους τους τομείς ώστε να είναι εφικτή η δημιουργία ενός ευέλικτου, προσιτού, αξιόπιστου και οικονομικού νέου συστήματος ενέργειας. Οι ΤΠΕ θα είναι ένας καταλύτης σε αυτή τη διαδικασία και θα οδηγήσουν στη δημιουργία νέων ενεργειακών αγορών, στη μείωση των ρύπων και στην υψηλότερη ποιότητα, αποδοτικότητα και αξιοπιστία του συστήματος.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται περιληπτικά τα βασικά συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

**Πίνακας 5.1:**  
Συγκεντρωτικός Πίνακας Βασικών Συμπερασμάτων

	<b>Το Σημερινό Σύστημα Ενέργειας</b>	<b>Σύγχρονο Σύστημα Ενέργειας με ΤΠΕ</b>	<b>Μελλοντικές Προκλήσεις/Εμπόδια</b>
<b>Παραγωγή</b>	Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Καλύτερη και αποτελεσματικότερη ενσωμάτωση των (ΑΠΕ)</li> <li>• Αποκεντρωμένη Παραγωγή / Εικονικές Εγκαταστάσεις Παραγωγής</li> </ul>	Δεν υπάρχει ανταμοιβή για φιλική προς το δίκτυο παραγωγή/τροφοδοσία
<b>Δίκτυο Μεταφοράς</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Προβλήματα των υποδομών</li> <li>• Αργή Επικοινωνία (π.χ. τριτογενής αγορά αποθεματικού)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Προστασία, αυτοματοποίηση, ασφάλεια, ανίχνευση βλαβών και αυτο-ίαση</li> <li>• Σύγχρονη και γρήγορη επικοινωνία (π.χ. αγορά αποθεματικού )</li> </ul>	Οι ισχύοντες κανονισμοί (νομοθεσία κάθε κράτους) δεν παρέχουν κίνητρα στους διαχειριστές των δικτύων για επενδύσουν στις ΤΠΕ (μεγάλο οικονομικό κόστος)
<b>Δίκτυο Διανομής</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η τροφοδοσία ακολουθεί την ζήτηση</li> <li>• Το δίκτυο διανομής είναι ένα "μαύρο κουτί"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αποδοτική ενσωμάτωση της αποκεντρωμένης παραγωγής</li> <li>• Προστασία, αυτοματοποίηση, ασφάλεια, ανίχνευση βλαβών και αυτο-ίαση</li> <li>• Προγράμματα Διαχείρισης της Ζήτησης (DSM) και Ανταπόκρισης στη Ζήτηση (DR)</li> </ul>	Οι ισχύοντες κανονισμοί (νομοθεσία κάθε κράτους) δεν παρέχουν κίνητρα στους διαχειριστές των δικτύων για επενδύσουν στις ΤΠΕ (μεγάλο οικονομικό κόστος)

<p><b>Τεχνολογίες Μετρήσεων</b></p>	<p>Απλοί Μετρητές</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Έξυπνοι Μετρητές</li> <li>• Αμφίδρομη επικοινωνία</li> <li>• Ενεργοποίηση μιας σειράς νέων δραστηριοτήτων</li> <li>• Εξοικονόμηση ενέργειας</li> <li>• Πύλη για τα "Έξυπνα" Σπίτια</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η ανεπαρκής γνώση ή έλλειψη οικονομικών μέσων των καταναλωτών σχετικά με τις νέες δυνατότητες που προσφέρουν οι ΤΠΕ</li> <li>• Ανεπαρκής τυποποίηση και διαλειτουργικότητα</li> </ul>
<p><b>Σπίτια/Κτίρια</b></p>	<p>Χειροκίνητος έλεγχος της θέρμανσης και των ηλεκτρικών συσκευών</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ευφυής έλεγχος της θέρμανσης &amp; των ηλεκτρικών συσκευών</li> <li>• Εξοικονόμηση ενέργειας</li> <li>• "Έξυπνα" Σπίτια</li> </ul>	<p>Η ανεπαρκής γνώση ή έλλειψη οικονομικών μέσων των καταναλωτών σχετικά με τις νέες δυνατότητες που προσφέρουν οι ΤΠΕ</p>
<p><b>Το Σύστημα Συνολικά</b></p>	<p>Δεν υπάρχει συνεχής ροή πληροφοριών από την παραγωγή στη ζήτηση και αντίστροφα</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Συνεχής ροή πληροφοριών από την παραγωγή στην ζήτηση και αντίστροφα</li> <li>• Μόνιμη πρόσβαση στις σχετικές πληροφορίες</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δεν υπάρχουν κοινά πρότυπα</li> <li>• Η προστασία των δεδομένων πρέπει να εξασφαλίζεται</li> </ul>

## **Βιβλιογραφία**

- [1] Lorenz M. Hilty, Vlad Coroama, Margarita Ossés de Eicker, Thomas F. Ruddy, Esther Müller. The Role of ICT in Energy Consumption and Energy Efficiency. EMPA
- [2] European Commission DG INFSO. Bio Intelligence Service. Impacts of Information and Communication Technologies on Energy Efficiency 2008
- [3] Filibeli MC, Ozkasap O, Civanlar MR. Embedded web server-based home appliance networks. 2007
- [4] Huang K-W, Sundararajan A. Pricing digital goods: discontinuous costs and shared infrastructure, 2011
- [5] Dell P, Kwong C, Ying Liu Y. Some reflections on IPv6 adoption in Australia, 2008.
- [6] Shahriyar R, Hoque E, Sohan SM, Naim I, Akbar MM, Khan MK. Remote controlling of home appliances using mobile telephony. 2008
- [7] Mazza P. The smart energy network: electricity's third great revolution; June 2003.
- [8] Johannes Riedl, Kolja Eger, Werner Mohr, and Ludwig Karg. ICT Enablers for Smart Energy
- [9] Marko Vuk, Boštjan Blažič, Andrej Kos. The role of information and communication technologies in smart-grid development. 2012
- [10] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS, Addressing the challenge of energy efficiency through Information and Communication Technologies, 2008
- [11] Gerard J.M. Smit, University of Twente. Efficient ICT for efficient Smart Grids
- [12] ABB AG, "When Grids Get Smart", Germany, 2009.
- [13] D. Leeds, "The Smart Grid in 2010", GTM Research, 2009.
- [14] Tamilmaran Vijayapriya, Dwarkadas Pralhadas Kothari, "Smart Grid: An Overview", 2011
- [15] Elke Bruns, Dörte Ohlhorst "Wind Power Generation in Germany", 2011

- [16] A. B. M. Shawkat Ali " Smart Grids - Opportunities, Developments, and Trends", 2013
- [17] Schlögl F. "Online Collection and Prognosis of Wind Energy for Practical Use", 2005.
- [18] J.K. Kok, M.J.J. Scheepers and I.G. Kamphuis, "Intelligence in Electricity Networks for Embedding Renewables and Distributed Generation"
- [19] Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmid, "Renewable Energies and Energy Efficiency, vol. 10", Kassel University, 2008
- [20] Luca Ardito, Giuseppe Procaccianti, Giuseppe Menga, Maurizio Morisio, "A Survey on Smart Grid Technologies in Europe", 2012
- [21] Cameron W. Potter, Member, IEEE, Allison Archambault and Kenneth Westrick "Building a Smarter Smart Grid Through Better Renewable Energy Information"
- [22] J. Charles Smith, *Senior Member, IEEE*, Michael R. Milligan, *Member, IEEE*, Edgar A. DeMeo, *Member, IEEE*, and Brian Parsons "Utility Wind Integration and Operating Impact State of the Art"
- [23] Mark Ahlstrom, James Blatchford, Matthew Davis, Jacques Duchesne, David Edelson, (and others) "Wind Forecasting, and Energy Market Operations", 2011 IEEE
- [24] Keith Parks, Yih-Huei Wan, Gerry Wiener and Yubao Liu "Wind Energy Forecasting: A Collaboration of the National Center for Atmospheric Research (NCAR) and Xcel Energy"
- [25] Pratt, Kintner-Meyer, Balducci, Sanquist, Gerkenmeyer, Schneider, Katipamula, Secret, "The Smart Grid: An Estimation of the Energy and CO2 Benefits"
- [26] Cosimo Stallo, Mauro De Sanctis, Marina Ruggieri, Igor Bisio, Mario Marchese "ICT Applications in Green and Renewable Energy Sector"
- [27] R. Hidalgo, C. Abbey, and G. Joos, "Integrating distributed generation with smart grid enabling technologies", Oct. 2011.
- [28] Albert Molderink, *Student member, IEEE*, Vincent Bakker, *Student member, IEEE*, Maurice G.C. Bosman, Johann L. Hurink, Gerard J.M. Smit "Management and control of domestic smart grid technology"
- [29] Xi Fang, *Student Member, IEEE*, Satyajayant Misra, *Member, IEEE*, Guoliang Xue, *Fellow, IEEE*, and Dejun Yang, *Student Member, IEEE*, "Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey"
- [30] K. El Bakari, *Member, IEEE*, and W. L. Kling, *Member, IEEE*, "Virtual Power Plants: an Answer to Increasing Distributed Generation"



- [31] Setiawan EA. "Concept and controllability of virtual power plant". Kassel University Press GmbH, Kassel; 2007
- [32] Caldon R, Patria AR, Turri R. "Optimal control of a distribution system with a virtual power plant, bulk power system dynamics and control", Italy, 2004.
- [33] Dimeas AL, Hatziargyriou ND, "Agent based control of virtual power plants", 2007
- [34] Peter Asmus "Microgrids, Virtual Power Plants and Our Distributed Energy Future", 2010, The Electric Journal
- [35] S. M. Amin and B. F. Wollenberg, "Toward a smart grid: Power delivery for the 21st century," *IEEE Power Energy Mag.*, 2005.
- [36] D. G. Hart, "Using AMI to realize the Smart Grid", 2008.
- [37] J.H. Chow, A. Chakraborty, M. Arcaj, B. Bhargava, & A. Salazar, "Synchronized phasor data based energy function analysis of dominant power transfer paths in large power systems," 2007
- [38] M. Begovic, D. Novosel, D. Karlsson, C. Henville, and G. Michel, "Wide-area protection and emergency control," May 2005.
- [39] F. Li, Z. Chen, L. Fan, and P. Zhang, "Toward a self-healing protection and control system", 2008
- [40] F. F. Wu, K. Moslehi, and A. Bose, "Power system control centers: Past, present, and future", 2005.
- [41] Y. Yang, F. Lambert, and D. Divan, "A survey on technologies for implementing sensor networks for power delivery systems", in Proc. IEEE PES Gen. Meet. 2007, Tampa, FL.
- [42] Y. Yang, D. Divan, R. G. Harley, and T. G. Habetler, "Power line sensor net—A new concept for power grid monitoring", in Proc. IEEE PES Gen. Meet. 2006, Montreal, QC, Canada
- [43] H.-M. Kim, J.-J. Lee, and D.-J. Kang, "A platform for smart substations", in Proc. Future Gener. Commun. Netw. Conf., vol. 1.
- [44] R. Cosse, Jr., J. E. Bowen, H. T. Combs, D. G. Dunn, M. A. Hildreth, and A. Pilcher, "Smart industrial substations", *IEEE Ind. Appl. Mag.*, vol. 11, no. 2, 2005.
- [45] Erik Ela, Brendan Kirby, Eamonn Lannoye, Michael Milligan, Damian Flynn, Bob Zavadil, Mark O'Malley, "Evolution of Operating Reserve Determination in Wind Power Integration Studies", IEEE, 2010 IEEE Power and Energy Society General Meeting

[46] UCTE OH – Policy 1: Load-Frequency Control - Final Version (approved by SC on 19 March 2009)

[47] H. E. Brown, and S. Suryanarayanan, "A Survey Seeking a Definition of a Smart Distribution System", IEEE

[48] Jose Medina, Nelson Muller, and Ilya Roytelman, "Demand Response and Distribution Grid Operations: Opportunities and Challenges" IEEE Transactions on Smart Grid, Vol.1, No. 2, 2010

[49] Edward Jeroen Coster, "Distribution Grid Operation Including Distributed Generation", Electrical Engineering of the Eindhoven University of Technology in the framework of the IOP-EMVT research program, 2010

[50] J. Ringelstein and D. Nestle, "Application of bidirectional energy management interfaces for distribution grid services", in CIRED, 2009.

[51] Andreia Melo Carreiro, "Energy Smart House Architecture for a Smart Grid" Department of Electrical and Computers Engineering Faculty of Sciences and Technology University of Coimbra, 2011

[52] H.A. Aalami, M. Parsa Moghaddam, G.R. Yousefi. "Demand response modeling considering Interruptible/Curtailable loads and capacity market programs", Applied Energy, 2009.

[53] DOE [US Department of Energy]. Benefits of demand response in electricity markets and recommendations for achieving them – a report to the United States congress pursuant to Section 1252 of the Energy Policy Act of 2005; 2006.

[54] Faruqui A, Sergici S, Sharif A., "The impact of informational feedback on energy consumption – a survey of the experimental evidence", 2010

[55] S. Grijalva and M. Tariq, "Prosumer-based smart grid architecture enables a flat, sustainable electricity industry", in Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2011 IEEE PES, Jan. 2011.

[56] Pedram Samadi, Amir-Hamed Mohsenian-Rad, Robert Schober, Vincent W.S. Wong, and Juri Jatskevich, "Optimal Real-time Pricing Algorithm Based on Utility Maximization for Smart Grid", The University of British Columbia, Vancouver, Canada

[57] Kathleen Spees and Lester B. Lave, "Demand Response and Electricity Market Efficiency", The Electric Journal, 2010

[58] Pedro Moura, Anibal Traça de Almeida, "The role of demand-side management in the grid integration of wind power", Applied Energy, Vol. 87, 2010.

- [59] M. Godoy Simões, R. Roche, E. Kyriakides, A. Miraoui, B. Blunier, K. McBee, S. Suryanarayanan, P. Nguyen and P. Ribeiro "Smart-Grid Technologies and Progress in Europe and the USA"
- [60] Oleg Gulich, "Technological and Business Challenges Of Smart Grids Master's thesis 2010, Lappeenranta University of Technology
- [61] Rob van Gerwen, Saskia Jaarsma and Rob Wilhite, "Smart Metering", July 2006, KEMA, The Netherlands
- [62] M. Rahman and Amanullah M. T. Oo "Smart Meter", 2013, A. B. M. S. Ali (ed.), Smart Grids, Green Energy and Technology
- [63] Sarah Darby "Smart metering: what potential for householder engagement?" BUILDING RESEARCH & INFORMATION (2010) 38(5), 442–457
- [64] Sarah Darby, "The Effectiveness Of Feedback On Energy Consumption", April 2006
- [65] Corinna Fischer, "Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy?", Energy Efficiency (2008) 1:79–104
- [66] Aoife Brophy Haney, Tooraj Jamasb and Michael Pollitt, "Smart Metering and Electricity Demand: Technology, Economics and International Experience", 2009, CWPE 0905 & EPRG 0903
- [67] David Bothe, Jens Perner, Christoph Riechmann, "Economic potential of smart metering in Germany", 2010
- [68] AmirHosein GhaffarianHoseini, Nur Dalilah Dahlan, Umberto Berardi, Ali GhaffarianHoseini, Nastaran Makaremi, "The essence of future smart houses: From embedding ICT to adapting to sustainability principles", 2012
- [69] Jilin Ye, Tarek Hassan, Steven Firth, Farid Fouchal, "ICT FOR ENERGY EFFICIENCY: TOWARDS SMART BUILDINGS, MANUFACTURING, LIGHTING AND GRIDS", Department of Civil and Building Engineering, Loughborough University, Leicestershire, LE11 3TU, UK
- [70] "SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age", United States Report Addendum
- [71] Marco Blumendorf, "Building Sustainable Smart Homes", Technische Universität Berlin
- [72] J. Ye, T. M. Hassan, C. D. Carter, A. Zarli, "ICT for Energy Efficiency: The Case for Smart Buildings"

[73] Wolfgang Kastner, Georg Neugschwandtner, Stefan Soucek, and H. Michael Newman, "Communication Systems for Building Automation and Control", PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 93, NO. 6, JUNE 2005

[74] Wenye Wang, Yi Xu, Mohit Khann, "A survey on the communication architectures in smart grid", Department of Electrical and Computer Engineering, North Carolina State University, Raleigh NC 27606, United States, 2011