



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

## Ανταγωνιστική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και Ευφυή Δίκτυα

Διπλωματική Εργασία

Σωτήριος Καραμπάσης

Επιβλέποντες καθηγητές

Ελευθέριος Τσουκαλάς

Καθηγητής Π.Θ.

Παναγιώτα Τσομπανοπούλου

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Π.Θ.

Βόλος 2019



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

## Ανταγωνιστική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και Ευφυή Δίκτυα

Διπλωματική Εργασία

Σωτήριος Καραμπάσης

**Επιβλέποντες καθηγητές**

Ελευθέριος Τσουκαλάς

Καθηγητής Π.Θ.

Παναγιώτα Τσομπανοπούλου

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Π.Θ.

Βόλος 2019



**UNIVERSITY OF THESSALY**  
**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**

## **Competitive electricity market and Smart Grids**

Diploma thesis

Sotirios Karampasis

**Supervisors**

Eleutherios Tsoukalas

Professor UTH

Panagiota Tsompanopoulou

Associate Professor UTH

Volos 2019

## **ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ**

«Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής».

Ο/Η Δηλών/ούσα  
(Υπογραφή)

**ΚΑΡΑΜΠΑΣΗΣ ΣΩΤΗΡΗΣ**

Ημερομηνία  
09/07/19

# Ευχαριστίες

---

Με αφορμή την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ελευθέριο Τσουκαλά για την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής, την συνεπιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Παναγιώτα Τσομπανοπούλου όπως και τον καθηγητή κ. Δημήτριο Μπαργιώτα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και την οικογένεια μου που με στήριξε σε όλη τη διάρκεια των σπουδών.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πρώτο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας γίνεται αναφορά στις δομές της ενιαίας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Μετά από μία επιγραμματική εισαγωγή αναλύονται τα διαφορετικά μοντέλα αγορών με βάση την εξέλιξή τους στην περίοδο του χρόνου. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η δυναμική τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας όπου μετά τον ορισμό της, αναφέρονται οι παράγοντες που επιδρούν στη μεταβλητότητά της και γίνεται λόγος για την επίπτωση που είχε στις ΗΠΑ. Προς το τέλος του κεφαλαίου γίνεται ο συνδυασμός της δυναμικής τιμολόγησης με τα έξυπνα δίκτυα όπως και η αναφορά στους παράγοντες και στη μεταβλητότητα της τιμής. Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο υπεισέρχεται η έννοια της ζήτησης. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η Διαχείριση της Ζήτησης και η Απόκριση ενώ μετέπειτα αναλύονται οι στρατηγικές απόκρισης φορτίου και τα προγράμματα απόκρισης της ζήτησης. Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στα Έξυπνα Δίκτυα. Ορίζεται το Smart Grid και αναφέρονται τα πλεονεκτήματα όπως και η αρχιτεκτονική του. Στο τέλος του κεφαλαίου παραθέτονται οι διαφορές μεταξύ συμβατικού και έξυπνου δικτύου. Στη συνέχεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζεται η ασφάλεια των έξυπνων δικτύων, η αναγκαιότητά της όπως και οι μέθοδοι ασφάλισης ενός έξυπνου δικτύου, ενώ στο τέλος εξάγονται τα απαραίτητα συμπεράσματα.

## **ABSTRACT**

In the first section of this diploma there is a reference on the structure of the united electricity markets. After an epigraphic introduction, different market models are analysed based on time evolution. Next, there is a presentation of dynamic pricing of electricity where after the definition, factors that influence its variety are mentioned such as the result due to them in the United States of America. At the end of this section there is a combination of dynamic pricing and smart grids and a mention on the factors and the price variety. In third section there is an introduction of demand. More specific, Demand Side Management and Demand Response are presented at first, while afterwards are analysed strategies of carriage response and programmes of demand response. In the next section there is an introduction on Smart Grids and are mentioned their advantages and their structure. At the end of the section are quoted differences between conventional and smart grid. Afterwards, there is a mention on security of smart grids, their necessity such as methods of smart grid security and finally a conclusion is exported.

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Καθετοποιημένο μονοπώλιο.....	13
Εικόνα 1.2: Το μοντέλο του μοναδικού αγοραστή.....	14
Εικόνα 1.3: Ανταγωνισμός στη χονδρική αγορά.....	15
Εικόνα 1.4: Ανταγωνισμός στη λιανική αγορά.....	15
Εικόνα 2.1: Μείωση αιχμής σε σχέση με τη διαφορά τιμής αιχμής κοιλάδας.....	21
Εικόνα 2.2: Αποτελέσματα με χρήση κάποιας τεχνολογίας (πχ έξυπνου θερμοστάτη).....	21
Εικόνα 2.3: Αποτελέσματα με χρήση πολύ εξελιγμένης τεχνολογίας.....	22
Εικόνα 2.4: Διακύμανση τιμής.....	24
Εικόνα 3.1: Επίδραση του DR στη διαμόρφωση της τιμής ηλεκτρικής ενέργειας.....	27
Εικόνα 3.2: Peak Clipping.....	28
Εικόνα 3.3: Valley Filling.....	28
Εικόνα 3.4: Load Shifting.....	29
Εικόνα 3.5: Energy Efficiency.....	29
Εικόνα 3.6: Electrification.....	29
Εικόνα 3.7: Flexible Load Shape.....	30
Εικόνα 3.8: Η σημασία του DR στη λειτουργία ενός ΣΗΕ.....	32
Εικόνα 4.1: «Έξυπνο Δίκτυο».....	34
Εικόνα 4.2: Η κατανομή του έξυπνου δικτύου.....	35
Εικόνα 4.3: Εννοιολογικό μοντέλο Έξυπνου Δικτύου.....	38
Εικόνα 4.4: Τομέας Πελατών.....	39
Εικόνα 4.5: Τομέας αγοράς.....	40
Εικόνα 4.6: Τομέας Παροχής Υπηρεσιών.....	40
Εικόνα 4.7: Τομέας Κέντρου Ενεργειών.....	41
Εικόνα 4.8: Τομέας Παραγωγής.....	42
Εικόνα 4.9: Τομέας Δικτύου Μεταφοράς.....	42



Εικόνα 4.10: Τομέας Δικτύου Διανομής.....	43
Εικόνα 4.11: Διαφορές έξυπνου δικτύου με συμβατικό δίκτυο.....	44
Εικόνα 5.1: Ασφάλεια σε Έξυπνο Δίκτυο.....	47
Εικόνα 5.2: Συμμετρικός και ασύμμετρος τρόπος κρυπτογράφησης.....	49

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>7</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....</b>	<b>8</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....</b>	<b>10</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....</b>	<b>12</b>
<b>ΔΟΜΕΣ ΤΗΣ ΕΝΙΑΙΑΣ ΑΓΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....</b>	<b>12</b>
1.1 Εισαγωγή.....	12
1.2 Καθετοποιημένο (κρατικό) μονοπώλιο.....	12
1.3 Το σύστημα του Μοναδικού Αγοραστή(The single Buyer model).....	13
1.4 Ανταγωνισμός στη χονδρική αγορά.....	14
1.5 Ανταγωνισμός στη λιανική αγορά.....	15
1.6 Τύποι αγορών ηλεκτρικής ενέργειας.....	16
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....</b>	<b>19</b>
<b>ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....</b>	<b>19</b>
2.1 Εισαγωγή.....	19
2.2 Ορισμός της δυναμικής τιμολόγησης.....	19
2.3 Παράγοντες που επιδρούν στη μεταβλητότητα της δυναμικής τιμολόγησης.....	20
2.4 Δυναμική τιμολόγηση στις ΗΠΑ.....	20
2.5 Συνδυάζοντας δυναμική τιμολόγηση με έξυπνα δίκτυα.....	22
2.6 Μεταβολή της τιμής.....	23
2.7 Παράγοντες της τιμής.....	25
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....</b>	<b>26</b>
<b>ΖΗΤΗΣΗ .....</b>	<b>26</b>
3.1 Διαχείριση της Ζήτησης (DSM).....	26
3.2 Απόκριση ζήτησης.....	27
3.3 Στρατηγικές απόκρισης φορτίου.....	28
3.4 Προγράμματα απόκρισης της Ζήτησης.....	30
3.5 Ενεργειακή αποδοτικότητα.....	32
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....</b>	<b>34</b>

<b>ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ .....</b>	<b>34</b>
4.1 Εισαγωγή .....	34
4.2 Ορισμός του Smart Grid .....	35
4.3 Πλεονεκτήματα του Έξυπνου Δικτύου .....	36
4.4 Η αρχιτεκτονική ενός Έξυπνου Δικτύου .....	37
4.5 Διαφορές με το συμβατικό δίκτυο.....	43
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....</b>	<b>45</b>
<b>ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ .....</b>	<b>45</b>
5.1 Η αναγκαιότητα της ασφάλειας.....	45
5.2 Ασφάλεια σε Έξυπνα Δίκτυα .....	46
5.3 Θέματα ασφαλείας σε Έξυπνα Δίκτυα.....	47
5.4 Πώς ασφαλίζεται ένα Έξυπνο Δίκτυο.....	48
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....</b>	<b>51</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>51</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>52</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

## Δομές της ενιαίας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας

### 1.1 Εισαγωγή

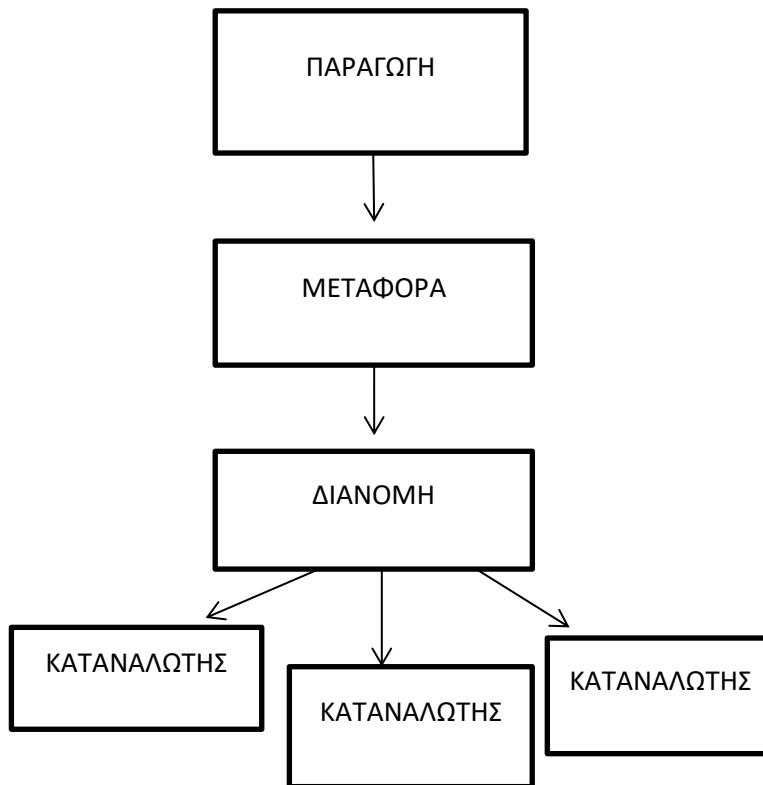
Γενικότερα, η δομή της βιομηχανίας του ηλεκτρισμού αποτελείται από τέσσερις βασικούς κλάδους την παραγωγή, τη μεταφορά, τη διανομή και την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως είναι αντιληπτό όποια επιχείρηση ελέγχει αυτούς τους κλάδους έχει προεξέχουσα θέση στην αγορά.

Συνεπώς πρέπει να υπάρξει διαχωρισμός των παραπάνω κλάδων σε ξεχωριστές επιχειρήσεις ώστε να υπάρξει η δυνατότητα εισόδου τέτοιων ανεξάρτητων επιχειρήσεων στους ανταγωνιστικούς κλάδους της παραγωγής και της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο κλάδος της μεταφοράς, σε γενικότερες γραμμές, δεν αποτελεί φυσικό μονοπώλιο αντίθετα με αυτόν της διανομής, όμως κανένας από τους δύο αυτούς κλάδους δεν λογίζεται ως ανταγωνιστικό κομμάτι στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας.

Όσο αφορά τη δομή της βιομηχανίας του ηλεκτρισμού είναι σωστή η υπόθεση πως υπάρχουν τέσσερα μοντέλα-παραλλαγές που αντιπροσωπεύουν όλα τα πιθανά σχήματα. Ακόμη να σημειωθεί ότι τα μοντέλα που θα αναλυθούν παρακάτω παρέχουν μια θεωρητική ανάλυση της βιομηχανίας του ηλεκτρισμού στην Ευρωπαϊκή Ένωση[1][2].

### 1.2 Καθετοποιημένο (κρατικό) μονοπώλιο

Μια τέτοια δομή βιομηχανίας δεν παρουσιάζει πληθώρα επιχειρήσεων είτε για την παραγωγή είτε για τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες να βρίσκονται σε ανταγωνισμό. Σε αυτό το μοντέλο, οι πελάτες αγοράζουν το ηλεκτρικό ρεύμα από μία επιχείρηση-μονοπώλιο η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις ανήκει στο κράτος. Όλες οι λειτουργίες της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής εκτελούνται από την συγκεκριμένη επιχείρηση η οποία έχει την απόλυτη ευθύνη της παροχής με ηλεκτρική ενέργεια στους πελάτες της συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής. Όπως φαίνεται και από το σχήμα που ακολουθεί και περιγράφει αυτή τη δομή τα πρωτεύοντα χαρακτηριστικά της είναι το μονοπώλιο σε κάθε επίπεδο και η απουσία ανταγωνισμού.



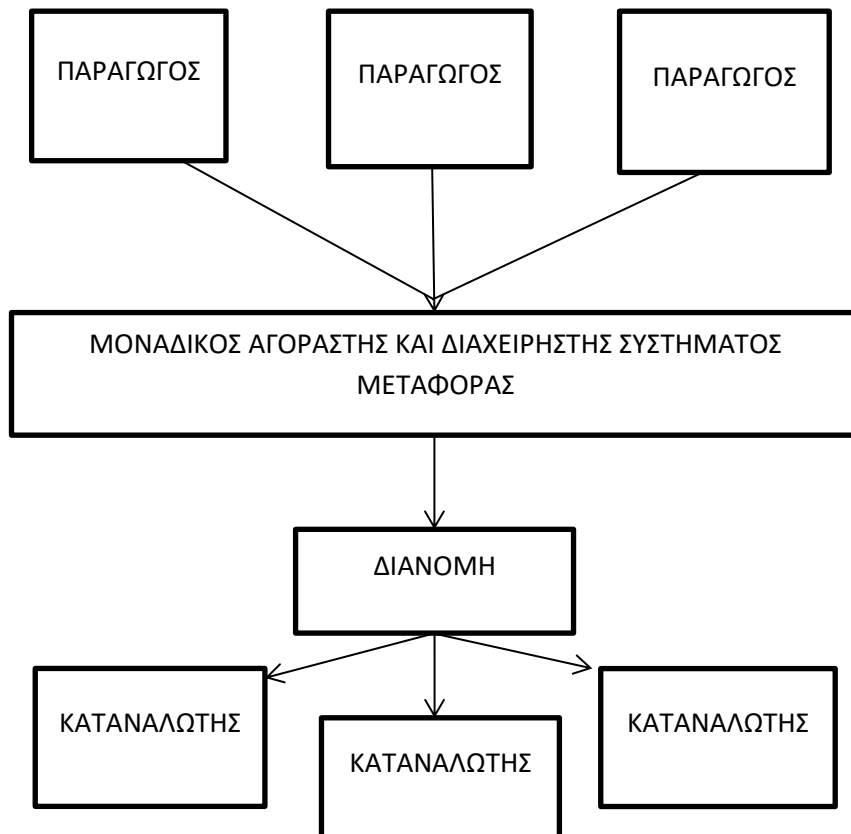
Σχήμα 1.1: Καθετοποιημένο μονοπώλιο

### 1.3 Το σύστημα του Μοναδικού Αγοραστή (The Single Buyer model)

Σε αυτή τη δομή υπάρχει η έννοια του μονοψωνίου. Πιο συγκεκριμένα υπάρχει ένας προκαθορισμένος φορέας αγοράς (ο Μοναδικός Αγοραστής) στον οποίο γίνονται όλες οι πωλήσεις παρόλο που στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει ανταγωνισμός. Στη συνέχεια αυτός ο φορέας προχωρεί με τη σειρά του σε πώληση προς τις επιχειρήσεις διανομής ή προς τους πελάτες που έχει ο ίδιος οι οποίοι δεν έχουν επιλογή να αγοράσουν από άλλον προμηθευτή. Η δομή βασίζεται σε μακροχρόνιες συμφωνίες ισχύος μεταξύ των παραγωγών και του μοναδικού αγοραστή.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του Single Buyer model είναι ο ανταγωνισμός στην παραγωγή, η μοναδικότητα στην αγορά, το μονοπώλιο στο επίπεδο παροχής του ηλεκτρικού ρεύματος στον τελικό καταναλωτή και η απουσία ανταγωνισμού στο επίπεδο διανομής.

Το συγκεκριμένο μοντέλο –που αναπαρίσταται σχηματικά παρακάτω- πρόκειται η εξέλιξη της δομής του καθετοποιημένου μονοπωλίου εφόσον υπάρχει ανταγωνισμός μόνο στο επίπεδο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Παρόμοια με την προηγούμενη δομή είναι εύκολη και συχνή η εφαρμογή της κρατικής πολιτικής και οι κίνδυνοι παραμένουν στην πλευρά των καταναλωτών καθώς μέσω των μακροχρόνιων συμβάσεων ο κίνδυνος ελαχιστοποιείται για τους παραγωγούς.



Σχήμα 1.2: Το μοντέλο του μοναδικού αγοραστή

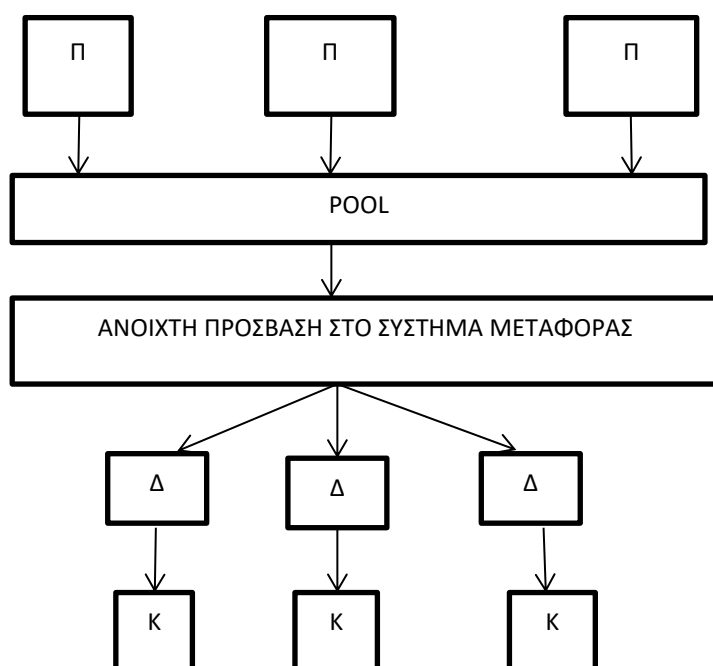
#### 1.4 Ανταγωνισμός στη χονδρική αγορά

Σε αυτό το μοντέλο καταργείται το μονοπώλιο και εισάγεται περισσότερος ανταγωνισμός στο επίπεδο της χονδρικής πώλησης. Επιπλέον υπάρχει ανταγωνισμός στην παραγωγή με τους πελάτες ή τις επιχειρήσεις διανομής, που έχουν δικαίωμα να επιλέξουν τον προμηθευτή τους, να πουλούν και να αγοράζουν μέσω ενός συστήματος pool corporation (κοινοπραξία ισχύος). Σημαντικό ρόλο σε μια τέτοια δομή διαδραματίζει ο Independent System Operator-ISO-(ανεξάρτητος διαχειριστής

συστήματος). Ο ISO παράγει μια spot (απλή) τιμή για την ηλεκτρική ενέργεια η οποία αποτελεί ένδειξη για την κατανάλωση. Η δυναμική της αγοράς θα οδηγήσει αυτή την τιμή σε επίπεδο ανταγωνισμού που ισούται με το οριακό κόστος των περισσότερο αποδοτικών πλειοδοτών. Οι νικητές πιστώνονται με τη spot τιμή που ουσιαστικά είναι η υψηλότερη τιμή πλειοδοσίας.

Το μοντέλο που περιγράφηκε και θα απεικονιστεί στη συνέχεια έχει τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:

- Ανταγωνισμό στην χονδρική παροχή του ηλεκτρικού ρεύματος.
- Ανταγωνισμό στη διανομή.
- Οι εταιρίες διανομής προμηθεύονται ενέργεια από τους παραγωγούς.
- Μονοπώλιο προμήθειας ενέργειας στους καταναλωτές.



Σχήμα 1.3 Ανταγωνισμός στη χονδρική αγορά

### 1.5 Ανταγωνισμός στη λιανική αγορά

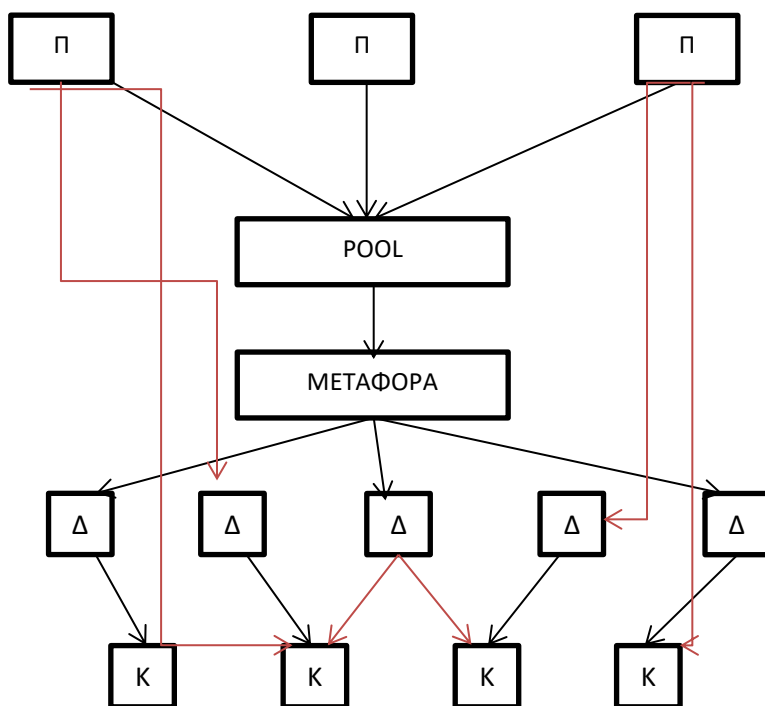
Είναι το μοντέλο αγοράς εκείνο στο οποίο τείνουν οι όλες οι προσπάθειες για την εισαγωγή ελεύθερου ανταγωνισμού στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αντίθεση

με το προηγούμενο μοντέλο αγοράς, βασικό χαρακτηριστικό αυτής της δομής είναι η κατάργηση του μονοπωλίου των εταιριών διανομής για παροχή ενέργειας στους πελάτες, οι οποίοι μπορούν ελεύθερα να επιλέξουν τον προμηθευτή τους. Οι καταναλωτές έχουν την δυνατότητα να επιλέξουν από ποιον θα προμηθευτούν την ενέργεια ανάμεσα σε παραγωγούς, επιχειρήσεις διανομής ή άλλους ενδιάμεσους μεταπωλητές. Όπως στο προηγούμενο μοντέλο έτσι και εδώ είναι απαραίτητη η παρουσία ρυθμιστικών και διαχειριστικών αρχών.

Τα βασικά χαρακτηριστικά αυτού του μοντέλου αγοράς είναι:

- Η εισαγωγή ελεύθερου ανταγωνισμού και στο επίπεδο της λιανικής πώλησης, με την παροχή περισσότερους του ενός προμηθευτές στους καταναλωτές.
- Η ύπαρξη ανταγωνισμού σε κάθε τομέα της βιομηχανίας της ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο παρακάτω διάγραμμα θα δοθεί η απεικόνιση του συγκεκριμένου μοντέλου αγοράς με τα κόκκινα βέλη να υποδεικνύουν τις νέες ροές ενέργειας.



Σχήμα 1.4 Ανταγωνισμός στη λιανική αγορά

## 1.6 Τύποι αγορών ηλεκτρικής ενέργειας



Πλέον η διαπραγμάτευση ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε οργανωμένες ανταγωνιστικές αγορές που λειτουργούν σε διάφορες παραλλαγές και διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- *Διμερείς συμφωνίες (bilateral contracts)*

Πρόκειται για συμβόλαια μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών με διάρκεια από μία μέρα έως και ολόκληρο τον κύκλο ζωής των εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

- *Αγορές επόμενης ώρας ή επόμενης μέρας (hour ahead or day ahead markets-spot markets)*

Το αντικείμενο διαπραγμάτευσης τέτοιων αγορών είναι προσφορές παραγωγών και προτάσεις καταναλωτών για κάθε επόμενη ώρα ή μέρα (spot markets). Το αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών επιφέρει την ενιαία τιμή KW/h καθώς και την ποσότητα στην οποία ισορροπεί η ωριαία ζήτηση με την ωριαία προσφορά.

- *Αγορές επικουρικών υπηρεσιών (Ancillary services markets)*

Πρόκειται για αγορές που αποσκοπούν στην διασφάλιση των απαιτούμενων επικουρικών υπηρεσιών όπως είναι η εφεδρεία, τα άεργα, η ρύθμιση συχνότητας κ.λ.π. Υπεύθυνος να διατηρεί την ισορροπία του συστήματος είναι ο Διαχειριστής Συστήματος (System Operator) και το πραγματοποιεί αξιοπιστίας, ασφαλείας και ομαλού εφοδιασμού.

- *Αγορά μεταφοράς (Transmission market)*

Ο συγκεκριμένος τύπος αγοράς εμπορεύεται το δικαίωμα στη μεταφορά. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις μεγάλης συμφόρησης του δικτύου μεταφοράς η σημασία του δικαιώματος αυτού γίνεται ακόμα μεγαλύτερη. Ο ISO είναι ο αρμόδιος για τον πλειστηριασμό του δικαιώματος έχοντας ως αντικειμενικό στόχο την οριοθέτηση των τιμών πλειοδοσίας με τέτοιον τρόπο ώστε να μεγιστοποιούν τις χρεώσεις του δικτύου. Ο επικρατέστερος κάθε πλειστηριασμού έχει υποχρέωση να γνωστοποιεί τη μέγιστη ποσότητα από το δικαίωμα μεταφοράς που δύναται να αγοράσει όπως και την τιμή αγοράς και τα κρίσιμα σημεία εξάπλωσης και απορρόφησης. Αντίστοιχη υποχρέωση έχει και ο πωλητής όπου γνωστοποιεί τη μέγιστη ποσότητα, την τιμή πώλησης και τα κρίσιμα σημεία.

Αρκετές είναι οι περιπτώσεις όπου υπάρχουν δυσλειτουργίες στην αγορά. Η κυριαρχία της αγοράς είναι μία τέτοια περίπτωση κατά την οποία καταστρατηγείται η έννοια του ανταγωνισμού. Πιο συγκεκριμένα, σε περιόδους μεγάλης ζήτησης σε συνδυασμό με την έλλειψη κατάλληλων μετρικών διατάξεων κάποιοι παραγωγοί μπορούν να

ισχυριστούν έλλειψη πόρων ώστε να αυξήσουν τις τιμές. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η παρουσία του ISO.

Ο ρόλος του ISO είναι να διαχειρίζεται την ασφάλεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και να

επιτηρεί τις ενέργειες που λαμβάνουν χώρα. Αρχικά ο ISO υποχρεούται να διατηρεί συνεχόμενη ισορροπία μεταξύ της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς παραγωγής και της ζήτησης από τους πελάτες και να εξασφαλίζει την παροχή αποθεμάτων για τυχόν απρόσμενα περιστατικά. Αυτό το επιτυγχάνει καθορίζοντας τον ιδανικό συνδυασμό από σταθμούς παραγωγής και προμηθευτές αποθεματικών για κάθε περίοδο αγοράς. Επιπλέον ο ρόλος του περιλαμβάνει έρευνα και σχεδιασμό ώστε να διασφαλίσει ότι η προσφορά ικανοποιεί τη ζήτηση και η ασφάλεια του συστήματος παραμένει ακλόνητη σε μελλοντικές περιόδους αγοράς.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

### Δυναμική τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας

#### 2.1 Εισαγωγή

Καθώς συνεχίζεται ο σχεδιασμός για την ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα δυναμικά προγράμματα τιμολόγησης από δημόσιες κρατικές επιτροπές και επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας. Η κυριότερη αιτία για την οποία συμβαίνει αυτό είναι πως ο καταναλωτής δεν μπορεί να ρυθμίσει την ποσότητα ενέργειας που έχει ανάγκη να καταναλώσει εφόσον καμία επιχείρηση κοινής ωφέλειας δεν επιτρέπει την αμφίδρομη σχέση μαζί του.

Σύμφωνα με μελέτες ερευνητών δεν υπάρχει ισομερής κατανομή του κόστους της ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα τα αποτελέσματα κατέδειξαν πως οι καταναλωτές που βρίσκονται υπό καθεστώς όχι δυναμικής, αλλά «επίπεδης» τιμολόγησης, καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια στις ώρες αιχμής. Επομένως, τα δυναμικά προγράμματα τιμολόγησης έχουν σκοπό να λύσουν αυτό το πρόβλημα με την ενίσχυση της οικονομικής αποδοτικότητας που θα επιφέρει μείωση ζήτησης τις ώρες αιχμής.

#### 2.2 Ορισμός της δυναμικής τιμολόγησης

Με τον όρο δυναμική τιμολόγηση (dynamic pricing) αναφερόμαστε στη δυνατότητα που προσφέρει ο προμηθευτής στον πελάτη του, να τιμολογείται με μία τιμή που δεν παραμένει ίδια από μία ώρα στην επόμενη, ενώ για κάθε 24ωρο οι τιμές ανακοινώνονται από μία μέρα έως κάποιες ώρες νωρίτερα. Ο υπολογισμός αυτής της τιμής περιλαμβάνει την τιμή στην χονδρική αγορά, το κόστος για τη χρήση των δικτύων διανομής, το κέρδος του παρόχου καθώς και άλλες χρεώσεις. Όμως, τα δυναμικά τιμολόγια όπως θα ωφελήσουν αρκετούς έτσι αναμένεται και να ζημιώσουν κάποιους άλλους. Οι κερδισμένοι είναι αυτή που πρόσκεινται στην «επίπεδη» κατανάλωση, δηλαδή μόνο ένα μικρό μέρος της κατανάλωσής τους γίνεται σε περιόδους αιχμής, ενώ οι ζημιωμένοι θα είναι αυτοί που καταναλώνουν κυρίως σε περιόδους αιχμής. Φυσικά υπάρχει και μια τρίτη κατηγορία καταναλωτών οι οποίοι δεν έχουν ούτε κέρδος ούτε

ζημία εφόσον το προφίλ κατανάλωσής τους ταυτίζεται με την καμπύλη φορτίου του συστήματος[3].

### 2.3 Παράγοντες που επιδρούν στη μεταβλητότητα της δυναμικής τιμολόγησης

Σύμφωνα με διάφορες πιλοτικές εφαρμογές προγραμμάτων δυναμικής τιμολόγησης οι μεταβλητές που επηρεάζουν το ποσοστό επιτυχίας της δυναμικής τιμολόγησης είναι:

- Το γεωγραφικό μέρος
- Η διάρκεια εφαρμογής του πιλοτικού προγράμματος
- Ο αριθμός των συμμετεχόντων
- Τα χαρακτηριστικά και η τμηματοποίηση της αγοράς
- Η εκπαίδευση των συμμετεχόντων
- Οι αλληλεπιδράσεις με τους συμμετέχοντες

Οι παραπάνω μεταβλητές εξετάζονται από τρεις διαφορετικές πλευρές:

- Εξοικονόμηση ενέργειας( energy conservation): Ο βαθμός μείωσης της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται.
- Μείωση μεγίστου στην καμπύλη ζήτησης( peak clipping): Το ποσοστό μείωσης της κατανάλωσης σε περιόδους αιχμής.
- Μείωση λογαριασμού (bill reduction): Το επίπεδο μείωσης των λογαριασμών ηλεκτρικής ενέργειας που πληρώνουν οι πελάτες.

Γενικότερα, η ανάλυση των αποτελεσμάτων γίνεται ανάλογα με τον στόχο κάθε προγράμματος. Δηλαδή δεν γίνεται αναφορά των επιδράσεων των πιλοτικών προγραμμάτων και από τις τρεις πλευρές που αναφέρθηκαν. Για παράδειγμα οι πιλοτικές εφαρμογές ανατροφοδότησης πληροφοριών στους πελάτες αφορούν τη συνολική μείωση της κατανάλωσης επομένως τα αποτελέσματα αναφέρονται κυρίως στην εξοικονόμηση ενέργειας[3][8].

### 2.4 Δυναμική τιμολόγηση στις ΗΠΑ

Η δυναμική τιμολόγηση έχει φέρει πολύ ενθαρρυντικά νέα στις ΗΠΑ καθώς ένα στα τρία νοικοκυριά χρησιμοποιεί «έξυπνο» μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας. Παρόλα αυτά, ο Αμερικανός ειδήμων της δυναμικής τιμολόγησης Ahmad Faruqui δεν είναι ευχαριστημένος καθώς μόνο το 1% των νοικοκυριών καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια

με «έξυπνα» τιμολόγια τα οποία επιφέρουν μείωση της αιχμής στην κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος.

Ο Ahmad Faruqi έχει συμμετάσχει σε πολλά πιλοτικά προγράμματα τα τελευταία χρόνια που αφορούσαν την ανταπόκριση των καταναλωτών σε δυναμικά τιμολόγια ώστε να μειώσουν την αιχμή της κατανάλωσής τους. Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στο παρακάτω διάγραμμα στο οποίο περιγράφεται η μείωση στην αιχμή σε σχέση με τη διαφορά τιμών μεταξύ αιχμής και κοιλάδας. Συνοπτικά:

- Όταν λαμβάνουν οι καταναλωτές ισχυρό μήνυμα μέσω τιμών, ανταποκρίνονται μειώνοντας την αιχμή της ζήτησής τους.
- Όσο ισχυρότερο είναι το μήνυμα τόσο μεγαλύτερη είναι η ανταπόκρισή τους στη μείωση της ζήτησης κατά την αιχμή.
- Υπάρχει αύξηση της ανταπόκρισης με μειούμενο ρυθμό τείνοντας σε ασυμπτωτική καμπύλη κορεσμού[4].



Εικόνα 2.1 Μείωση αιχμής σε σχέση με τη διαφορά τιμής αιχμής κοιλάδας

Η διαφορά γίνεται πιο αισθητή με τη χρήση τεχνολογίας, όπως οι «έξυπνοι» θερμοστάτες και η καμπύλη γίνεται πιο αυξητική όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί:



Εικόνα 2.2 Αποτελέσματα με χρήση κάποιας τεχνολογίας (πχ έξυπνου θερμοστάτη)

Τέλος υπήρχαν και έρευνες όπου γινόταν χρήση ακόμα πιο εξελιγμένης τεχνολογίας όπου η επίπτωση των δυναμικών τιμολογίων ήταν ιδιαίτερα υψηλή το οποίο αποτυπώνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 2.3 Αποτελέσματα με χρήση πολύ εξελιγμένης τεχνολογίας

## 2.5 Συνδυάζοντας δυναμική τιμολόγηση με έξυπνα δίκτυα

Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας συνδέεται άμεσα με τη χονδρική αγορά η οποία συνδέεται επίσης άμεσα με τη λιανική αγορά. Συνεπώς οι μεγάλοι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας δεν αντιμετωπίζουν σταθερές τιμές. Με αυτόν τον τρόπο, στην περίπτωση που οι μέρες είναι πολύ ζεστές, οι καταναλωτές πρέπει να μειώσουν τη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας, διευκολύνοντας, ταυτόχρονα, για την εξυπηρέτηση όλων του των φορτίων.

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερες συσκευές, χαμηλής ή υψηλής κατανάλωσης, μπαίνουν στην καθημερινή ζωή του πολίτη, αυξάνοντας έτσι την

ανάγκη του για μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως όπως είναι αναμενόμενο η αυξανόμενη ζήτηση επιφέρει αυξανόμενη παραγωγή και η αύξηση της παραγωγής οριοθετείται από οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Σε ορισμένες περιοχές δεν υπάρχει απαιτούμενη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας ιδιαίτερα τις ώρες αιχμής με αποτέλεσμα να είναι κακή η ποιότητα της παροχής δηλαδή μερική έως και ολική διακοπή ηλεκτρικής ενέργειας.

Λύσεις στο πρόβλημα που αναφέρθηκε δίνει η τεχνολογία των Έξυπνων Δικτύων Ενέργειας. (Ανάλυση των Έξυπνων Δικτύων πραγματοποιείται στο κεφάλαιο 4). Πρόκειται για ένα ηλεκτρικό δίκτυο το οποίο με τη χρήση ICT (Information and Communication Technology) συλλέγει πληροφορίες σχετικά με τις καταναλώσεις και αποφασίζει. Εναλλακτικά μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα μοντέρνο δίκτυο το οποίο χειρίζεται αμφίδρομες ροές ενέργειας και επικοινωνίας και παρέχει δυνατότητες ελέγχου που οδηγούν σε ένα σύνολο νέων δυνατοτήτων[3].

Τα σήματα τιμών είναι ειδοποιήσεις που στέλνονται στους καταναλωτές και τα οποία βασίζονται στις τρέχουσες ή μελλοντικές τιμές χονδρικής και οι καταναλωτές επιλέγουν αν και σε ποιο βαθμό θέλουν να εμπλακούν. Ακόμη, τα σήματα τιμών, προσφέρουν περισσότερες επιλογές στους καταναλωτές και μπορούν να σταλούν διαμέσου διάφορων μηχανισμών όπως η δυναμική τιμολόγηση με βάση τις τιμές λιανικής και τα προγράμματα διαχείρισης ζήτησης. Έτσι, μέσω των σημάτων τιμών οι καταναλωτές μπορούν να εξοικονομήσουν χρήματα μειώνοντας από μόνοι τους την κατανάλωση τις ώρες αιχμής.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι δυναμικής τιμολόγησης όπως είναι η ωριαία και η ημερήσια τιμολόγηση. Η πρώτη αποτελεί την πιο ευέλικτη και την πιο ακριβή μέθοδο τιμολόγησης αφού κάθε ώρα μεταβάλλονται οι τιμές λιανικής πώλησης. Οι τιμές αυτές ανακοινώνονται μια ώρα ή μέρα νωρίτερα και αντανακλούν το οριακό κόστος παραγωγής συμπεριλαμβάνοντας χρεώσεις χρήσης του δικτύου. Λόγω της αβεβαιότητας που προέρχεται από την μεταβλητότητα του οριακού κόστους και των τιμών της χονδρικής αγοράς ενέργειας, οι καταναλωτές μπορούν να διαχειριστούν το ρίσκο που αναλαμβάνουν υπογράφοντας συμβόλαια με σταθερές τιμές για συγκεκριμένη ποσότητα του φορτίου τους. Στην ημερήσια τιμολόγηση οι τιμές είναι καθορισμένες σε επιμέρους περιόδους χρόνου, όμως η τιμή για τουλάχιστον μία περίοδο μεταβάλλεται. Αυτή η τιμή ανακοινώνεται συνήθως μια μέρα νωρίτερα.

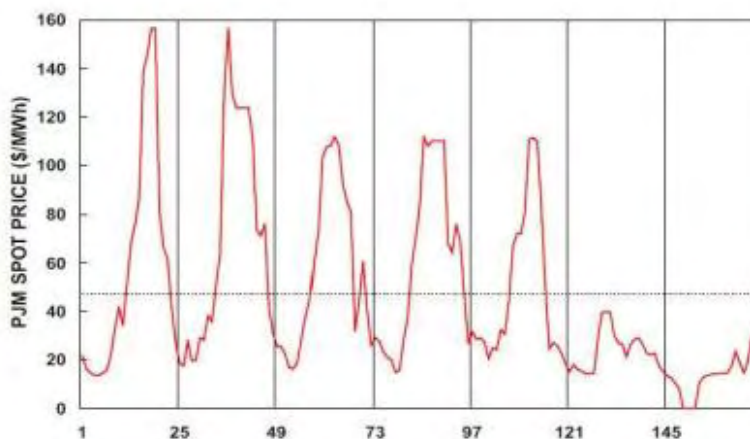
## 2.6 Μεταβολή της τιμής

Οι σύγχρονες χονδρικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας δεν ευνοούν σε πολύ μεγάλο βαθμό τον ανταγωνισμό επειδή δεν έχουν τη δυνατότητα οι πελάτες της λιανικής αγοράς να συμμετέχουν σε αυτές. Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στη χονδρική αγορά

μεταβάλλεται ακόμα και τα 50% μέσα στη μέρα και αυτό οφείλεται στους παρακάτω λόγους:

- Διαφορετική τεχνολογία συνεπάγεται διαφορετικό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Δεν υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας με οικονομικό τρόπο, συνεπώς πρέπει να καταναλώνεται τη στιγμή που παράγεται.
- Το φορτίο του συστήματος συνεχώς μεταβάλλεται.
- Περιπτώσεις όπως ξαφνική απώλεια μονάδων του δικτύου ή ακραία καιρικά φαινόμενα προκαλούν ανισορροπίες μεταξύ προσφοράς και ζήτησης και η επαναφορά του συστήματος είναι ιδιαίτερα ακριβή διαδικασία.
- Η λειτουργία των μονάδων διέπεται από τεχνικούς περιορισμούς. Ορισμένες φορές, όταν το φορτίο είναι πολύ χαμηλό, η τιμή στην αγορά μηδενίζεται ή γίνεται ακόμα και αρνητική. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι είναι προτιμότερο, από οικονομική άποψη, να μείνει μία μονάδα σε λειτουργία (ακόμα και αν δεν είναι απαραίτητο) παρά να κλείσει και να επαναλειτουργήσει αργότερα.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η διακύμανση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, για κάποιες πολιτείες των ΗΠΑ, για μια εβδομάδα του Ιουλίου από την εταιρία PJM interconnection.



Εικόνα 2.4 Διακύμανση τιμής

Βλέπουμε πως την πρώτη μέρα η τιμή φτάνει τα 157\$/MWh και την τελευταία μέρα της εβδομάδας πέφτει στο 0 \$/MWh. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και σε όλες τις αγορές των αναπτυγμένων χωρών. Συνεπώς καθίσταται αναγκαίο για τις εταιρίες που εμπορεύονται ηλεκτρική ενέργεια να αναλαμβάνουν το ρίσκο που εμπεριέχεται σε τέτοιου είδους αγορές μεταφέροντας το κόστος αυτό στον τελικό καταναλωτή.



## 2.7 Παράγοντες της τιμής

Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στη λιανική αγορά αποτελείται από δύο παράγοντες:

- ✓ Το ηλεκτρικό ρεύμα ως προϊόν.
- ✓ Την προστασία του καταναλωτή από τη μεταβλητότητα της τιμής στη χονδρική αγορά.

Θα πρέπει να δίνεται η δυνατότητα στους πελάτες να παρακολουθούν τις τιμές. Έτσι η αγορά γίνεται πιο ανταγωνιστική, οικονομικά πιο αποτελεσματική και τα δίκτυα πιο σταθερά. Θεμελιώδης βάση του πραγματικού ανταγωνισμού είναι να μπορεί να επιλέξει ο πελάτης μέσα από πληθώρα τιμολογιακών πολιτικών.

Οι καταναλωτές που ρυθμίζουν την ποσότητα φορτίου που καταναλώνουν ανάλογα με τις μεταβολές της τιμής βοηθούν και στον περιορισμό του μεγέθους των αιχμών της ως αποτέλεσμα της μειωμένης παραγωγής των μονάδων τις ώρες της αιχμής όπου το σύστημα είναι συνήθως πολύ πιεσμένο. Μάλιστα, έτσι ωφελούνται από τις μειώσεις της τιμής όλοι οι καταναλωτές και όχι μόνο αυτοί που ρυθμίζουν το φορτίο τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

### Ζήτηση

#### 3.1 Διαχείριση της Ζήτησης (DSM)

Η έννοια της διαχείρισης της ζήτησης (Demand Side Management-DSM) αναφέρεται στα προγράμματα και στις δράσεις που εφαρμόζουν οι εταιρίες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να ελέγχουν, να διαμορφώνουν και να επιδρούν στην κάλυψη της ζήτησης από τους καταναλωτές. Δηλαδή, τα προγράμματα αυτά, έχουν στόχο την διάθεση της απαιτούμενης ενέργειας πιο αποτελεσματικά για να επιτευχθεί οριστική διακοπή ή τουλάχιστον αναβολή της εγκατάστασης νέων σταθμών και της επέκτασης δικτύων διανομής. Κάποια από τα προγράμματα που περιλαμβάνουν είναι εξοικονόμησης ενέργειας, απόκρισης της ζήτησης και διαχείρισης φορτίου για οικιακούς καταναλωτές. Σαν τελικό συμπέρασμα εξάγεται ότι η Διαχείριση της Ζήτησης αποφέρει οφέλη για τις εταιρίες παροχής, για τους καταναλωτές και γενικά για το κοινωνικό σύνολο.

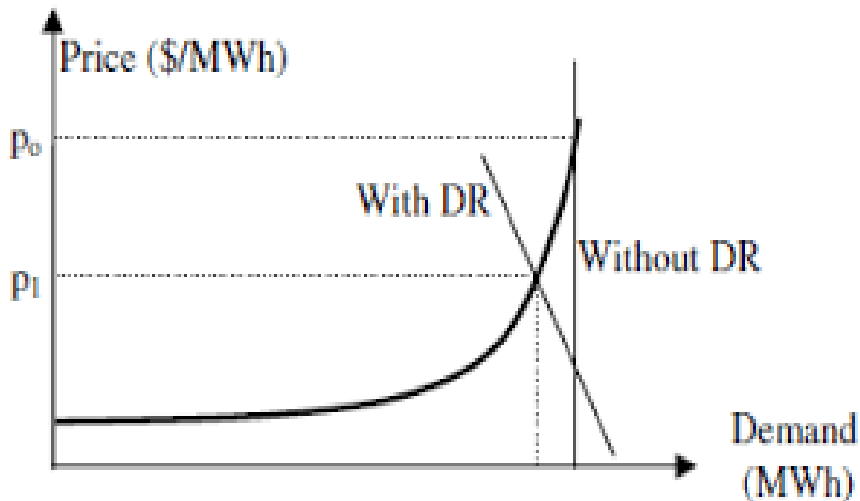
Η ανάγκη για ουσιαστική διαχείριση προέκυψε εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης της ζήτησης, της μεταβλητότητας των τιμών των καυσίμων και της ανάγκης διείσδυσης των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας στο δίκτυο διανομής που ήδη υπάρχει. Η επίτευξη των στόχων του DSM ( Demand Side Management) προϋποθέτει την χρησιμοποίηση τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας, συνεχή εποπτεία και έλεγχο των εγκαταστάσεων και την διαφορετική τιμολόγηση ανάλογα με την ώρα κατανάλωσης.

Το DSM βασίζεται σε δύο πολύ σημαντικούς όρους την ενεργειακή αποδοτικότητα (energy efficiency) και την απόκριση ζήτησης (demand response). Όσο αφορά στην ενεργειακή απόδοση, αυτή περιλαμβάνει, προγράμματα προώθησης ενεργειακά αποδοτικού εξοπλισμού στις διάφορες κατηγορίες καταναλωτών και αναφέρεται στον μακροχρόνιο σχεδιασμό εφόσον οι μειώσεις στην κατανάλωση που φέρνει η ενεργειακή αποδοτικότητα είναι μόνιμες όπως για παράδειγμα η ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτιρίου[5].

### 3.2 Απόκριση ζήτησης

Η έννοια της απόκρισης ζήτησης (demand response) αναφέρεται σε αλλαγές στο προφίλ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές ως απάντηση (απόκριση) σε μεταβολές της τιμής του ηλεκτρισμού σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Ακόμη, αναφέρεται στην εξαγορά κινήτρων έτσι ώστε να επιφέρουν μείωση στην κατανάλωση σε περιόδους υψηλού κόστους ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, περιλαμβάνει όλες εκείνες τις τροποποιήσεις που πρέπει να γίνουν για να μετατοπιστεί η κατανάλωση από ώρες αιχμής σε περιόδους που η ζήτηση είναι χαμηλή ή για να μειωθεί το επίπεδο της μέγιστης ζήτησης χωρίς αντιστάθμιση σε ώρες εκτός αιχμής[10].

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η θετική επίδραση που έχει η απόκριση της ζήτησης (DR) στην διαμόρφωση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό συμβαίνει διότι η δυνατότητα που έχει η DR να επιφέρει χαμηλότερες τιμές οφείλεται στο γεγονός ότι το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται εκθετικά καθώς μειώνονται τα περιθώρια για επιπλέον αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Δηλαδή, όταν η ζήτηση αυξηθεί τόσο πολύ ώστε να φτάνει το σύστημα στο όριό του, η τιμή παραγωγής «συμπαράσχει» την τιμή της καταναλισκόμενης ενέργειας σε υψηλά επίπεδα. Συνεπώς, μια μικρή μείωση στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός προγράμματος DR, επιφέρει μεγάλη μείωση στο κόστος παραγωγής άρα και της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας. Στο παράδειγμα του σχήματος που ακολουθεί, η αρχική ζήτηση χωρίς DR αναπαρίσταται από κάθετη γραμμή, ενώ η εφαρμογή προγραμμάτων DR εισάγει μια αρνητική κλίση στην αρχική καμπύλη ζήτησης[6][9].



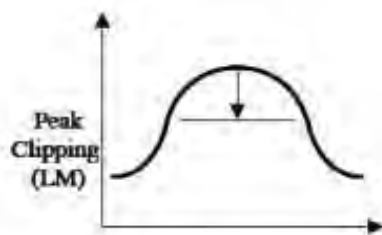
Εικόνα 3.1 Επίδραση του DR στη διαμόρφωση της τιμής ηλεκτρικής ενέργειας

### 3.3 Στρατηγικές απόκρισης φορτίου

Υπάρχουν 6 διαφορετικές τεχνικές διαχείρισης της Ζήτησης που μεταβάλλουν την καμπύλη του φορτίου. Αυτές είναι:

#### **1. Peak Clipping**

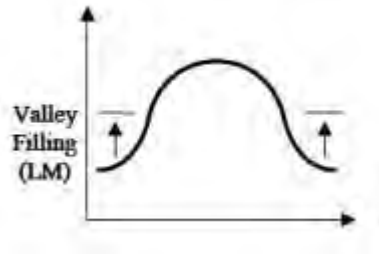
Μείωση της χρήσης ηλεκτρισμού από τους καταναλωτές τις ώρες αιχμής χωρίς να την αντισταθμίσουν αργότερα. Παράδειγμα τέτοιας τεχνικής είναι η ρύθμιση λειτουργίας του κλιματιστικού σε υψηλότερα θερμοκρασία, τους θερινούς μήνες, σε περιόδους αιχμής[11].



Εικόνα 3.2 Peak Clipping

## 2. Valley Filling

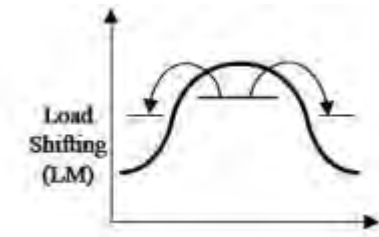
Έχει στόχο την αύξηση της κατανάλωσης σε περιόδους χαμηλής ζήτησης ώστε να βελτιωθεί ο συντελεστής ισχύος του συστήματος.



Εικόνα 3.3 Valley Filling

## 3. Load Shifting

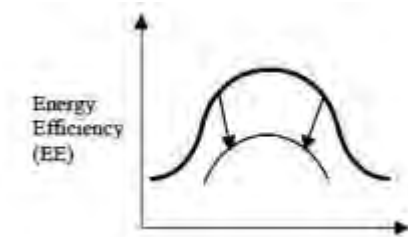
Αυτή η στρατηγική διαχείρισης έχει στόχο την αναβολή κάποιων δραστηριοτήτων από τους καταναλωτές από ώρες αιχμής σε άλλες χρονικές περιόδους. Παράδειγμα τέτοιας τεχνικής μετατόπισης φορτίου είναι ένας καταναλωτής να λειτουργεί το πλυντήριο του τις βραδινές ώρες.



Εικόνα 3.4 Load Shifting

## 4. Energy Efficiency

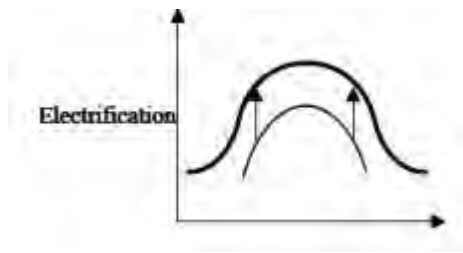
Στοχεύει στη μείωση του φορτίου γενικότερα και όχι μόνο τις περιόδους αιχμής, μέσω της μείωσης της κατανάλωσης και της χρήσης αποδοτικότερου εξοπλισμού.



Εικόνα 3.5 Energy Efficiency

## 5. Electrification

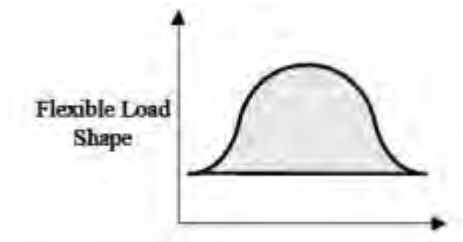
Αντίθετα με την προηγούμενη τεχνική, αυτή στοχεύει σε γενική αύξηση της ζήτησης.



Εικόνα 3.6 Electrification

## 6. Flexible Load Shape

Αυτή η στρατηγική έχει σχέση με το κατά πόσο το φορτίο έχει ευελιξία να μπορεί να ανταποκριθεί σε επείγουσες καταστάσεις.



Εικόνα 3.7 Flexible Load Shape

## 3.4 Προγράμματα Απόκρισης της Ζήτησης

Τα προγράμματα απόκρισης της ζήτησης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: Την Price Based Demand Response και την Incentive Based Demand Response. Στην πρώτη κατηγορία υπάρχουν τιμολόγια με διαφορετικές χρεώσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου, ενώ στη δεύτερη παρέχονται κίνητρα στους καταναλωτές για μεταβολή της ζήτησης.

### ➤ Price Based Demand Response

Τα προγράμματα της κατηγορίας αυτής βασίζονται στη δυναμική τιμολόγηση της ενέργειας. Κύριο μέλημά τους είναι η μείωση του φορτίου σε περιόδους αιχμής ή η μεταφορά του σε περιόδους χαμηλής τιμής.

- **Time-of-Use (TOU):** Βασίζεται στη διαφορετική τιμολόγηση του ηλεκτρισμού μέσα στη διάρκεια της μέρας. Υπάρχουν διαφορετικοί συντελεστές χρέωσης σε κάθε τμήμα της ημέρας που αντικατοπτρίζουν το μέσο κόστος παραγωγής και διανομής του ηλεκτρισμού στο εκάστοτε τμήμα και η τιμολόγηση μπορεί να μείνει αμετάβλητη για διάστημα μηνών.
- **Real time pricing (RTP):** Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλεται κάθε ώρα όπως επηρεάζεται από την ωριαία διακύμανση του κόστους παραγωγής. Οι πελάτες ενημερώνονται μια μέρα ή μια ώρα πριν την εφαρμογή τους.

- **Critical peak pricing (CPP):** Πρόκειται για συνδυασμό των παραπάνω προγραμμάτων. Πιο αναλυτικά, περιλαμβάνει μια Time-of-use τιμολόγηση, ενώ σε περιπτώσεις αιχμής και έχοντας ενημερώσει μια μέρα νωρίτερα τον πελάτη, εφαρμόζεται μια επιπλέον χρέωση στη μέγιστη τιμή. Οι πελάτες που συμμετέχουν στο πρόγραμμα λαμβάνουν έκπτωση για κατανάλωση εκτός ώρες αιχμής.
- **Critical peak rebate (CPR):** Πρόκειται για το αντίστροφο της προηγούμενης μεθόδου. Οι καταναλωτές ανταμείβονται ανάλογα με το πόσο μειώνουν την κατανάλωσή τους τις ώρες αιχμής. Μολονότι είναι πιο εύκολα αποδεκτά από τα προγράμματα CPP, δεν έχουν εφαρμοστεί σε μεγάλος εύρος καθώς αποτελεί καινούρια στρατηγική.
- **Extreme day pricing (EDP):** Έχει κάποιες ομοιότητες με την CPP καθώς στις ώρες αιχμής εφαρμόζεται μια επιπλέον χρέωση με τη διαφορά, όμως, ότι αυτή η τιμή εφαρμόζεται όλη τη μέρα και δεν έχουν ενημερωθεί οι πελάτες από την προηγούμενη μέρα.
- **Extreme day CPP (ED-CPP):** Εφαρμόζονται δύο επίπεδα αυξημένων χρεώσεων για ώρες εντός και εκτός αιχμής αντίστοιχα κατά τη διάρκεια επικίνδυνων ημερών για το δίκτυο. Όμως την υπόλοιπη χρονική περίοδο, η τιμολόγηση του ηλεκτρισμού δεν παρουσιάζει διακυμάνσεις.

#### ➤ **Incentive Based Demand Response**

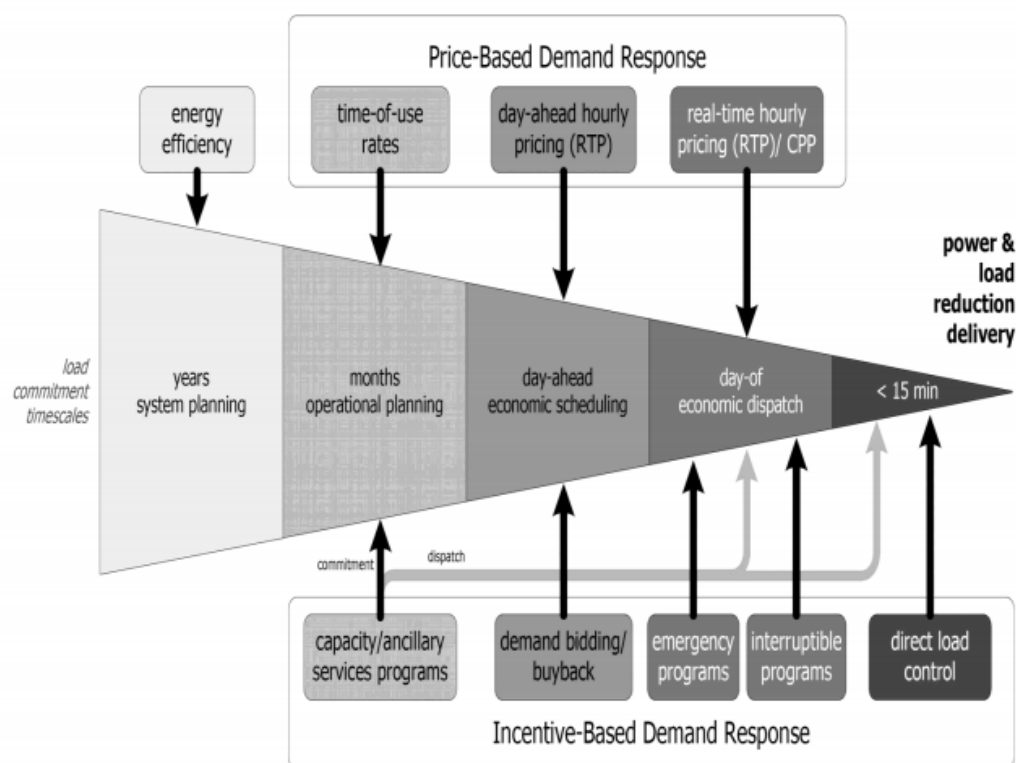
Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν προγράμματα τα οποία προσφέρονται μέσω συμβολαίων και δίνουν κίνητρα στους πελάτες για μείωση του φορτίου σε περιόδους αιχμής.

- **Direct load control (DLC):** Σε αυτό του πρόγραμμα άμεσου ελέγχου, ο διαχειριστής του προγράμματος μπορεί να διακόψει τη λειτουργία κάποιων φορτίων (π.χ. κλιματιστικά) μετά από ειδοποίηση του καταναλωτή. Τα προγράμματα αυτά απευθύνονται κυρίως σε οικιακούς καταναλωτές οι οποίοι επωφελούνται από τη συμμετοχή τους στο πρόγραμμα με μειώσεις στον λογαριασμό τους.
- **Interruptible/ curtailable (I/C):** Οι συμμετέχοντες σε αυτά τα προγράμματα υποχρεούνται να μειώσουν το φορτίο τους σε προκαθορισμένες τιμές και ανταμείβονται με έκπτωση στο λογαριασμό τους. Ο διαχειριστής μπορεί να ζητήσει αποκοπή σε κρίσιμες για το σύστημα στιγμές και να επιβάλει ποινές σε περίπτωση μη αποκοπής. Τέτοια προγράμματα απευθύνονται κυρίως σε μεγάλους βιομηχανικούς καταναλωτές.
- **Emergency demand response programs:** Πρόκειται για προγράμματα επείγουσας ανάγκης. Σε αυτά τα προγράμματα προσφέρεται κίνητρο στους πελάτες μέσω πληρωμής να μειώσουν το φορτίο τους σε κρίσιμες περιόδους για την αξιοπιστία του δικτύου.

- **Capacity market programs:** Προσφέρεται συνήθως σε καταναλωτές που μπορούν να εγγυηθούν εκ των προτέρων για συγκεκριμένη μείωση του φορτίου σε κρίσιμες καταστάσεις. Η ενημέρωση των καταναλωτών γίνεται μία μέρα πριν. Σε περίπτωση που οι πελάτες δεν ανταποκριθούν υπόκεινται σε αυστηρές ποινές.
- **Ancillary services market programs:** Αυτά τα προγράμματα αγοράς βοηθητικών υπηρεσιών δίνουν τη δυνατότητα στους πελάτες να προσφέρουν μείωση φορτίου στους διαχειριστές του συστήματος. Άπαξ και οι προσφορές γίνονται αποδεκτές, πληρώνονται στην τιμή της αγοράς.

Σε αντίθεση με την κατηγορία Price Based όπου η συμμετοχή των καταναλωτών δεν ήταν υποχρεωτική, στην Incentive Based οι καταναλωτές δεσμεύονται με συμβόλαιο για τη συμμετοχή τους στο εκάστοτε πρόγραμμα και είναι υποχρεωμένοι να ανταποκρίνονται στον περιορισμό της ζήτησης στις κρίσιμες περιόδους, αλλιώς τους επιβάλλονται οικονομικές ποινές.

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζονται σχηματικά οι δύο προγραμμάτων απόκρισης της ζήτησης:



Εικόνα 3.8 Η σημασία του DR στη λειτουργία ενός ΣΗΕ



### 3.5 Ενεργειακή αποδοτικότητα

Η έννοια του DSM περιλαμβάνει τις έννοιες της απόκρισης ζήτησης (DR) και της ενεργειακής αποδοτικότητας (Energy Efficiency). Η ενεργειακή αποδοτικότητα αναφέρεται στη χρησιμοποίηση λιγότερης ενέργειας για την παροχή ίδιων ή βελτιωμένων υπηρεσιών στον καταναλωτή με τρόπο πιο οικονομικό αλλά και πιο αποδοτικό. Με άλλο λόγο απαιτεί αλλαγές στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μέσω εγκατάστασης αποδοτικότερων συσκευών για τον καταναλωτή, με στόχο την ελάττωση της απαραίτητης για την υλοποίηση μιας λειτουργίας ποσότητας ενέργειας.

Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να διευκρινιστεί ότι:

- ✓ Οι υπάρχουσες ηλεκτρικές συσκευές αντικαθίστανται με αποδοτικότερες, χωρίς όμως να υποστούν καμία άλλη μεταβολή στη λειτουργία που προσφέρουν στον καταναλωτή.
- ✓ Οι νέες συσκευές για την ίδια λειτουργία απαιτούν λιγότερη ενέργεια.
- ✓ Η μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας ανεξάρτητα από την ύπαρξη κρίσιμων περιόδων.

Οι παραπάνω παραδοχές κάνουν εμφανή τη διαφορά μεταξύ της ενεργειακής αποδοτικότητας και της απόκρισης ζήτησης.

Σε αντίθεση με την συντηρητική χρήση ενέργειας, η ενεργειακή αποδοτικότητα δεν απαιτεί μείωση της άνεσης του καταναλωτή και ουσιαστικά αλλαγή της ενεργειακής συμπεριφοράς του. Αν βελτιωθεί η ενεργειακή συμπεριφορά των καταναλωτών μπορεί να αντιμετωπιστεί η αύξηση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των ενεργειακών συστημάτων και να υπάρξει συμβολή στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Κάποιες από τις τεχνικές για τη διείσδυση της ενεργειακής απόδοσης στους καταναλωτές είναι οι εξής:

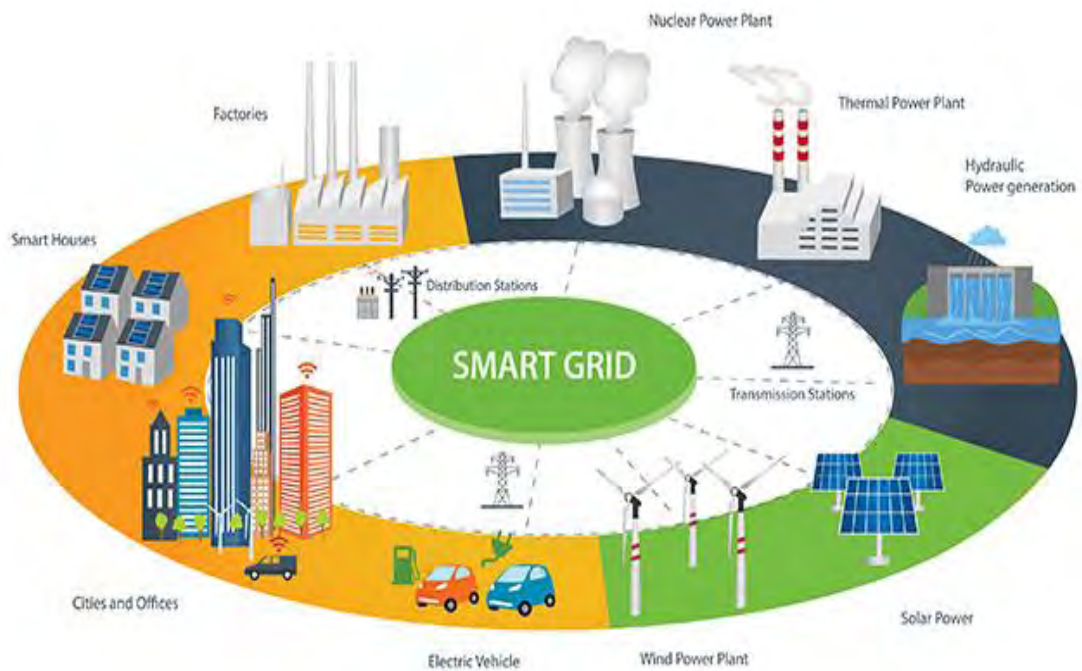
- ⇒ **Εκπτώσεις** στους καταναλωτές που εγκαθιστούν ενεργειακά αποδοτικές συσκευές.
- ⇒ **Χρηματοδότηση** είτε με επιδοτήσεις είτε με οικονομικά προγράμματα για να αντισταθμιστεί το αρχικό κόστος των μέτρων της ενεργειακής αποδοτικότητας.
- ⇒ **Κίνητρα εμπορίου** δηλαδή κίνητρα που δίνονται σε επιχειρήσεις ώστε να επενδύουν, να πωλούν και να εγκαθιστούν προγράμματα και συσκευές ενεργειακής αποδοτικότητας.
- ⇒ **Εκπαίδευση** των καταναλωτών για τα οφέλη της ενεργειακής αποδοτικότητας.
- ⇒ **Κανονισμοί δόμησης** ώστε να πιστοποιείται η ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων, αλλά και ο σχεδιασμός νέων ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

### Έξυπνα Δίκτυα

#### 4.1 Εισαγωγή

Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, σε συνδυασμό με την πολύπλοκη φύση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, οδηγούν πολλές φορές σε σοβαρά προβλήματα όπως διακοπές ρεύματος και βυθίσεις τάσης τα οποία βλάπτουν την αξιοπιστία και την ποιότητα του ρεύματος. Δηλαδή το δίκτυο που υπάρχει δεν μπορεί να ανταποκριθεί στις ανάγκες που δημιουργούνται για μεγαλύτερη παραγωγή από τους οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Λύσεις σε αυτό το πρόβλημα έφερε η τεχνολογία ενός ηλεκτρικού δικτύου επόμενης γενιάς, του Έξυπνου Δικτύου Ενέργειας. Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η μικρογραφία ενός έξυπνου δικτύου[12].

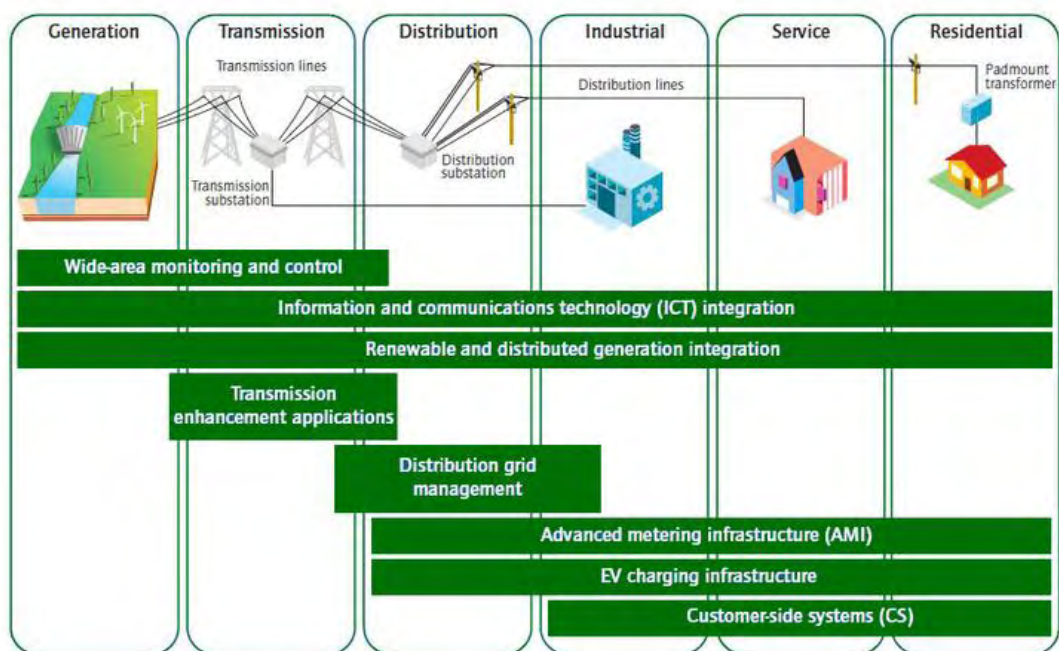


Εικόνα 4.1 "Έξυπνο Δίκτυο", Eolas Magazine

## 4.2 Ορισμός του Smart Grid

Ο όρος Έξυπνο Δίκτυο αναφέρεται σε ένα εκσυγχρονισμένο ηλεκτρικό δίκτυο το οποίο με χρήση ICT (Information and Communication Technology) προστατεύει και βελτιστοποιεί τη λειτουργία των συνδεδεμένων σε αυτό στοιχείων από άκρο σε άκρο. Συλλέγει και αξιολογεί πληροφορίες σχετικά με τις καταναλώσεις και προβαίνει σε αποφάσεις. Πρόκειται για ένα σύστημα που έχει στόχο την ενίσχυση της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας μέσω αυτόματου ελέγχου, μετατροπών υψηλής ισχύος, τεχνολογιών αισθητήρων κ.ά. Περιλαμβάνει ηλεκτρικές γεννήτριες μέσω του δικτύου υψηλής τάσης και σύστημα χαμηλής τάσης σε βιομηχανικούς χρήστες ή σε συστήματα αυτοματισμού οικιακών κτιρίων και σε τελικούς καταναλωτές. Υπάρχει αμφίδρομη ροή ηλεκτρικής ενέργειας και πληροφοριών για τη δημιουργία ενός αυτοματοποιημένου δικτύου διανομής ενέργειας και στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η κατανομή του:

Figure 8. Smart grid technology areas



Source: Technology categories and descriptions adapted from NETL, 2010 and NIST, 2010.

**KEY POINT:** Smart grids encompass a variety of technologies that span the electricity system.

Εικόνα 4.2 Η κατανομή του έξυπνου δικτύου

### 4.3 Πλεονεκτήματα του Έξυπνου Δικτύου

#### ✓ Αξιοπιστία

Ένα Έξυπνο Δίκτυο θα εκμεταλλευτεί τις τεχνολογίες που βελτιώνουν την ικανότητα ενός δικτύου να αντιληφθεί ένα σφάλμα και στη συνέχεια θα το διορθώσει χωρίς να εμπλακεί ανθρώπινος παράγοντας. Όμως είναι απαραίτητη η ύπαρξη διαφορετικών διαδρομών παροχής ώστε αν δημιουργηθεί ένα σφάλμα σε κάποια διαδρομή, να την αποκλείσει το δίκτυο. Επίσης, το Έξυπνο Δίκτυο θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να μειώσει το φόρτο σε μια γραμμή ώστε να εξυπηρετηθούν ικανοποιητικά όλοι οι πελάτες.

#### ✓ Ευελιξία

Για ένα σύγχρονο δίκτυο είναι απαραίτητο να υποστηρίζει την αμφίδρομη μεταφορά ενέργειας. Με άλλα λόγια εάν ο καταναλωτής παράγει ηλεκτρική ενέργεια (π.χ. με χρήση φωτοβολταϊκών) θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να παρέχει στο δίκτυο την

ποσότητα ενέργειας που δεν καταναλώνει. Επιπλέον, είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζει, εάν η ενέργεια που καταναλώνει κάθε στιγμή προέρχεται από αυτήν που παράγει ο ίδιος ή πρόκειται για ενέργεια που αντλεί από το δίκτυο και αυτή η δυνατότητα αποτελεί βασικό κομμάτι ενός Έξυπνο Δικτύου.

#### ✓ **Αποδοτικότητα**

Ο συνολικός φόρτος ενός δικτύου μεταβάλλεται σε μεγάλο βαθμό κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Σε ένα τέτοιο δίκτυο ο φορέας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, με την άδεια του καταναλωτή, μπορεί να έχει κάποιον έλεγχο στη ζήτηση της ενέργειας. Για παράδειγμα σε μια επιχείρηση, κατά την περίοδο του καλοκαιριού, κατά το μεσημέρι ανοίγουν όλοι την ίδια ώρα τα κλιματιστικά. Έτσι, μπορεί να προκληθεί πρόβλημα στο δίκτυο λόγω της ξαφνικής αυτής αιχμής. Όμως το Έξυπνο Δίκτυο μπορεί να κλείσει για κάποιο χρονικό διάστημα μια ηλεκτρική συσκευή και το δίκτυο να ανταπεξέλθει. Με αυτόν τον τρόπο, η ζήτηση γίνεται ελεγχόμενη ως ένα βαθμό και μειώνεται αρκετά η πιθανότητα να γίνει μεγαλύτερη από τη δυνατότητα παροχής του δικτύου.

#### ✓ **Βιωσιμότητα**

Το Έξυπνο Δίκτυο διαθέτει τη μεγάλη ευελιξία να επιτρέπει και να προωθεί την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ( Αιολική, Ηλιακή, Ενέργεια και βιομάζα, Γεωθερμική και Υδροηλεκτρική). Βέβαια, λόγω περιβαλλοντικών συνθηκών, η παροχή τέτοιων πηγών μεταβάλλεται στη διάρκεια της ημέρας και μπορεί να προκαλέσει προβλήματα σε ένα δίκτυο. Όμως, σε ένα Έξυπνο Δίκτυο υπάρχουν οι κατάλληλες τεχνολογίες για σωστή διαχείριση.

#### ✓ **Οικονομία**

Ένας από τους σημαντικότερους λόγους της ταχείας ανάπτυξης των Έξυπνων Δικτύων είναι η οικονομία. Σε ένα τέτοιο δίκτυο είναι εφικτή η συνεχής επικοινωνία μεταξύ παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας και καταναλωτή. Συνεπώς, ο καταναλωτής θα γνωρίζει ανά πάσα στιγμή το συνολικό μέγεθος της κατανάλωσής του, αλλά και τις επί μέρους καταναλώσεις κάθε συσκευής. Επιπλέον, ο φορέας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, για να αποφύγει προβλήματα που δημιουργούνται σε ώρες αιχμής, μπορεί να προσφέρει οικονομικά ανταλλάγματα στον καταναλωτή ώστε να επιτρέπει τη διαχείριση κάποιων συσκευών από το δίκτυο.

#### ✓ **Άνεση**

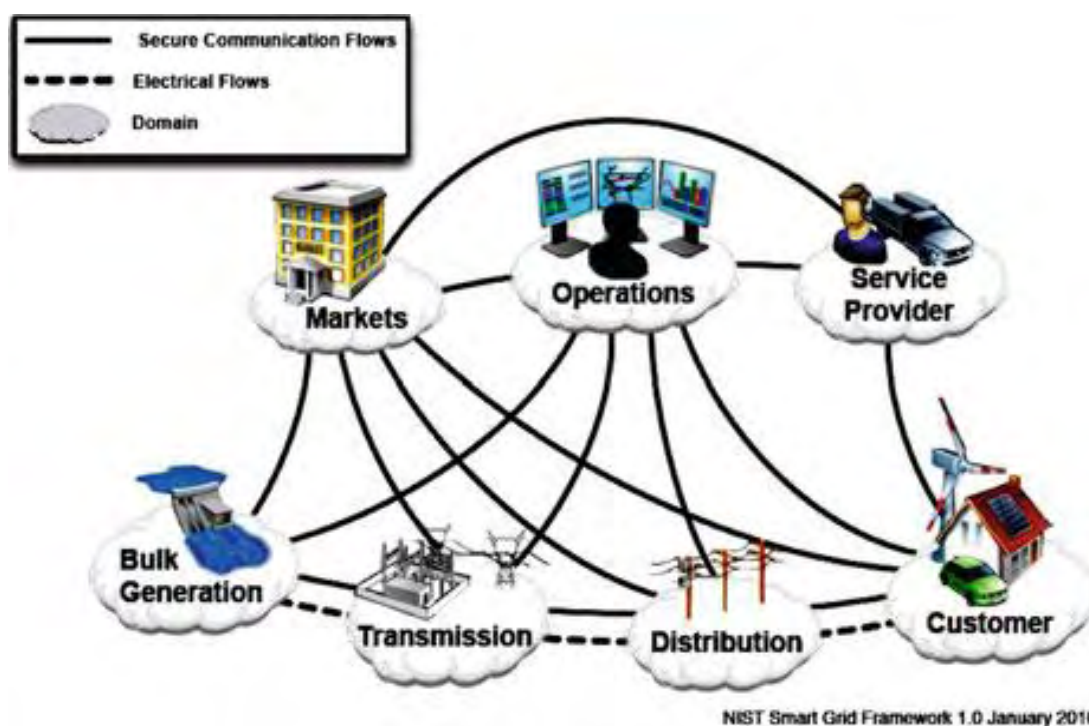
Ένα ακόμη πλεονέκτημα της χρήσης των Έξυπνων Δικτύων Ενέργειας το οποίο θα εξαπλωθεί κυρίως στο άμεσο μέλλον είναι η δυνατότητα του καταναλωτή να μπορεί να ελέγχει τις συσκευές μέσω διαδικτύου. Η τηλεόραση, η κουζίνα, το ψυγείο, το κλιματιστικό θα βρίσκονται συνδεδεμένα στο διαδίκτυο και ο καταναλωτής, μέσω του κινητού του τηλεφώνου, θα μπορεί να κλείσει το κλιματιστικό, να ανοίξει την τηλεόραση και γενικά να διαχειριστεί οποιαδήποτε συσκευή.

#### 4.4 Η αρχιτεκτονική ενός Έξυπνου Δικτύου

Το Έξυπνο Δίκτυο, σύμφωνα με το εννοιολογικό μοντέλο που προτείνει το Εθνικό Ίδρυμα Προτύπων και Τεχνολογίας των ΗΠΑ (National Institute of Standards and Technology- NIST), αποτελείται από επτά τομείς:

- Τομέας πελατών,
- Τομέας Αγοράς,
- Τομέας Παροχής Υπηρεσιών,
- Τομέας Κέντρου Ενεργειών,
- Τομέας Παραγωγής,
- Τομέας Δικτύου Μεταφοράς,
- Τομέας Δικτύου Διανομής.

Όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί το μοντέλο παρουσιάζει όλες τις επικοινωνίες και τη ροή ενέργειας μεταξύ των τομέων όπως και τον τρόπο με τον οποίο συσχετίζονται. Οι συνδέσεις που απεικονίζονται με συνεχόμενη γραμμή αναπαριστούν ροή δεδομένων, ενώ αυτές που απεικονίζονται με διακεκομμένη γραμμή αναπαριστούν ροή ηλεκτρικής ενέργειας[12].



Εικόνα 4.3 Εννοιολογικό μοντέλο Έξυπνου Δικτύου

#### Τομέας Πελατών



Στον τομέα αυτό γίνεται η σύνδεση μεταξύ των τελικών καταναλωτών της ηλεκτρικής ενέργειας με το υπόλοιπο δίκτυο. Για την πραγματοποίηση της σύνδεση είναι απαραίτητοι οι έξυπνοι μετρητές. Οι έξυπνοι μετρητές ελέγχουν και διαχειρίζονται τη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας από και προς τους καταναλωτές. Να σημειωθεί ότι ως πελάτες ή καταναλωτές θεωρούνται όλοι είτε είναι εμπορικοί, είτε οικιακοί, είτε βιομηχανικοί. Ακολουθεί σχηματική αναπαράσταση του συγκεκριμένου τομέα:



Εικόνα 4.4 Τομέας Πελατών

## Τομέας Αγοράς

Ο τομέας αυτός είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία του έξυπνου δικτύου και συντονίζει όλους τους συμμετέχοντες σε αυτό. Είναι σημαντικός τομέας καθώς εκεί πραγματοποιείται η αγοραπωλησία των πόρων του δικτύου. Παρέχει χονδρικό και λιανικό εμπόριο, διαχείριση της αγοράς όπως επίσης και εμπορία υπηρεσιών ενέργειας. Ο τομέας της Αγοράς πρέπει συνεχώς να επικοινωνεί με τους υπόλοιπους τομείς ώστε να εξασφαλίζει την ανταγωνιστικότητα του περιβάλλοντος που λειτουργούν. Η δομή του παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 4.5 Τομέας Αγοράς

### Τομέας Παροχής Υπηρεσιών

Ο τομέας αυτός χειρίζεται όλες τις εξωτερικές λειτουργίες του δικτύου των τομέων. Για παράδειγμα μια ιστοσελίδα που παρέχει υπηρεσίες διαχείρισης ενέργειας στους πελάτες, προσφέρει ανταλλαγή δεδομένων σχετικών με την κατανάλωση ενέργειας μεταξύ πελατών και παρόχων, όπως απεικονίζεται παρακάτω:



Εικόνα 4.6 Τομέας Παροχής Υπηρεσιών



## Τομέας Κέντρου Ενεργειών

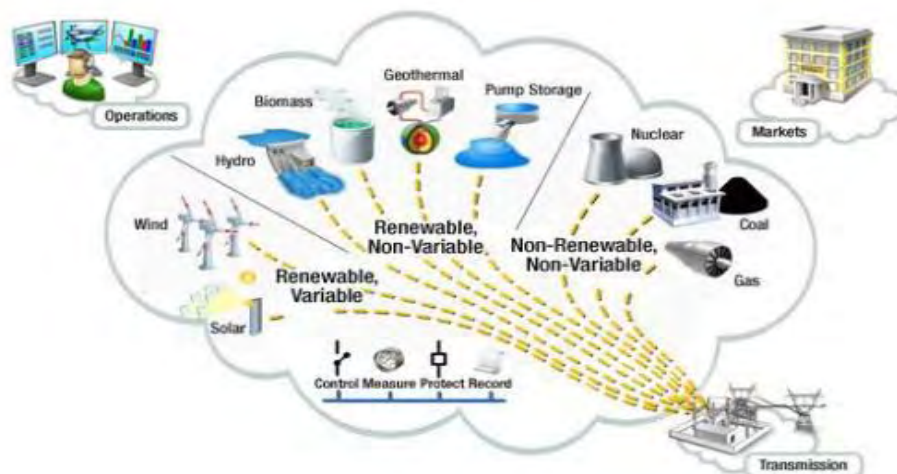
Ο τομέας αυτός είναι υπεύθυνος για τον χειρισμό και τον έλεγχο της ροής της ηλεκτρικής ενέργειας σε όλους τους άλλους τομείς του έξυπνου δικτύου. Υπάρχει αμφίδρομη σύνδεση, μέσω ενός αμφίδρομου δικτύου επικοινωνίας, μεταξύ υποσταθμών, εγκαταστάσεων πελατών αλλά και έξυπνων συσκευών. Παρέχει παρακολούθηση, έλεγχο, αναφορές κατάστασης όπως και σημαντικές πληροφορίες. Όλα αυτά παρουσιάζονται και στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 4.7 Τομέας Κέντρου Ενεργειών

## Τομέας Παραγωγής

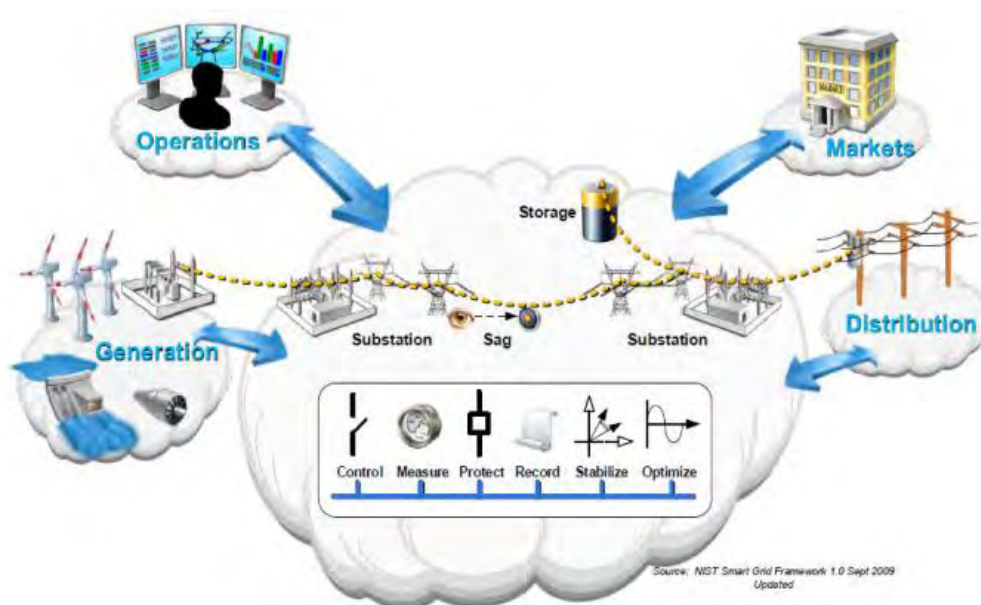
Σε αυτόν τον τομέα γίνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες ποσότητες. Η μαζική αυτή παραγωγή ενέργειας γίνεται είτε από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η πυρηνική ενέργεια, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο, είτε από ανανεώσιμες όπως η ηλιακή, η αιολική (μεταβλητές), η υδροηλεκτρική, η βιομάζα, η γεωθερμική και η αποθηκευτική αντλία (σταθερές). Στην εικόνα που ακολουθεί απεικονίζεται η δομή του συγκεκριμένου τομέα:



Εικόνα 4,8 Τομέας Παραγωγής

### Τομέας Δικτύου Μεταφοράς

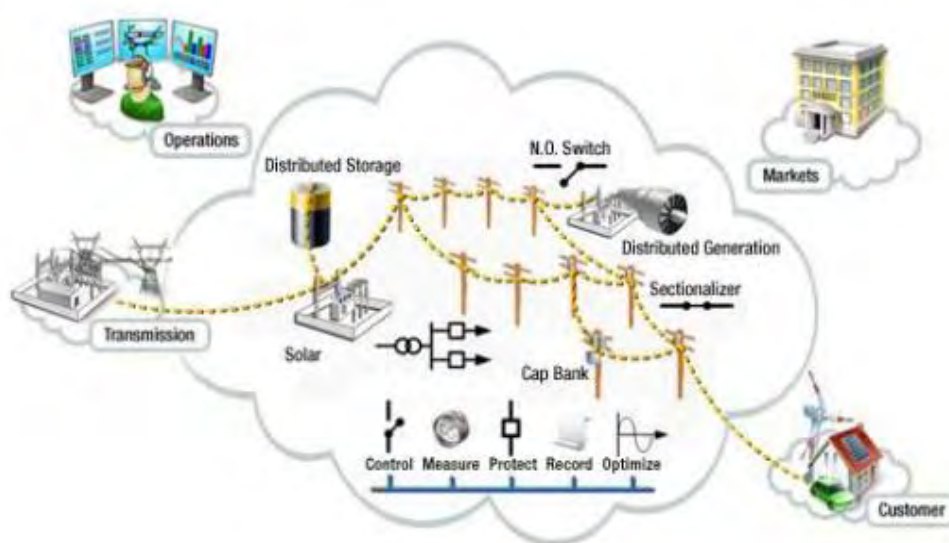
Ένας πολύ σημαντικός τομέας είναι αυτός του δικτύου μεταφοράς το οποίο μεταφέρει μεγάλες ποσότητες ισχύος από τα κέντρα παραγωγής προς τους σταθμούς διανομής μέσω υποσταθμών μετασχηματισμού ή ζεύξεως. Ακόμη, το σύστημα μεταφοράς, μπορεί να εξυπηρετεί κατευθείαν πολύ μεγάλους καταναλωτές και, μέσω συνδεδεμένων γραμμών, μπορεί να ανταλλάσσει ενέργεια με γειτονικά ενεργειακά συστήματα για την κάλυψη αναγκών ή περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα:



Εικόνα 4.9 Τομέας Δικτύου Μεταφοράς

## Τομέας Δικτύου Διανομής

Σε αυτόν τον τομέα πραγματοποιείται η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας από και προς τους πελάτες μέσω του έξυπνου δικτύου. Όλες οι έξυπνες συσκευές συνδέονται μεταξύ τους στο δίκτυο διανομής όπως επίσης μπορούν να συνδεθούν εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας ή απομακρυσμένες πηγές ενέργειας όπως γίνεται αντιληπτό στην κάτωθι εικόνα:



Εικόνα 4.10 Τομέας Δικτύου Διανομής

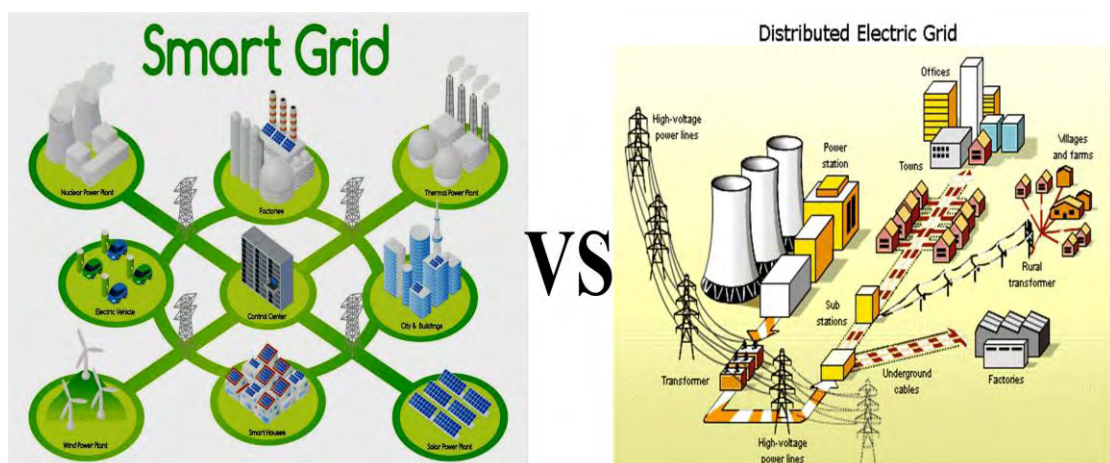
### 4.5 Διαφορές με το συμβατικό δίκτυο

Το συμβατικό δίκτυο έχει πολλές διαφορές και απέχει σημαντικά από την έννοια του έξυπνου δικτύου[12]. Μερικές από τις διαφορές είναι:

- Η προσαρμοστικότητα και η ικανότητα να επιδιορθώνεται από μόνο του. Επικεντρώνεται στην πρόληψη, ανιχνεύει πιθανά προβλήματα και δρα άμεσα χωρίς να επηρεάζει τον καταναλωτή. Αντίθετα, στο συμβατικό δίκτυο κάποιες πιθανές δυσλειτουργίες μπορεί να καταλήξουν σε διακοπές ρεύματος ώστε να αποτραπούν περαιτέρω ζημιές.
- Το έξυπνο δίκτυο παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε φυσικές καταστροφές και βλάβες σε σχέση με το συμβατικό δίκτυο.

- Το συμβατικό δίκτυο έχει ως βασικό στόχο την συνεχόμενη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς να εστιάζει σε θέματα ποσότητας. Από την άλλη, το έξυπνο δίκτυο προσφέρει υψηλή ποιότητα ηλεκτρικής ενέργειας ή διαφορετικές ποσότητες σε διαφορετικές τιμές.
- Σε ένα έξυπνο δίκτυο υπάρχει ενημέρωση και ενεργή συμμετοχή στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές.
- Το έξυπνο δίκτυο κάνει χρήση ψηφιακών διατάξεων, πληθώρας αισθητήρων και αμφίδρομης επικοινωνίας σε αντίθεση με το συμβατικό το οποίο διαθέτει ελάχιστους αισθητήρες και δεν παρέχει παρακολούθηση ούτε αμφίδρομη ροή πληροφοριών.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η διαφορά ενός συμβατικού με το έξυπνο δίκτυο:



Εικόνα 4.11 Διαφορές έξυπνου δικτύου με συμβατικό δίκτυο

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

### Ασφάλεια στα Έξυπνα Δίκτυα

#### 5.1 Η αναγκαιότητα της ασφάλειας

Παρότι στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύσαμε τα Έξυπνα Δίκτυα ενέργειας, δεν υπήρχε καμία αναφορά στην ανάγκη ύπαρξης της ασφάλειας. Η ασφάλεια ενός τόσο σύνθετου και σημαντικού δικτύου όπως η ηλεκτροδότηση, είναι καίριο ζήτημα και πρέπει να τονιστεί. Με την ταχύτατη εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών, όλα τα έξυπνα δίκτυα θα είναι ανοιχτά προς το Διαδίκτυο συνεπώς υπάρχουν διάφορα σενάρια για απώλεια ασφάλειας.

Οι πληροφορίες που μεταδίδονται σε ένα έξυπνο δίκτυο είναι πάρα πολλές αν αναλογιστούμε ότι υπάρχουν δεδομένα που αφορούν μοτίβα κατανάλωσης ενέργειας των πελατών, για να υπάρξει πετυχημένη πρόβλεψη της ζήτησης. Με αυτόν τον τρόπο ωφελείται και ο πελάτης καθώς του υποδεικνύεται πότε να καταναλώσει ενέργεια και να σχεδιάσει τις πιο δαπανηρές, ενεργειακά, εργασίες του. Επομένως είναι μείζονος σημασίας η ασφάλεια ενός τέτοιου δικτύου που θα μπορούσε να περιλαμβάνει τα προφίλ κατανάλωσης για τους ενοίκους μιας πολυκατοικίας.

Δεν είναι δύσκολο για έναν κακόβουλο χρήστη να εισέλθει στο σύστημα και, απουσίας ελέγχου, να παραστήσει πως πρόκειται για το κέντρο ελέγχου του συστήματος που στέλνει δεδομένα προς τον έξυπνο μετρητή μας. Έτσι μπορεί να διαβάσει πληροφορίες που στέλνονται από την οικία μας προς το κέντρο ελέγχου ή να μας παραπλανήσει πως π.χ. κάποιες επόμενες ώρες θα χρεώνονται λιγότερο.

Σημαντικός κίνδυνος παραβίασης της ασφάλειας ελλοχεύει και με τις ενημερώσεις (updates) του λογισμικού. Παρόλο που η ενημέρωση γίνεται εκτός των άλλων και για ενίσχυση της προστασίας του δικτύου, εντούτοις ένας κακόβουλος χρήστης έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει μια πλαστή ενημέρωση λογισμικού η οποία να βλάψει το δίκτυο.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό το γεγονός πως μια αδυναμία του δικτύου μπορεί να προκαλέσει διακοπές ρεύματος με σοβαρές συνέπειες. Η διακοπή ρεύματος μπορεί να προκληθεί είτε μέσω κάποιας κακόβουλης ενέργειας είτε από λανθασμένο αρχικό σχεδιασμό. Έτσι μπορούν προκληθούν πολύ μεγάλες ζημιές που επηρεάζουν την οικονομία μιας χώρας ή ακόμα χειρότερα μια πιθανή έλλειψη παροχής ρεύματος σε υπηρεσίες υγείας, να οδηγήσει σε απώλεια ζωών. Γίνεται λόγος για τεράστια οικονομικά ποσά ακόμα και αν πρόκειται για ολιγόλεπτες διακοπές.



Μέχρι πρότινος τα δίκτυα ηλεκτροδότησης κατασκευάζονταν με κύριο στόχο την απόδοση και δεν δινόταν σημασία στην ασφάλεια. Όμως, οι συνθήκες έχουν πλέον αλλάξει και οι κίνδυνοι είναι περισσότεροι με καταστροφικά αποτελέσματα. Συνεπώς η ασφάλεια των έξυπνων δικτύων έχει αναχθεί σε νούμερο ένα στόχο των σχεδιαστών τέτοιων δικτύων.

## 5.2 Ασφάλεια σε Έξυπνα Δίκτυα

Για να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία και η αξιοπιστία ενός Smart Grid θα πρέπει να πληρούνται κάποιοι συγκεκριμένοι στόχοι. Αυτοί περιλαμβάνουν την εξασφάλιση[13]:

- **Διαθεσιμότητας:** Με τον όρο διαθεσιμότητα (availability) ορίζουμε την επικύρωση πως οποιοδήποτε πόροι του δικτύου είναι συνεχώς διαθέσιμοι για κάθε εξουσιοδοτημένο άτομο όποτε αυτό τους έχει ανάγκη.
- **Ακεραιότητα:** Ως ακεραιότητα (integrity) ορίζεται η διαβεβαίωση πως τα δεδομένα του δικτύου είναι σωστά έγκυρα και έγκαιρα. Δηλαδή, δεν έχουν αλλοιωθεί και δεν έχουν υποστεί φθορά κατά την παράδοση, την αποθήκευση ή την ανάκτησή τους.
- **Εμπιστευτικότητα:** Σαν εμπιστευτικότητα (confidentiality) ορίζεται η διαβεβαίωση ότι μόνο οι εξουσιοδοτημένοι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα.
- **Αυθεντικότητα:** Με τον όρο αυθεντικότητα (authenticity) ορίζουμε την διαβεβαίωση πως ένας χρήστης είναι στην πραγματικότητα αυτός που ισχυρίζεται και πως ένα μήνυμα που έχει σταλεί από αυτόν, πράγματι έχει σταλεί από αυτόν.
- **Μη αποποίηση ευθύνης:** Ο όρος αυτός (non repudiation) αντιστοιχεί στην εγγύηση της προστασίας απέναντι σε προσπάθειες άρνησης αποστολής ή παραλαβής ενός μηνύματος, είτε της εισόδου ή μη σε μια υπηρεσία από οποιαδήποτε οντότητα συμμετέχει στην επικοινωνία.
- **Εξουσιοδότησης:** Ως εξουσιοδότηση (authorization) ορίζουμε την πιστοποίηση πως τα δικαιώματα κάθε χρήστη είναι αυστηρά καθορισμένα και

πως κανείς χρήστης δεν μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση σε δεδομένα εκτός δικαιοδοσίας του.

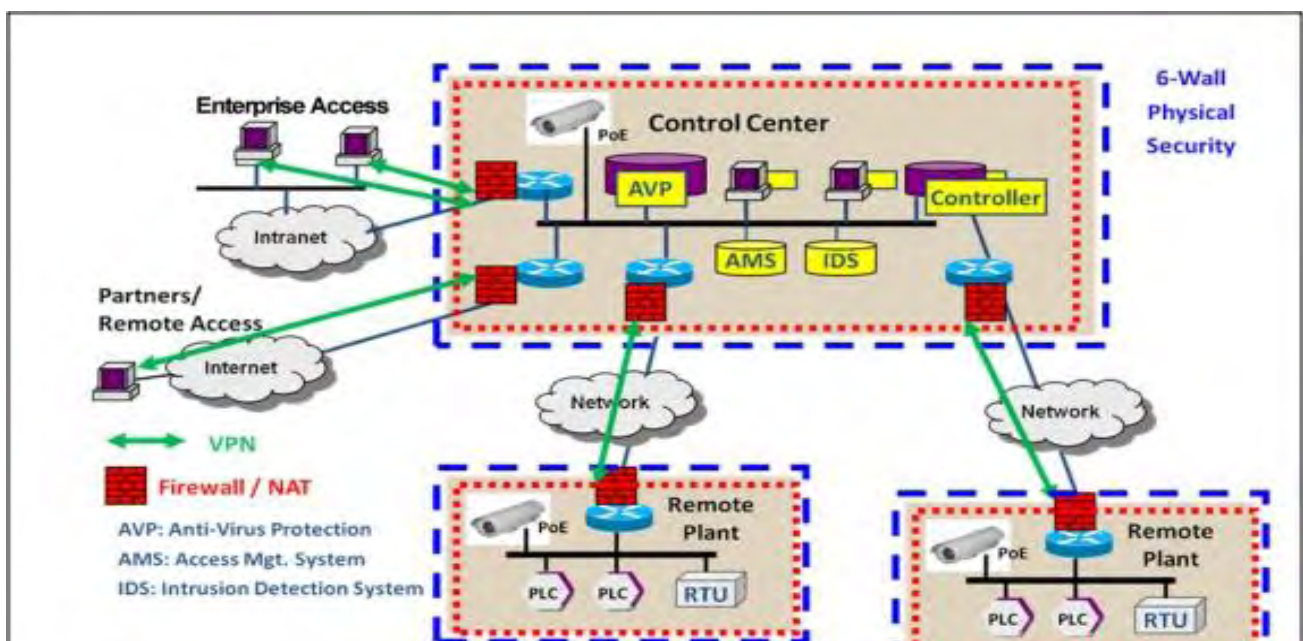
### 5.3 Θέματα ασφάλειας σε Έξυπνα Δίκτυα

Καταρχάς ο κάθε χρήστης έχει τη δυνατότητα να απαιτήσει από την εταιρία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας τα καθημερινά ποσά που αντιστοιχούν στην κατανάλωσή του. Όμως, η παγίδα που κρύβεται σε μια τέτοια περίπτωση είναι ένας κακόβουλος χρήστης, αφού υποδυθεί τον πελάτη, να παραλάβει αυτά τα δεδομένα. Με αυτόν τον τρόπο θα αποκαλυφθεί η ακριβής κατοικία του πελάτη, η οικονομική του κατάσταση και κάθε πληροφορία που θα καταστήσει τον πελάτη ευάλωτο.

Ακόμη, ο πελάτης επιλέγει να συνεργαστεί με οποιαδήποτε εταιρία της επιλογής του. Παρόλα αυτά, οφείλει να εγκρίνει τη διαδικασία κατά την οποία ένας άλλος πάροχος που αναλαμβάνει τη λιανική πώληση της ενέργειας για τις ανάγκες του πελάτη, ανακτήσει τα δεδομένα του πελάτη τα οποία αποθηκεύονται στο κεντρικό σύστημα. Στην περίπτωση αυτή, ένας κακόβουλος χρήστης μπορεί να παρέμβει και να λαμβάνει τα δεδομένα του πελάτη.

Οι πιθανές αδυναμίες ενός συστήματος το καθιστούν ευάλωτο σε κάποιον κακόβουλο χρήστη. Δηλαδή λανθασμένοι τρόποι αυθεντικότητας του χρήστη, λανθασμένος καθορισμός κωδικών πρόσβασης, λανθασμένη πολιτική μεγαλύτερης, από όσο χρειάζεται, δικαιοδοσίας από την απαιτούμενη για το ρόλο των χρηστών, μη κρυπτογραφημένα μηνύματα μπορούν να οδηγήσουν σε παραβίαση του συστήματος.

Όπως απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί, μια επίθεση προς το σύστημα έχει τη μορφή πολλαπλών ψεύτικων αιτήσεων προς αυτό με αποτέλεσμα οι servers να τεθούν



Εικόνα 5.1 Ασφάλεια σε Έξυπνο Δίκτυο, Bommar Associates

εκτός λειτουργίας και να μην μπορούν να εξυπηρετήσουν τους πραγματικούς χρήστες. Σε μια πιο ακραία περίπτωση, ένας πολύ καλός γνώστης (όπως για παράδειγμα ένας δυσανεσθημένος υπάλληλος της εταιρίας) μπορεί να επιτύχει την κατάρρευση του συστήματος.

Την ίδια επικινδυνότητα παρουσιάζουν και οι επιθέσεις που αποσκοπούν όχι στην κατάρρευση, αλλά στον ολοκληρωτικό έλεγχο του συστήματος. Έτσι ο κακόβουλος χρήστης παίρνει υπό τον έλεγχό του ένα μέρος ή ολόκληρο το σύστημα με οδυνηρές συνέπειες ακόμα και στην κοινωνικοοικονομική ισορροπία της χώρας.

Πολύ σοβαρές είναι οι επιθέσεις με σκοπό την εισαγωγή λανθασμένων πληροφοριών στο Έξυπνο Δίκτυο, ώστε το σύστημα να έχει διαφορετική εικόνα για την κατάσταση του δικτύου του. Για παράδειγμα σε ένα καταιγισμό ψεύτικων αιτήσεων (όπως είδαμε προηγουμένως) στους αισθητήρες του δικτύου, αυτοί θα κλείσουν λόγω μη επάρκειας της μπαταρίας και θα αλλάξουν οι μετρήσεις του συστήματος. Αυτό θα δημιουργήσει μεγάλο πρόβλημα στην πρόβλεψη της ζήτησης της επόμενης ημέρας, καθώς για να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιούνται τα δεδομένα της ζήτησης της προηγούμενης ημέρας. Έτσι μπορεί να δημιουργηθεί λανθασμένη πρόβλεψη που να οδηγήσει σε διακοπές ρεύματος κλπ.

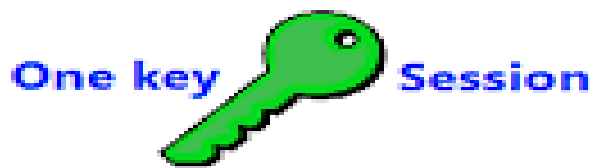
#### 5.4 Πώς ασφαρίζεται ένα Έξυπνο Δίκτυο

Αρχικά για να ασφαλίσουμε ένα Smart Grid θα πρέπει να διασφαλίσουμε την εμπιστευτικότητα, δηλαδή μόνο εξουσιοδοτημένοι χρήστες να έχουν τη δυνατότητα να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η μέθοδος της κρυπτογράφησης.

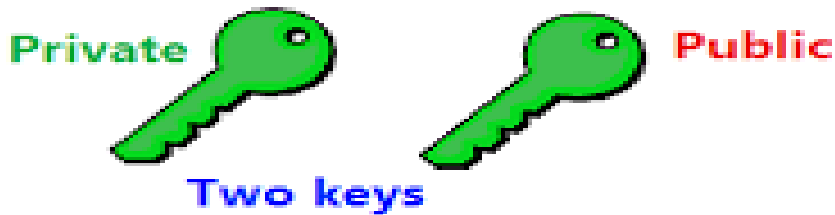
Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος ο οποίος μετατρέπει το αρχικό μήνυμα του αποστολέα σε ένα άλλο, δυσνόητης μορφής, με τέτοιο τρόπο ώστε ο νόμιμος παραλήπτης μόνο να μπορεί να το επαναφέρει στην αρχική του μορφή. Έτσι, ανάλογα με το είδος κλειδιού που εφαρμόζεται, οι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους συμμετρικούς και τους ασύμμετρους όπως γίνεται φανερό από το επόμενο σχήμα[14]:



## Symmetric Encryption



## Asymmetric Encryption



Εικόνα 5.2 Συμμετρικός και ασύμμετρος τρόπος κρυπτογράφησης, hased out by the SSL Store

Όπως φαίνεται και στην εικόνα (5.2) σε οποιαδήποτε από τις δύο μεθόδους χρησιμοποιηθεί, πρέπει ο αποστολέας και ο παραλήπτης να έχουν συμφωνημένο ένα ή περισσότερα κλειδιά για να επιτευχθεί η επικοινωνία. Είναι εύκολα αντιληπτό πως είναι απαραίτητη η ασφαλής διαχείριση των κλειδιών επειδή πιθανή απώλεια τους μπορεί να οδηγήσει σε διαρροές δεδομένων.

Οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό των κλειδιών κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

- **Symmetric Key Management Schemes:** Στην κατηγορία αυτή λειτουργεί η συμμετρική κρυπτογράφηση και καταφέρνει την παραγωγή, τη διακίνηση, την αποθήκευση και την ενημέρωση του κλειδιού. Παρότι πρόκειται για μια ακριβή μέθοδο, εντούτοις είναι ανοιχτή σε κινδύνους καθώς το κλειδί δημιουργείται σε ένα χώρο και πρέπει να μετακινηθεί σε μία ή περισσότερες οντότητες πράγμα που απαιτεί μεγάλο συντονισμό.
- **Certificate-based Public Key Schemes:** Στη συγκεκριμένη κατηγορία γίνεται χρήση ψηφιακών πιστοποιητικών με αποτέλεσμα η διαχείριση των κλειδιών να γίνεται πιο αποδοτικά σε σχέση με την προηγούμενη καθώς δεν απαιτείται ο μεγάλος συντονισμός. Για να επιτευχθεί επικοινωνία απαιτείται ένα πιστοποιητικό και ένα ιδιωτικό κλειδί το οποίο θα παραμένει κρυφό. Πιο αναλυτικά, ένας χρήστης που θέλει να επικοινωνήσει με μία ασφαλή οντότητα, Relaying Party (RP), στέλνει μια αίτηση σε ένα Registration Authority (RA) για να υπογράψει στο πιστοποιητικό του. Το RA, εφόσον κρίνει την εγκυρότητα της αίτησης, την υπογράφει και την προωθεί στο Certification Authority (CA) το οποίο με τη σειρά του εκδίδει το πιστοποιητικό. Όταν ο

χρήστης θέλει να επικοινωνήσει με ένα RP θα στείλει σε αυτό το πιστοποιητικό του. Αυτό θα ελεγχθεί μέσω ενός Validation Authority (VA) και αν είναι έγκυρο η επικοινωνία μπορεί να πραγματοποιηθεί.

- **Identity-based Public Key Schemes:** Σε αυτή την κατηγορία χρησιμοποιούνται κάποια μοναδικά στοιχεία του χρήστη ως δημόσια κλειδιά έτσι ώστε να μην χρειάζεται η χρήση πιστοποιητικών. Το πρόβλημα που δημιουργείται είναι πως θα πρέπει να υπάρχει μια εγγυημένη οντότητα για τη δημιουργία και τη διανομή των ιδιωτικών κλειδιών που θα αντιστοιχούν σε κάθε μοναδικό στοιχείο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

### Συμπεράσματα

Η δυναμική τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας έχει αναπτυχθεί, όμως δεν βρίσκεται ακόμη στο επιθυμητό επίπεδο. Όταν ξεκινήσουν οι πελάτες να κάνουν χρήση «έξυπνων» τιμολογίων θα επιφέρουν μείωση της αιχμής στην κατανάλωση του ρεύματος. Ακόμη, πολύ σημαντική είναι η Διαχείριση της Ζήτησης, δηλαδή η διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας πιο αποτελεσματικά με αποτέλεσμα να ωφελεί και τους παρόχους αλλά και τους καταναλωτές. Όσο αφορά στα έξυπνα δίκτυα, συνδυάζουν εξοπλισμό και λογισμικό και δίνουν τη δυνατότητα στους καταναλωτές να ελέγχουν τη συμπεριφορά τους και να εξασφαλίζεται σταθερότητα, ασφάλεια και οικονομική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Θεόδωρος Σ. Λύτρας, «Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και η σύμβαση προμήθειας».
2. Πέτρος Πρωτοπαπαδάκης, «Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη», 2006.
3. Ανδρέας Κατεργιαννάκης, «Δυναμική τιμολόγηση και μελέτη περίπτωσης / προσομοίωσης της ωριαίας ανάλυσης καταναλώσεων και τιμών ενέργειας σε δίχωρο διαμέρισμα», 2013.
4. A. Faruqui, S. George, ‘Quantifying Customer Response to Dynamic Pricing’, The Electricity Journal, 2005
5. Charles Goldman, Michael Reid, Roger Levy, Alison Silverstein, ‘Coordination of Energy Efficiency and Demand Response’, 2010.
6. M.H. Albadi, E.F. El-Saadany, ‘A summary of demand response in electricity markets’, 2008.
7. William W. Hogan, ‘Electricity Wholesale Market Design in a Low Carbon Future’, 2010.
8. Βασίλης Καψάλης Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε., Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας, «Ορθολογική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε περιβάλλον δυναμικής τιμολόγησης», 5<sup>ο</sup> Forum ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.
9. US Department of Energy, ‘Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving them’, 2006.
10. International Energy Agency, ‘The Power to Choose-Demand Response in Liberalized Electricity Markets’, Paris 2003.
11. Ιωάννης Παναπακίδης, Νικόλαος Τσιαντούλας, Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας, «Διαχείριση της ηλεκτρικής ζήτησης: Προκλήσεις και πλεονεκτήματα», Θεσσαλονίκη 2012.
12. Λαμπριανίδης Ιωάννης, « Δυναμική τιμολόγηση και Έξυπνα Δίκτυα», 2015.
13. Παπασταθοπούλου Αλεξάνδρα, «Internet of things», 2017
14. Dr. Sajjad Hussain, Raja Omman Zafar, “Key Management Scheme and Cryptography in Smart Grid”, 2015.
15. Ν. Βοβός, Γ. Γιαννακόπουλος, «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», 2008.