



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Βιβλιογραφική ανασκόπηση Εικονικών Σταθμών Παραγωγής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευάγγελος Αγάτσας

Επιβλέπων: Δημήτριος Ασκούνης Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος, 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Βιβλιογραφική ανασκόπηση Εικονικών Σταθμών Παραγωγής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευάγγελος Αγάτσας

Επιβλέπων: Δημήτριος Ασκούνης Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 12 Οκτωβρίου 2022

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

.....
Χρυσόστομος Δούκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος, 2022

.....
Ευάγγελος Δ. Αγάτσας

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

Copyright © Ευάγγελος Αγάτσας, 2022

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.

Περίληψη

Ένας εικονικός σταθμός παραγωγής ενέργειας συμβάλλει στην ενσωμάτωση των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων, στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Κατευθυνόμενοι σε μια νέα εποχή ως προς τη διαχείριση και παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η κατανεμημένη παραγωγή αποκτά όλο και αυξανόμενο μερίδιο, κρίνεται απαραίτητη η βέλτιστη διαχείριση των πόρων αυτών, κάτω από μια ενιαία οντότητα, αυτή του εικονικού σταθμού παραγωγής. Στην παρούσα εργασία αναλύεται η έννοια του εικονικού σταθμού παραγωγής και εξετάζεται η λειτουργία μέσα από διάφορες οπτικές. Συγκεκριμένα, στο 1ο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στο τι είναι ένας εικονικός σταθμός, θα γίνει μια σύγκριση του με άλλες υπάρχουσες τεχνολογίες και θα μιλήσουμε και για τις προϋποθέσεις για τη λειτουργία του. Στο 2ο κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με τα είδη των τεχνολογιών που αξιοποιούνται, σήμερα, και στις τεχνολογίες που μπορούν να υιοθετηθούν, μελλοντικά. Θα γίνει, επίσης, μια περιβαλλοντική προσέγγιση των τεχνολογιών αυτών. Στο 3ο κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τις υπηρεσίες που μπορούν να παρέχουν οι εικονικοί σταθμοί, καθώς και στους ενδεχόμενους φραγμούς που μπορούν να αναδυθούν. Στο 4ο κεφάλαιο θα κάνουμε μια επισκόπηση των προγραμμάτων με χρήση εικονικών σταθμών που αναπτύσσονται αυτή τη στιγμή στην Ευρώπη και τον κόσμο και σε ορισμένα που επρόκειτο να υλοποιηθούν, στο μέλλον. Στο 5ο κεφάλαιο θα μιλήσουμε για τα επιχειρησιακά μοντέλα που υπάρχουν αυτή τη στιγμή και μπορούν να υιοθετηθούν από τους εικονικούς σταθμούς για την αύξηση της αξίας τους. Τέλος στο 6ο κεφάλαιο θα γίνει μια εμπειρική ανάλυση και στο 7ο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στις μελλοντικές προκλήσεις για τους επερχόμενους εικονικούς σταθμούς και θα βγάλουμε μερικά τελικά συμπεράσματα.

Λέξεις κλειδιά

Εικονικός σταθμός παραγωγής, κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, επιχειρησιακό μοντέλο, ενεργειακές υπηρεσίες, καταναλωτές

Abstract

A virtual power plant contributes to the integration of distributed energy resources into the electricity system. Moving into a new era in the management and production of electricity, where distributed production is gaining an increasing share, it is necessary to optimally manage these resources under a single entity this of virtual power plant. In this paper the concept of virtual power plant is analyzed and its operation is examined through various perspectives. In particular, in the first chapter we will refer to what is a virtual plant, compare it with other existing technologies and talk about the conditions for its operation. In chapter two we will deal with the types of technologies currently being used and those that can be adopted in the future. An environmental approach of these technologies will also be taken. In the third chapter we will present the services that virtual power plants can provide, as well as the possible barriers that can be emerged. In chapter four we will give an overview of the programs currently being developed in Europe that use virtual power plants and some that they are about to be implemented in the future. In the fifth chapter we will talk about the business models that exist at the moment and can be adopted by the Vpps to increase their value. Finally in chapter six an empirical analysis will be made and in chapter seven we will refer to the future challenges for the upcoming Vpps and draw some final conclusions.

Key words

Virtual power plant, Distribute Energy Resources, Renewable energy sources, business model, energy services, consumers

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ, θερμά, τον καθηγητή κ. Δημήτριο Ασκούνη για την ανάθεση του θέματος, καθώς και τον επιβλέποντα διδακτορικό Νίκο Δημητρόπουλο για την άμεση στήριξη και επικοινωνία καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, την ουσιαστική επίβλεψη της προόδου και τις εποικοδομητικές συμβουλές του.

Ακρωνύμια και Συντομογραφίες

VPP - Virtual Power Plant

DER - Distributed Energy Resources

DG - Distributed Generation

CHP - Combined Heat and Power

CVPP - Commercial Virtual Power Plant

TVPP - Technical Virtual Power Plant

DSO - Distributed System Operator

TSO - Transmission System Operator

SCADA - Supervisor Control and Data Acquisition

HEMS - Home Energy Management System

HVAC - Heating, Ventilation and Air Conditioning

GSM - Global System for Mobile Communication

FENIX - Flexible Electricity Network to Integrate the Expected Energy Solution Project

DMS - Distributed Management System

DR - Demand Response

EES - Electric Energy Storage

MBVPP - Market-based Virtual Power Plant

ICT - Internet and Communication Technology

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
Ακρωνύμια και Συντομογραφίες.....	8
Εισαγωγή.....	14
Σκοπός της διπλωματικής.....	15
Δομή της εργασίας.....	15
Κεφάλαιο 1ο: Κατανεμημένη παραγωγή στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.....	16
1.1. Παραδοσιακά ενεργειακά συστήματα.....	16
1.2. Κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι.....	17
1.3. Ενσωμάτωση των κατανεμημένων πόρων σε ενιαίους εικονικούς σταθμούς....	19
1.4. Τι είναι ένας εικονικός σταθμός.....	20
1.5. Εικονικοί σταθμοί και άλλες τεχνολογίες.....	22
1.5.1. Εικονικοί σταθμοί και Μικροδίκτυα.....	23
1.5.2. Εικονικοί σταθμοί και Συμβατικοί σταθμοί.....	23
1.5.3. Εικονικοί σταθμοί και Ψηφιακές σύγχρονες μηχανές.....	24
1.6. Απαιτήσεις ενός Εικονικού σταθμού.....	25
1.6.1. Δομή ενός εικονικού σταθμού.....	25
1.6.2. Ασφάλεια.....	25
1.6.3. Προσαρμοστικότητα σε νέες τεχνολογίες.....	26
1.6.4. Αξιοπιστία και σταθερότητα.....	26
1.6.5. Αδιάλειπτη διαχείριση της ενέργειας.....	27
1.6.6. Βελτιστοποίηση.....	27
1.6.7. Διαχείριση της ζήτησης.....	27
Κεφάλαιο 2ο: Τεχνολογίες εικονικών σταθμών.....	29
2.1. Τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας.....	29
2.1.1. Κυψέλες καυσίμου.....	31
2.1.2. Παλινδρομικοί κινητήρες.....	32
2.1.3. Αεριοστρόβιλοι.....	33
2.1.4. Μικροτουρμπίνες.....	33
2.1.5. Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	34
2.1.6. Συστήματα μετατροπής αιολικής ενέργειας.....	36
2.1.7. Ηλιακοί συλλέκτες.....	37
2.1.8. Γεωθερμική ενέργεια.....	38

2.1.9. Βιομάζα.....	39
2.2. Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας.....	41
2.2.1. Σύστημα αποθήκευσης με μπαταρίες.....	43
2.2.2. Σφόνδυλοι.....	44
2.2.3. Υπεραγώγιμη αποθήκευση μηχανικής ενέργειας.....	46
2.2.4. Αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα.....	47
2.2.5. Αποθήκευση με αντλία υδροηλεκτρικής ενέργειας.....	47
2.3. Τεχνολογίες πληροφοριών και Επικοινωνίας (ICTs).....	48
2.4. Τεχνολογίες του μέλλοντος.....	52
2.4.1. Τεχνολογία Blockchain.....	53
2.4.2. Cloud computing και Edge Computing.....	54
2.4.3. Τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση.....	55
2.4.4. Ανάλυση δεδομένων.....	55
2.5. Καταναμημένη παραγωγή και αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων.....	56
2.5.1. Ενεργειακή αποδοτικότητα.....	57
2.5.2. Αέρια του θερμοκηπίου.....	58
2.5.3. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.....	60
2.5.4. Οικονομία χώρου.....	61
Συμπεράσματα.....	61
Κεφάλαιο 3ο: Υπηρεσίες εικονικών σταθμών και εμπόδια κατά την υλοποίησή τους.....	62
3.1. Εφαρμογές των Εικονικών σταθμών.....	67
3.1.1. Επικουρικές υπηρεσίες.....	67
3.1.2. Παροχές δικτύου.....	68
α. Παροχή βοήθειας στον διαχειριστή του συστήματος μεταφοράς (TSO).....	68
β. Παροχή υποστήριξης στο σύστημα διανομής (DSO).....	68
3.1.3. Ενεργειακές υπηρεσίες.....	69
3.1.4. Διαχείριση περιουσιακών στοιχείων.....	69
3.1.5. Χονδρικό εμπόριο.....	70
3.1.6. Βελτιστοποίηση των συμβάσεων.....	70
3.1.7. Άλλες υπηρεσίες.....	70
α. Αποθηκευτικά μέσα.....	70
β. Δημιουργία ευελιξίας.....	71
3.2. Εμπόδια κατά την εφαρμογή.....	71
3.2.1. Τεχνικοί φραγμοί.....	71
3.2.2. Οικονομικοί φραγμοί.....	72

3.2.3. Ρυθμιστικοί και νομικοί φραγμοί	72
Συμπεράσματα.....	74
Κεφάλαιο 4ο: Εφαρμογές των Εικονικών σταθμών παγκοσμίως και προκλήσεις που αναδύονται.....	75
4.1.1. PowerMatcher.....	77
4.1.2. FENIX	78
4.1.3. EDISON.....	79
4.1.4. WEB2ENERGY	81
4.1.5. Professional Virtual power plant (ProVipp)	81
4.1.6. Virtual Fuel Cell Power Plant (VFCPP)	82
4.2. Υπό κατασκευή προγράμματα.....	83
4.2.1. ConEdison	83
4.2.2 South Australian	83
Συμπεράσματα.....	84
Κεφάλαιο 5ο: Επιχειρησιακά μοντέλα εικονικών σταθμών.....	86
5.1. Πρόβλεψη και εμπόριο ανανεώσιμης ενέργειας.....	86
5.2. Συγκέντρωση των ενεργειακών δυνατοτήτων από ανανεώσιμους πόρους.....	87
5.3. Ανταπόκριση στη ζήτηση (Demand response aggregator)	88
5.4. Οικιακό μοντέλο (Residential model)	89
5.5. Εικονικός σταθμός και αγορά.....	90
5.5.1. Σχεδιασμός του Market based εικονικού σταθμού.....	90
5.5.2. Χρονικό πλαίσιο της σημερινής ενεργειακής αγοράς	91
5.5.3. Αρχιτεκτονική του MBVPP.....	93
5.5.4. Σενάρια εσωτερικής αγοράς	94
5.6. Σενάρια υποβολής προσφορών και σήματος τιμής	97
Συμπεράσματα.....	98
Κεφάλαιο 6ο: Εμπειρική ανάλυση	100
6.1. Έρευνα πάνω στους εικονικούς σταθμούς	100
6.2. Ανάλυση τεχνολογιών εικονικών σταθμών	102
6.2.1 Τεχνολογίες αποθήκευσης	103
6.2.2 Τεχνολογίες Παραγωγής.....	104
6.2.3. Προσφορά των τεχνολογιών Blockchain, Edge computing και Machine learning	106
6.3. Προγράμματα και εταιρείες.....	107
6.4. Επιχειρησιακά μοντέλα	111

Κεφάλαιο 7ο: Εικονικοί σταθμοί επόμενης γενιάς και τελικές σκέψεις - Συμπεράσματα	112
Τελικά Συμπεράσματα	116
Βιβλιογραφία/Αρθρογραφία	117

Εισαγωγή

Ο εκσυγχρονισμός που λαμβάνει χώρα στον ενεργειακό τομέα, τα τελευταία χρόνια, έχει αρχίσει να διαμορφώνει την ιδέα ενός έξυπνου διασυνδεδεμένου ενεργειακού δικτύου. Ένα τέτοιο δίκτυο θα διαχειρίζεται την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και θα επιδιώκει τη βελτιστοποίηση της σε μελλοντικό επίπεδο. Έτσι, μέσα από την συνεχή ανάπτυξη που πραγματοποιείται στην ενεργειακή βιομηχανία τελευταία, έχει αρχίσει να διαμορφώνεται μια καινούργια ιδέα, αυτή του εικονικού σταθμού παραγωγής (Vpp). Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με το τι είναι ένας εικονικός σταθμός, ποια είναι τα νέα δεδομένα που φέρνει στον τομέα της παραγωγής ενέργειας, καθώς και για τις τεχνολογίες που μπορούν να ενσωματωθούν σε μια τέτοια ιδέα. Θα μιλήσουμε επίσης, για το πώς η λειτουργία ενός εικονικού σταθμού παραγωγής γίνεται αυτομάτως πιο αποδοτική και για τον ίδιο, αλλά και τους τελικούς χρήστες μέσα από την αξιοποίηση ενός μοντέλου αγοράς. Επιπλέον θα γίνει αναφορά στις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που αναδύονται, ενώ κατευθυνόμαστε στην επόμενη γενιά αυτής της ιδέας καθώς και σε μερικά προγράμματα που υλοποιούνται αυτή τη στιγμή στην Ευρώπη και σε όλο τον κόσμο.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσελκύουν όλο και μεγαλύτερη προσοχή σε ολόκληρο τον κόσμο, λόγω της τεράστιας δυναμικότητας των πόρων που διαθέτουν, της χαμηλής περιβαλλοντικής ρύπανσης και της βιωσιμότητάς τους. Πρόσφατα, οι πολιτικές που αφορούν την ανάπτυξη και χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν καταστεί σημαντικό μέρος των ενεργειακών στρατηγικών σε πολλές χώρες. Για παράδειγμα, οι τεχνολογίες καταναεμημένης παραγωγής (Distributed Generation) που κάνουν χρήση ανανεώσιμης ενέργειας, έχουν πολλά πλεονεκτήματα σχετικά με την αξιοπιστία, την ευελιξία και την εξοικονόμηση πόρων και χρημάτων. Για αυτό το λόγο έχουν λάβει μεγάλη προσοχή και αναπτύσσονται με ταχείς ρυθμούς. Σημειώνεται ότι η εξέλιξη των πόρων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει μια τάση προς την πιο καθαρή και αποκεντρωμένη παραγωγή, ωστόσο η τυχαιότητα, η περιοδικότητα, οι διακυμάνσεις και γενικά ο στοχαστικός χαρακτήρας της καταναεμημένης παραγωγής φέρνουν προκλήσεις όσον αφορά τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του δικτύου. Τέτοιες προκλήσεις μπορεί να είναι, προβλήματα με την παροχή ισχύος, η συμφόρηση στο δίκτυο, επίδραση των αρμονικών και άλλα. Ως εκ τούτου, γεννήθηκε η ιδέα του εικονικού σταθμού παραγωγής που θα συντονίζει τη λειτουργία των επιμέρους μονάδων καταναεμημένης παραγωγής.

Σκοπός της διπλωματικής

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να γίνει μια βιβλιογραφική παρουσίαση του τι είναι, ακριβώς, ένας εικονικός σταθμός παραγωγής ενέργειας και γιατί γίνεται όλο και περισσότερο απαραίτητος. Θα αναφερθούμε επίσης, στις τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί και αναπτύσσονται συνεχώς, καθώς και στα στοιχεία που συνθέτουν τους σύγχρονους εικονικούς σταθμούς. Επίσης, θα γίνει αναφορά στα επιχειρησιακά μοντέλα που υπάρχουν αυτή τη στιγμή και πως ένας εικονικός σταθμός γίνεται, αυτομάτως, πιο λειτουργικός στα πλαίσια ενός μοντέλου βασισμένο στα δεδομένα των σύγχρονων αγορών, το οποίο θα λειτουργεί με μέριμνα και την εταιρεία αλλά και τον τελικό χρήστη, καθώς και για τις υπηρεσίες που μπορεί να παρέχει. Επιπλέον, θα γίνει μια έρευνα αγοράς όσον αφορά τα προγράμματα που υπάρχουν αυτή τη στιγμή στην Ευρώπη και τον κόσμο, καθώς και σε αυτά που αναπτύσσονται, τώρα. Τέλος, θα βγάλουμε κάποια τελικά συμπεράσματα και θα αναφερθούμε στις μελλοντικές προκλήσεις και ευκαιρίες που παρέχει αυτή η τεχνολογία των εικονικών σταθμών.

Δομή της εργασίας

Στα επόμενα κεφάλαια της παρούσας διπλωματικής θα γίνει μια αναλυτική βιβλιογραφική ανασκόπηση των εξής:

1. Τι είναι ένας εικονικός σταθμός παραγωγής από τι αποτελείται και από ποιες τεχνολογίες απαρτίζεται.
2. Ποιες είναι οι υπηρεσίες που μπορεί να παρέχει και τα εμπόδια που δημιουργούνται κατά την υλοποίησή του.
3. Ποια είναι η επί του παρόντος κατάσταση για τους εικονικούς σταθμούς παραγωγής στην Ευρώπη και τον κόσμο.
4. Ποια είναι τα επιχειρησιακά μοντέλα και πως μπορεί να αναπτυχθεί ένας εικονικός σταθμός βασισμένος στη σύγχρονη αγορά με όφελος και για τον πελάτη αλλά και την εταιρεία.
5. Ποιες είναι οι προκλήσεις και οι ευκαιρίες για τους μελλοντικούς εικονικούς σταθμούς.
6. Τελικά Συμπεράσματα.

Κεφάλαιο 1ο: Κατανεμημένη παραγωγή στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας

Κατανεμημένη παραγωγή είναι η παραγωγή, η οποία γίνεται με αποκεντρωμένο τρόπο σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας, που συγκροτούν μονάδες μεγάλης ισχύος σε περιορισμένο γεωγραφικό χώρο. Αναφέρεται σε πηγές που δεν οργανώνονται γεωγραφικά μακριά από τα κέντρα κατανάλωσης, αλλά συνδέονται στα δίκτυα διανομής, ανάλογα, βέβαια, και με την επιλογή του ιδιοκτήτη. Οι κυριότερες αιτίες που οδήγησαν στην ανάπτυξη αυτού του είδους παραγωγής είναι η συνεχώς αυξανόμενη επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την χρήση ορυκτών πόρων για την ηλεκτροπαραγωγή και η εξέλιξη των μεθόδων παραγωγής ενέργειας μέσα από ανανεώσιμες πηγές. Η θέση της κατανεμημένης παραγωγής, αν και εξαρτάται και από τις πηγές παραγωγής, συνήθως, τοποθετείται κοντά στον τελικό χρήστη. Αυτό συμβαίνει για τη μείωση των απωλειών, αφού οι δυνατότητες αυτής της παραγωγής είναι πολλές φορές περιορισμένες σε σχέση με τη συμβατική και γιατί στηρίζεται, κατεξοχήν, σε ανανεώσιμες πηγές [1].

1.1. Παραδοσιακά ενεργειακά συστήματα

Τα παραδοσιακά ενεργειακά συστήματα, τα οποία κυριαρχούν τις τελευταίες δεκαετίες στον τομέα της μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, βασίζονται σε μεγάλους ενεργειακούς σταθμούς, οι οποίοι μέσω δικτύων χαμηλής και μεσαίας τάξης μεταφέρουν την ενέργεια στους καταναλωτές. Αυτή η εικόνα με την ηλεκτρική ενέργεια να κινείται προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, δηλαδή, από αυτήν του παραγωγού προς τον χρήστη δεν έχει αλλάξει εδώ και πάρα πολλά χρόνια και, στο σύνολο της, παρουσιάζει ορισμένα χαρακτηριστικά[2]:

- ✓ Σχετικά χαμηλή ενεργειακή αποδοτικότητα, αφού σχεδόν το 60% της αρχικής ενέργειας σπαταλιέται με την μορφή θερμότητας, κατά την διάρκεια της παραγωγής μεταφοράς και διανομής.
- ✓ Πολύ υψηλά επίπεδα εκπομπών, αφού τα εργοστάσια ορυκτών καυσίμων τα οποία καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια, είναι υπεύθυνα σε μεγάλο ποσοστό για τον συνολικό βαθμό εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, παγκοσμίως.
- ✓ Η παραγωγή, συνήθως, γίνεται σε συγκεκριμένα σημεία, γεγονός που απαιτεί υψηλά επίπεδα πλεονασμού ενέργειας για την ασφαλή και αξιόπιστη διανομή της στους καταναλωτές.

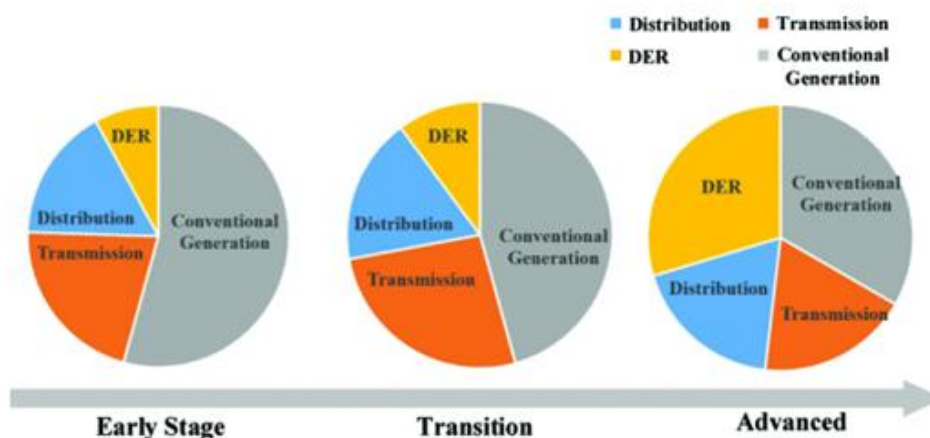
- ✓ Παθητικότητα του ηλεκτρικού δικτύου, αφού πηγές όπως η ενεργός ζήτηση και εφεδρικές γεννήτριες που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο διανομής, σπάνια συνεισφέρουν στη λειτουργία του συστήματος.

Από τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό πως υπάρχει ανάγκη να βρεθεί ένας τρόπος παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος θα είναι πιο βιώσιμος και για το περιβάλλον αλλά και τον ίδιο τον άνθρωπο. Για τον λόγο αυτόν, δηλαδή, της οικολογικής ευαισθητοποίησης και της ανικανότητας των παραδοσιακών ενεργειακών συστημάτων να διαχειριστούν την ηλεκτρική ενέργεια με έναν τρόπο αποδοτικό για τον καταναλωτή, τον τελευταίο καιρό πολλές κοινότητες ανά τον κόσμο παρακινούνται να ασχοληθούν περισσότερο με το θέμα παραγωγής και μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας[2].

1.2. Κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι

Για τους παραπάνω λόγους, που καθιστούν τα παραδοσιακά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μη αποδοτικά και απαρχαιωμένα, παρατηρείται, τα τελευταία χρόνια, η ραγδαία ανάπτυξη των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων ή αλλιώς DERs. Οι κατανεμημένοι πόροι είναι μονάδες παραγωγής ενέργειας, μικρής σχετικά κλίμακας, οι οποίες λειτουργούν τοπικά και συνδέονται σε ένα μεγαλύτερο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας στο επίπεδο διανομής. Είναι, δηλαδή, πόροι παραγωγής που βρίσκονται, συνήθως, κοντά στα φορτία που τροφοδοτούν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα ή συνολικά για να παρέχουν υπηρεσίες στο δίκτυο[3]. Οι κατανεμημένοι πόροι μπορούν να περιλαμβάνουν τόσο μονάδες παραγωγής όπως κυψέλες καυσίμου, μικροστροβίλους, φωτοβολταϊκά και άλλα, όσο και τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας όπως μπαταρίες και σφονδύλους. Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 1), απεικονίζονται ορισμένες τεχνολογίες που υποστηρίζονται από τις μονάδες αυτές. Δημιουργήθηκαν εξαιτίας της ανάγκης για ένα πιο βιώσιμο ενεργειακό σύστημα με μεγαλύτερη ενεργειακή αποτελεσματικότητα, το οποίο θα επιβαρύνει το περιβάλλον σε μικρότερο βαθμό, σε σχέση με τα προϋπάρχοντα ενεργειακά συστήματα. Σημαντικά πλεονεκτήματα της ύπαρξης των κατανεμημένων πόρων είναι τα εξής[4]:

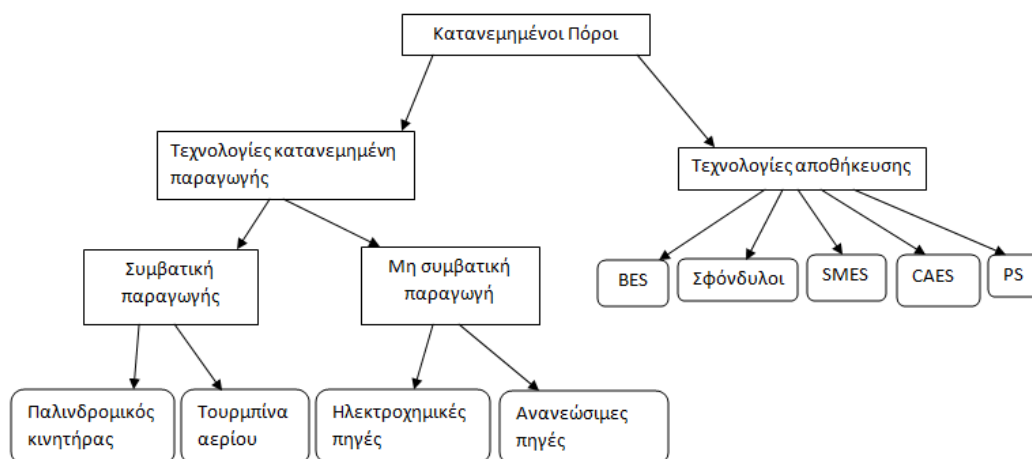
- Βρίσκονται πιο κοντά στον τελικό καταναλωτή, άρα οι συνολικές απώλειες ενέργειας είναι σημαντικά μικρότερες.
- Είναι περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον, αφού γίνεται κυρίως χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Εξαιτίας του ότι γίνεται χρήση ανανεώσιμων πηγών δεν υπάρχει φόβος εξάντλησης της ενέργειας, καθιστώντας έτσι το σύστημα περισσότερο ενεργειακά αποδοτικό.



Εικόνα 1: Μετάβαση από τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής στην ενσωμάτωση DERs[4]

Στο μεταξύ, αυτή η ανάγκη απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η μετάβαση, δηλαδή, από το μονοπώλιο των μεγάλων εταιριών σε πιο ανταγωνιστικές δομές με την συμμετοχή των πολιτών και ως καταναλωτών, αλλά και ως παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας συγκεντρώνει όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Οι τάσεις αυτές καθιστούν αναπόφευκτη τη δημιουργία και εκμετάλλευση μεγάλου αριθμού DERs, κάτι που ωστόσο δημιουργεί νέες προκλήσεις όσον αφορά την αυτονομία τους. Αρχικά, τα DERs, ως μικρές πηγές αποθήκευσης ενέργειας, είναι δύσκολο να συμμετέχουν δυναμικά στην αγορά και πώληση ενέργειας. Επίσης, το γεγονός ότι πολλές τεχνολογίες DERs, όπως τα ηλιακά κύτταρα και οι αεροστρόβιλοι, εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες, καθιστούν την απόδοσή τους αναξιόπιστη για μεγάλες χρονικές περιόδους, πράγμα που περιορίζει τη συνεισφορά τους στη λειτουργία του δικτύου και προκαλεί οικονομικές απώλειες που σχετίζονται με απρόσμενες ανισορροπίες στην παραγωγή ενέργειας. Το ότι πολλά DERs λειτουργούν απομονωμένα επειδή ανήκουν σε ιδιοκτήτες από διάφορα μέρη, αποτελεί ένα ακόμη πρόβλημα όσον αφορά τη μικρή δυνατότητα συνεργασίας και επικοινωνίας μεταξύ των μονάδων για την εξασφάλιση των τοπικών αναγκών, πόσο μάλλον ολόκληρου του ηλεκτρικού δικτύου.

Από τα παραπάνω κατανοούμε ότι παρόλα τα μεγάλα οφέλη που παρουσιάζονται με την ανάπτυξη των DERs, πολλές δυσκολίες και προκλήσεις δημιουργούνται παράλληλα με την αύξηση του αριθμού τους[2].



Εικόνα 2: Τεχνολογίες καταναμημένων πόρων

1.3. Ενσωμάτωση των καταναμημένων πόρων σε ενιαίους εικονικούς σταθμούς

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω ζητημάτων και την δυναμική ενσωμάτωση των DERs στη διαδικασία της παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας, είναι απαραίτητη η αναβάθμιση των υποδομών τεχνολογίας και επικοινωνιών και ο σχεδιασμός μιας αποδοτικής στρατηγικής ενσωμάτωσής τους. Η ανάπτυξη των παραπάνω λύσεων απαιτεί ωστόσο να ληφθούν υπόψη τεχνικοί, εμπορικοί και ρυθμιστικοί παράγοντες. Τα κριτήρια για έναν τέτοιο σχεδιασμό πρέπει να λειτουργούν, ώστε να μεγιστοποιούν τα οφέλη από τα DERs, χωρίς να θέτουν σε κίνδυνο την αξιοπιστία και την ασφάλεια της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και να μην επηρεάζουν τα κέρδη των άλλων ομάδων[2].

Ένας τρόπος αντιμετώπισης όλων των παραπάνω θεμάτων για την ομαλή ενσωμάτωση των DERs, είναι μέσω των Virtual power plants ή Vpps, τα οποία παρουσιάζουν μια ελκυστική λύση στη συγκέντρωση και τον συντονισμό των μονάδων DERs. Τα Vpps παρουσιάζουν ομοιότητες με τα συμβατικά μικροδίκτυα, τα οποία και αυτά με τη σειρά τους βοηθούν στην ενσωμάτωση των DERs. Τα μικροδίκτυα, όμως, λειτουργούν ως αυτόνομα δίκτυα συγκεντρώνοντας συγκεκριμένο αριθμό από DERs που ανήκουν σε μια ορισμένη γεωγραφική περιοχή. Τα Vpps αντίθετα, αντιπροσωπεύουν το διαδίκτυο ενέργειας και βασίζονται, κυρίως, σε τεχνολογίες μετάδοσης πληροφορίας και επικοινωνίας. Αυτό σημαίνει ότι διεσπαρμένες μονάδες DERs μπορούν να συντονιστούν ώστε να μεγιστοποιήσουν το όφελος και των τελικών χρηστών αλλά και των διαχειριστών των ενεργειακών

μονάδων, χωρίς την ύπαρξη γεωγραφικών περιορισμών. Ωστόσο, εφόσον και οι δυο έννοιες των μικροδικτύων και των Vpps παρουσιάζουν ένα κοινό χαρακτηριστικό - την ικανότητα να συγκεντρώνουν τις μονάδες DERs στο επίπεδο διανομής, ένα Vpp θα μπορούσε να γίνει αντιληπτό και ως ένα σύμπλεγμα μικροδικτύων, εξαιτίας της μη ύπαρξης γεωγραφικών περιορισμών[5].

Τα Vpps, λοιπόν, έρχονται να λύσουν αυτό το ζήτημα, του ότι όλο και περισσότερες μονάδες DERs συμμετέχουν στο ηλεκτρικό δίκτυο, με το να τις ενώνει σαν ενιαία οντότητα που επικοινωνεί και ανταλλάσει πληροφορίες μεταξύ των επί μέρους στοιχείων της.

1.4. Τι είναι ένας εικονικός σταθμός

Τις τελευταίες δεκαετίες, η αύξηση της οικολογικής συνείδησης, το υψηλό κόστος μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας και η γενική αδυναμία του συστήματος ηλεκτροδότησης να λειτουργήσει αποδοτικά, προτρέπουν τις κοινότητες να αντιμετωπίσουν και να διαχειριστούν την ενεργειακή τους κατανάλωση με πιο συνετό τρόπο. Κατά συνέπεια, το κεντρικό πλαίσιο παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας έχει μετατοπιστεί σε ένα πιο καταναμημένο πρότυπο με στόχο τη βέλτιστη και αποτελεσματικότερη διαχείριση της ενέργειας. Η ανάγκη λοιπόν αυτή για την υιοθέτηση διαφορετικής πολιτικής σχετικά με την ενέργεια, οδήγησε στο να δημιουργηθεί η ιδέα του εικονικού σταθμού παραγωγής. Ένας τέτοιος σταθμός, ουσιαστικά, ενσωματώνει και διαχειρίζεται στο σύστημά του διαφορετικούς καταναμημένους πόρους, με σκοπό την παροχή ενεργειακών υπηρεσιών.

Τι είναι, όμως, πραγματικά ένας εικονικός σταθμός; Αρχικά, μπορούμε να αναφερθούμε στον όρο ψηφιακή χρησιμότητα (virtual utility) που μπορεί να οριστεί σαν ένας ευέλικτος τρόπος συνεργασίας, μεταξύ ανεξάρτητων εταιρειών και επιχειρήσεων όπου καλύπτουν τις απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας των καταναλωτών, χωρίς απαραίτητα να έχουν στην ιδιοκτησία τους τις συνεργαζόμενες μονάδες παραγωγής. Έτσι, παρόμοια με την έννοια της ψηφιακής χρησιμότητας που έχει ως σκοπό την αξιοποίηση των σύγχρονων τεχνολογιών για την καλύτερη δυνατή παροχή ενεργειακών υπηρεσιών στους καταναλωτές, η ιδέα των εικονικού σταθμού είναι να συγκεντρώσει διάφορα είδη καταναμημένων πόρων μέσα από μια προηγμένη δομή ICT (Information Communication Technologies) για την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση των πόρων της. Με έναν κατάλληλο τρόπο συνεργασίας των μονάδων, μπορούν εύκολα να επιτευχθούν πολλαπλά οφέλη όπως[2]:

- ✓ Σημαντική προσφορά στον τομέα της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας και στη μείωση των εκπομπών και των ρύπων, αφού γίνεται, κυρίως, αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- ✓ Μείωση των απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη μεταφορά και διανομή, γεγονός που συμβάλλει στη περαιτέρω εξοικονόμησή της.
- ✓ Διευκόλυνση στην ενσωμάτωση μονάδων παράγωγης, βάσει των αποθεμάτων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως αιολική ενέργεια, φωτοβολταϊκά κτλ.
- ✓ Τα Vrrs δεν χρειάζονται ιδιαίτερες τροποποιήσεις των υπάρχοντων δομών για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά. Αυτό σημαίνει ότι τυχόν επενδύσεις που θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν δεν θα καθυστερήσουν.
- ✓ Παροχή επικουρικών υπηρεσιών στο συμβατικό σύστημα ηλεκτροδότησης μέσα από στρατηγικές ελέγχου, διασφαλίζοντας έτσι την αξιοπιστία και την ασφάλεια, παρέχοντας ταυτόχρονα ευελιξία στο σύστημα ηλεκτρικής παροχής.
- ✓ Αύξηση της συμμετοχής του τελικού χρήστη στον τομέα της παραγωγής αλλά και της μεταφοράς, δίνοντάς του μεγαλύτερο βαθμό ελευθερίας στις επιλογές του.
- ✓ Παροχή μεγάλου εύρους επιλογών που οδηγεί σε ένα βιώσιμο έξυπνο δίκτυο του μέλλοντος.

Ένα Vrr, συγκεκριμένα, όπως προαναφέρθηκε, είναι ένας τρόπος συγκέντρωσης των κατανεμημένων πόρων DERs σε ένα ενιαίο δίκτυο διανομής ενέργειας. Ειδικότερα, τα Vrrs χρησιμοποιούν ποικίλες τεχνολογίες με διαφορετικά λειτουργικά μοντέλα, τα οποία μπορούν να συνδεθούν ανά πάσα στιγμή σε διαφορετικά σημεία του δικτύου διανομής. Αυτό τα καθιστά ως μια ιδανική επιλογή στο να συγκεντρώνουν τις λειτουργίες από διασκορπισμένους πόρους, δημιουργώντας έτσι ένα λειτουργικό προφίλ που θα δίνει τη δυνατότητα επικοινωνίας και ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των κατανεμημένων μονάδων[2].

Σε πιο εξειδικευμένο πλαίσιο, ένα Vrr μπορεί να αναφερθεί ως ένα σύμπλεγμα από διανεμημένες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ελεγχόμενα φορτία και αποθηκευτικά συστήματα, συγκεντρωμένα όλα μαζί, ώστε να θέτουν σε λειτουργία μια ενιαία οντότητα. Η παραγωγή ενέργειας μπορεί να γίνεται είτε με ορυκτούς είτε ανανεώσιμους πόρους. Ο πυρήνας ή η καρδιά του Vrr είναι ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας το οποίο συντονίζει την ηλεκτρική ενέργεια που έρχεται από τις γεννήτριες και τα αποθηκευτικά συστήματα. Η επικοινωνία είναι αμφίδρομη, ώστε το Vrr να μπορεί να λαμβάνει πληροφορίες για την κατάσταση της κάθε μονάδας παραγωγής, αλλά και ταυτόχρονα να στέλνει σήματα για τον έλεγχό τους.

Όλη αυτή η αμφίδρομη ανταλλαγή πληροφοριών καθίστανται δυνατή μέσω της αξιοποίησης διάφορων τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης, προηγμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας και έξυπνες λύσεις internet of things που θα αναλυθούν, στη συνέχεια [6].

Σημαντικό είναι, επίσης, να αναφερθεί ότι σε όλη αυτή τη διαδικασία ο τελικός χρήστης έχει τη δυνατότητα να συμμετέχει ως καταναλωτής αλλά και ως παραγωγός (prosumer) ηλεκτρικής ενέργειας, πράγμα το οποίο συμβαίνει αν έχει στην ιδιοκτησία του κάποια μονάδα DER και επιθυμεί να την ενσωματώσει σε κάποιο Vpp. Αυτό μπορεί να του αποφέρει πολλαπλά οικονομικά οφέλη και, εφόσον παράγει ο ίδιος την ενέργεια που χρησιμοποιεί, γίνεται πιο ενσυνείδητος, ως προς τη διαχείρισή της[5].

Το γεγονός αυτό, δηλαδή, της αποκεντρωτικής λειτουργίας του virtual power plant χωρίς μια ενιαία κεντρική αρχή και της συμμετοχής του καταναλωτή στην όλη διαδικασία της παραγωγής, μας οδηγεί στο συμπέρασμα του πόσο απαραίτητο είναι ένα αποδοτικό επιχειρησιακό μοντέλο για την ομαλή λειτουργία του. Ένα τέτοιο επιχειρησιακό μοντέλο θα πρέπει να αξιοποιεί τις τεχνολογίες που συνθέτουν ένα virtual power plant, ώστε να επιλύει τα βασικά προβλήματα της εταιρείας που το διαχειρίζεται, αλλά και να εντοπίζει τον πελάτη, να αναγνωρίζει τις ανάγκες του κάθε στιγμή και να του αποδίδει το αντίστοιχο οικονομικό όφελος, ανάλογα με τη συμμετοχή του στη παραγωγή[5].

Από τα παραπάνω, εύκολα, καταλαβαίνουμε ότι τα virtual power plants μπορούν, συγκεντρώνοντας τις δυνατότητες των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, να αλλάξουν εντελώς το τοπίο στον τομέα της παραγωγής και μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας και να δημιουργήσουν τις προϋποθέσεις για μια νέα πραγματικότητα, όπου οι παραδοσιακές μονάδες παραγωγής με τον καιρό θα αντικαθίστανται σε κάτι πιο καινοτόμο που θα λειτουργεί με μέριμνα τον καταναλωτή και θα έχει μεγαλύτερο σεβασμό στο περιβάλλον.

Βλέπουμε, συνεπώς, πόσο έχει αρχίσει να αλλάζει το τοπίο της παραγωγής και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, με τα virtual power plants να διεισδύουν όλο και περισσότερο σαν τεχνολογία στον τομέα αυτόν, δίνοντας μια πιο αποκεντρωτική διάσταση και παρέχοντας παράλληλα σημαντικά πλεονεκτήματα.

1.5. Εικονικοί σταθμοί και άλλες τεχνολογίες

Γενικά, αξίζει να γίνει μια αναφορά στις διαφορές των Vpps, σε σχέση με κάποιες άλλες παραδοσιακές τεχνολογίες ανανεώσιμης παραγωγής ενέργειας, ώστε να γίνει περισσότερο κατανοητό ως έννοια.

1.5.1. Εικονικοί σταθμοί και Μικροδίκτυα

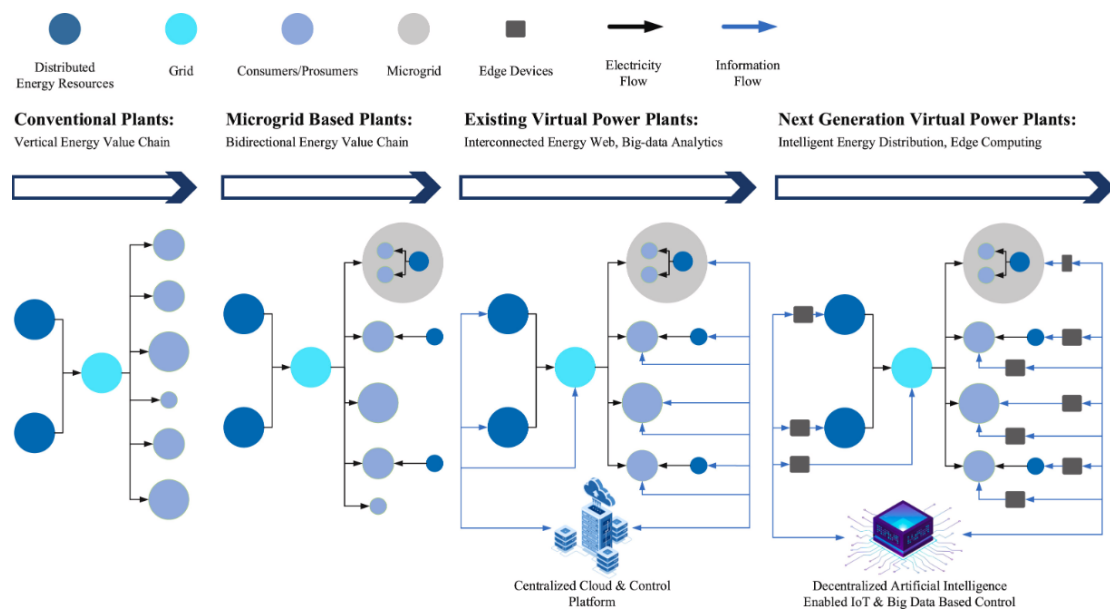
Τα μικροδίκτυα (microgrids-MGs) είναι ένα σύνολο από μικρές μονάδες παραγωγής και φορτίων κατανάλωσης τα οποία λειτουργούν ως ένα ενιαίο ελεγχόμενο σύστημα που παρέχει ενέργεια και θερμότητα στην περιοχή που βρίσκεται. Όπως και τα μικροδίκτυα, έτσι και τα Vrrps ενσωματώνουν κατανεμημένες γεννήτριες, μονάδες αποθήκευσης ενέργειας και ελεγχόμενα φορτία. Ωστόσο, οι δυο τεχνολογίες έχουν κάποιες σημαντικές διαφορές[7].

Συγκεκριμένα, τα MGs έχουν περισσότερο τοπικό χαρακτήρα, δηλαδή διαχειρίζονται μονάδες που βρίσκονται στην ίδια ή σε κοντινή γεωγραφική περιοχή. Αυτό οφείλεται στο ότι η περιοχή κάλυψης των MGs εξαρτάται από τις γραμμές ισχύος που συνδέουν τις διανεμημένες μονάδες και τα φορτία. Αντίθετα, τα Vrrps επικεντρώνονται στη συμμετοχή και συγκέντρωση διεσπαρμένων μονάδων DERs βασισμένα, κυρίως, στη τεχνολογία και το δίκτυο επικοινωνίας, χωρίς να βρίσκονται απαραίτητα εντός της ίδιας γεωγραφικής περιοχής, γεγονός το οποίο μπορεί να διευκολύνει τις δραστηριότητες στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, τα MGs είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο μέσω ειδικών διακοπών, ενώ τα Vrrps συνδέονται στο δίκτυο παροχής μέσω ενός ανοιχτού πρωτοκόλλου έτσι ώστε να έχουν τη δυνατότητα να συμμετέχουν στη λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και στη χονδρική αγορά ενέργειας. Τέλος, όσον αφορά τις επιμέρους λειτουργίες τους τα MGs είναι υπεύθυνα για την ποιότητα ισχύος που παράγουν και αποθηκεύουν, καθώς και για την ασφάλεια των μονάδων. Παράλληλα, ένα Vrrp πρέπει να έχει τη δυνατότητα έλεγχου της παραγωγής, ώστε να παρέχει ρύθμιση της συχνότητας, όταν είναι απαραίτητο, απόκριση στη ζήτηση σε περιόδους που υπάρχουν μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις και άλλες επικουρικές υπηρεσίες, όπως η αγορά και πώληση ηλεκτρικής ενέργειας[7].

1.5.2. Εικονικοί σταθμοί και Συμβατικοί σταθμοί

Τα συμβατικά ή conventional power plants αποτελούνται, κυρίως, από μονάδες παραγωγής θερμότητας, έχουν σταθερή παραγωγή ενέργειας και ρυθμίζουν τη συχνότητα και τη ζήτηση, όπου είναι απαραίτητο. Οι κύριες διαφορές με ένα Vrrp βρίσκονται, αρχικά, στην περιβαλλοντική επιβάρυνση, κατά τη διαδικασία παραγωγής. Συγκεκριμένα, σε έναν συμβατικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής υπάρχουν συνήθως γεωγραφικοί περιορισμοί ανάλογα με την κατανομή της ορυκτής ενέργειας. Αυτό, πολλές φορές, οδηγεί σε σημαντικές ενεργειακές, άρα και οικονομικές, απώλειες κατά την μεταφορά, που με τη σειρά τους οδηγούν σε μόλυνση και επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Αντίθετα, τα Vrrps αξιοποιούν, κυρίως, ανανεώσιμες

μορφές ενέργειας και επιδιώκουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση στη χρήση των ορυκτών πόρων, σημειώνοντας έτσι μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στα φυσικά χαρακτηριστικά, η χωρητικότητα των εγκαταστάσεων και ο αριθμός των μονάδων των συμβατικών σταθμών είναι, συνήθως, σταθερά, ενώ στα Vrrps είναι πιο ευέλικτα. Η αύξηση της χωρητικότητάς τους μπορεί εύκολα να επιτευχθεί μέσα από τη συγκέντρωση και τον συντονισμό περισσότερων μονάδων DERs. Τέλος, οι αποδόσεις στον έλεγχο των συμβατικών σταθμών είναι αρκετά καλές, αλλά ο ρυθμός ρύθμισής τους είναι σχετικά αργός. Το Vrrp, αντίθετα, έχει πιο ευέλικτο ρυθμό ρύθμισης και γρήγορη απόκριση στη ζήτηση, πράγμα που συμβάλλει στο να λειτουργεί στο σύστημα ηλεκτροδότησης και να συμμετέχει στην αγορά ενέργειας. Συνεπώς, σε σχέση με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής, τα Vrrps έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα που αφορούν τις εγκαταστάσεις μεταφοράς, την ευελιξία και τις μεθόδους ελέγχου που διαθέτουν. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τη μετάβαση από τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής στα πιο σύγχρονα Vrrps[8].



Εικόνα 3: Μετάβαση από τους συμβατικούς σταθμούς σε εικονικούς σταθμούς επόμενης γενιάς[5]

1.5.3. Εικονικοί σταθμοί και Ψηφιακές σύγχρονες μηχανές

Οι ψηφιακές σύγχρονες μηχανές είναι μια από τις στρατηγικές ελέγχου που έχουν σχεδιαστεί για να προσεγγίζουν όσο το δυνατόν περισσότερο τη δυναμική απόκριση των παραδοσιακών σύγχρονων μηχανών. Έχουν την δυνατότητα παροχής ορισμένων υπηρεσιών, όπως για παράδειγμα τον έλεγχο της άεργου ισχύος και απόσβεσης των ταλαντώσεων. Οι κύριες διαφορές τους με τα Vrrps είναι ότι οι ψηφιακές μηχανές στοχεύουν στη διατήρηση της ισχύος των συσκευών για σύντομο χρονικό διάστημα,

ενώ τα Vpps επικεντρώνονται στην επίτευξη μιας πιο σταθερής λειτουργίας των φορτίων που τροφοδοτούν. Επιπλέον, οι στρατηγικές ελέγχου δίνουν έμφαση σε αυτόνομες μονάδες παραγωγής, εν αντιθέσει με τα Vpps που εστιάζουν στον συντονισμό και τον έλεγχο πολλών κατανεμημένων πόρων, φορτίων κατανάλωσης και τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας. Εν ολίγοις, η κύρια αρμοδιότητα μιας ψηφιακής μηχανής θεωρείται ο ηλεκτρονικός έλεγχος ισχύος, ενώ το Vpp είναι αρμόδιο για τον έλεγχο πολλών παραγόντων, ενσωματώνοντας ταυτόχρονα και επιχειρηματικές στρατηγικές για το εμπόριο ηλεκτρικής ενέργειας[8].

1.6. Απαιτήσεις ενός Εικονικού σταθμού

Προκειμένου να είναι αποδοτικός και να είναι σε θέση να λειτουργεί αποτελεσματικά ένας εικονικός σταθμός παραγωγής, θα πρέπει να πληρούνται ορισμένες απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις αυτές έχουν να κάνουν με τις ανάγκες των χρηστών, τη μείωση του ενεργειακού κόστους και τη σταθεροποίηση του συστήματος.

1.6.1. Δομή ενός εικονικού σταθμού

Ένα VPP μπορεί να υποδιαιρεθεί σε δυο οντότητες, μια εμπορική (CVPP) και μια τεχνική (TVPP). Η εμπορική αποτελείται από τις μονάδες DERs που συμμετέχουν στην αγορά ενέργειας, και η τεχνική είναι υπεύθυνη για τη διασφάλιση της ισορροπίας και της σωστής λειτουργίας – ασχολείται δηλαδή περισσότερο με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δικτύων και των γραμμών μεταφοράς. Κατανοούμε, λοιπόν, ότι ένα Vpp που θέλει να λειτουργήσει σωστά θα πρέπει να υποδιαιρείται σε αυτές τις δυο κατηγορίες, ώστε να είναι λειτουργικό σε τεχνικό επίπεδο, αλλά να έχει και οικονομικά οφέλη μέσα από την παραγωγή του[9],[10].

1.6.2. Ασφάλεια

Η ύπαρξη ασφάλειας είναι υποχρεωτική για τη διασφάλιση της βέλτιστης λειτουργίας ενός εικονικού σταθμού. Συγκεκριμένα, η συνεχής παρακολούθηση της παροχής και διανομής ηλεκτρικού ρεύματος, καθώς και η δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας των δεδομένων για τον καλύτερο έλεγχο και την εξακρίβωση της γνησιότητας των υπηρεσιών, είναι διαδικασίες που πρέπει να γίνονται, συνεχώς, από τους διαχειριστές του εικονικού σταθμού. Οι συνολικές απαιτήσεις ασφάλειας θα πρέπει να τηρούνται κάτω από αυστηρές πολιτικές και κανονισμούς που αφορούν την ευελιξία και ευρωστία του συστήματος. Κάθε τμήμα ενός εικονικού σταθμού θα πρέπει να σχεδιάζεται με βάση συγκεκριμένες προϋποθέσεις και ενημέρωση για την

αποφυγή ευπαθειών και ευάλωτων σημείων στο σύστημα. Ο σχεδιασμός αυτός βασίζεται πάνω σε πρωτόκολλα διαδικτύου που παρέχονται για την σωστή επικοινωνία. Τέτοια πρωτόκολλα επικοινωνίας είναι το Generic Object Oriented Substations Events (GOOSE), Distributed Network Protocol 3 (DNP3), IEC 60870-5 και IEC 61850. Μια ακόμα απαίτηση για τον σχεδιασμό, είναι τα δίκτυα να διαθέτουν υψηλή διαθεσιμότητα χωρίς περιορισμούς, κάτι που περιλαμβάνουν τα ασύρματα δίκτυα μεγάλης εμβέλειας[5].

1.6.3. Προσαρμοστικότητα σε νέες τεχνολογίες

Μια επιπλέον σημαντική απαίτηση είναι ένα Vpp να μπορεί να προσαρμόζεται εύκολα σε καινούργιες τεχνολογίες. Βλέποντας λοιπόν νέες τεχνολογίες να αναδύονται, συνεχώς, με τον καιρό, ένα Vpp θα πρέπει να είναι σε θέση να τις υιοθετήσει ανά πάσα στιγμή. Τέτοιες τεχνολογικές καινοτομίες μπορεί να αφορούν μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας, την τεχνητή νοημοσύνη, την αυτοματοποίηση διεργασιών μέσω ρομποτικών συστημάτων, την ανάλυση δεδομένων και άλλα. Οι νέες τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους εικονικούς σταθμούς επόμενης γενιάς είναι πολλές, ωστόσο απαιτούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις για την υλοποίησή τους. Αυτές οι προϋποθέσεις μπορεί να είναι η συνεχής έρευνα, διάφορα τεστ προσομοίωσης για τη λειτουργικότητα μιας τεχνολογίας, επίδειξη των αποτελεσμάτων κ.ά. Επιπλέον, η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών πρέπει να ικανοποιεί όρους που αφορούν την περιβαλλοντική επιβάρυνση, τη μείωση του κόστους, την αύξηση της παραγωγικότητας, τον έλεγχο και την ευελιξία[5].

1.6.4. Αξιοπιστία και σταθερότητα

Για την εξασφάλιση έγκυρων αποτελεσμάτων και για τη διατήρηση της σωστής λειτουργίας του, ένας εικονικός σταθμός θα πρέπει να διέπεται από αξιοπιστία και σταθερότητα. Η αξιοπιστία επηρεάζει σημαντικά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τις συσκευές αποθήκευσης, τη διαχείριση των φορτίων, την απόκριση στη ζήτηση και τη μεταφορά ενέργειας. Όλα τα παραπάνω, μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά το προφίλ ενός Vpp απέναντι στους καταναλωτές, αυξάνοντας ή μειώνοντας την αξιοπιστία του. Επίσης, μέσα από τις δυνατότητες των μονάδων που διαθέτει μπορεί να συμβάλλει στη διατήρηση της σταθερότητας του δικτύου, αντιμετωπίζοντας προβλήματα απωλειών κατά τη μεταφορά και διανομή ενέργειας[5].

1.6.5. Αδιάλειπτη διαχείριση της ενέργειας

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι η διαχείριση της ενέργειας σε έναν εικονικό σταθμό, η οποία θα πρέπει να πραγματοποιείται συνεχώς. Ένα Vpp θα πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίζει προβλήματα που αφορούν την αύξηση της τάσης, παρεμβολές λόγω αρμονικών, εξισορρόπησης συχνότητας κ.ά. Τα συστήματα που διέπονται από συγκεκριμένους κανόνες και στρατηγικές που αφορούν την ενεργειακή διαχείριση, έχουν μεγαλύτερη σταθερότητα ως προς τη λειτουργία τους και επιτυγχάνουν μεγαλύτερη αύξηση των εσόδων και της αξιοπιστίας τους[5].

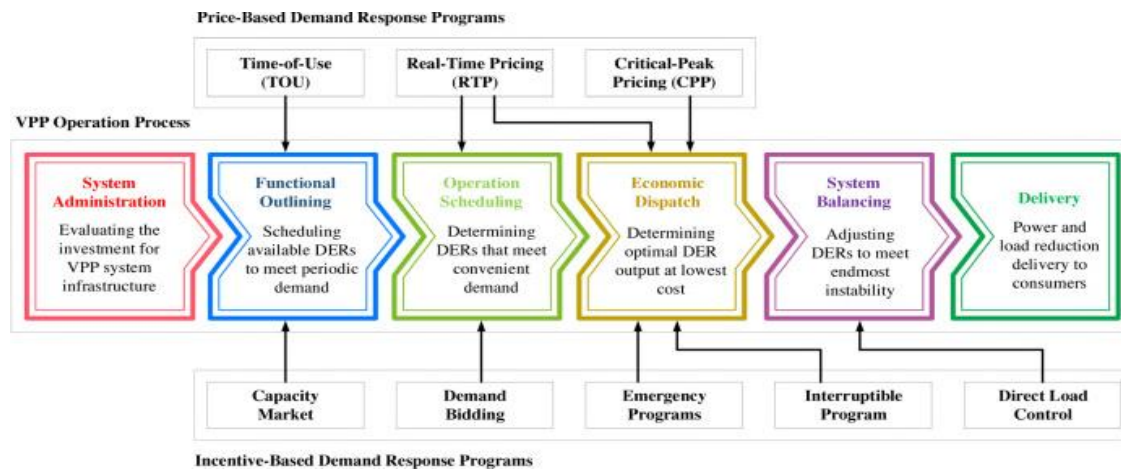
1.6.6. Βελτιστοποίηση

Στόχος ενός Vpp θα πρέπει να είναι η συνεχής βελτιστοποίηση της λειτουργίας και η μείωση του κόστους παραγωγής με βάση τη δομή, τα στοιχεία του και τη διαχείριση των μονάδων του. Ο σωστός καθορισμός της θέσης και του μεγέθους των μονάδων είναι ζωτικής σημασίας για την ελαχιστοποίηση των απωλειών ισχύος, την ύπαρξη επικοινωνίας μεταξύ των μονάδων και τη βέλτιστη τοποθέτηση των αποθηκευτικών συστημάτων με στόχο τη βελτίωση του συνολικού προφίλ του Vpp. Για να αυξηθεί η συνολική απόδοση, η βελτιστοποίηση του προγραμματισμού των καταναλώσεων είναι επίσης απαραίτητη. Αυτό συνεπάγεται αδιάλειπτο έλεγχο της ζήτησης και διαχείριση φορτίου με βάση τις απαιτήσεις και τις ανάγκες τόσο των πωλητών όσο και των πελατών. Οι αρχικοί στόχοι είναι η μείωση των τιμολογίων ηλεκτρικού ρεύματος, η ελαχιστοποίηση του κόστους, η ενίσχυση της αποδοτικότητας του συστήματος και η μεγιστοποίηση της οικονομικής βοήθειας. Επίσης, απαιτούνται βελτιώσεις των μοντέλων πρόβλεψης και στα συστήματα τιμολόγησης σε περιπτώσεις ανισορροπίας[5].

1.6.7. Διαχείριση της ζήτησης

Η δυνατότητα για ανταπόκριση στη ζήτηση, όποτε είναι απαραίτητη, είναι ένα χαρακτηριστικό που θα πρέπει να διαθέτει κάθε Vpp, αν θέλει να είναι λειτουργικό. Ένας τέτοιος μηχανισμός συνιστά μεταβολές στις ενεργειακές καταναλώσεις και συνήθειες και στη μείωσή τους στις περιόδους υψηλών τιμών στη χονδρική αγορά. Υπάρχουν προγράμματα απόκρισης ζήτησης βάσει τιμών, όπως τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο (Real Time Pricing), τιμολόγηση χρόνου χρήσης (Time of Use) και η τιμολόγηση αιχμής (Critical peak pricing), τα οποία παρέχουν στους καταναλωτές ατομικά τιμολόγια σε συγκεκριμένες περιόδους. Έτσι, οι καταναλωτές τείνουν να κάνουν πιο συντηρητική χρήση και να μειώνουν τις καταναλώσεις τους. Υπάρχουν επίσης προγράμματα που βασίζονται στη δημιουργία κινήτρων, όπου οι τελικοί

χρήστες καλούνται να κάνουν μειωμένη χρήση σε αντάλλαγμα οικονομικού οφέλους. Τα προγράμματα αυτά παρέχουν σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων μέσα από την προσαρμογή των καταναλώσεων σε ηλεκτρική ενέργεια και τα οικονομικά κίνητρα που δημιουργούνται στον τομέα της αγοράς, όπως η χαμηλότερες τιμές χονδρικής. Η οπτική απεικόνιση των εφαρμογών αυτών των προγραμμάτων σε ένα Vpp φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Παρόλα αυτά, φαίνεται να υπάρχουν ακόμα αρκετά προβλήματα και προκλήσεις που θα πρέπει να επιλυθούν κατά την εφαρμογή των συγκεκριμένων προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση, όπως επαρκής ενημέρωση για τις συνθήκες της αγοράς, οικοδόμηση βιωσιμότερων επιχειρηματικών συνθηκών, ρύθμιση της ζήτησης ανάλογα με το κόστος συναλλαγής κ.ά[5].



Εικόνα 4: Λειτουργίες των προγραμμάτων απόκρισης ζήτησης σε έναν εικονικό σταθμό παραγωγής[5]

Κεφάλαιο 2ο: Τεχνολογίες εικονικών σταθμών

Η ιδέα των Vrrps, όπως έχουμε αναφέρει, είναι να διευθύνει τη διαδικασία συγκέντρωσης των διανεμημένων ενεργειακών πόρων DERs σε ένα ενιαίο δίκτυο. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό τους απαιτούνται διαφόρων ειδών τεχνολογίες, όπου θα λειτουργούν βάση συγκεκριμένων κανονισμών. Γι' αυτό τον λόγο, στο παρόν κεφάλαιο, θα αναφερθούμε στις τεχνολογίες που συνθέτουν ένα Vrrp του σήμερα, καθώς και σε τεχνολογίες που θα μπορούσαν να προστεθούν, στο μέλλον. Επίσης, θα αναφερθούμε στα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι τεχνολογίες αυτές για το περιβάλλον και γιατί πρέπει να αντικαταστήσουν σταδιακά τις πιο συμβατικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Γενικότερα, τα Vrrps περιλαμβάνουν τρεις θεμελιώδεις τεχνολογίες που καθιστούν εφικτή τη λειτουργία τους: Τις τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας (Generation technologies), τις τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας (Energy Storage Technologies) και τις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνίας (Information and Communication technologies - ICT).

2.1. Τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας

Το κύριο στοιχείο των τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας είναι οι μονάδες DERs. Τα DERs είναι στοιχεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία αξιοποιούν διαφόρων ειδών ενεργειακούς πόρους, διαφορετικών αποδόσεων, προσφέροντας στους καταναλωτές υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα με λιγότερο κόστος. Παρόλο που το κοινό τους πρόβλημα είναι τα έξοδα για την εγκατάστασή τους, παρέχουν σοβαρά πλεονεκτήματα, σε σχέση με τις κλασικές τεχνολογίες παραγωγής[2].

Οι μονάδες αυτές κατηγοριοποιούνται κυρίως βάσει του αν αξιοποιούν ανανεώσιμες ή μη μορφές ενέργειας. Στους ανανεώσιμους πόρους εντάσσονται τα φωτοβολταϊκά πάνελ, οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, οι ανεμογεννήτριες, οι υδροηλεκτρικές γεννήτριες και οι γεωθερμικοί σταθμοί. Στους μη ανανεώσιμους πόρους ανήκουν οι πυρηνικοί αντιδραστήρες, η βιομάζα και το βιοαέριο, οι αεροστρόβιλοι και οι κυψέλες καυσίμου.

Κατηγοριοποιούνται, επίσης, και ανάλογα με τον χώρο που καταλαμβάνουν κατά την εγκατάστασή τους ως μικρής, μεσαίας και μεγάλης κλίμακας. Η κλίμακά τους εξαρτάται από τον όγκο τους, το είδος της ενέργειας που παρέχουν (κύρια η δευτερεύουσα), τη μέγιστη δυνατότητα αποθήκευσης και την ικανότητα συμπαραγωγής.

Επιπλέον, τα DERs μπορούν να βρίσκονται υπό την κατοχή διαφόρων φορέων, όπως δημόσιοι ή οικιακοί φορείς, βιομηχανικοί και συνεταιριστικοί φορείς. Συγκεκριμένα, οι οικιακές μονάδες (Domestic Distributed generator-DDG) είναι, συνήθως, μικρές στο μέγεθος, όπου λειτουργούν για να εξυπηρετούν τους καταναλωτές για οικιακή και εμπορική χρήση. Το πλεόνασμα της ενέργειας που παράγεται μπορεί να παρασχεθεί στο κυρίως δίκτυο ηλεκτροδότησης ή να αποθηκευτεί για μελλοντική χρήση, πράγμα το οποίο αποφέρει σημαντικά οικονομικά οφέλη στους ιδιοκτήτες των DERs[2].

Τα DERs που βρίσκονται υπό την κατοχή δημοσίων φορέων (Public Distributed Generator-PDGs) είναι μονάδες που δεν ανήκουν ουσιαστικά σε κάποιον ιδιώτη και ο κύριος στόχος τους είναι να παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο. Γενικότερα, τα PDGs όπως και τα DDGs είναι εφοδιασμένα με μεθόδους αποθήκευσης της ενέργειας. Τα PDGs, ωστόσο, είναι συνδεδεμένα σε δίκτυα διανομής μεσαίας τάσης, αντίθετα με τα DDGs τα οποία έχουν τις γεννήτριες και τα συστήματα αποθήκευσής τους συνδεδεμένα σε δίκτυα χαμηλής τάσης. Έτσι, εύκολα συμπεραίνουμε πως η δυνατότητα παραγωγής των PDGs είναι πολύ μεγαλύτερη, σε σχέση με τα DDGs, πράγμα που τα καθιστά ικανά να σταθούν ανεξάρτητα στην αγορά ενέργειας.

Ο σκοπός λοιπόν των ιδιοκλήτων των DDGs είναι να παρέχουν οικονομικές επιλογές ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και να προωθούν με αξιοπιστία τις υπηρεσίες τους. Αντίθετα, σκοπός των PDGs είναι να πωλούν την παραγόμενη ενέργεια στους πελάτες του δικτύου[2].

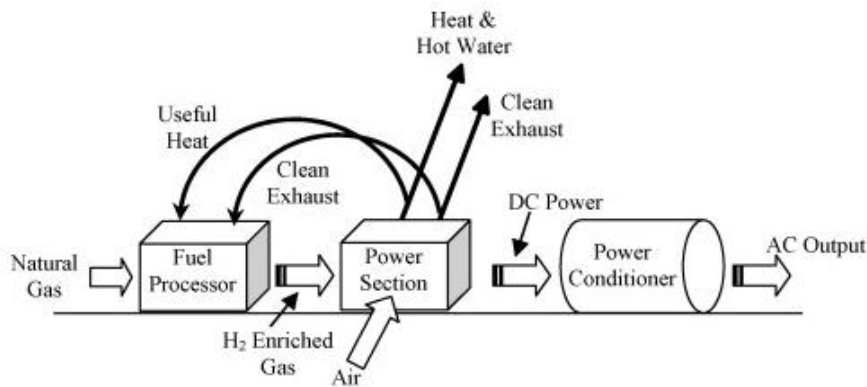
Επίσης, χαρακτηρίζονται και ως στοχαστικές ή αποστελλόμενες μονάδες βάση των λειτουργικών τους χαρακτηριστικών. Η στοχαστική τους φύση φαίνεται κυρίως σε τεχνολογίες όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι ανεμογεννήτριες, όπου οι παραγωγές τους εξαρτώνται από παράγοντες που είναι αδύνατο να ελεγχθούν, όπως οι καιρικές συνθήκες, καθιστώντας τις περισσότερο ασυνεπείς, αφού το αποτέλεσμα τους είναι δύσκολο να προβλεφθεί. Από την άλλη μεριά, οι αποστελλόμενες μονάδες έχουν την δυνατότητα να παρέχουν ενέργεια, ανάλογα με την εκάστοτε ζήτηση της αγοράς και να προσαρμόσουν την παραγωγή της ενέργειας, αναλόγως. Τέτοιου είδους μονάδες βασίζονται σε είδη ενέργειας, όπως η υδροηλεκτρική και τα ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, τα DERs περιλαμβάνουν και microgrids, smart grids και μονάδες CHP (Combined heat and power). Οι CHP μονάδες έχουν γίνει μια πολύ ελκυστική επιλογή τα τελευταία χρόνια, αφού χρησιμοποιούν την ενέργεια που παράγουν για

την παροχή και ηλεκτρισμού και θέρμανσης, ταυτόχρονα. Επίσης για να μην υπάρχει ο φόβος για ανισορροπίες και οικονομικές απώλειες, τα CHP αποτελούν μια καλή προσαρμογή για την αποφυγή οικονομικών ρίσκων. Για παράδειγμα, τα Vrrs που περιλαμβάνουν CHPs και ηλιακά πάνελ εκτιμάται ότι μειώνουν τις ανισορροπίες μεταξύ παραγωγής ενέργειας και κατανάλωσης, λόγω της ύπαρξης ανανεώσιμης παραγωγής[2].

Παρακάτω θα αναφερθούμε εκτενέστερα σε κάποιες από αυτές τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στους κατανεμημένους πόρους.

2.1.1. Κυψέλες καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου μετατρέπουν τη χημική ενέργεια, απευθείας, σε ηλεκτρική και θερμότητα. Η λειτουργία τους θα μπορούσε να παρομοιαστεί με εκείνη των μπαταριών, δεδομένου ότι και τα δυο χρησιμοποιούν ηλεκτροχημικές διεργασίες, μεταξύ υδρογόνου και οξυγόνου για την παραγωγή συνεχούς ρεύματος. Η συσκευή αυτή, όπως και οι μπαταρίες, αποτελείται από δυο ηλεκτρόδια, που διαχωρίζονται από έναν ηλεκτρολύτη. Οι κυψέλες καυσίμου χαρακτηρίζονται γενικά από το υλικό του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται. Όπως φαίνεται και στη παρακάτω εικόνα (Εικόνα 5), οι κυψέλες αποτελούνται από τρία κύρια μέρη: έναν επεξεργαστή καυσίμου που απομακρύνει τις προσμείξεις που μπορούν να αυξήσουν τη συγκέντρωση υδρογόνου στο καύσιμο, ένα τμήμα ισχύος που αποτελείται από στοιβες με ηλεκτρόδια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ένα κλιματιστικό ισχύος που θα μετατρέψει το συνεχές ρεύμα που παράγεται στο τμήμα ισχύος σε εναλλασσόμενο που πρόκειται να συνδεθεί στο δίκτυο. Τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι οι υψηλές αποδόσεις, οι χαμηλές εκπομπές ρύπων, ο μειωμένος θόρυβος, ως αποτέλεσμα της μη ύπαρξης κινούμενων μερών, και δυνατότητα προσαρμοζόμενης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, από 50KW μέχρι 30MW. Η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από τις υψηλές αποδόσεις μετατροπής είναι συνήθως περίπου 40% ή και παραπάνω, ανάλογα με τον τύπο του καυσίμου. Όταν χρησιμοποιείται σε εφαρμογές συμπαραγωγής οι συνολικές αποδόσεις μπορεί να είναι της τάξης του 85% και περισσότερο[11].



Εικόνα 5: Σχηματικό διάγραμμα κυψελών καυσίμου[12]

2.1.2. Παλινδρομικοί κινητήρες

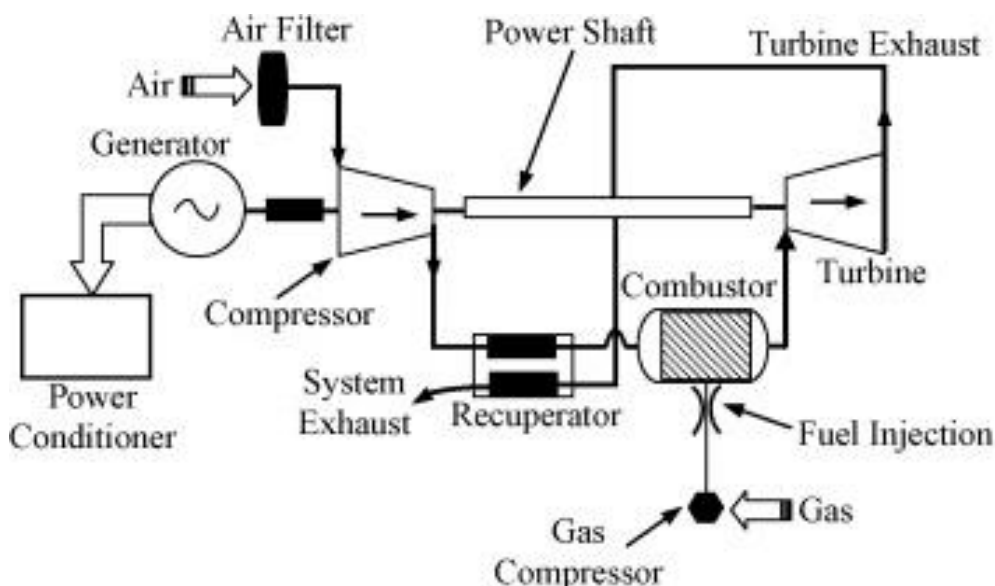
Η χρήση κινητήρων ντίζελ και βενζίνης στην παροχή εφεδρικής ισχύος για εμπορικούς και βιομηχανικούς σκοπούς δεν είναι κάτι καινούργιο. Οι παλινδρομικοί κινητήρες ανήκουν σε ένα υποσύνολο κινητήρων εσωτερικής καύσης, όπου τα έμβολα των κυλίνδρων μετακινούνται μπροστά και πίσω. Οι μικρότεροι τύποι είναι περισσότερο σχεδιασμένοι για μεταφορά, αν και με μικρές τροποποιήσεις μπορούν να μετατραπούν σε γεννήτριες ισχύος, ενώ οι μεγαλύτεροι τύποι έχουν σχεδιαστεί κυρίως για παραγωγή ενέργειας. Οι παλινδρομικές μηχανές που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα είναι από τις πρώτες τεχνολογίες που αξιοποιήθηκαν στην καταναλωμένη παραγωγή και η χρήση τους κυμαίνεται από μικρές μονάδες με 1KVA σε αρκετές δεκάδες MVA, από μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας. Για τις εφαρμογές στην καταναλωμένη παραγωγή, οι παλινδρομικοί κινητήρες προσφέρουν χαμηλό κόστος και καλές αποδόσεις αλλά μειονεκτούν στο ότι έχουν υψηλές εκπομπές και μεγάλο κόστος συντήρησης. Συγκεκριμένα, τα μείγματα αέρα-καυσίμου, καθώς και η υπερβολική ψύξη των κυλίνδρων παράγουν μονοξείδιο του άνθρακα (CO), επιβλαβείς για την υγεία υδρογονάνθρακες, ενώ από την διαδικασία της καύσης προκύπτει οξείδιο του αζώτου (NOx). Το γεγονός αυτό, έχει καταστήσει τη χρήση των κινητήρων ντίζελ εξαιρετικά δύσκολη ειδικά μετά τους κανονισμούς για τις εκπομπές καυσίμων. Ωστόσο, κινητήρες που λειτουργούν με φυσικό αέριο έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται και να αντικαθιστούν τους παλιότερους. Οι κινητήρες αυτοί συνδυάζουν την απόδοση και την αξιοπιστία ενός κινητήρα ντίζελ έχοντας ταυτόχρονα ελάχιστες εκπομπές καυσίμων σε σχέση με τους ντίζελ[12].

2.1.3. Αεριοστρόβιλοι

Ένας αεριοστρόβιλος, γνωστός και ως στρόβιλος συμπίεσης, είναι ένας περιστροφικός κινητήρας που εξάγει ενέργεια μέσα από τη καύση αερίου. Διακρίνεται σε τρία μέρη το κύριο πλαίσιο τον αεραγωγό και τη μικροτουρμπίνα. Οι αεριοστρόβιλοι διατίθενται από 500KW μέχρι κάποιες εκατοντάδες MW. Η τεχνολογία βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε βοηθητικές μονάδες ισχύος και ειδικούς φορτιστές. Η λειτουργία γίνεται με τη διοχέτευση του αερίου μέσα στον καυστήρα, όπου το αέριο αναμιγνύεται με το καύσιμο και αναφλέγεται. Μέσα από τη καύση έχουμε αύξηση τη θερμοκρασίας και της ταχύτητα του αερίου που στη συνέχεια κατευθύνεται μέσα από ένα ειδικό στόμιο προς τον στρόβιλο περιστρέφοντάς τον και τροφοδοτώντας τον συμπιεστή. Έτσι, έχουμε εξαγωγή μηχανικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία αεροσκαφών, τρένων, πλοίων γεννητριών και ειδικών δεξαμενών[12],[13].

2.1.4. Μικροτουρμπίνες

Οι μικροτουρμπίνες έχουν αρχίσει να γίνονται όλο και περισσότερο διαδεδομένες για τις εφαρμογές που προσφέρουν και για την ταχύτητα εκκίνησης που διαθέτουν. Είναι μια από τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες για την τροφοδοσία υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων. Γενικά, η λειτουργία τους κυμαίνεται από 30 έως 400KW, ενώ οι συμβατικοί αεριοστρόβιλοι κυμαίνονται από 500KW έως πάνω από 300MW. Μέρος της επιτυχίας τους οφείλεται στην πρόοδο των ηλεκτρονικών ισχύος, που επιτρέπουν την απρόσκοπτη λειτουργία και τη διασύνδεση με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τυπικές αποδόσεις των μικροστρόβιλων κυμαίνονται μεταξύ 33% με 37% με χρήση ειδικού ανορθωτή, μπορούν όμως να επιτύχουν αποδόσεις άνω του 80% με εφαρμογή συνδυασμού θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP). Οι μικροτουρμπίνες λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο, όπως οι συμβατικοί αεριοστρόβιλοι, με βάση τον θερμοδυναμικό κύκλο που είναι γνωστός ως κύκλος Brayton. Συγκεκριμένα, ο αέρας διοχετεύεται στον συμπιεστή μέσω ειδικού σωλήνα όπως απεικονίζεται και στη παρακάτω εικόνα (6). Στον συμπιεστή ο αέρας συμπιέζεται και ωθείται στον αναδευτήρα, όπου προθερμαίνεται πριν εισέλθει στον θάλαμο καύσης. Στη συνέχεια, ο θερμαινόμενος αέρας και τα καύσιμα αναμιγνύονται και καίγονται. Έτσι, η γεννήτρια παράγει υψηλής συχνότητας εναλλασσόμενο ρεύμα που μετατρέπεται στην επιθυμητή συχνότητα ισχύος με τη χρήση ειδικών ηλεκτρονικών συσκευών[14],[15].

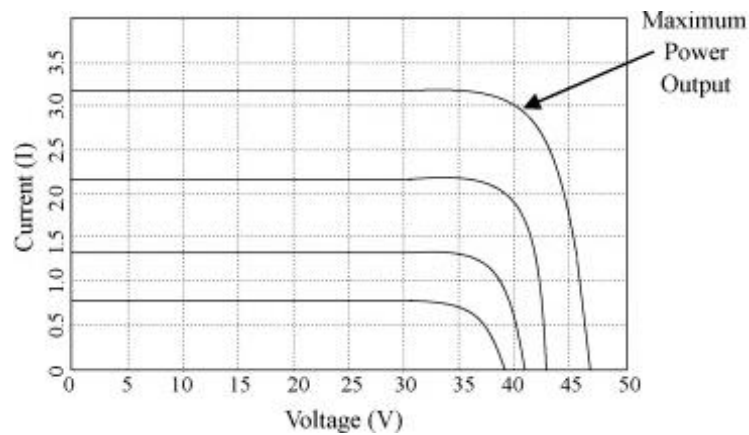


Εικόνα 6: Σχηματικό διάγραμμα μικροτουρμπίνας[12]

Το σύστημα με μικροτουρμπίνες έχει πολλά πλεονεκτήματα, έναντι των παλινδρομικών κινητήρων, όπως υψηλότερη ισχύς, εξαιρετικά χαμηλότερες εκπομπές ρύπων και λιγότερα κινούμενα μέρη. Έχουν, επίσης, το πλεονέκτημα ότι το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας εκλύεται μέσω εξατμίσεων, ενώ η θερμότητα των παλινδρομικών κινητήρων κατανέμεται μεταξύ των συστημάτων εξατμίσεως και ψύξης. Παρόλα αυτά, οι κινητήρες είναι πιο γρήγοροι ώστε να ανταποκρίνονται στις αλλαγές της απαιτούμενης ισχύος εξόδου και είναι συνήθως ελαφρώς πιο αποδοτικοί, αν και οι αποδόσεις των μικροτουρμπινών έχουν αρχίσει να αυξάνονται. Οι μικροτουρμπίνες είναι επίσης, λιγότερο αποδοτικές σε χαμηλότερα επίπεδα ισχύος σε σχέση με τους παλινδρομικούς κινητήρες[11].

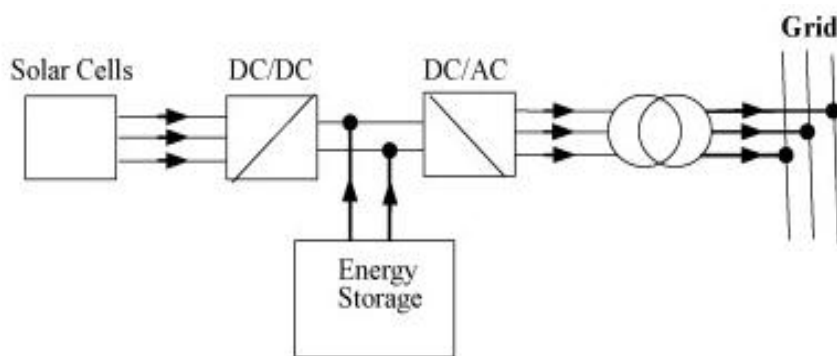
2.1.5. Φωτοβολταϊκά συστήματα

Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας απευθείας σε ηλεκτρική, είναι τεχνολογικά εφικτή από τα τέλη της δεκαετίας του 1930, με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αυτά τα συστήματα είναι κοινώς γνωστά ως ηλιακοί συλλέκτες και αποτελούνται από πολλαπλά κύτταρα, συνδεδεμένα μεταξύ τους είτε σε σειρά είτε παράλληλα και μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να είναι αυτόνομη ή να είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο και η ισχύς εξόδου τους είναι ανάλογη της επιφάνειας των κυττάρων που διαθέτει. Αν και η αποδοτικότητά τους είναι σχετικά χαμηλή, περίπου 10-24% συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση των ρύπων, αφού δεν εκλύει καθόλου εκπομπές από καύσεις. Η μέγιστη ισχύς εξόδου μιας φωτοβολταϊκής μονάδας φαίνεται στο παρακάτω γράφημα[12].



Εικόνα 7: Διάγραμμα V-I μιας φωτοβολταϊκής μονάδας[12]

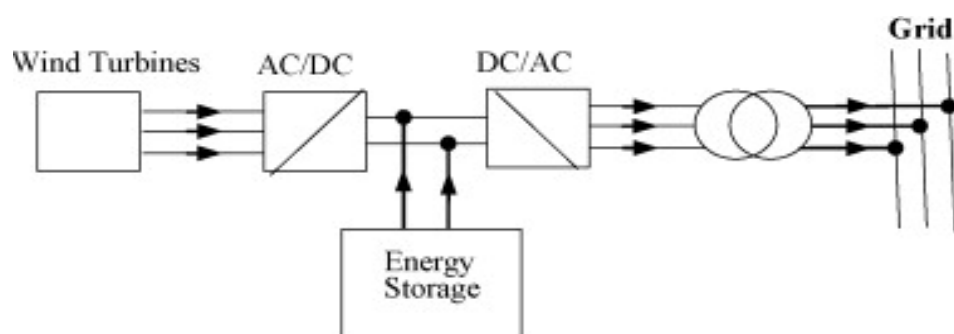
Δεδομένου ότι το ρεύμα εξόδου των φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας, απαιτείται συνεχής παρακολούθηση ώστε να λαμβάνεται πάντα η μέγιστη ισχύς εξόδου. Οι μονάδες αυτές είναι ενσωματωμένες στο ηλεκτρικό δίκτυο (εικόνα 8) και χρησιμοποιούν μετατροπείς που ενδεχόμενος να παράγουν αρμονικές, που ωστόσο φαίνεται να μην επηρεάζουν πολύ το σύστημα. Παρόλα αυτά η χρήση πολλαπλών μετατροπέων χρήζει μεγαλύτερης διερεύνησης (Akorede, et al., 2010).



Εικόνα 8: Σχηματικό διάγραμμα σύνδεσης φωτοβολταϊκών[12]

2.1.6. Συστήματα μετατροπής αιολικής ενέργειας

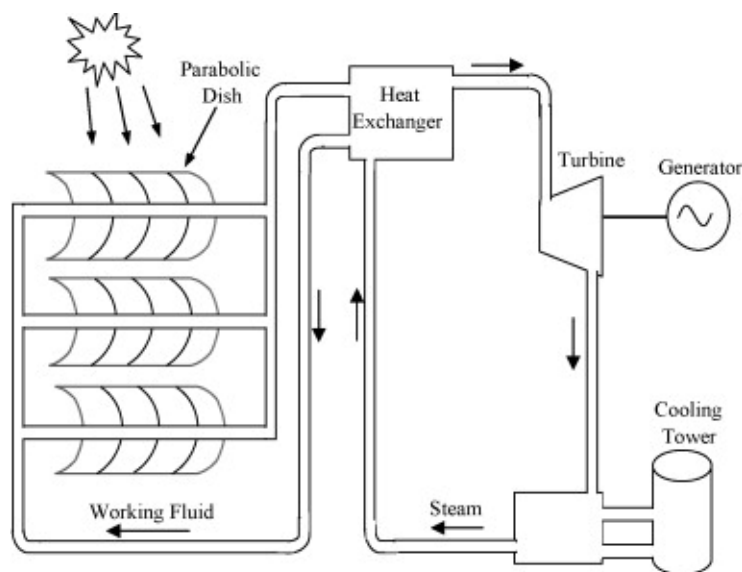
Οι ανεμόμυλοι ή ανεμογεννήτριες όπως είναι ευρέως γνωστοί είναι μια τεχνολογία μετατροπής της κινητικής ενέργειας του αέρα σε ηλεκτρική ισχύ. Μέσα από έρευνες που πραγματοποιήθηκαν βρέθηκε ότι, για να παραχθεί ισχύς, πρέπει η ταχύτητα του ανέμου να είναι μεταξύ 4-25(μέτρα/δευτερόλεπτο). Τα μεγέθη των ανεμογεννητριών έχουν αυξηθεί ραγδαία κατά τη διάρκεια των τελευταίων δυο δεκαετιών, με τις μεγαλύτερες μονάδες να είναι σήμερα περίπου 4MW σε σύγκριση με τη δεκαετία του 1970, όπου τα μεγέθη των μονάδων ήταν κάτω από 20KW. Οι ανεμογεννήτριες με μέγεθος άνω του 1 MW, προκειμένου να αποφεύγουν τις μηχανικές καταπονήσεις, είναι εξοπλισμένες με σύστημα μεταβλητής ταχύτητας με ενσωματωμένα ηλεκτρονικά ισχύος. Οι μεμονωμένες μονάδες μπορούν κανονικά να ενσωματωθούν στο δίκτυο διανομής, αν και γενικά υπάρχει η τάση να δίνεται μεγαλύτερη σημασία στα αιολικά πάρκα που διαθέτουν συγκεντρωμένες πολλές μονάδες μαζί και συνδέονται με υψηλά επίπεδα τάσης. Επιπλέον, η ποιότητα της παραγόμενης ισχύος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον σχεδιασμό του συστήματος. Δηλαδή, η ανεπαρκής συντήρηση του εξοπλισμού και η κακή κατασκευή μπορούν να οδηγήσουν σε σχετικά μεγάλη διακύμανση της ενεργού ισχύος. Επί του παρόντος, η αιολική ενέργεια φαίνεται να είναι η πιο ανταγωνιστική μεταξύ όλων των τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας, έχοντας βέβαια σημαντικά περιθώρια βελτίωσης των τεχνολογιών, από τις οποίες απαρτίζεται μελλοντικά. Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 9), παρουσιάζεται πώς γίνεται η σύνδεση των ανεμογεννητριών στο ηλεκτρικό δίκτυο[12].



Εικόνα 9: Σχηματικό διάγραμμα σύνδεσης ανεμογεννητριών[12]

2.1.7. Ηλιακοί συλλέκτες

Οι ηλιακοί συλλέκτες ή ηλιακά πάνελ είναι μια τεχνολογία που αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή θερμικής. Για να επιτευχθεί αυτό, ειδικά συστήματα φτιαγμένα από ανακλαστικά υλικά, χρησιμοποιούνται για να συγκεντρώσουν το ηλιακό φως σε ένα κεντρικό δοχείο που περιέχει ένα ειδικό υγρό, παράγοντας έτσι θερμοκρασίες πάνω από 1000°C βαθμούς Κελσίου. Οι προκύπτουσες υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ατμού είτε για την κίνηση ηλεκτρικών γεννητριών, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 10), είτε για την τροφοδοσία χημικών διεργασιών, όπως η παραγωγή υδρογόνου[12].



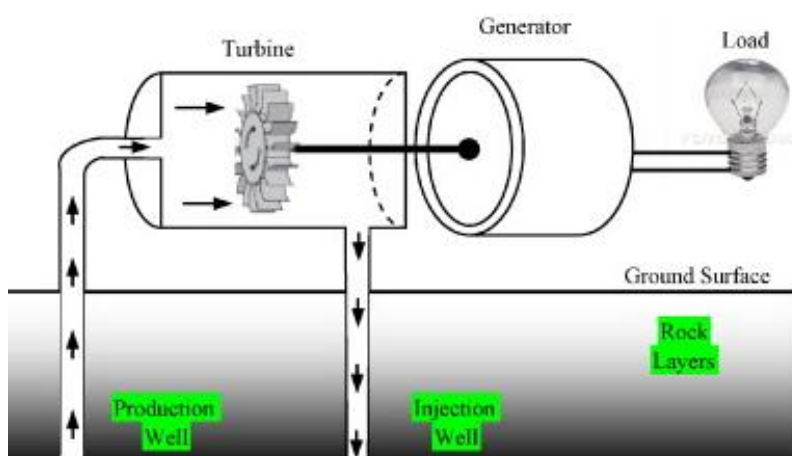
Εικόνα 10: Σχηματικό διάγραμμα ηλιακού συλλέκτη[12]

Η υπηρεσία διαχείρισης ενέργειας των ΗΠΑ έχει ταξινομήσει τους ηλιακούς συλλέκτες ως συλλέκτες χαμηλής, μεσαίας και υψηλής θερμοκρασίας. Οι συλλέκτες χαμηλής θερμοκρασίας είναι επίπεδες πλάκες που χρησιμοποιούνται κυρίως για τη θέρμανση πισινών. Οι μέσης θερμοκρασίας είναι και αυτοί συνήθως επίπεδες πλάκες που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ζεστού νερού για οικιακή και εμπορική χρήση. Τέλος, οι συλλέκτες υψηλής θερμοκρασίας συγκεντρώνουν το ηλιακό φως, χρησιμοποιώντας καθρέφτες ή φακούς και αξιοποιούνται κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτού του είδους η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να παρέχει πάνω από το 90% της ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου, ενώ αποτελεί και μια σημαντική λύση στο περιβαλλοντικό ζήτημα[12].

2.1.8. Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα που προέρχεται από τη γη και είναι μια από τις πιο αξιοποιημένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που υπάρχουν αυτή τη στιγμή στον πλανήτη. Έχει εγκατεστημένη ισχύ παραγωγής άνω των 6000MW σε 21 χώρες σε ολόκληρο τον κόσμο. Το μεγαλύτερο γεωθερμικό εργοστάσιο που είναι σε λειτουργία αυτή τη στιγμή, βρίσκεται βόρεια του Σαν Φρανσίσκο στις ΗΠΑ, στην περιοχή Γκείσερς. Οι πόροι της γεωθερμικής ενέργειας είναι το ζεστό νερό που βρίσκεται μερικά μίλια κάτω από την επιφάνεια της γης και σε ακόμα μεγαλύτερο βάθος το μάγμα που δημιουργείται από το λιώσιμο των βράχων, εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στον πυρήνα[16].

Ένα γεωθερμικό εργοστάσιο χρησιμοποιεί τη θερμότητα που συγκεντρώνει για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για την αξιοποίηση της ενέργειας, δημιουργούνται τρύπες μεγάλου βάθους στην επιφάνεια του εδάφους, όπως γίνεται και κατά τη γεώτρηση πετρελαίου, μέχρι να βρεθεί ένα κατάλληλο γεωθερμικό σημείο. Όταν βρεθεί η πηγή, ένας σωλήνας τοποθετείται βαθιά μέσα στη ανοιγμένη τρύπα, η οποία επιτρέπει στον ζεστό ατμό που υπάρχει να ανέβει προς την επιφάνεια. Ο συμπιεσμένος ατμός διοχετεύεται στη συνέχεια σε έναν στρόβιλο που αρχίζει να γυρίζει λόγω της υψηλής δύναμης του ατμού, όπως φαίνεται και στην εικόνα 11. Δεδομένου ότι ο στρόβιλος είναι συνδεδεμένος με γεννήτρια, αυτή αρχίζει επίσης να περιστρέφεται και οδηγεί με τη σειρά της στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το κρύο νερό που προκύπτει διοχετεύεται σε ένα νέο σωλήνα και αναθερμαίνεται από τις υψηλές θερμοκρασίες του υπεδάφους και εν συνεχεία στέλνεται πίσω στον πρώτο σωλήνα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται[12].



Εικόνα 11: Σταθμός ξηρού ατμού[12]

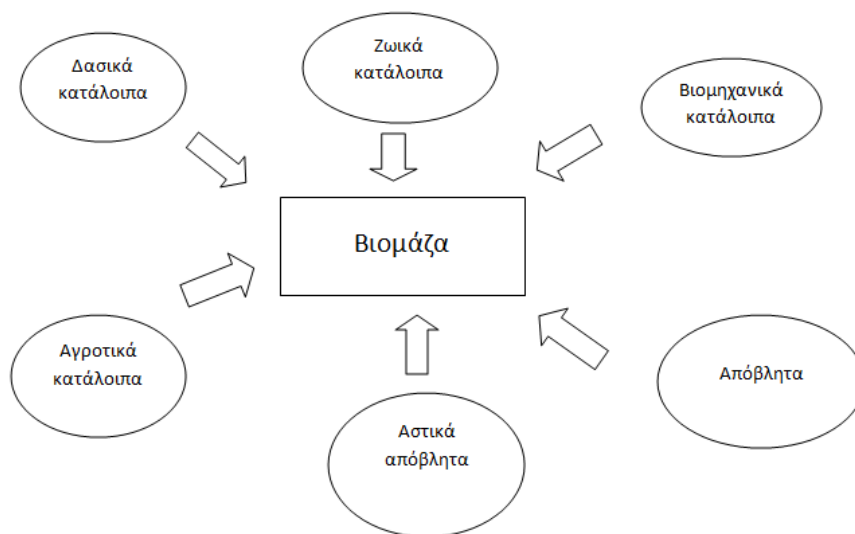
Το πρώτο πλεονέκτημα που προκύπτει από τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας για την τροφοδοσία ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής είναι ότι ένα γεωθερμικό σύστημα είναι εξαιρετικά φιλικό προς το περιβάλλον, εν αντίθεση με τους περισσότερους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και μερικές φορές μπορεί να εκλυθούν επιβλαβή αέρια από το υπέδαφος, είναι αρκετά εύκολο, ωστόσο, να περιοριστούν. Επιπλέον, το κόστος που χρειάζεται για την κατασκευή ενός γεωθερμικού εργοστασίου είναι, συνήθως, χαμηλότερο από το κόστος για την κατασκευή ενός σταθμού πετρελαίου, φυσικού αερίου, άνθρακα και εργοστασίων πυρηνικής ενέργειας. Ένας ακόμη παράγοντας είναι ότι λόγω της καθαρότητας της γεωθερμικής ενέργειας, όσοι τη χρησιμοποιούν θα λαμβάνουν φορολογικές περικοπές και μειωμένους περιβαλλοντικούς λογαριασμούς για τη συμμόρφωση με το εκάστοτε σύστημα εκπομπών υδρογονανθράκων της κάθε χώρας. Τέλος, σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί το ότι το κόστος λειτουργίας των μονάδων αυτών είναι πολύ χαμηλό, καθώς τα κόστη αγοράς, μεταφοράς και καθαρισμού είναι μικρά ή και ανύπαρκτα[17].

Παρόλα αυτά, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα που έρχονται μαζί με τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Το πιο σημαντικό είναι ότι πολλές χώρες δεν έχουν διαθέσιμα σημεία, ώστε να πραγματοποιηθούν οι γεωτρήσεις, άλλα και αν βρεθούν αυτά τα σημεία εγείρονται νέα ερωτήματα προς διερεύνηση. Τέτοια ερωτήματα μπορεί να είναι αν το έδαφος είναι αρκετά μαλακό για να γίνει η γεώτρηση, αν σε μεγάλο βάθος υπάρχει επαρκής θερμότητα για αξιοποίηση σε βάθος χρόνου, αν είναι το περιβάλλον κατάλληλο για τη δημιουργία εργοστασίου παραγωγής ενέργειας[18]. Εφόσον η απάντηση των παραπάνω ερωτημάτων είναι θετική, στη συνέχεια, διεξάγονται πιο εμπειριστατωμένες έρευνες. Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι ότι σε πολλές περιπτώσεις σε σημεία που έχουν δημιουργηθεί οι εγκαταστάσεις γεωθερμικής ενέργειας και είναι παραγωγικές για πολλά χρόνια, μπορεί ξαφνικά να σταματήσουν να παράγουν ατμό. Αυτό μπορεί να συμβεί και να έχει αρκετά μεγάλη διάρκεια έως και 10 χρόνια και ουσιαστικά αναδεικνύει τον στοχαστικό χαρακτήρα της συγκεκριμένης μεθόδου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας[12].

2.1.9. Βιομάζα

Η βιομάζα θεωρείται μια από τις πιο σημαντικές πηγές ανανεώσιμης ενέργειας που θα μας απασχολήσει στο κοντινό μέλλον. Είναι, ουσιαστικά, οργανικό υλικό κατασκευασμένο από φυτικές ουσίες και ζωικά απόβλητα και αποτελεί ανανεώσιμη μορφή ενέργειας, επειδή συνεχώς καλλιεργούνται δέντρα και φυτά και τα ζωικά απόβλητα πάντα θα υπάρχουν. Η σύγχρονη παραγωγή ενέργειας από βιομάζα ανακυκλώνει τα οργανικά απόβλητα από τη δασοκομία και τη γεωργία, όπως

καλαμπόκι, φλοιό ρυζιού, απορρίμματα ξύλου και συμπιεσμένο ζαχαροκάλαμο ή χρησιμοποιεί ειδικές ταχέως αναπτυσσόμενες καλλιέργειες ως καύσιμο. Σύμφωνα με την υπηρεσία διαχείρισης ενέργειας των ΗΠΑ, το 11% της παγκόσμιας ενέργειας, τόσο θερμικής όσο και ηλεκτρικής, παράγεται σήμερα από βιομάζα, με τα πιο φτωχά κράτη να παράγουν έως και το 90% της ενέργειας τους από αυτή. Στις Ηνωμένες Πολιτείες η βιομάζα ανέρχεται στο 45% της ανανεώσιμης ενέργειας που χρησιμοποιείται. Μερικά παραδείγματα των καυσίμων βιομάζας είναι το ξύλο και η κοπριά όπως απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα[19].



Εικόνα 12: Πηγές βιομάζας

Οι δυνατότητες της βιομάζας για την κάλυψη της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης έχει αναγνωριστεί και εξακολουθεί να αναγνωρίζεται ακόμη περισσότερο με τον καιρό. Η χρήση της γίνεται μέσα από την καύση της, όπου η χημική ενέργεια που απελευθερώνεται με τη μορφή θερμότητας, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού ο οποίος με τη σειρά του χρησιμοποιείται είτε για να εκκινήσει μια τουρμπίνα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είτε για να παρέχει θερμότητα σε βιομηχανίες και σπίτια[19]. Με βιομάζα μπορούν επίσης, να παραχθούν καύσιμα αυτοκινήτων που είναι περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον σε σχέση με το πετρέλαιο και τη βενζίνη. Η καύση βιομάζας σε μικρότερη κλίμακα αξιοποιείται πάντα σε εφαρμογές παροχής θερμότητας, ενώ σε μεγαλύτερη κλίμακα είναι απαραίτητες μονάδες καύσεις με κύκλο ατμού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας[20].

Πλεονεκτήματα

- Είναι μια, θεωρητικά, ανεξάντλητη πηγή καυσίμου
- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι ελάχιστες
- Οι αλκοόλες και τα άλλα καύσιμα που παράγονται από βιομάζα είναι αποτελεσματικά, βιώσιμα και σχετικά καθαρά.
- Έχει υψηλή διαθεσιμότητα σε παγκόσμιο επίπεδο.
- Η χρήση βιοκαυσίμων στα αυτοκίνητα έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη μόλυνση της ατμόσφαιρας και μικρή συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίηση της συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα, στη βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου και στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού[21].

Μειονεκτήματα

- Μπορεί να συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και στην ρύπανση από σωματίδια αν καεί άμεσα.
- Η αξιοποίηση της σε μικρή κλίμακα ενέχει τον κίνδυνο σημαντικών ενεργειακών απωλειών.
- Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού σε σχέση με το κόστος των συμβατικών καυσίμων.
- Η εποχιακή παραγωγή και η μεγάλη διασπορά της βιομάζας δυσκολεύουν την αδιάλειπτη παροχή με πρώτες ύλες των μονάδων αξιοποίησης της βιομάζας[21].

2.2. Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας

Η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί, ουσιαστικά, τη μετατροπή κάποιας μορφής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ωστόσο, επειδή η παραγωγή, μέσω ανανεώσιμων πηγών, όπως ηλιακή, αιολική και υδροηλεκτρική, έχει στοχαστικό χαρακτήρα και, κατά συνέπεια, η τροφοδοσία θα έχει αρκετές διακυμάνσεις, τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας γι' αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να έχουν κάποια δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας, ώστε να ξεπερνούν αυτήν την αστάθεια της ενεργειακής τροφοδοσίας. Επίσης, η αποθήκευση ενέργειας παρέχει ένα μέσο για την αξιοποίηση της πλεονάζουσας παραγωγής και την εξαγωγή της στις ενεργειακές αγορές, αυξάνοντας έτσι τα έσοδα των μονάδων. Η αποθήκευση

ενέργειας πραγματοποιείται, μέσω μιας διαδικασίας μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε μια άλλη μορφή ενέργειας. Οι επιλογές που υπάρχουν για μεγάλης κλίμακας αποθηκευτικά μέσα περιλαμβάνουν αποθήκευση σε μπαταρίες, σφονδύλους, υπεραγώγιμη αποθήκευση μαγνητικής ενέργειας, αποθήκευση ενέργειας συμπιεσμένου αέρα κ.ά.[12].

Οι μονάδες αποθήκευσης ενέργειας αποτελούν ένα πολύ σημαντικό στοιχείο των εικονικών σταθμών, γιατί δίνουν την δυνατότητα για μεταφορά ενέργειας σε διαφορετικές χρονικές στιγμές από την παραγωγή. Ο σημαντικότερος σκοπός των μονάδων αυτών είναι η αποθήκευση ενέργειας για την μελλοντική αξιοποίηση της. Επίσης λόγω της αύξησης της χρήσης στοχαστικών ανανεώσιμων παραγώγων ενέργειας, οι αποθηκευτικές μονάδες λαμβάνονται σοβαρά υπόψη στην εξισορρόπηση της παραγωγής και της ζήτησης. Έτσι θα μπορούσαμε να τις χαρακτηρίσουμε και ως ενεργειακούς ρυθμιστές στις περιπτώσεις που έχουμε στοχαστική παραγωγή, όπως ανεμογεννήτριες ηλιακούς συλλέκτες κλπ. Επιπρόσθετα, σαν δομές μπορούν να είναι είτε αποκεντρωμένες είτε να έχουν μια κεντρική αρχή και να παρέχουν επαρκή ενεργειακή υποστήριξη στις αντίστοιχες κοινότητες, ενώ ταυτόχρονα να συμμετέχουν στην προσπάθεια αύξησης της ασφάλειας της ευελιξίας και της βιωσιμότητας του ολόκληρου του συστήματος παροχής ενέργειας. Χαρακτηριστικές είναι οι περιπτώσεις που έχουν προκληθεί διακοπές λειτουργίας στο δίκτυο ηλεκτροδότησης λόγω υψηλής ζήτησης, ενώ διάφορες διανεμημένες υποδομές αποθήκευσης λειτουργούν επικουρικά παρέχοντας ενεργειακή υποστήριξη όπου χρειάζεται. Σαν αποτέλεσμα, ολόκληρο το σύστημα τροφοδοτείται με υψηλά επίπεδα ενέργειας από λεπτά μέχρι αρκετές ώρες. Έτσι, καταλαβαίνουμε ότι οι αποθηκευτικές μονάδες ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε έναν σύγχρονο εικονικό σταθμό, συνθέτονται από διάφορες τεχνολογίες και στοιχεία[2].

Η πιο σημαντική, ίσως, αποθηκευτική μονάδα που μπορεί να συνδυαστεί με ένα Vpp είναι η αποθήκευση ενέργειας μέσω υδραυλικής αντλίας. Αυτές οι εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν αντλίες κι αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κατάλληλες δεξαμενές σε μορφή νερού. Σε περιόδους υψηλών ενεργειακών απαιτήσεων το νερό απελευθερώνεται μέσω στροβίλων παράγοντας έτσι ηλεκτρική ενέργεια. Η λειτουργία του θυμίζει αρκετά αυτή των συμβατικών υδροηλεκτρικών σταθμών με τη διαφορά ότι το ίδιο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά και ξανά[5].

Επίσης, έχουμε τις μονάδες συμπιεσμένου αέρα όπου, ουσιαστικά, η ενέργεια που παράγεται από διάφορους πόρους όπως ανεμογεννήτριες μετατρέπεται σε συμπιεσμένο αέρα υψηλής πίεσης και αποθηκεύεται για μεταγενέστερη χρήση. Όταν υπάρχει απαίτηση ενέργειας ο αέρας αυτός απελευθερώνεται σε στροβιλογεννήτριες ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί ξανά ως ηλεκτρική ενέργεια.

Οι μονάδες αποθήκευσης σφονδύλου χρησιμοποιούν έναν σφόνδυλο, ο οποίος μπορεί να παρομοιαστεί και σαν μια μηχανική μπαταρία, αποθηκεύοντας ηλεκτρική ενέργεια σε μορφή κινητικής ενέργειας μέσα από ένα κινητό μέρος που περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα σε υψηλές ταχύτητες.

Υπάρχουν ακόμα οι μονάδες αποθήκευσης υπεραγωγίσιμης μαγνητικής ενέργειας που συσσωρεύουν ενέργεια στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από συνεχές ρεύμα που ρέει μέσα από μια υπεραγωγίσιμη σπείρα, έχοντας, σχεδόν, μηδενικές απώλειες.

Οι μονάδες αποθήκευσης με μπαταρία είναι τεχνολογίες που επιτρέπουν την αποθήκευση ανανεώσιμης ενέργειας που προέρχεται από πηγές όπως ανεμογεννήτριες και ηλιακά πάνελ και την απελευθέρωση της σε περιόδους υψηλής ζήτησης[5].

Τέλος, υπάρχουν τα συστήματα αποθήκευσης με πυκνωτές που μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά με τις μπαταρίες. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούν ειδικούς πυκνωτές, οι όποιοι μπορούν να αποθηκεύσουν περισσότερη ενέργεια από τους συμβατικούς πυκνωτές και να την παρέχουν σε υψηλότερη συχνότητα από τις μπαταρίες[5].

Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι, πέρα από τις παραπάνω τεχνολογίες και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, και τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να θεωρηθούν ως μια μέθοδος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα Vpp. Ειδικότερα, ένα Vpp που αποτελείται από μονάδες, για παράδειγμα αιολικής ενέργειας, μπορεί να αξιοποιεί ηλεκτρικά οχήματα ως μέσω αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας. Επίσης, η κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί μια ταχέως αναπτυσσόμενη βιομηχανία πράγμα που σημαίνει ότι δεν χρειάζεται να πραγματοποιηθούν μεγάλες και οικονομικά επιβαρυντικές επενδύσεις για περισσότερες αποθηκευτικές μονάδες[5].

Παρακάτω θα κάνουμε μια πιο λεπτομερή ανάλυση ορισμένων τεχνολογιών που αναφέραμε.

2.2.1. Σύστημα αποθήκευσης με μπαταρίες

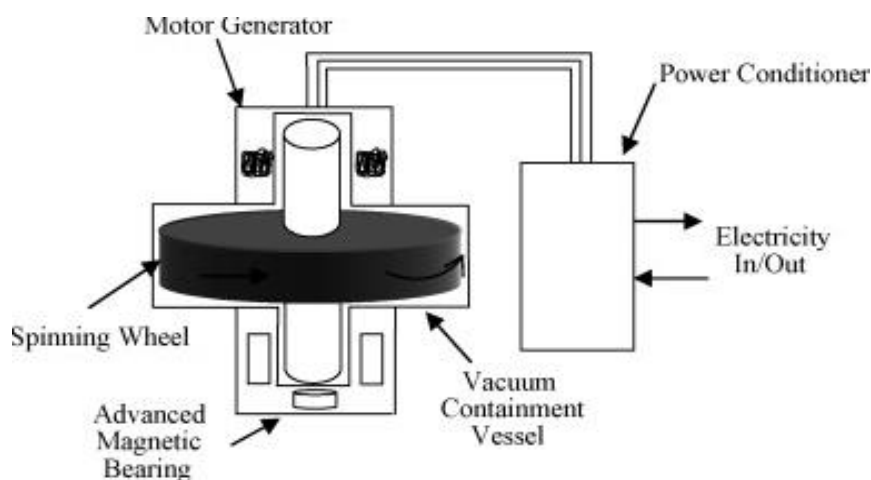
Η κύρια λειτουργία των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες είναι η παροχή εφεδρείας σε περίπτωση που η μονάδα ισχύος ή ο εξοπλισμός της γραμμής μεταφοράς αποτύχει. Για τα συστήματα αυτά, οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με τη μορφή χημικής. Επίσης, για να είναι σε θέση να ικανοποιήσει τις αποθηκευτικές απαιτήσεις, η μπαταρία θα πρέπει να είναι υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, υψηλή ισχύος,

υψηλής δυναμότητας φόρτισης, μεγάλης διάρκειας ζωής και χαμηλού κόστους. Οι πλειοψηφία των συστημάτων με μπαταρίες που χρησιμοποιούνται αυτή τη στιγμή έχουν παρόμοια τεχνολογία με αυτή των μπαταριών των αυτοκινήτων[12].

Άλλες εφαρμογές όπου εξετάζεται η συγκεκριμένη τεχνολογία στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνουν εξισορρόπηση φορτίου, έλεγχο της τάση και της συχνότητας. Οι μπαταρίες παρέχουν γρήγορο χρόνο απόκρισης, για παράδειγμα σε αλλαγές φόρτωσης περίπου 20ms (milliseconds). Είναι, επίσης, αρκετά αθόρυβες και καθόλου ρυπογόνες, καθιστώντας τις ιδανικές για εγκατάσταση σε προαστιακές περιοχές, δηλαδή κοντά σε κέντρα φορτίου. Οι ακόλουθες τεχνολογίες μπαταριών έχουν χρησιμοποιηθεί ή έχουν προταθεί για μελλοντική χρήση: μπαταρίες μολύβδου-οξέος, μπαταρίες ιόντων λιθίου, πολυμερών λιθίου και νικελίου καδμίου[22].

2.2.2. Σφόνδυλοι

Ο σφόνδυλος είναι ένα ηλεκτρομηχανικό σύστημα, στο οποίο η ενέργεια αποθηκεύεται με τη μορφή κινητικής ενέργειας από μια περιστρεφόμενη μάζα, παρέχοντας ενεργειακές αποδόσεις ως και περίπου 80%. Χρησιμοποιείται για να εξομαλύνει τις ενεργειακές διακυμάνσεις στους κινητήρες καύσης και να κάνει τη ροή ενέργειας πιο ομοιόμορφη. Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 13), απεικονίζεται, σχηματικά, πως γίνεται η αποθήκευση ενέργειας με σφόνδυλο. Ο σφόνδυλος αποδίδει ενέργεια περιστροφής, δηλαδή κινητική για να τροφοδοτήσει μια ηλεκτρική γεννήτρια μέχρι να σταματήσει η περιστροφή του λόγω τριβής. Η ενέργεια που αποθηκεύεται ισούται με το άθροισμα της κινητικής των επί μέρους στοιχείων που συνθέτουν τον σφόνδυλο[12].



Εικόνα 13: Σχηματικό διάγραμμα λειτουργία σφονδύλο[12]

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα (Εικόνα 13), ο ρότορας αποτελείται από ένα κινητήρα-γεννήτρια που εναλλάσσει την ενέργεια μεταξύ μηχανικής και ηλεκτρικής. Επίσης, η περιστροφή του γίνεται στα ρουλεμάν για να επιτευχθεί μείωση της τριβής και αύξηση της αποδοτικότητας. Τα συστήματα αυτά βασίζονται κυρίως στη μάζα του ρότορα για την αποθήκευση ενέργειας, ενώ οι πιο σύνθετοι σφόνδυλοι βασίζονται κυρίως στην ταχύτητα τους. Κατά τη φόρτιση, το ηλεκτρικό ρεύμα κατευθύνεται μέσω κινητήρα αυξάνοντας την ταχύτητα του σφονδύλου, ενώ η γεννήτρια παράγει ρεύμα έξω από το σύστημα επιβραδύνοντας τον τροχό κατά τη διάρκεια της εκκένωσης. Για να επιτευχθεί βέλτιστη απόδοση και αποτελεσματική αποθήκευση ο σφόνδυλος θα πρέπει να περιστρέφεται με τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα και να λειτουργεί για μεγάλο χρονικό διάστημα[23].

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS) για την παροχή ενέργειας σε περιπτώσεις διακοπών ή πτώσης τάσης, καθώς και στη ρύθμιση της συχνότητας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Επιπλέον, όταν ενσωματώνονται σε μικρά συστήματα του δικτύου που αποτελούνται από ανεμογεννήτριες ή από άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η τεχνολογία αυτή μπορεί να παρέχει μια αποτελεσματική λύση προσωρινής αποθήκευσης και εξισορρόπησης των διακυμάνσεων και του φορτίου[12],[23].

Πλεονεκτήματα

- Οι σφόνδυλοι μπορούν να αποθηκεύσουν και να απελευθερώσουν μεγάλα ποσά ισχύος πολύ γρήγορα και αποτελεσματικά σε σύγκριση με τις συμβατικές μπαταρίες.

- Η διάρκεια ζωής αυτής της τεχνολογίας ανέρχεται από 20 έως και 30 χρόνια και η συντήρηση τους μπορεί να γίνεται σπάνια.
- Μπορούν να λειτουργήσουν κάτω από υψηλές θερμοκρασίες χωρίς να επηρεάζονται και είναι ανθεκτικοί σε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Επιβαρύνουν το περιβάλλον σε μικρότερο βαθμό.
- Με μια απλή μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής είναι δυνατόν να γνωρίζουμε την ακριβή ποσότητα ενέργειας που μπορούμε να αποθηκεύσουμε[23].

Προκλήσεις

- Μπορεί να υφίστανται περιορισμούς κατά τον σχεδιασμό του εξαιτίας της χαμηλής αντοχής του υλικού που χρησιμοποιείται στον ρότορα.
- Η χρήση του εγκυμονεί τον κίνδυνο θρυμματισμού του κύριου τροχού λόγω υπερφόρτωσης[23].

2.2.3. Υπεραγωγίμη αποθήκευση μηχανικής ενέργειας

Ένας ακόμη τύπος αποθήκευσης που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η υπεραγωγίμη αποθήκευση μαγνητικής ενέργειας. Σε αυτή τη μέθοδο διαθέτουμε μια ελεγχόμενη συσκευή που μπορεί είτε να απορροφήσει έργο είτε να τροφοδοτήσει με ενεργό ισχύ τα τελικά φορτία. Ο συγκεκριμένος τύπος αποθήκευσης ενέργειας περιλαμβάνει τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και την τροφοδοσία του σε ένα πηνίο με υπεραγωγίμο σύρμα σχήματος δακτυλίου, το οποίο εγκαθίστανται σε μια τάφρο και διατηρείται σε αγωγίμη θερμοκρασία από ειδικό σύστημα ψύξης. Μέσω αυτής της διαδικασίας, η μονάδα μπορεί να αποθηκεύει και να προσφέρει ενέργεια με απόδοση μεγαλύτερη του 90%[24].

Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για τους οποίους η συγκεκριμένη τεχνολογία προτιμάται σε σχέση με άλλες μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της είναι ότι η χρονική καθυστέρηση κατά τη φόρτιση και την αποφόρτιση είναι αρκετά μικρή. Συνεπώς, η ισχύς είναι διαθέσιμη σχεδόν την ίδια στιγμή και μεγάλες ποσότητες ενέργειας μπορούν να παρασχεθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα. Άλλες μέθοδοι αποθήκευσης ενέργειας, όπως η άντληση υδροηλεκτρικής ενέργειας ή ο πεπιεσμένος αέρας, έχουν σημαντική χρονική καθυστέρηση που σχετίζεται με την μετατροπή της αποθηκευμένη ενέργειας σε ηλεκτρική. Έτσι καταλαβαίνουμε ότι η μέθοδος της υπεραγωγίμης αποθήκευσης αποτελεί μια πιο βιώσιμη επιλογή για την περίπτωση που θέλουμε να ικανοποιήσουμε άμεσα τις ενεργειακές ανάγκες των πελατών. Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι ότι οι απώλειες ισχύος είναι πολύ μικρότερες από άλλες

μεθόδους αποθήκευσης και έχει μεγαλύτερη αξιοπιστία δεδομένου ότι τα κύρια μέρη που διαθέτει είναι ακίνητα[24].

Παρόλα αυτά, βλέπουμε ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι πιο ακριβή και πολλές φορές μπορεί να αντιμετωπίζει μηχανικά προβλήματα που σχετίζονται με τους υπεραγωγούς. Πέρα από αυτό όμως υπάρχουν ακόμη ζητήματα που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης, όπως το κατά πόσο η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι επιβλαβής για τον άνθρωπο εξαιτίας του ισχυρού μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται[24].

2.2.4. Αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα

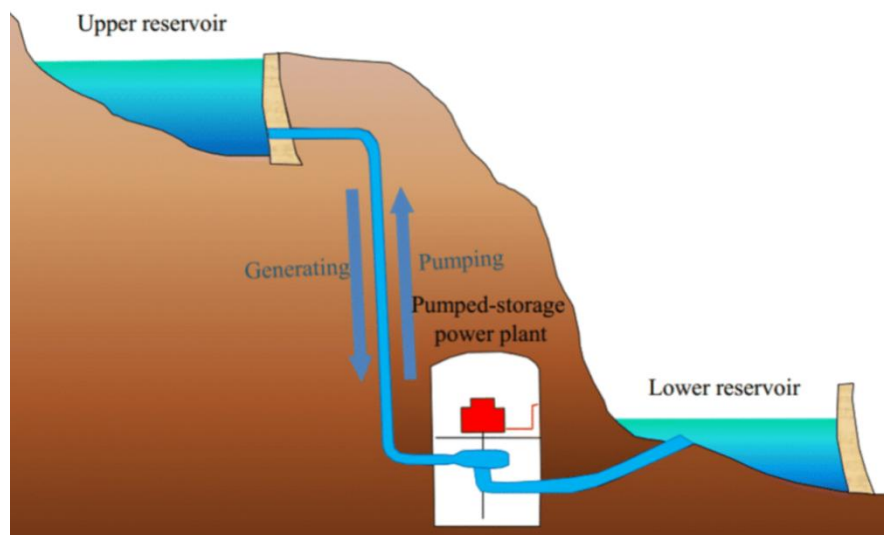
Κατά τη διάρκεια των περιόδων όπου η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι σε χαμηλά επίπεδα, τα εργοστάσια πεπιεσμένου αέρα συμπιέζουν τον αέρα σε μια υπόγεια δεξαμενή. Στις περιόδους αιχμής, όπου η ζήτηση είναι υψηλή, ο αέρας συγκεντρώνεται, θερμαίνεται με αέριο ή πετρέλαιο και εν συνεχεία εκκινεί έναν στρόβιλο που με τη σειρά του οδηγεί μια γεννήτρια. Αυτές οι μονάδες καίνε, περίπου, το ένα τρίτο του καυσίμου μιας συμβατικής τουρμπίνας καύσης και, κατά συνέπεια, παράγουν περίπου το ένα τρίτο των ρύπων της. Δεδομένου ότι στη συγκεκριμένη διαδικασία χρησιμοποιείται ένας ηλεκτρομηχανικός μετατροπέας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η τεχνολογία αυτή είναι εμπορικά διαθέσιμη. Μια σημαντική εφαρμογή του πεπιεσμένου αέρα είναι σε εγκαταστάσεις με ανεμογεννήτριες, λόγω της στοχαστικότητας της αιολικής ενέργειας[25].

Οι κατηγορίες στις οποίες μπορεί να διακριθεί ένα σύστημα πεπιεσμένου αέρα είναι η διαβατική και η αδιαβατική. Σε ένα διαβατικό σύστημα, ο αέρας ψύχεται πριν εισέλθει στη δεξαμενή και αναθερμαίνεται πριν διοχετευθεί στον στρόβιλο. Η πρώτη από αυτές τις εγκαταστάσεις κατασκευαστικές το 1978 στη Γερμανία με ισχύ 290MW. Στην αδιαβατική η θερμική ενέργεια του αέρα αποθηκεύεται χωριστά και ανακτάται πριν ο πεπιεσμένος αέρας διοχετευτεί στη τουρμπίνα του αδιαβατικού συστήματος. Οι εν λόγω εγκαταστάσεις βρίσκονται επί του παρόντος υπό ανάπτυξη και υπόσχονται υψηλότερες αποδόσεις και μηδενικές άμεσες εκπομπές[12],[26],[27].

2.2.5. Αποθήκευση με αντλία υδροηλεκτρικής ενέργειας

Όπως και τα συστήματα πεπιεσμένου αέρα, οι υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια σε περιόδους χαμηλής ζήτησης για την άντληση νερού από μια δεξαμενή σε μια άλλη που βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο. Όταν απελευθερωθεί το νερό που βρίσκεται στην άνω δεξαμενή διοχετεύεται σε

υδροστρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την άντληση του νερού μπορεί να αποθηκευτεί επ' άοριστον αν η ζήτηση είναι χαμηλή με τη μορφή βαρυτικής ενέργειας. Έτσι, οι δυο δεξαμενές σε συνδυασμό μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες ποσότητες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί τη καλύτερη και αποτελεσματικότερη αποθηκευτική μέθοδος που είναι αυτή τη στιγμή διαθέσιμη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξομάλυνση της ζήτησης αλλά και για παραγωγή ενέργειας και κάλυψη βασικού φορτίου από τις υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την λειτουργία των μεγάλων σταθμών παραγωγής. Στα βασικά της πλεονεκτήματα περιλαμβάνονται το χαμηλό κόστος λειτουργίας, η ρύθμιση συχνότητας του δικτύου και οι υψηλές δυνατότητες αποθήκευσης, καθιστώντας την μια σημαντική λύση για της περιόδους αιχμής[12].



Εικόνα 14: Αρχή λειτουργίας του υδροηλεκτρικού σταθμού με αντλία[28]

2.3. Τεχνολογίες πληροφοριών και Επικοινωνίας (ICTs)

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας των σύγχρονων Vrrps είναι η συγκέντρωση πληροφοριών, καθώς και η επικοινωνία μεταξύ των στοιχείων τους. Συγκεκριμένα, ακόμα και τα ίδια τα Vrrps αποτελούν την πιο τρανταχτή απόδειξη της ταχείας διεύθυνσης των ενσωματωμένων συστημάτων επικοινωνίας και πληροφοριών στον ενεργειακό τομέα, αφού βασίζονται κυρίως σε λογισμικό που στοχεύει στην συγκέντρωση και επικοινωνία των επί μέρους στοιχείων τους. Η διαδικασίες παραγωγής, διανομής μεταφοράς, κατανάλωσης και αποθήκευσης της ηλεκτρικής

ενέργειας καθώς και η εμπορική της χρήση ελέγχονται σε μεγάλο βαθμό από αυτές τις τεχνολογίες και τα συστήματα, ούτως ώστε να υπάρχει συνεχής ενημέρωση και πληροφόρηση για την κατάσταση της λειτουργίας τους. Επίσης, η λειτουργία των DERs που αποτελούν το κυριότερο στοιχείο της διαδικασίας παραγωγής, καθώς και τα συστήματα αποθήκευσης που αναφέρθηκαν παραπάνω γίνεται με αμφίδρομη επικοινωνία μέσα από ένα σύστημα ενεργειακού ελέγχου .

Το σύστημα ενεργειακού ελέγχου είναι υπεύθυνο για τη λήψη πληροφοριών για την κατάσταση του κάθε στοιχείου του Vpp ξεχωριστά, συντονίζοντας έτσι την παροχή και το εμπόριο της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται. Είναι, επίσης, υπεύθυνο για την συντήρηση της εκάστοτε δομής και των μηχανημάτων και την πρόβλεψη του ενεργειακού αποτελέσματος ανάλογα με την σχετική είσοδο. Επιπλέον, οι πληροφορίες που συλλέγονται αποθηκεύονται σε πλατφόρμες υπολογιστικού νέφους (cloud computing), ώστε να μπορούν οι σχετικοί φορείς να έχουν εύκολη πρόσβαση και ελέγχουν τα αποτελέσματα. Το γεγονός αυτό ωστόσο επιφέρει και σημαντικά μειονεκτήματα στην λειτουργία των Vpps, τα οποία έχουν να κάνουν με τις καθυστερήσεις που έχουν πολλές φορές τα ασύρματα δίκτυα είτε λόγω υψηλής χρήσης του διαδικτύου, είτε λόγω εργασιών συντήρησης από τους παρόχους[5],[29].

Ειδικότερα, για Vpps όπου υπάρχει και συμμετοχή των τελικών χρηστών, στους οποίους ανήκουν διαφορές μονάδες DERs, μπορούν να έχουν ενσωματωμένες στις ιδιοκτησίες τους διάφορες τέτοιες τεχνολογίες για τον βέλτιστο έλεγχο των μονάδων τους. Σε αυτούς τους χρηστές έχει δοθεί η ονομασία prosumers, γιατί βρίσκονται και στην πλευρά της παραγωγής-produce αλλά και της κατανάλωσης-consume. Τεχνολογίες σαν αυτές που βρίσκονται εγκατεστημένες στις ιδιοκτησίες τους είναι οι έξυπνοι μετρητές που παρέχουν τη δυνατότητα μετρήσεων της παραγωγής ηλεκτρισμού, φυσικού αερίου, θέρμανσης και νερού αντίστοιχα αλλά και ανάγνωσης του αποτελέσματος από τους χρηστές. Μια τέτοιου είδους εφαρμογή παρέχει σημαντικές πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο από την πλευρά των χρηστών δηλαδή της ζήτησης. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα διαχείρισης των δεδομένων που εξάγονται, καθώς και την δημιουργία προβλέψεων πάνω σε αυτά για την μελλοντική παραγωγή και την εν συνεχεία παράδοση τους σε άλλους φορείς και υπηρεσίες. Η παρουσίαση των δεδομένων γίνεται μέσα από υπολογιστές που βρίσκονται στο οικιακό δίκτυο των χρηστών (Home Area Network), το οποίο μπορεί να διαμορφωθεί με διάφορες τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών όπως Power Line Carrier, ασύρματες τεχνολογίες όπως GSM/GPRS ή μέσα από υπάρχουσες συνδέσεις όπως ADSL. Οι καταναλωτές έτσι, μπορούν να βλέπουν, ανά πάσα στιγμή, πόση ενέργεια παράγουν και καταναλώνουν και ποιο είναι το κόστος που έχουν, συγκριτικά, με το κέρδος τους και να λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα, ανάλογα με τα αποτελέσματα[2].



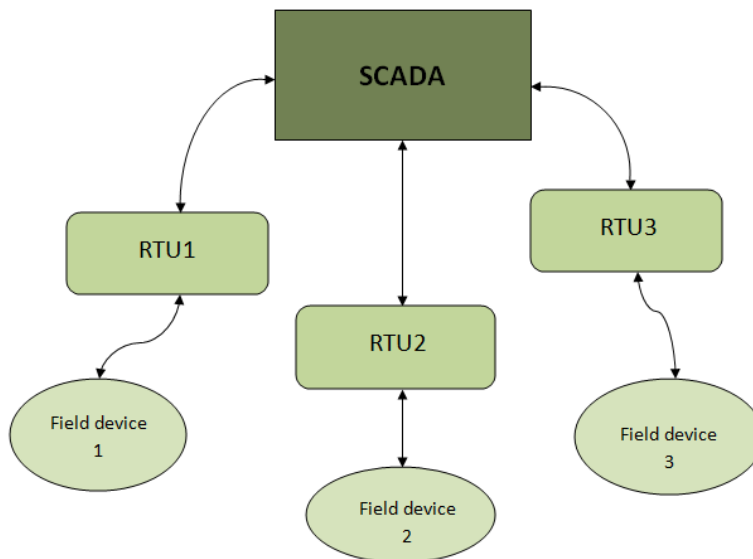
Εικόνα 15: Έξυπνη μέτρηση που πραγματοποιείται σε μια οικία[2]

Μια ακόμη τεχνολογία που εντάσσεται στην κατηγορία του ελέγχου και της απόκτησης δεδομένων είναι τα συστήματα SCADA (Supervisory control and Data Acquisition). Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από ελεγκτές που ελέγχουν την λειτουργία των επί μέρους στοιχείων των μονάδων και αποστέλλουν τις πληροφορίες που συλλέγουν σε έναν κεντρικό σταθμό. Στη συνέχεια τα δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί στον κεντρικό σταθμό στέλνονται μέσω τοπικών δικτύων ή τηλεπικοινωνιακών συστημάτων στους κατάλληλους αρμοδίους φορείς[5].

Ειδικότερα, ένα σύστημα SCADA αποτελείται από υπολογιστές ελέγχου, οι οποίοι αποτελούν και τον πυρήνα του συστήματος, αφού είναι υπεύθυνοι για την συγκέντρωση και την επεξεργασία των δεδομένων μέσα από τη διαχείριση των σχετικών συσκευών. Επίσης, διαθέτει απομακρυσμένους τερματικούς που είναι συνδεδεμένοι με τον κεντρικό υπολογιστή αποστέλλοντας του δεδομένα που συλλέγονται από διάφορες συσκευές μέσω απομακρυσμένου ελέγχου. Επιπλέον, έχουμε τους προγραμματισμένους ελεγκτές, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με αισθητήρες και επικοινωνούν με τον κεντρικό υπολογιστή μέσα από ένα σύστημα επικοινωνίας. Τέλος, υπάρχει και τα συστήματα διεπαφής ανθρώπου-μηχανής που με τη σειρά τους παρέχουν σχηματικές αναπαραστάσεις και γραφήματα των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί για την βέλτιστη κατανόηση τους από το εργαζόμενο προσωπικό[5].

Τα συστήματα SCADA έχουν την δυνατότητα να ρυθμίζουν όλα τα είδη βιομηχανικών διεργασιών αυτόματα. Για παράδειγμα, αν συσσωρευτεί υπερβολική πίεση σε έναν αγωγό αερίου, ένα σύστημα SCADA μπορεί να ανοίξει αυτόματα μια βαλβίδα

αποσυμπίεσης. Η παραγωγή ηλεκτρισμού μπορεί να προσαρμοστεί, ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του ηλεκτρικού δικτύου κάθε στιγμή. Τα συστήματα αυτά, γενικά, έχουν δυνατότητες κάλυψης μεγάλων γεωγραφικών περιοχών, με τον ελεγκτή να στεγάζεται σε κατάλληλο τερματικό και να ελέγχεται από έναν χειριστή. Συνεπώς οι αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ του κεντρικού υπολογιστή SCADA και των συσκευών είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική λειτουργία των εν λόγω συστημάτων. Τα SCADA ακολουθούν τις τυπικές τεχνολογίες δικτύωσης, με πρωτόκολλα Ethernet και TCP/IP που αντικαθιστούν τα παλιότερα πρότυπα. Με την εμφάνιση του συγκεκριμένου λογισμικού ως μια υπηρεσία στη βιομηχανία, ορισμένοι προμηθευτές έχουν αρχίσει να προσφέρουν συστήματα SCADA για ειδικές εφαρμογές που φιλοξενούνται σε απομακρυσμένες πλατφόρμες μέσω διαδικτύου. Έτσι καταργείται η ανάγκη εγκατάστασης και προμήθειας συστημάτων στις εγκαταστάσεις του τελικού χρήστη και αξιοποιούνται τα χαρακτηριστικά ασφαλείας που είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο. Ωστόσο υπάρχουν ορισμένες ανησυχίες, σχετικά με αυτή την προσέγγιση και έχουν να κάνουν με την ασφάλεια, την αξιοπιστία σύνδεσης στο διαδίκτυο και τις καθυστερήσεις. Παρακάτω (Εικόνα 16), μπορούμε να δούμε μια σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας των συστημάτων SCADA[30].



Εικόνα 16: Αναπαράσταση συστήματος SCADA[30]

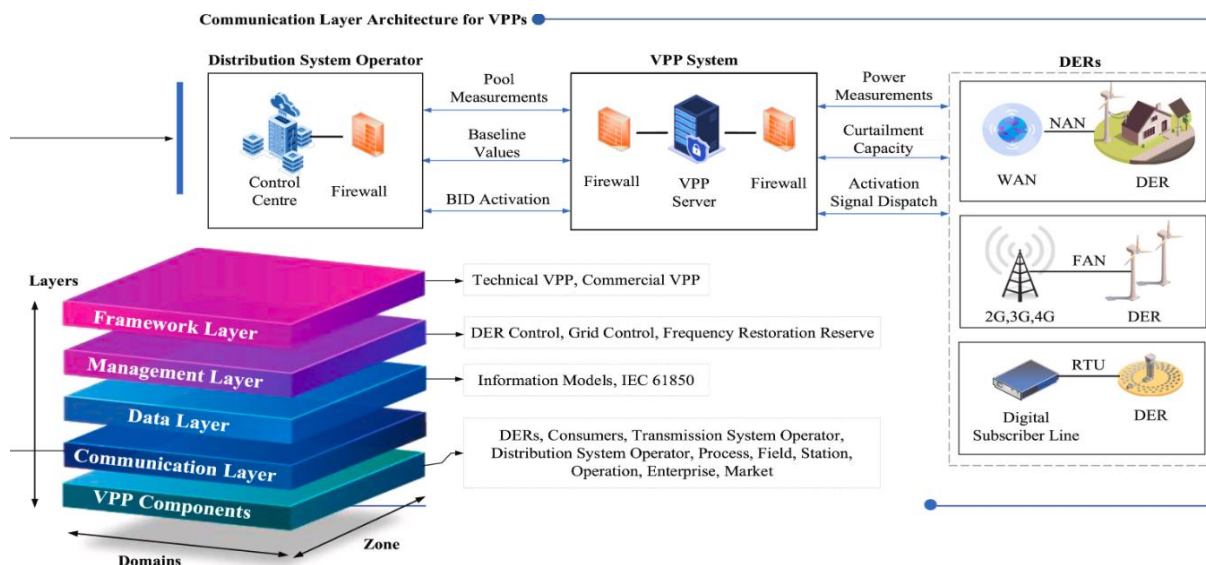
2.4. Τεχνολογίες του μέλλοντος

Πέρα από τις τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν παραπάνω, που αναμφισβήτητα συμβάλουν στην επάρκεια και λειτουργικότητα των σύγχρονων Vnrs αξίζει να αναφερθούμε και σε μερικά ακόμα τεχνολογικά projects που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στο μέλλον, ώστε να βελτιώσουν ακόμη περισσότερο τον τρόπο λειτουργίας των Vnrs της επόμενης γενιάς. Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιείται σημαντική έρευνα στην προσπάθεια δημιουργίας προηγμένων Vnrs, κάτι που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες είναι καθ' οδόν για την βελτίωση τους. Μερικές από αυτές τις τεχνολογίες επόμενης γενιάς θα μπορούσαν να είναι οι ακόλουθες.

Μια νέα σχετικά τεχνολογία, η οποία θα μπορούσε να ενσωματωθεί σε ένα Vnr είναι οι έξυπνοι μετατροπείς με δυνατότητες IOT (Internet of Things). Πρόκειται για μια τεχνολογία που χαρακτηρίζεται από ευελιξία, προσαρμοστικότητα και τον αποκεντρωτικό έλεγχο. Συγκεκριμένα, οι μετατροπείς είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο της ροής ισχύος και της λειτουργίας των μονάδων με αυτοδιαχειριζόμενο τρόπο. Το IOT με τη σειρά του επιτρέπει την ασύρματη επικοινωνία και την μεταφορά δεδομένων μεταξύ των DERs, των φορτίων και των υπόλοιπων μονάδων που συνθέτουν το Vnr και το κάνουν πιο αυτοματοποιημένο, χωρίς να είναι απαραίτητη η ανθρώπινη παρέμβαση. Εκτός από τους έξυπνους μετατροπείς, υπάρχουν κι οι έξυπνοι μετρητές οι οποίοι παρέχουν ακριβείς μετρήσεις και επιτρέπουν την αμφίδρομη ροή δεδομένων μεταξύ των DERs και των φορτίων[5].

Επίσης, μία από τις βασικές πτυχές του σχεδιασμού των Vnr είναι τα συστήματα επικοινωνίας, όπου η μεταφορά μηνυμάτων σε πραγματικό χρόνο γίνεται κυρίως με αμφίδρομο τρόπο, προς πολλαπλά DERs και λιανοπωλητές ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, καταλαβαίνουμε το πόσο σημαντικός παράγοντας είναι η ύπαρξη ενός αξιόπιστου συστήματος επικοινωνίας όσον αφορά την οικονομική βιωσιμότητα ενός Vnr.

Προκειμένου, λοιπόν, να διευκολυνθεί η αποτελεσματική και ασφαλής λειτουργία των Vnrs, απαιτείται η παροχή επαρκούς ποιότητας υπηρεσιών επικοινωνίας, ούτως ώστε να περιορίζεται η πιθανότητα εσφαλμένης επικοινωνίας και ακολούθως ο περιορισμός των επιπτώσεων που μπορεί να επιφέρει.



Εικόνα 17: Αρχιτεκτονική συστήματος επικοινωνίας με ανταλλαγή μηνυμάτων[5]

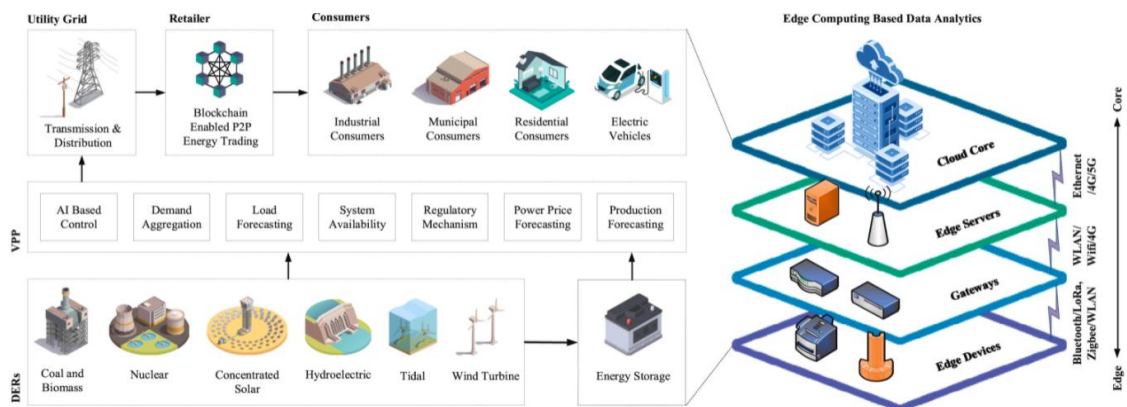
2.4.1. Τεχνολογία Blockchain

Τα δίκτυα υπολογιστών όπως είναι γνωστό είναι απαραίτητα για την ομαλή λειτουργία των Vpps, αφού μέσω αυτών υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των σχετικών πόρων. Ουσιαστικά, επιτρέπουν την ανταλλαγή δεδομένων σχετικά με την παραγωγή, την παροχή και τη διανομή ενέργειας εντός μιας οργανωτικής ιεραρχίας κεντρικών υπολογιστών. Συνεπώς προκλήσεις όπως η ταυτοποίηση των κεντρικών υπολογιστών σε μεγάλα δίκτυα, η διακοπές σε συνδέσεις λόγω υψηλής συμφόρησης, τα προβλήματα ασφάλειας και άλλα πολλά απασχολούν συχνά τα δίκτυα υπολογιστών των Vpps[31].

Ένας τρόπος αντιμετώπισης τέτοιου είδους προβλημάτων για τα Vpps επόμενης γενιάς θα μπορούσε να αποτελέσει η ενσωμάτωση της τεχνολογίας Blockchain στα δίκτυα τους. Το Blockchain παρέχει αξιοπιστία στη μετάδοση πληροφοριών και ασφάλεια των συναλλαγών μέσα από αλγορίθμους κρυπτογράφησης και έξυπνων συμβάσεων (smart contracts). Τα Vpps μέσα από τις δυνατότητες του Blockchain θα μπορούν να προσφέρουν υψηλή διαφάνεια και ασφάλεια των πληροφοριών, και παροχή των δεδομένων ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Κατά συνέπεια, είναι μια συμβατή τεχνολογία με τη φιλοσοφία των Vpps. Παρόλα αυτά η εφαρμογή της τεχνολογίας Blockchain έχει πολλές προκλήσεις που πρέπει να επιλυθούν δεδομένου ότι βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Αυτές αφορούν την δυνατότητα επεκτασιμότητας, την ταχύτητα και το υψηλό κόστος ρύθμισης[31].

2.4.2. Cloud computing και Edge Computing

Τα Vpps απαιτούν αποθηκευτικούς χώρους μεγάλης κλίμακας για την αποθήκευση και την ευέλικτη μεταφορά των δεδομένων τους. Για τον λόγο αυτό θα μπορούσε να αξιοποιηθεί η αναπτυσσόμενη τεχνολογία του υπολογιστικού νέφους ή cloud computing όπως είναι ευρέως γνωστό. Η διαχείριση δεδομένων μετρητών με βάση το υπολογιστικό νέφος και άλλες υπηρεσίες λογισμικού είναι επίσης απαραίτητες για την επίτευξη των λειτουργιών ενός Vpp. Με σκοπό τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας, οι υπολογιστές νέφους παρέχουν διάφορες τεχνικές, όπως μεταφορά ισχύος σε επίπεδο χαμηλότερης ισχύος, αδρανοποίηση και διακοπή λειτουργίας. Λειτουργούν ως ευέλικτοι καταναλωτές που μπορούν να ελέγχονται από συγκεκριμένο λογισμικό στο πλαίσιο της συγκέντρωσης όλων των DERs και των φορτίων. Έτσι το υπολογιστικό νέφος γίνεται μια βασική πτυχή στη λειτουργία των Vpp. Ωστόσο, πρέπει να ληφθούν υπόψη κίνδυνοι, όπως η διακύμανση της απόδοσης, αποτυχία της ροής πληροφοριών, λόγω του τεράστιου όγκου δεδομένων καθώς και διάφορα θέματα ασφαλείας. Σχετικά με την επίλυση αυτών των ζητημάτων, το edge computing είναι μια τεχνολογία που θα μπορούσε επίσης να αξιοποιηθεί, η οποία φέρνει τις συσκευές συλλογής πληροφοριών κοντά στην πηγή των δεδομένων. Αυτό μειώνει την ανάγκη για επικοινωνία από μεγάλες αποστάσεις μεταξύ πελάτη και εξυπηρετητή, κάτι που με τη σειρά του ελαχιστοποιεί τις καθυστερήσεις και τη χρήση εύρους ζώνης. Στην παρακάτω εικόνα, απεικονίζεται μια πιθανή διαρρύθμιση ενός Vpp επόμενης γενιάς βασιζόμενο σε διάφορα επίπεδα edge-computing[29].



Εικόνα 18: Edge computing στα Vpps επόμενης γενιάς[5]

2.4.3. Τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση

Η χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης μπορεί επίσης να συμβάλλει σημαντικά στον εκσυγχρονισμό και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των Vrrps. Ειδικότερα, τα τελευταία χρόνια, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται αρκετά στην πρόβλεψη των απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας και γενικότερα της συμπεριφοράς των DERs. Η συνεργασία των τεχνικών μηχανικής μάθησης με τα Vrrps, δίνει τη δυνατότητα ακριβούς εκτίμησης της ευελιξίας και τις ανταπόκρισης στη ζήτηση που υπάρχει. Επιπλέον, με την χρήση τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να προβλεφθούν οι μελλοντικές απαιτήσεις των διαφόρων φορτίων, γεγονός που επιτρέπει τον βελτιωμένο έλεγχο του συνολικού συστήματος διαχείρισης ενέργειας και βοηθά στην επίτευξη αποτελεσματικότερου σχεδιασμού. Μέσω των αλγορίθμων αυτών τα δεδομένα από πιο πολύπλοκα συστήματα ενέργειας μπορούν να διαχειριστούν ευκολότερα, εξάγοντας έτσι καλύτερα αποτελέσματα. Τέλος προσφέρουν υψηλότερα επίπεδα σταθερότητας με τον να βοηθούν στην συντήρηση των πόρων ενημερώνοντας τους εργαζόμενους για τις ανάγκες και τα προβλήματα που μπορεί να υπάρχουν στις υποδομές[5].

2.4.4. Ανάλυση δεδομένων

Η ανάλυση δεδομένων είναι μια διαδικασία εξαγωγής δεδομένων και πληροφοριών από τα ενεργειακά συστήματα, με σκοπό την δημιουργία προβλέψεων που θα βελτιώσουν τη μελλοντική λειτουργία των Vrrps. Η ουσία αυτής της μεθόδου είναι η αξιοποίηση των πληροφοριών από τον τρόπο λειτουργίας των μονάδων, ούτως ώστε να δημιουργηθούν στρατηγικές και να βρεθούν λύσεις σε προβλήματα, όπως η βέλτιστη διαχείριση των ενεργειακών πόρων, η ελαχιστοποίηση των οικονομικών απωλειών και διάφορα ζητήματα συντήρησης του εξοπλισμού.

Η επίλυση των θεμάτων αυτών θα έχει ως αποτέλεσμα την βιωσιμότερη λειτουργία των Vrrps με το να παίρνονται καλύτερες αποφάσεις μέσα από την αξιοποίηση των δεδομένων που υπάρχουν, την καλύτερη εξυπηρέτηση των πελατών και γενικότερα την καλύτερη οργάνωση των μονάδων σε όλους τους σχετικούς τομείς. Στον παρακάτω πίνακα, βλέπουμε πώς γίνεται η συλλογή δεδομένων για ανάλυση[5].

Σύστημα εισαγωγής δεδομένων	Προγράμματα	Ρυθμός δεδομένων
Προηγμένες μετρήσεις	Ακριβής μέτρηση μεταφοράς και διανομής	1600-2400 bps
Μονάδα μέτρησης φάσης	Μέτρηση φάσης ηλεκτρικού δικτύου	48 samples/cycle
Έλεγχος ευρείας περιοχής	Δυναμική σταθερότητα συστήματος	10-300 kbps
Συστήματα κατανεμημένου ελέγχου	Έλεγχος, αποθήκευση και απεικόνιση	-
Μονάδα απομακρυσμένου ελέγχου	Έλεγχος συσκευών και σύνδεση με SCADA	300-1200 kbps
Supervisory control and data acquisition (SCADA)	Έλεγχος συσκευών και μονάδων	1200 bps

Πίνακας 1: Σύστημα συλλογής δεδομένων[5]

2.5. Κατανεμημένη παραγωγή και αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων

Σήμερα, η κύρια πηγή ενέργειας των μεγάλων κεντρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο είναι τα ορυκτά καύσιμα και, κυρίως, ο άνθρακας. Για παράδειγμα, στη Κίνα περισσότερο από το 80% της παραγωγής ενέργειας προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η παραγωγή άνθρακα που γίνεται, σχεδόν, αποκλειστικά για τη χρήση του ως καύσιμο κατά τη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελεί από μόνη της ένα τοπικό περιβαλλοντικό πρόβλημα, καθώς έχει μακροπρόθεσμες και βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις για τη γη και τους οργανισμούς που κατοικούν σε αυτήν. Στην περίπτωση του πυρηνικού σταθμού, η περιβαλλοντική υποβάθμιση ξεκινά και αυτή από την εξόρυξη των πρώτων υλών του. Οι εκλύσεις ραδιενεργού σκόνης, καθώς και τα τοξικά μεταλλικά και χημικά απόβλητα αποτελούν μια σοβαρή περιβαλλοντική απειλή. Η μεταφορά του καυσίμου είναι μια άλλη πηγή κινδύνου που προκαλεί ανησυχίες, καθώς υπάρχει η πιθανότητα τυχαίας έκλυσης ραδιενεργών σωματιδίων στην ατμόσφαιρα που θα μπορούσε να οδηγήσει ακόμα και σε ανθρώπινες απώλειες. Συνεπώς, καταλαβαίνουμε ότι πρέπει να υπάρξουν ορισμένες αλλαγές στον τομέα της παραγωγής ενέργειας, που θα έρθουν μέσα από την αξιοποίηση της ανανεώσιμων πηγών και των τεχνολογιών της κατανεμημένης παραγωγής[12],[32].

Υπάρχουν πολλά περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από την υιοθέτηση της κατανεμημένης παραγωγής στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Τα τέσσερα σημαντικότερα που σχετίζονται με τη χρήση των τεχνολογιών που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι τα εξής:

- Προωθούν την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας μέσα από τα συστήματα συμπαραγωγής.
- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ελαχιστοποίηση των κινδύνων για την υγεία.
- Διατήρηση των πόρων για μελλοντική χρήση[32].

Καθένα από τα παραπάνω πλεονεκτήματα θα αναλυθούν παρακάτω.

2.5.1. Ενεργειακή αποδοτικότητα

Τα παραδοσιακά συστήματα παραγωγής εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας, κατά τη διαδικασία μετατροπής του καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Περισσότερα από τα 2/3 του ενεργειακού περιεχομένου του καυσίμου εισόδου μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία συνήθως χάνεται στις περισσότερες συμβατικές εγκαταστάσεις. Εναλλακτικά, λοιπόν, ένας βιομηχανικός χρήστης με σημαντικές θερμικές και ενεργειακές ανάγκες μπορεί να παράγει και τις δυο μορφές ενέργειας σε ένα ενιαίο συνδυασμένο σύστημα θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκεται κοντά σε αυτόν. Οι περισσότερες τεχνολογίες κατανεμημένης παραγωγής που εξετάζονται για τον εμπορικό τομέα παρέχουν επαρκής ποσότητες θερμότητας και ηλεκτρική ενέργεια, ενώ ουσιαστικά λειτουργούν ως συστήματα συνδυασμού παραγωγής θερμότητας και ενέργειας (CHP). Κάτι τέτοιο μπορεί να αύξησει τη συνολική απόδοση του συστήματος έως και 90% στις καλύτερες εφαρμογές. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παρήγαγε η κατανεμημένη παραγωγή σε μορφή CHP το έτος 2000 έφτανε έως και το 10% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Ευρώπης, δηλαδή 250.000GW/h επί του συνόλου των 2.600.998GW/h με τη Γερμανία να βρίσκεται στη κορυφή του καταλόγου ακολουθούμενη από την Ολλανδία[33].

Η δέσμευση και η αξιοποίηση της θερμότητας για την ικανοποίηση των αναγκών για τη θέρμανση νερού και κατοικιών καθιστούν τα συστήματα CHP περισσότερο ελκυστικά από οικονομικής απόψεως από ότι τα συστήματα που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε σύγκριση με την ξεχωριστή παραγωγή θερμότητας και ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα, τα συστήματα CHP, ανάλογα με το μέγεθος και την απόδοση των μονάδων συμπαραγωγής, μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα τη διατήρηση της πρωτογενούς ενέργειας μεταξύ 10% και 30%. Κατά συνέπεια, οι μειώσεις των εκπομπών είναι με μια πρώτη προσέγγιση παρόμοια με την εξοικονομούμενη ενέργεια. Με τα υπάρχοντα δεδομένα η εξοικονόμηση μπορεί να ανέλθει σε έως και 1000 τόνους διοξειδίου του άνθρακα ανά GW/h παραγωγής ενέργειας [4],[34],[35].

Από έρευνες που έχουν διεξαχθεί, όπου συγκρίνονται οι εκπομπές των υφιστάμενων συστημάτων παραγωγής με τις εκπομπές από την καταναεμημένη παραγωγή για τον προσδιορισμό της καθαρής εξοικονόμησης, διαπιστώθηκε ότι με την εγκατάσταση μονάδων DER στο σύστημα, μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια με ελάχιστες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλων ρύπων, σε σύγκριση με τις συμβατικές τεχνολογίες[36],[37].

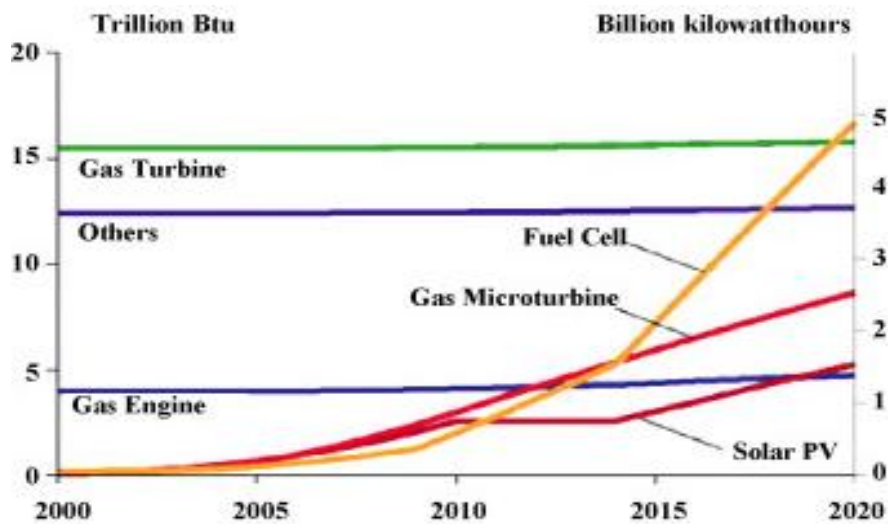
Επιπλέον, έχει αποδειχτεί ότι μπορούν να εξοικονομηθούν έως και 65 εκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα σε ετήσια βάση στην Ευρώπη, με την εγκατάσταση 50 εκατομμυρίων μονάδων CHP. Συγκεκριμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο της Πορτογαλίας παρατηρήθηκε μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά περίπου 2.1% με 4.9% με τη διεύδωση της καταναεμημένης παραγωγής σε ένα επίπεδο της τάξης του 20%[38],[39].

2.5.2. Αέρια του θερμοκηπίου

Πέρα από τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας, αύξησης της αξιοπιστίας στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και μείωση του κόστους αναβάθμισης του δικτύου ηλεκτροδότησης, ένας ακόμη λόγος που οι τεχνολογίες καταναεμημένης παραγωγής έχουν λάβει τόσο μεγάλη προσοχή από την ενεργειακή κοινότητα, είναι εξαιτίας των χαμηλών εκπομπών που έχουν σε αέρια του θερμοκηπίου. Οι τεχνολογίες αυτές, συγκεκριμένα, μπορούν να χρησιμοποιήσουν καθαρές πηγές ενέργειας εκτός από ορυκτά καύσιμα, για παράδειγμα η παραγωγή φωτοβολταϊκών παράγει λιγότερο από το 15% του διοξειδίου του άνθρακα που θα παρήγαγε μια συμβατική εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα. Μια μελέτη που έγινε για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα 2KW, το οποίο βρίσκεται στην πολιτεία Μοντάνα των ΗΠΑ, έδειξε ότι θα αποφευχθούν εκπομπές σε οξείδιο του αζώτου της τάξης των 0,68lbs και 3643lbs διοξειδίου του άνθρακα, που ισοδυναμεί με τη μείωση των εκπομπών σε διοξειδίου του άνθρακα ίση με την οδήγηση για 4.553 μίλια ενός μέσου επιβατικού αυτοκινήτου. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί κανείς να πετύχει μείωση των εκπομπών ίση με την ποσότητα που απορροφάται από ένα στρέμμα δέντρων σε ένα έτος[40],[41].

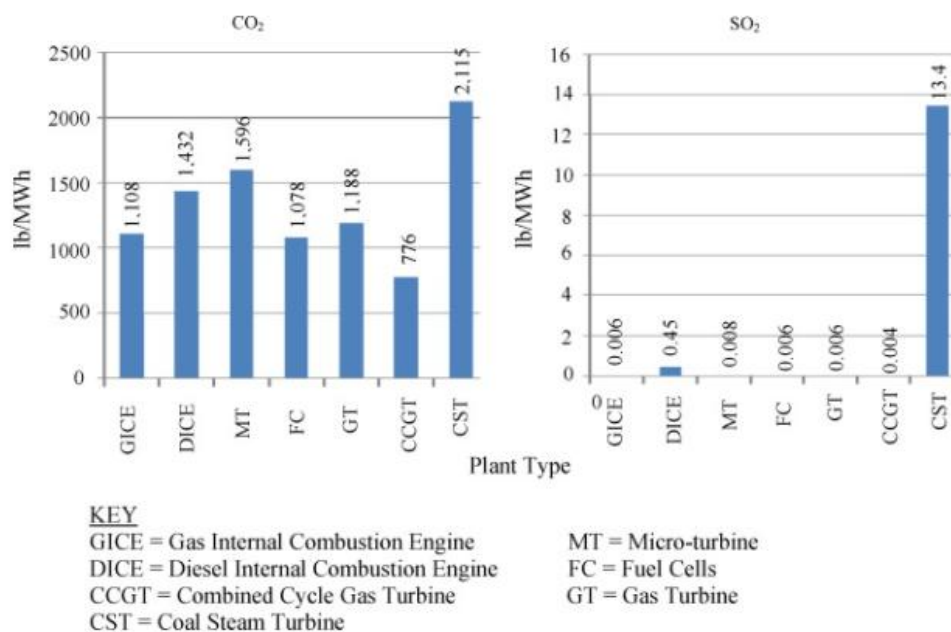
Επιπλέον, άλλες μελέτες που έγιναν, αποκάλυψαν ότι η χρήση ηλιακής ενέργειας για την παροχή ενέργειας σε ένα εκατομμύριο κατοικίες μπορεί να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 4,3 εκατομμύρια τόνους τον χρόνο, το οποίο ισοδυναμεί με την απομάκρυνση 880.000 αυτοκινήτων από τον δρόμο. Όπως φαίνεται και στο σχήμα (εικόνα 19), όπου προβλέπεται η διεύδωση τους μέχρι το 2020, οι καθαρές ανανεώσιμες πηγές μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην κάλυψη των αυξανόμενων ενεργειακών απαιτήσεων. Επίσης, πολλοί επιστήμονες και ειδικοί της βιομηχανίας έχουν εκτιμήσει ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η

ηλιακή, μπορούν να παρέχουν κάλυψη μέχρι και στη μισή ζήτηση σε ενέργεια για τα επόμενα 50 χρόνια σε παγκόσμιο επίπεδο. Από τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι μέσα από την αξιοποίηση αυτών των πηγών ενέργειας θα έχουμε τη δυνατότητα να βασιζόμαστε λιγότερο στα ορυκτά καύσιμα για την ηλεκτροπαραγωγή μειώνοντας έτσι τις συνολικές εκπομπές αέριων του θερμοκηπίου[12].



Εικόνα 19: Προβλεπόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από κατακεμημένες μονάδες παραγωγής[12]

Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 20), βλέπουμε τα χαρακτηριστικά εκπομπών από ορισμένες τεχνολογίες κατακεμημένης παράγωγης σε σχέση με μια συμβατική εγκατάσταση καύσης άνθρακα.



Εικόνα 20: Ετήσιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο επίπεδο[12]

2.5.3. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Οι τεχνολογίες καταναλωμένης παραγωγής, όπως αναφέραμε είναι σε θέση να μετριάσουν την κλιματική αλλαγή και κατά συνέπεια, να μειώσουν τους κινδύνους για την υγεία του κοινωνικού συνόλου. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Πρώτον, τη μείωση της εξάρτησης από τις κεντρικές εγκαταστάσεις παραγωγής, που επιτρέπει λιγότερες απώλειες ισχύος, και ως εκ τούτου μικρότερη παραγωγή ενέργειας από τις συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής και άρα λιγότερες επιζήμιες για τον άνθρωπο εκπομπές. Δεύτερον οι εκπομπές της καταναλωμένης παραγωγής είναι λιγότερο επικίνδυνες για την υγεία σε σχέση με τις εκπομπές των συμβατικών μονάδων με τις μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και οξειδίου του αζώτου. Λόγω αυτών των δυο παραγόντων, η ποιότητα του αέρα διατηρείται, σχετικά, ανεπηρέαστη από τους ανθρωπογενής ρύπους, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία. Τέλος, με τη υιοθέτηση της καταναλωμένης παραγωγής δεν θα υπάρχει η ανάγκη μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, μέσω των γραμμών μεταφοράς και άρα θα υπάρχει λιγότερος κίνδυνος για ασθένειες, όπως η λευχαιμία και ο καρκίνος που

προκαλούνται από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται κατά τη μεταφορά[42],[43].

2.5.4. Οικονομία χώρου

Ένα ακόμα πλεονέκτημα της διεσπαρμένης παραγωγής είναι η χρήση λιγότερων φυσικών πόρων κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα. Οι βιομηχανικοί ερευνητές έχουν εκτίμηση ότι η απαιτούμενη έκταση για φωτοβολταϊκές κυψέλες, ώστε να παράγουν επαρκή ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες των ΗΠΑ είναι μικρότερη από 60.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα που αντιστοιχεί περίπου στο 20% της Αριζόνας. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορούν να ενσωματωθούν σε επιφάνειες κτηρίων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας έτσι την περαιτέρω χρήση εκτάσεων για επιπλέον εγκαταστάσεις παραγωγής. Για παράδειγμα, σε μια οροφή περίπου 30.000 τετραγωνικών μέτρων θα μπορούσε να παραχθεί περισσότερο από 1MW ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Βλέπουμε λοιπόν, ότι με χρήση ανανεώσιμων πόρων απαιτείται πολύ μικρότερη χωρητικότητα για την παραγωγή ίδιας ποσότητας ενέργειας σε σχέση με τη συμβατική παραγωγή, όπου δεσμεύονται μεγάλες εκτάσεις για την εξόρυξη ορυκτών καυσίμων πέρα από τις κύριες εγκαταστάσεις λειτουργίας[12].

Συμπεράσματα

Από την παραπάνω ανάλυση που κάναμε καταλαβαίνουμε πόσο σημαντική είναι η ύπαρξη διαφόρων ειδών τεχνολογιών για τη σωστή και αποδοτική λειτουργία ενός εικονικού σταθμού παραγωγής τόσο στους τομείς της παραγωγής και της αποθήκευσης ενέργειας όσο και στον τομέα της επικοινωνίας και πληροφορίας. Παρόλα αυτά γίνεται προφανές, ότι για τη συνεχή εξέλιξη και ανταγωνιστικότητα των εικονικών σταθμών παραγωγής, θα πρέπει να υπάρχει συνεχής ενημέρωση για τις νέες αναδυόμενες τεχνολογίες που δημιουργούνται και να γίνεται ενσωμάτωση τους αν είναι συμβατές με τη λειτουργία και τους στόχους τους. Τέλος, αναδείξαμε τα σημαντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι συγκεκριμένες τεχνολογίες στον περιβαλλοντικό τομέα σε σχέση με τις πιο συμβατικές μεθόδους παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας.

Κεφάλαιο 3ο: Υπηρεσίες εικονικών σταθμών και εμπόδια κατά την υλοποίησή τους

Όπως αναφέραμε και παραπάνω ένας εικονικός σταθμός συμβάλλει στην ενσωμάτωση των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, αποκτώντας όλο και μεγαλύτερο μερίδιο στην παραγωγή ενέργειας, η ενεργός διαχείριση των πόρων αυτών κρίνεται απαραίτητη, προκειμένου να διασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, μελλοντικά. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλύσουμε την έννοια του εικονικού σταθμού παραγωγής ενέργειας και θα κάνουμε μια επισκόπηση των υπηρεσιών που μπορούν να παρέχουν στις σύγχρονες απελευθερωμένες Ευρωπαϊκές αγορές. Επίσης, θα μιλήσουμε για τον συνδυασμό των τεχνικών, οικονομικών και ρυθμιστικών φραγμών, οι οποίοι λειτουργούν αποτρεπτικά στην υλοποίηση και ευρεία εφαρμογή της ιδέας των εικονικών σταθμών, καθώς και σε κάποιες νομοθετικές δυσκολίες που εμποδίζουν την παροχή ορισμένων υπηρεσιών από έναν εικονικό σταθμό παραγωγής προς το δίκτυο.

Ιστορικά, λοιπόν, όπως γνωρίζουμε οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας μονοπωλούνταν από τις μεγάλες κεντρικές εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας που κυριαρχούσαν μέχρι πρότινος στην παραγωγή της. Σήμερα, το σύστημα απομακρύνεται από αυτή την παραδοσιακή προσέγγιση και επικεντρώνεται προς την κατεύθυνση της κατανεμημένης παραγωγής. Οι μονάδες αποτελούν πηγές ηλεκτρικής ισχύος που συνδέονται απευθείας στο δίκτυο διανομής και από την πλευρά του παραγωγού αλλά και του καταναλωτή. Η αύξηση αυτή της κατανεμημένης παραγωγής οφείλεται, αφενός στις μεταρρυθμίσεις που έχουν γίνει στις αγορές και αφετέρου στην πολιτική και τους στόχους που επιδιώκονται όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στην Ευρώπη συγκεκριμένα η τάση αυτή ενισχύεται ιδίως από φιλόδοξους στόχους που έχουν τεθεί για την αύξηση του ποσοστού κατανάλωσης ανανεώσιμης ενέργειας στο 27% μέχρι το 2030[44].

Ωστόσο, η αύξηση αυτή των διανεμημένων πόρων δημιουργεί αρκετές προκλήσεις για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, οι μονάδες κατανεμημένης παραγωγής χαρακτηρίζονται γενικά από σχετικά μικρό μέγεθος και από μεταβολές στην παραγόμενη ισχύ που οφείλεται στη περιορισμένη δυνατότητα ελέγχου και στη μερική πρόβλεψη της παραγωγής ενέργειας. Παράδειγμα σε αυτό αποτελούν οι φωτοβολταϊκές μονάδες, οι εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών, καθώς και οι εγκαταστάσεις συμπαραγωγής θερμότητας που εξαρτώνται από τις καιρικές

συνθήκες. Ως εκ τούτου οι κατανεμημένες μονάδες δεν παρακολουθούνται ενεργά και οι διαχειριστές του συστήματος αντιμετωπίζουν σοβαρές δυσκολίες σε ότι αφορά την αποδοτική λειτουργία τους. Στο επίπεδο μεταφοράς ο διαχειριστής συστήματος μεταφοράς ή TSO καλείται να διατηρεί την ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης κάτι που αποτελεί προϋπόθεση για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος και την αποφυγή των διακοπών λειτουργίας. Επίσης, στο επίπεδο της διανομής ενέργειας ενδέχεται να προκύψουν προβλήματα συμφόρησης του δικτύου και αδυναμία ελέγχου της τάσης[44].

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων θα πρέπει να συγκεντρώνονται και να ελέγχονται ενεργά κάτω από μια κοινή αρχή. Στην πράξη λοιπόν οι εικονικοί σταθμοί παραγωγής παρέχουν αυτή τη δυνατότητα ενσωμάτωσης των κατανεμημένων πόρων στο τρέχον σύστημα ηλεκτροπαραγωγής, συγκεντρώνοντας τις διάφορες μονάδες και ενεργώντας ως ενιαίος φορέας στις ενεργειακές αγορές. Από τα παραπάνω λοιπόν εύκολα βγαίνει το συμπέρασμα ότι ένας εικονικός σταθμός είναι ουσιαστικά η συγκέντρωση των δυνατοτήτων πολλών διαφορετικών πόρων και η δημιουργία ενός ενιαίου προφίλ λειτουργίας.

Από την παραπάνω ανάλυση μπορούν να διακριθούν τρία βασικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν έναν εικονικό σταθμό.

α. Κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι (DERs)

Καταρχάς, ένα Vpp αποτελείται πάντα από ένα σύνολο μονάδων DERs, μονάδων αποθήκευσης, καθώς και από διάφορα ευέλικτα φορτία. Ως αποτέλεσμα αυτού του συγκεντρωτικού χαρακτήρα που έχουν όλα αυτά τα στοιχεία, πολλές φορές χαρακτηρίζονται από ένα σύνολο παραμέτρων που σχετίζονται με τα παραδοσιακά συστήματα μεταφοράς, όπως συνδεδεμένες γεννήτριες, προγραμματισμένη παραγωγή, δυνατότητες ρύθμισης της τάσης και διαθέσιμες μονάδες αποθήκευσης. Μια κατηγοριοποίηση, λοιπόν, θα μπορούσε να γίνει με βάση τον τύπο των DERs που διαθέτουν. Δηλαδή, υπάρχουν τα Vpps από τη πλευρά της προσφοράς που αποτελούνται από μονάδες παραγωγής που είναι έτοιμες να ανταποκριθούν στη ζήτηση όποτε χρειάζεται και επίσης υπάρχουν και τα Vpps που σχηματίζονται από έναν συνδυασμό ευέλικτων φορτίων και αποθηκευτικών μέσων και ανταποκρίνονται σε περιόδους αιχμής ή μειωμένης παραγωγής. Τέλος υπάρχουν και τα μεικτά Vpps που συνδυάζουν και τα δυο παραπάνω είδη DERs. Αυτό το είδος εμφανίζεται περισσότερο στις ΗΠΑ, ενώ στην Ευρώπη εμφανίζονται περισσότερο τα Vpps από την πλευρά της προσφοράς[2].

β. Σύστημα Ελέγχου

Το δεύτερο κρίσιμο στοιχείο από το οποίο πρέπει να αποτελείται ένα Vpp είναι το σύστημα ελέγχου. Αυτός ο μηχανισμός συντονισμού είναι απαραίτητος για την ομαλή λειτουργία και την ενεργό συμμετοχή του στις ενεργειακές αγορές. Τα Vpps θα μπορούσαν να διαιρεθούν ανάλογα με τον τρόπο ελέγχου των μεμονωμένων DERs. Συγκεκριμένα υπάρχουν αυτά που αποτελούνται από ένα κεντρικό σύστημα το οποίο συντονίζει και επεξεργάζεται κεντρικά τα σήματα που λαμβάνει από όλες τις μεμονωμένες μονάδες μέσω ειδικών αλγορίθμων. Αντίθετα, υπάρχουν και τα αποκεντρωμένα Vpps, όπου κάθε DER ελέγχεται τοπικά από τον δικό του τοπικό ελεγκτή που διαθέτει αντίστοιχα τον δικό του αλγόριθμο ελέγχου και σχηματίζουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα συνδέοντας τους ελεγκτές αυτούς σε ένα δίκτυο επικοινωνίας[44].

γ. Ρόλος στο Σύστημα Ενέργειας

Τέλος ο ρόλος ενός εικονικού σταθμού στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας, δεδομένου ότι θα πρέπει να είναι σε θέση να προωθήσει τις υπηρεσίες του στην αγορά ενέργειας. Γενικά η παροχή ενεργειακών υπηρεσιών είναι ξεχωριστή διαδικασία από τις υπηρεσίες δικτύου. Βάση αυτής της ταξινόμησης, γίνεται μια δημοφιλής και ευρέως αποδεκτή διάκριση των εικονικών σταθμών σε εμπορικά – Commercial (CVPPs) και τεχνικά – Technical (TVPPs).

Σκοπός του CVPP είναι η συμμετοχή και το εμπόριο των υπηρεσιών που παρέχουν στις ενεργειακές αγορές με τον ίδιο τρόπο που μπορεί να συμμετέχει μια μονάδα παραγωγής, η οποία συνδέεται στο σύστημα μεταφοράς. Συγκεκριμένα οι βασικές αρμοδιότητες του CVPP είναι η βελτιστοποίηση και ο προγραμματισμός των συγκεντρωτικών μονάδων DERs, καθώς και ο τρόπος κατανάλωσης της ενέργειας δηλαδή η ανταπόκριση στη ζήτηση. Οι συγκεκριμένες λειτουργίες βασίζονται στις δυνατότητες που διαθέτουν τα DERs στο να κάνουν προβλέψεις όσων αφορά την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας, στη διαμόρφωση και την υποβολή προσφορών στις διάφορες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας και στον υπολογισμό της βέλτιστης παραγωγής και κατανάλωσης μέσα από την κατάρτιση ειδικού χρονοδιαγράμματος[45],[46].

Αναλυτικότερα, ένα Vpp το οποίο λειτουργεί ως CVPP δεν ασχολείται με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου, αλλά περισσότερο με τη διαμόρφωση προσφορών προς τον διαχειριστή του συστήματος. Ένα CVPP επιτρέπει την συμμετοχή και εμφάνιση των μονάδων DERs στην αγορά ενέργειας και, συνεπώς, τη μεγιστοποίηση των εσόδων τους. Έτσι, ακόμα και μικρότερες μονάδες έχουν τη δυνατότητα να συμμετέχουν στην αγορά, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την ανισορροπία σε σχέση

με τις μεγαλύτερες μονάδες που μπορεί να διαθέτουν περισσότερες δυνατότητες παραγωγής και αποθήκευσης. Το CVPP δηλαδή πραγματοποιεί εμπορική συγκέντρωση των μονάδων και δεν λαμβάνει υπόψη τα λειτουργικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου, τα οποία εξετάζονται από τα ενεργά δίκτυα διανομής για την ύπαρξη σταθερής λειτουργίας. Επίσης, οι μονάδες DERs δεν περιορίζονται απαραίτητα από την τοποθεσία, αλλά μπορούν να είναι ενσωματωμένες σε διαφορετικά δίκτυα διανομής και μεταφοράς, που βρίσκονται σε διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες. Ως εκ τούτου, ένα ενιαίο δίκτυο διανομής μπορεί να έχει περισσότερα από ένα CVPP που συγκεντρώνει DERs στην περιοχή του[47].

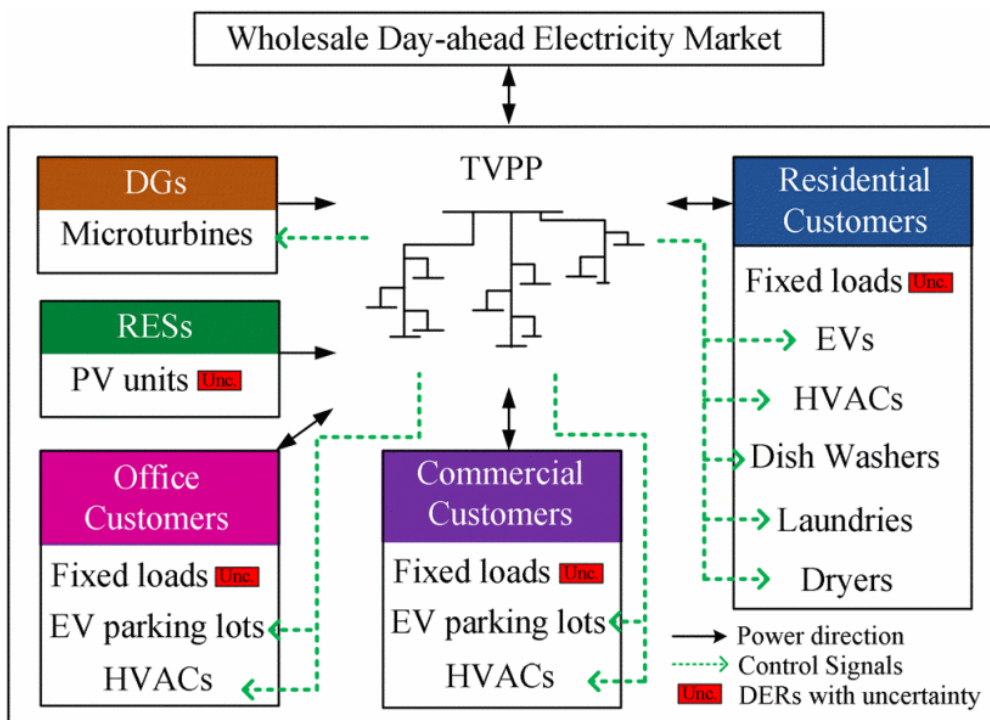
Τέλος, μια ακόμη βασική λειτουργία ενός CVPP, είναι ο προγραμματισμός και η βελτίωση της παραγωγής με βάση την προβλεπόμενη ζήτηση των καταναλωτών και του δυναμικού παραγωγής. Έτσι, όταν οι πραγματικές ανάγκες διαφέρουν από τις προβλεπόμενες εισάγονται ειδικοί πόροι απόκρισης στη ζήτηση ούτως ώστε να καλυφθεί το κενό μεταξύ παραγωγής και πραγματικής κατανάλωσης. Συνοπτικά, οι λειτουργίες πρέπει να περιλαμβάνουν πρόβλεψη παραγωγής και κατανάλωσης, δημιουργία προσφορών και υποβολή αυτών στην αγορά ενέργειας καθώς και συνεχής προγραμματισμός[47].

Αντίθετα, ένα TVPP εστιάζει περισσότερο στην παροχή υπηρεσιών στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή λαμβάνει υπόψη την επίδραση των λειτουργικών χαρακτηριστικών του συστήματος στο συγκεντρωτικό προφίλ των DERs, καθώς και το κόστος για την αποτελεσματική λειτουργία τους. Αυτό το είδος Vpp αποτελείται, συνήθως, από DERs που βρίσκονται στον ίδιο γεωγραφικό χώρο και τα σημαντικότερα καθήκοντα τους είναι η αδιάλειπτη παρακολούθηση, η διαχείριση των οικονομικών ζητημάτων και ο εντοπισμός σφαλμάτων[10].

Ειδικότερα, τα Technical Vpps και παραπάνω αποτελούνται από κατανεμημένους πόρους που βρίσκονται στην ίδια γεωγραφική τοποθεσία και περιλαμβάνει την επίδραση σε πραγματικό χρόνο που έχουν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των μονάδων στο συγκεντρωτικό προφίλ που αντιπροσωπεύουν. Οι υπηρεσίες και οι λειτουργίες ενός TVPP περιλαμβάνουν τοπική διαχείριση συστήματος από τον διαχειριστή του συστήματος DSO, καθώς και παροχή υπηρεσιών για την εξισορρόπηση του συστήματος από τον TSO και άλλες επικουρικές υπηρεσίες. Ο φορέας διαχείρισης ενός TVPP, δηλαδή, ο DSO απαιτεί αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με το τοπικό δίκτυο, για αυτό το λόγο το TVPP επιτρέπει την παροχή συνεχούς ενημέρωσης στους διαχειριστές του συστήματος. Επίσης συμβάλλει στη βέλτιστη αξιοποίηση της δυναμικότητας των DERs για την παροχή επικουρικών υπηρεσιών, όπως η σταθεροποίηση της συχνότητας του δικτύου και η παροχή ενέργειας σε περιόδους υψηλής ζήτησης. Οι DSOs που χρησιμοποιούν την έννοια του TVPP μπορούν να χαρακτηριστούν και ως διαχειριστές δικτύων ενεργούς διανομής. Ο διαχειριστής αυτού του δικτύου μπορεί να αξιοποιήσει τις υπηρεσίες

που παρέχονται από τις μονάδες DERs για να βελτιστοποιήσει τη λειτουργία του δικτύου του και με τη σειρά του να παρέχει υπηρεσίες όπου αλλού χρειάζεται στο σύστημα[10].

Έτσι, λοιπόν, η λειτουργία του όπως αναφέραμε και παραπάνω βασίζεται στη συγκέντρωση διαφόρων DERs που βρίσκονται διασκορπισμένα σε όλο το δίκτυο και τα διαχειρίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτύχει το βέλτιστο αποτέλεσμα λαμβάνοντας υπόψη τους σχετικούς περιορισμούς του δικτύου. Ένα TVPP διαχειρίζεται διάφορα ανταποκρινόμενα φορτία τους χρόνους φόρτισης και εκφόρτωσης τους, καθώς και τους χρόνους εργασίας τους. Αν ο προγραμματισμός των ανταποκρινόμενων φορτίων επιβάλλει επιπλέον κόστος στους πελάτες, το TVPP καταβάλλει το επιπλέον επιβαλλόμενο κόστος. Έτσι γίνεται προσπάθεια να διατηρείτε το επιβαλλόμενο κόστος των πελατών όσο το δυνατόν χαμηλότερο. Επιπλέον γίνονται προβλέψεις για φορτία που ενδέχεται να προκύψουν στο μέλλον και εξετάζονται σχετικές αβεβαιότητες που μπορεί να υπάρξουν. Το μοντέλο του συστήματος που αντιπροσωπεύει τις σχέσεις μεταξύ του TVPP και των DERs, προκειμένου να συμμετέχει στην χονδρική αγορά ενέργειας απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα[10].

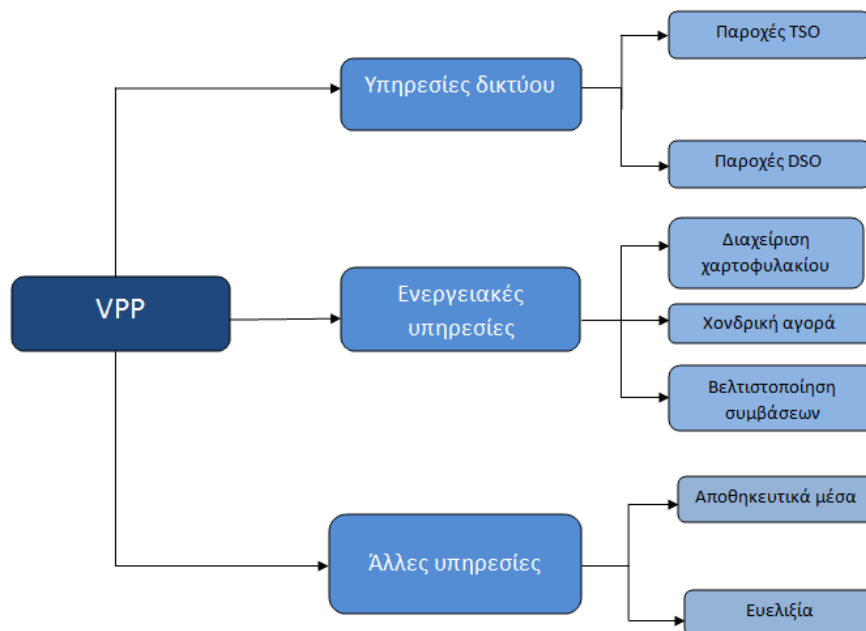


Εικόνα 21: Σχέση μεταξύ TVPP και DERs για τη συμμετοχή στη ενεργειακή αγορά[10]

Συνεπώς, η ταξινόμηση αυτή έχει ως σκοπό την οριοθέτηση των δυνατοτήτων των εκάστοτε DERs, όσον αφορά την δυνατότητα συμμετοχής στην αγορά ενέργειας (CVPP), και της παροχής υπηρεσιών εξισορρόπησης συστήματος (TVPP). Άλλωστε ένα Vpp πάντα επιδιώκει να εμπορευματοποιήσει την παραγωγή του και να είναι κερδοφόρο. Ως εκ τούτου παρακάτω θα γίνει μια πιο ολοκληρωμένη επισκόπηση των υπηρεσιών που μπορούν να παρέχουν τα Vpps στις σύγχρονες απελευθερωμένες αγορές.

3.1. Εφαρμογές των Εικονικών σταθμών

Ενεργώντας ως μια ενιαία οντότητα στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και όντας συνδεδεμένο με το σύστημα διανομής, ένα Vpp μπορεί να παρέχει μια σειρά υπηρεσιών στις σημερινές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 22).



Εικόνα 22: Υπηρεσίες των σύγχρονων Vpps

3.1.1. Επικουρικές υπηρεσίες

Βοηθητικές ή επικουρικές λέγονται οι υπηρεσίες που παρέχονται από τις εγκαταστάσεις παραγωγής, μεταφοράς και διαχείρισης ενέργειας και είναι απαραίτητες για την σωστή διανομή της από τις μονάδες DERs στον τελικό καταναλωτή. Οι εν λόγω υπηρεσίες παρέχονται στα πλαίσια ειδικών ενεργειακών

προγραμμάτων. Ορισμένες παροχές στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνουν προγραμματισμό και αποστολή, έλεγχο άεργου ισχύος και τάσης, συνεχή παρακολούθηση φορτίου, αντιστάθμιση απωλειών και γενική προστασία του συστήματος. Οι εικονικοί σταθμοί μπορούν να δραστηριοποιούνται στην αγορά ενέργειας και να προσφέρουν βοηθητικές υπηρεσίες συγκεντρώνοντας κατανεμημένες γεννήτριες και φορτία[44].

3.1.2. Παροχές δικτύου

Όταν ένα δίκτυο χαρακτηρίζεται από ορισμένη δυνατότητα ελέγχου, τότε έχει τη δυνατότητα να παρέχει βοηθητικές υπηρεσίες στους διαχειριστές του δικτύου. Έτσι, επειδή ένα Vpp διαθέτει έναν βαθμό ευελιξίας, είτε μέσω αποθήκευσης είτε μέσω ευέλικτων φορτίων, η πλειοψηφία των Vpps είναι σε θέση να παρέχει αυτές τις υπηρεσίες στο δίκτυο.

α. Παροχή βοήθειας στον διαχειριστή του συστήματος μεταφοράς (TSO)

Όπως είναι γνωστό, ο έλεγχος της συχνότητας αποτελεί μια από τις κύριες αρμοδιότητες του TSO. Έτσι, ώστε να μπορεί να εγγυάται την συνεχή διατήρηση σταθερής συχνότητας δικτύου, ο TSO δέχεται εφεδρικές παροχές εξισορρόπησης συχνότητας από συγκεκριμένους παρόχους. Πρόκειται ουσιαστικά για συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής που μπορούν να μεταβάλλουν ταχέως την παραγωγή τους κατόπιν αιτήματος. Ο έλεγχος της τάσης γίνεται μέσω υπηρεσιών άεργου ισχύος και είναι δύσκολο να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις. Για το λόγο αυτό θεωρείται γενικά αποδεκτό ότι ο έλεγχος τάσης σε επίπεδο μεταφοράς επιτυγχάνεται καλύτερα, μέσω συσκευών που συνδέονται με τη μεταφορά και ότι η παροχή υπηρεσιών άεργου ισχύος μέσω DERs μπορεί γενικά να θεωρηθεί αρκετά αποτελεσματική. Επιπλέον, ο TSO είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση της συμφόρησης, πράγμα που τα Vpps είναι πολύ αποτελεσματικά, καθώς μπορούν να ελέγχουν τοπικά τη ζήτηση. Τέλος, τα Vpps που περιλαμβάνουν μονάδες παραγωγής, οι οποίες διαθέτουν αυτονομία, για παράδειγμα μέσω γεννητριών και μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς εξωτερική υποστήριξη μπορούν να παρέχουν τις υπηρεσίες τους στη περίπτωση διακοπής ρεύματος[44].

β. Παροχή υποστήριξης στο σύστημα διανομής (DSO)

Όπως ο TSO για το δίκτυο μεταφοράς, έτσι και ο διαχειριστής του συστήματος διανομής (DSO) θα πρέπει να εγγυάται την αξιόπιστη και αποτελεσματική λειτουργία του δικτύου διανομής. Ενώ στο παρελθόν τα δίκτυα αυτά λειτουργούσαν περισσότερο παθητικά, με την αύξηση της κατανεμημένης παραγωγής έχουν αρχίσει

να αποκτούν μια πιο ενεργή προσέγγιση. Εν προκειμένω, ο DSO μπορεί να παρέχει οικονομικά κίνητρα στα Vrrs για την κάλυψη της ζήτησης σε περιόδους αιχμής. Ουσιαστικά, σε περιόδους υψηλής ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια το Vrr θα καλύπτει αυτή τη ζήτηση αποσυμπιέζοντας το δίκτυο διανομής, έχοντας παράλληλα χρηματικές απολαβές για την παροχή αυτής της υπηρεσίας[44].

3.1.3. Ενεργειακές υπηρεσίες

Ανάλογα με το μέγεθος και τον τρόπο που συντίθεται, ένας Vrr μπορεί να συμμετάσχει σε διάφορες δραστηριότητες παροχής υπηρεσιών ενέργειας. Ως εκ τούτου, ένας εικονικός σταθμός παραγωγής μπορεί να δραστηριοποιείται και στον τομέα της διαχείρισης των μονάδων από τις οποίες αποτελείται για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής, αλλά και να ενεργεί ως ενιαία οντότητα στις αγορές χονδρικής. Επιπλέον, ένα Vrr έχει τη δυνατότητα να αλλάξει όποτε θέλει το προφίλ παραγωγής και κατανάλωσης του, ώστε να μπορεί να βελτιώσει τις συμβάσεις του με τους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας[44].

3.1.4. Διαχείριση περιουσιακών στοιχείων

Ένας Vrr μπορεί να προστεθεί στο χαρτοφυλάκιο άλλων παραγόντων της αγοράς ενέργειας, όπως οι παραγωγοί, οι καταναλωτές και οι υπεύθυνοι φορείς εξισορρόπησης σε περιόδους αιχμής. Η βοήθεια που μπορούν να παρέχουν τα Vrrs σε αυτούς τους παράγοντες της αγοράς είναι η ευελιξία να βελτιστοποιήσουν τον προγραμματισμό και τη λειτουργία τους, αποφεύγοντας τη δημιουργία μονάδων παραγωγής ενέργειας για περιπτώσεις υψηλής ζήτησης, σταθεροποίησης της συχνότητας κλπ. Επιπλέον, αυτή η ευελιξία που μπορούν να παρέχουν τα Vrrs βοηθάει στη βελτίωση της θέσης τους σε πραγματικό χρόνο και την αποφυγή επιπρόσθετων οφειλών λόγω ανισορροπιών του δικτύου και απροσδόκητων αποκλίσεων από την προβλεπόμενη παραγωγή που οφείλονται σε διακοπές λειτουργίας των σταθμών παραγωγής. Επίσης, βοηθούν στην αποφυγή σφαλμάτων πρόβλεψης της ζήτησης και της ανανεώσιμης παράγωγης. Εναλλακτικά βέβαια τα Vrrs μπορούν να προσφέρουν ευελιξία έμμεσα με το να λειτουργούν ως μεσάζοντες παράγοντας και διοχετεύοντας ενέργεια όποτε χρειάζεται. Τέλος, μπορούν εννοείται να λειτουργούν και ως μεμονωμένες μονάδες, βελτιώνοντας έτσι τη θέση τους στην ενεργειακή αγορά[44].

3.1.5. Χονδρικό εμπόριο

Μπορούμε να διακρίνουμε τρεις διαφορετικούς τύπους αγορών χονδρικής. Πρώτα απ' όλα υπάρχει η προθεσμιακή αγορά, όπου οι διμερείς συναλλαγές γίνονται μήνες ή ακόμη και χρόνια πριν από την πραγματική φυσική παράδοση του εμπορεύματος. Ως εκ τούτου, οι συναλλαγές βασίζονται σε μακροπρόθεσμες προβλέψεις απόδοσης και ζήτησης. Στη συνέχεια, υπάρχουν η αγορά της επόμενης ημέρας, η οποία χρησιμοποιεί βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη για την ζήτηση της επόμενης ημέρας και η αγορά της ίδιας ημέρας που επιτρέπει τη συνεχή διαπραγμάτευση την ημέρα της παράδοσης προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι προβλεπόμενες αποκλίσεις[44].

3.1.6. Βελτιστοποίηση των συμβάσεων

Ένας Vpp που λειτουργεί, κατά κύριο λόγο, ως καταναλωτής δημιουργεί συμβάσεις με προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας. Επειδή, λοιπόν, μπορεί να μετατοπίσει ευέλικτα την παραγωγή και την κατανάλωση του, οι συμβάσεις αυτές μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο επαναδιαπραγμάτευσης. Οι συνεχείς αλλαγές των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας λιανικής επηρεάζουν τη δυνατότητα ύπαρξης οφέλους αξιοποιώντας τις συμβάσεις αυτές, μέσα από τον προγραμματισμό της κατανάλωσης. Εναλλακτικά, οι καταναλωτές θα μπορούν να συνάπτουν συμβάσεις όπου θα ορίζεται η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η βελγική εταιρεία Group Machiels προσφέρει ένα καλό παράδειγμα δημιουργίας συμβάσεων με Vpps, όπου ελέγχοντας ενεργά τις μονάδες παράγωγής τους που αποτελούνται από κινητήρες αερίου και φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, μεγιστοποιούν τα έσοδα τους εντός των ορίων της σύμβασης τους[44].

3.1.7. Άλλες υπηρεσίες

Τέλος, με την άνοδο των DERs οι υφιστάμενες δομές της ενεργειακής αγοράς ενδέχεται να μην επαρκούν, όσον αφορά τη διασφάλιση της ασφαλούς και αποτελεσματικής λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργεια μελλοντικά. Έτσι, παρακάτω παρουσιάζονται δυο νέες οπτικές, όπου τα Vpps μπορούν να φανούν χρήσιμα και να δημιουργήσουν όφελος μακροπρόθεσμα.

α. Αποθηκευτικά μέσα

Τα αποθηκευτικά μέσα είναι πρόσθετοι μηχανισμοί που μπορούν να επηρεάσουν την παραγωγική ικανότητα σε σχέση με την μακροπρόθεσμη επάρκεια παραγωγής, δηλαδή την ικανότητα του συστήματος να καλύπτει τη μέγιστη ζήτηση. Οι μηχανισμοί αποθήκευσης επικεντρώνονται κυρίως στη συμβατική παραγωγή και στην

ανταπόκριση στη ζήτηση όποτε είναι απαραίτητο. Ωστόσο επειδή τα Vrrps ενδέχεται να παρέχουν ικανότητα παραγωγής και μείωσης της ζήτησης, θα μπορούσαν ενδεχομένως οι εν λόγω μηχανισμοί να συνεισφέρουν μελλοντικά σε περιόδους μεγάλης ανάγκης[44].

β. Δημιουργία ευελιξίας

Οι μελλοντικές αγορές μπορούν να θεωρηθούν ως αγορές, όπου διατίθενται μονάδες ευελιξίας και που τα προϊόντα χαρακτηρίζονται από τεχνικές παραμέτρους όπως μέγιστη δυναμικότητα και συχνότητα ενεργοποίησης. Αυτό μπορεί να αποτελέσει μια πολύ ενδιαφέρουσα επιλογή για όλους τους φορείς στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν ως σκοπό να βελτιστοποιήσουν τον προγραμματισμό τους, αλλά και για τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύου, οι οποίοι θέλουν να αυξήσουν την ευελιξία των υπηρεσιών τους. Τα Vrrps, λοιπόν, είναι κατάλληλα και έχουν την δυνατότητα να παρέχουν αυτές τις υπηρεσίες σε μια τέτοια αγορά ευελιξίας[39],[44].

3.2. Εμπόδια κατά την εφαρμογή

Από την ανάλυση του ισχύοντος πλαισίου της αγοράς, προκύπτει ότι πολλαπλοί φραγμοί εμποδίζουν την ανάπτυξη των Vrrps και ιδίως στον τομέα της παροχής υπηρεσιών που ορίσαμε, παραπάνω. Παρακάτω, λοιπόν, παρουσιάζεται μια επισκόπηση των τεχνικών, οικονομικών και ρυθμιστικών φραγμών που επικρατούν αυτή τη στιγμή.

3.2.1. Τεχνικοί φραγμοί

Σε τεχνικό επίπεδο ένα στοιχείο ενός Vrrp θα πρέπει να αποτελείται από το σύστημα ελέγχου με το οποίο θα επικοινωνεί με τα μεμονωμένα DERs. Η απουσία ενός τέτοιου συστήματος αποτελεί σοβαρό εμπόδιο όσον αφορά τη δυνατότητα ανάπτυξης και διασύνδεσης των Vrrps με άλλους φορείς ή μονάδες. Γενικότερα όπως έχουμε αναφέρει οι τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνίας είναι απαραίτητο στοιχείο για την αποδοτικότητα και την ανάπτυξη αποτελεσματικών λύσεων κατά τη λειτουργία ενός Vrrp. Συνεπώς η μη ύπαρξη τους ή η υπολειτουργία τους καθιστούν αυτόματα αδύνατο τον έλεγχο των επιμέρους στοιχείων και την βέλτιστη λειτουργία του Vrrp τόσο σε επίπεδο παραγωγής όσο και σε επίπεδο εξαγωγής της στην αγορά ενέργειας. Επιπλέον, η απουσία υποδομών έξυπνου δικτύου μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη ενός Vrrp. Ένα έξυπνο δίκτυο θα μπορούσε να είναι ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να ενσωματώσει με οικονομικό τρόπο τη συμπεριφορά και τις ενέργειες όλων των χρηστών και των μονάδων που είναι συνδεδεμένοι σε αυτό, δηλαδή γεννητριών και καταναλωτών. Ως εκ τούτου,

αυξάνει τη δυνατότητα παρακολούθησης των χαρακτηριστικών ζήτησης και παραγωγής των συνδεδεμένων μονάδων του[44].

3.2.2. Οικονομικοί φραγμοί

Για τους φορείς που λειτουργούν μονάδες DERs η συμμετοχή σε ένα Vpp θα πρέπει να είναι πιο κερδοφόρα έναντι της αυτόνομης λειτουργίας. Συνεπώς η συμμετοχή τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από μηχανισμούς που βασίζονται στις τιμές. Επίσης τα οικονομικά προγράμματα στήριξης των ανανεώσιμων πηγών ασφαλώς επηρεάζουν την απόφαση αυτή. Για το λόγο αυτό η δυναμική τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας αλληλεπιδρά σημαντικά με το κίνητρο των διάφορων μονάδων να συμμετέχουν σε ένα Vpp. Έτσι οι τιμές ενέργειας και τα τιμολόγια δικτύου θα πρέπει να ρυθμίζονται αυστηρά και με γνώμονα τη πραγματικότητα της αγοράς[44].

3.2.3. Ρυθμιστικοί και νομικοί φραγμοί

Καθώς αυξάνεται η ποσότητα και η πυκνότητα των Vpps, απαιτούνται κατάλληλοι κανονισμοί και πολιτικές λόγω του τεράστιου κόστους και της δυσκολίας παροχής ισχύος σε μεγάλες εγκαταστάσεις και σε αμέτρητους καταναλωτές. Αρκετές πολιτικές και κανονισμοί έχουν εισαχθεί στην Ευρωπαϊκή ένωση, στις ΗΠΑ και σε άλλες ανεπτυγμένες χώρες που αφορούν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για παράδειγμα, ο αμερικανικός νόμος American Recover and Reinvestment (ARRA) αποτελεί σημαντικό ορόσημο της πολιτικής για τις ανανεώσιμες πηγές. Το πρότυπο IEEE 1547 καθιερώνει ένα σύνολο πολιτικών για τη διασύνδεση των DERs με το σύστημα ισχύος, λαμβάνοντας υπόψη τη περιβαλλοντική αξιολόγηση τους[44].

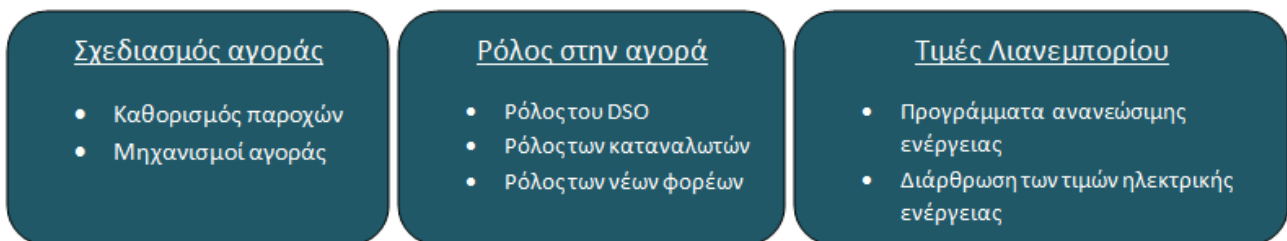
Ακόμη, υπάρχουν και ορισμένοι ρυθμιστικοί φραγμοί, τους οποίους μπορούμε να τους διαχωρίσουμε σε τρεις κατηγορίες. Αρχικά, έχουμε τον τρόπο με τον οποίο διαμορφώνονται οι μηχανισμοί της αγοράς, όπου θα πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να μην δημιουργούνται εμπόδια στη συμμετοχή των Vpps σε αυτήν. Όποτε και όπου είναι απαραίτητο ο καθορισμός των προϊόντων και των υπηρεσιών που αξιοποιούνται, οι οποίοι συχνά καθορίζονται σύμφωνα με τις ρυθμιστικές αρχές θα πρέπει να προσαρμόζονται ώστε τα Vpps να πληρούν τις προϋποθέσεις για την παροχή βοηθητικών υπηρεσιών εξισορρόπησης συχνότητας. Επιπλέον, μέχρι σήμερα οι επικουρικές υπηρεσίες ήταν συχνά προσαρμοσμένες στις συμβατικές μονάδες παραγωγής, ωστόσο, με το καιρό βλέπουμε να εμφανίζεται η τάση να επιτρέπεται στις μονάδες που συνδέονται με τη διανομή να συμμετέχουν στη διαδικασία παροχής επικουρικών υπηρεσιών. Κατανοούμε, λοιπόν, πόσο σημαντική είναι η δημιουργία ενός ρυθμιστικού και νομοθετικού πλαισίου που να επιτρέπει τη

δραστηριοποίηση των Vrrs στο τομέα της παραγωγής και διαχείρισης ενέργειας, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα αποσυμφόρησης του δικτύου μεταφοράς και διανομής σε περιόδους αιχμής και υψηλής ζήτησης[39].

Επιπλέον, απαιτείται να γίνει αποσαφήνιση των ρόλων και των αρμοδιοτήτων του κάθε φορέα στις σημερινές απελευθερωμένες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, εκτός από τον καθορισμό των φορέων, θα πρέπει να εξεταστούν και τα επιθυμητά νέα μέρη που μπορούν να ενταχθούν στην αγορά. Συγκεκριμένα όπως αναφέραμε και παραπάνω ο ρόλος του DSO γίνεται όλο και πιο ενεργός. Εν προκειμένω μπορεί να τεθεί το ερώτημα σε ποιο βαθμό ο DSO θα πρέπει να είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση του δικτύου διανομής και την παροχή υπηρεσιών στο σύστημα. Μια άλλη πτυχή είναι ο τρόπος με τον οποίο οργανώνονται οι οικονομικές απολαβές του DSO. Επίσης, είναι σημαντικό να καθοριστεί σε ποιο βαθμό ο αυξανόμενος αριθμός των prosumers μπορεί να συμβάλει στη διασφάλιση της σταθερότητας του δικτύου[7].

Επίσης, κανονισμοί σχετικά με τις τιμές λιανικής πώλησης ενέργειας και τα τιμολόγια δικτύου έχουν αντίκτυπο στη δραστηριοποίηση των Vrrs και στην ένταξη τους στο δίκτυο διανομής. Τα προγράμματα στήριξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς και η διάρθρωση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζουν τη λειτουργία των μονάδων DERs κατά την απόφασή τους να οργανωθούν σε ένα ενιαίο Vrr[7].

Τα ρυθμιστικά εμπόδια μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 23).



Εικόνα 23: Ρυθμιστικά εμπόδια κατά τη δημιουργία ενός Vrr

Από τα παραπάνω, λοιπόν, μπορούμε εύκολα να συμπεράνουμε ότι ένας εικονικός σταθμός Vrr μπορεί να παρέχει υπηρεσίες στο δίκτυο στο τομέα της μεταφοράς TSO και της διανομής DSO, καθώς, και μια σειρά από άλλες ενεργειακές υπηρεσίες. Ωστόσο, αρχικά, θα πρέπει ξεπεραστούν ορισμένα τεχνικά, οικονομικά εμπόδια, καθώς και ορισμένα ρυθμιστικά εμπόδια κατά τη δημιουργία ενός Vrr, τα οποία περιορίζουν τις ευκαιρίες των εικονικών σταθμών στην ενεργειακή αγορά.

Συμπεράσματα

Από την ανάλυση που κάναμε, βλέπουμε πόσο σημαντική είναι η λειτουργία και ανάπτυξη των εικονικών σταθμών παραγωγής στον τομέα των επικουρικών υπηρεσιών που παρέχουν τόσο για το ηλεκτρικό σύστημα μεταφοράς και διανομής, όσο και για τον τελικό καταναλωτή. Ωστόσο, είδαμε ότι με την αύξηση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και κατ'επέκτασιν των Vrps, ταυτόχρονα αναδύονται καινούργια εμπόδια και φραγμοί που θα πρέπει να διερευνηθούν για να επιτευχθεί η βέλτιστη υλοποίηση τους σε ρυθμιστικό επίπεδο.

Κεφάλαιο 4ο: Εφαρμογές των Εικονικών σταθμών παγκοσμίως και προκλήσεις που αναδύονται

Λόγω της υψηλής διείσδυσης των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (DERs) στο δίκτυο και στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, βλέπουμε ότι η ιδέα των Vrrs έχει αρχίσει να γίνεται όλο και περισσότερο διαδεδομένη. Έχουμε αναφέρει πολλές φορές ότι ένα Vrr μπορεί να ενσωματώσει τις δυνατότητες πολλών διαφορετικών DERs όπως ελεγχόμενα φορτία, ηλεκτρικά οχήματα, μονάδες αποθήκευσης και παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας χωρίς την ύπαρξη γεωγραφικών περιορισμών, με σκοπό την παροχή βοηθητικών υπηρεσιών στο δίκτυο, την πώληση ενέργειας στις αγορές και γενικά την ενίσχυση της αξιοπιστίας του συστήματος. Συνεπώς, για τους παραπάνω λόγους η αύξηση στη δημιουργία έργων, στα οποία συμμετέχουν και Vrrs γίνεται με ραγδαίους ρυθμούς σε πολλές χώρες του κόσμου. Στο κεφάλαιο αυτό λοιπόν θα αναφερθούμε σε ορισμένα προγράμματα Vrr, τα οποία αναπτύσσονται κυρίως στην Ευρώπη, τις ΗΠΑ και την Αυστραλία, καθώς και σε ορισμένες προκλήσεις που δημιουργούνται όσον αφορά την κατανομή των πόρων, τη λειτουργία, τον έλεγχο τις τεχνολογίες επικοινωνίας και τις συναλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας.

Η εμφάνιση των εικονικών σταθμών λοιπόν καθίσταται με τον καιρό επείγουσα ανάγκη για τον ενεργειακό τομέα, λόγω της εξασφάλισης ανθεκτικότητας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό αφορά κυρίως τον περιορισμό της ανάγκης για νέα παραγωγή όποτε είναι απαραίτητο σε περιόδους, δηλαδή, υψηλής ζήτησης. Για αυτό η ιδέα των εικονικών σταθμών βλέπουμε να υιοθετείτε όλο και περισσότερο από επιχειρήσεις και βιομηχανίες ανά τον κόσμο. Η παγκόσμια αγορά για τα Vrrs σύμφωνα με έρευνες και δημοσκόπησης αναμένεται να αυξηθεί από το 2016 μέχρι το 2023 από 191.5 εκατομμύρια σε 1.9 δισεκατομμύρια δολάρια και από 1.3 δισεκατομμύρια δολάρια το 2019 αναμένεται να φτάσει τα 5.9 δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2027 σημειώνοντας ετήσιο ρυθμό αύξησης από το 2020 μέχρι το 2027 της τάξης του 21.3%. Στην Ευρώπη, προκειμένου να γίνει δυνατή η ενσωμάτωση των νέων μονάδων κατανεμημένης παραγωγής, έχει αρχίσει να γίνεται προσαρμογή των δικτύων, ώστε να περιλαμβάνουν σύγχρονες και πιο προηγμένες δυνατότητες, ενώ ταυτόχρονα δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για την ένταξη τους στις ενεργειακές αγορές. Το Ευρωπαϊκό Κέντρο απόκρισης στη ζήτηση (European Demand Response Center) που ξεκίνησε τη λειτουργία του τον Μάρτιο του 2011,

παρέχει υποστήριξη στις νέες δομές Vpp που δημιουργούνται μέσα από την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και υπηρεσιών και την οικονομική ενίσχυση των φορέων διαχείρισης των εικονικών σταθμών. Επίσης στην Αυστραλία η κυβέρνηση με τη συνεργασία της Αυστραλιανής Επιτροπής Ενεργειακής Αγοράς, της υπηρεσίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, του φορέα εκμετάλλευσης της ενεργειακής αγοράς και της ρυθμιστικής αρχής ενέργειας, γίνονται επιτυχημένες προσπάθειες για την δημιουργία μεγάλων δομών εικονικών σταθμών[8].

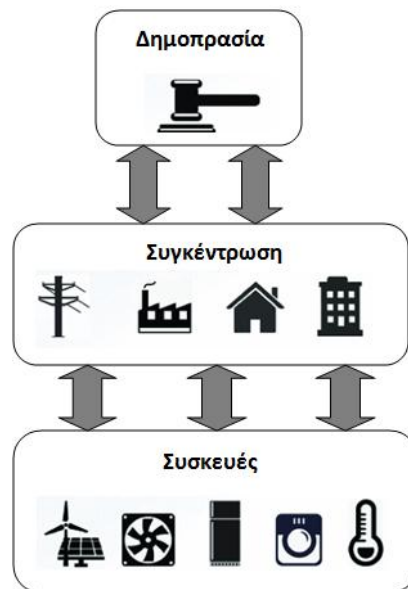
Βλέπουμε, λοιπόν, ότι ο εικονικός σταθμός εξελίσσεται σταδιακά σε ανάγκη για τη βιομηχανία σε πολλά μέρη του κόσμου και ότι η τάση του θα συνεχιστεί σίγουρα και μελλοντικά. Στους παρακάτω πίνακες απεικονίζονται ορισμένα έργα εικονικών σταθμών, παγκοσμίως.

Όνομα	Έτη	Χώρες	Είδη καταναμημένων πόρων	Λειτουργίες
VFCPP	2001-2005	Γερμανία, Ολλανδία, Ισπανία	Κυψέλες καυσίμου	Εξετάζει αν οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να εφαρμοστούν σε οικίες
PM VPP	2005-2007	Ολλανδία	μCHP	Παρέχει τον μηχανισμό της αγοράς
FENIX	2005-2009	Ισπανία, Ηνωμένο Βασίλειο, Γαλλία	Φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μCHP	Επιτρέπει την ενσωμάτωση των DERs στο μελλοντικό ενεργειακό σύστημα
Edison	2009-2012	Δανία	Ηλεκτρικά οχήματα	Παρέχει την απαιτούμενη ισχύ εξισορρόπησης
Web2energy	2010-2015	Γερμανία, Πολωνία	Φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, Βιομάζα, υδροηλεκτρική ενέργεια	Εφαρμογή έξυπνης διανομής ενέργειας
ConEdison	2016-2018	ΗΠΑ	Φωτοβολταϊκά, συστήματα αποθήκευσης μπαταριών	Ενσωματώνει ηλιακούς κατοικιών και αποθηκευτικά μέσα στο δίκτυο
SA VPP	2016-2018	Αυστραλία	Φωτοβολταϊκά, μπαταρίες	Παρέχει υποστήριξη στο δίκτυο, ασφαλή τροφοδοσία

Πίνακας 2: Προγράμματα Vpps σε παγκόσμιο επίπεδο

4.1.1. PowerMatcher

Το PowerMatcher (PM) είναι ένα πρόγραμμα που βασίζεται στον έλεγχο της ζήτησης και κάλυψης της μέσα από την απαιτούμενη παροχή δίνοντας υψηλό μερίδιο στη καταναεμημένη παραγωγή για την κάλυψη αυτής της ζήτησης. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει προταθεί από το κέντρο ενεργειακών ερευνών της Ολλανδίας. Το PM ουσιαστικά λειτουργεί ως μηχανισμός εξισορρόπησης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, όποτε η ζήτηση είναι σε υψηλά επίπεδα. Αυτή είναι και η υπηρεσία που αποφέρει και τα οικονομικά οφέλη στο πρόγραμμα αυτό, μέσα από την προώθηση της στην αγορά ενέργειας. Η γενική αρχιτεκτονική απεικονίζεται, πιο παραστατικά, στο παρακάτω σχήμα[8].

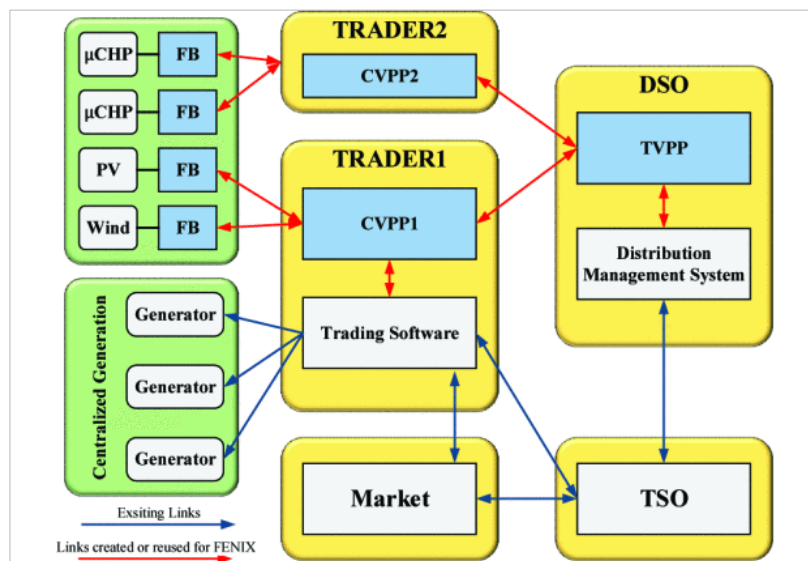


Εικόνα 24: Η γενική αρχιτεκτονική του Powermarcher[2]

Μια πόλη της Ολλανδία όπου έχει αναπτυχθεί το πρόγραμμα PowerMatching είναι το Χούγκερκ το οποίο βασίζεται σε έξυπνες τεχνολογίες του ενεργειακού δικτύου και καλύπτει τις ανάγκες 25 σπιτιών, τα οποία συγκεντρώνονται σε μια τοπική ενεργειακή αγορά. Αποτελείται από υβριδικές αντλίες θερμότητας, φωτοβολταϊκά πάνελ, έξυπνες συσκευές και ηλεκτρικά οχήματα. Πλεόνασμα ενέργειας παρέχεται από ένα αιολικό πάρκο και έναν αεριοστρόβιλο[8].

4.1.2. FENIX

Το FENIX είναι ένα ευρωπαϊκό σχέδιο, το οποίο χρηματοδοτείται εν μέρει από την ευρωπαϊκή επιτροπή στο πλαίσιο ενός προγράμματος έρευνας όπου γίνεται με τη συμμετοχή 20 χωρών και ο συνολικός προϋπολογισμός ανέρχεται στα 14.7 εκατομμύρια ευρώ. Στόχος του προγράμματος είναι να ενσωματώσει τα DERs στη λειτουργία και την ανάπτυξη των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Στη παρακάτω εικόνα (Εικόνα 25), βλέπουμε πως διαμορφώνεται η γενική αρχιτεκτονική του [8].



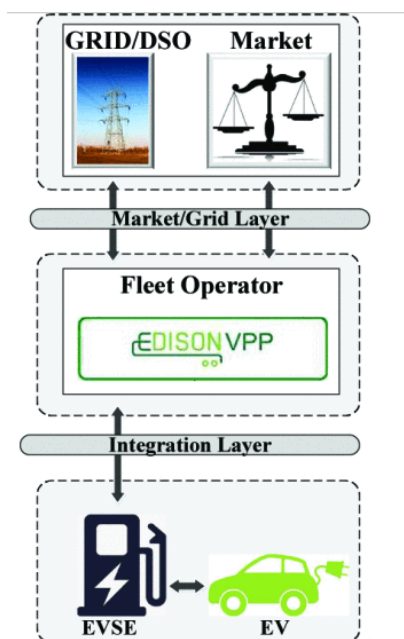
Εικόνα 25: Αρχιτεκτονική του FENIX[48]

Από την παραπάνω αρχιτεκτονική παρατηρείται ότι αναπτύσσεται και η ιδέα του TVPP αλλά και του CVPP. Συγκεκριμένα:

- Στο πρόγραμμα επιτρέπεται η απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχος των διασυνδεδεμένων μονάδων DERs.
- Το CVPP είναι υπεύθυνο για τον προγραμματισμό και βελτιστοποίηση της λειτουργίας των μονάδων DERs.
- Το TVPP που βρίσκεται στον τομέα του συστήματος διαχείρισης της διανομής (DMS) εκτελεί λειτουργίες τεχνικής φύσεως όπως ρύθμιση της συχνότητας και αντιμετώπιση προβλημάτων σχετικά με την τάση λειτουργίας τη συμφόρηση του δικτύου και άλλα[48].

Οι κατανεμημένες μονάδες συνδέονται μέσω του CVPP και ειδικών προγραμμάτων στο κέντρο αποστολής. Κάθε CVPP καταρτίζει συγκεντρωτικές προσφορές που στέλνονται στους φορείς της αγοράς. Στη συνέχεια, η αγορά επιβεβαιώνει τη συναλλαγή, και ο διαχειριστής του CVPP ενημερώνει τον DSO για την επικύρωση της συναλλαγής με την αγορά. Τέλος, ο DSO συγκεντρώνει την παραγωγή από τις μονάδες και την αποστέλλει στον TSO. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για τη διαχείριση της συμφόρησης στο δίκτυο, μέσα από το TVPP[48].

4.1.3. EDISON



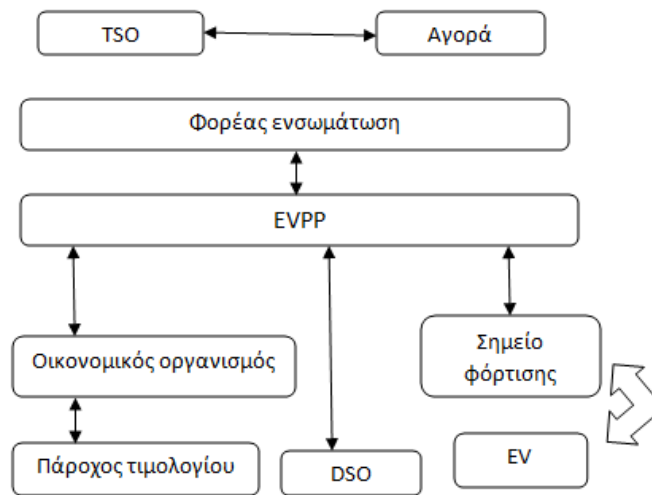
Εικόνα 26: Αρχιτεκτονική EDISON[48]

Σκοπός του έργου Edison είναι η συγκέντρωση και αποθήκευση της παραγωγής διάφορων ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων, για την παροχή της απαιτούμενης ισχύος εξισορρόπησης, όποτε είναι απαραίτητο. Επίσης στοχεύει και στην αύξηση της χρήσης της αιολικής ενέργειας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της Δανίας. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα διαθέτει μεθόδους μέτρησης και τιμολόγησης που εξαρτώνται από το χρόνο κατανάλωσης, πράγμα που προσελκύει όλο και περισσότερους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων να συμμετάσχουν στο έργο, αφού τους επιτρέπει να επωφεληθούν από τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας. Η αρχιτεκτονική και το ευρύτερο μοντέλο του δικτύου με τους φορείς παρουσιάζονται στις εικόνες 26,27[8].



Εικόνα 27: Φορείς που συμμετέχουν στο πρόγραμμα Edison[48]

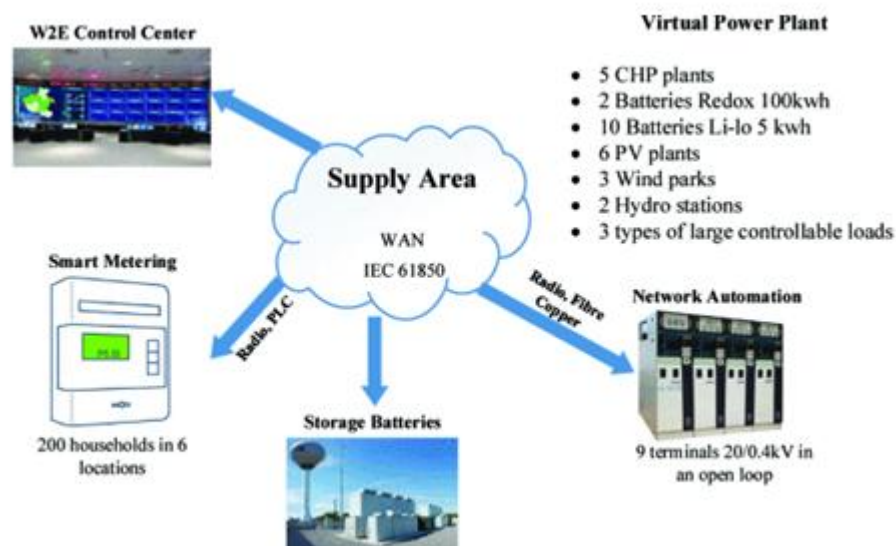
Το Δανικό μοντέλο EDISON δημιουργήθηκε με σκοπό να καταδείξει έναν ευέλικτο τρόπο φόρτισης και εκφόρτωσης των ηλεκτρικών οχημάτων. Έτσι, αν αυτή η ευελιξία αντιμετωπιστεί με έξυπνο τρόπο από ένα Vpp μπορεί να υπάρχει σημαντικό οικονομικό όφελος για τον ιδιοκτήτη του οχήματος, το ηλεκτρικό δίκτυο και την κοινωνία. Επί του παρόντος, η ομάδα του προγράμματος EDISON εξετάζει τη χρήση κεντρικού ελέγχου για την παρακολούθηση και τη βέλτιστη αποστολή της ενέργειας από τις μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων (EV), ενώ παράλληλα εξετάζεται και ένα αποκεντρωμένο σύστημα ελέγχου που βασίζεται σε ενδείξεις τιμών πραγματικού χρόνου και ενδέχεται να προσφέρει μεγαλύτερη σταθερότητα και προβλεψιμότητα[8].



Εικόνα 28: Αρχιτεκτονική EDISON[2]

4.1.4. WEB2ENERGY

Το πρόγραμμα Web2Energy έχει ως στόχο να υλοποιήσει και να καθιερώσει και τους τρεις πυλώνες της έξυπνης διανομής που είναι η έξυπνη μέτρηση, έξυπνη διαχείριση ενέργειας και την έξυπνη και αυτοματοποιημένη διανομή. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει αναπτυχθεί γύρω από μια πόλη της Γερμανίας το Ντάρμστατ (Darmstadt) και είναι εξοπλισμένο με μετασηματιστές που βρίσκονται σε επιλεγμένο τμήμα του δικτύου με σκοπό την απομακρυσμένη εποπτεία του συστήματος. Το έργο απαρτίζεται από 5 μονάδες CHP, 12 μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας, 12 φωτοβολταϊκές μονάδες, 3 αιολικά πάρκα, 2 υδροηλεκτρικές μονάδες, 3 μεγάλα ελεγχόμενα φορτία. Τέλος στο πρόγραμμα συμμετέχουν και 200 οικιακοί καταναλωτές, οι οποίοι συμβάλλουν στην έρευνα που γίνεται για την ανταπόκριση στη ζήτηση διάρκειας ενός έτους. Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 29), παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική και τα στοιχεία του έργου WEB2ENERGY[8],[49].



Εικόνα 29: Αρχιτεκτονική και τα στοιχεία του Web2Energy[48]

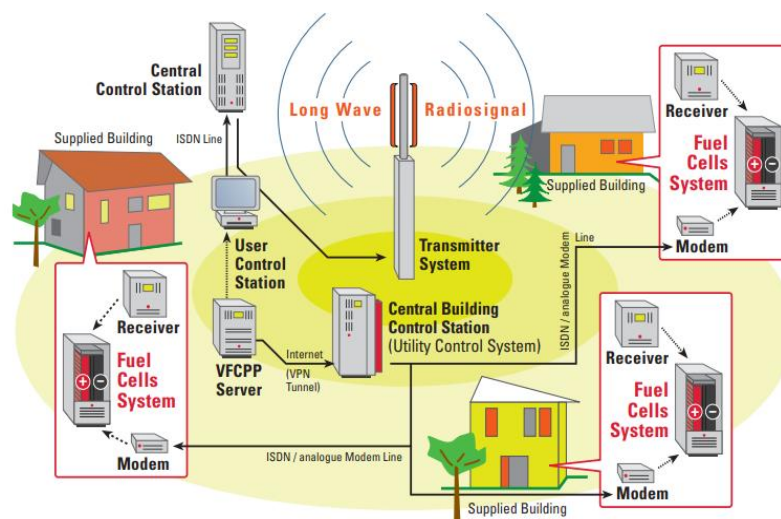
4.1.5. Professional Virtual power plant (ProVipp)

Το πιλοτικό πρόγραμμα ProVipp είναι ένα έργο που έλαβε χώρα τον Οκτώβριο του 2008 σε μια αγροτική περιοχή της Βεστφαλίας στη Γερμανία, όπου δυο ποταμοί της περιοχής διασυνδέθηκαν με ένα υδροηλεκτρικό εργοστάσιο της Siemens μέσω του Distributed energy management system (DEMS) της ίδιας εταιρείας. Το έργο λειτούργησε ως μια μεγάλη εγκατάσταση αρχικής παραγωγής 8,6MW. Το DEMS

ουσιαστικά αποτελεί ένα ολοκληρωμένο λογισμικό που εκτελεί μια σειρά από λειτουργίες, οι οποίες σχετίζονται με τη συμμετοχή των κατανεμημένων πόρων στην ενεργειακή αγορά. Με βάση την προβλεπόμενη τιμή της αγοράς για την επόμενη ημέρα και πληροφορίες για κάθε σταθμό ηλεκτροπαραγωγής, το DEMs προβαίνει σε αναφορές και ενημερώσεις για το εμπόριο ενέργειας, που με τη σειρά τους θα ελεγχθούν και θα εγκριθούν από τον διαχειριστή του συστήματος. Τέλος, η προσφορά που θα γίνει αποδεκτή θα πραγματοποιηθεί από τα Vpps που ανήκουν στο DEMs[8].

4.1.6. Virtual Fuel Cell Power Plant (VFCPP)

Το πρόγραμμα VFCPP υλοποιήθηκε από το 2001 έως το 2005 με στόχο την ανάπτυξη την εγκατάσταση και τη δοκιμή ενός εικονικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούμενο από 31 αποκεντρωμένες και αυτόνομες κυψέλες καυσίμου. Τα συστήματα αυτά χαμηλής θερμοκρασίας έχουν την ικανότητα να παράγουν 4.5 έως 9 KW ενέργειας και εγκαταστάθηκαν σε διαμερίσματα, σπίτια και μικρές επιχειρήσεις σε όλη την Ευρώπη. Στο συγκεκριμένο έργο αναπτύχθηκε και ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου και το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης, τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους, επιτρέποντας στα βοηθητικά προγράμματα να ελέγχουν τα συστήματα μCHP και να ανταποκρίνονται κατάλληλα σε περιπτώσεις υψηλής ζήτησης. Η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος φαίνεται στη παρακάτω εικόνα Εικόνα 30[8].

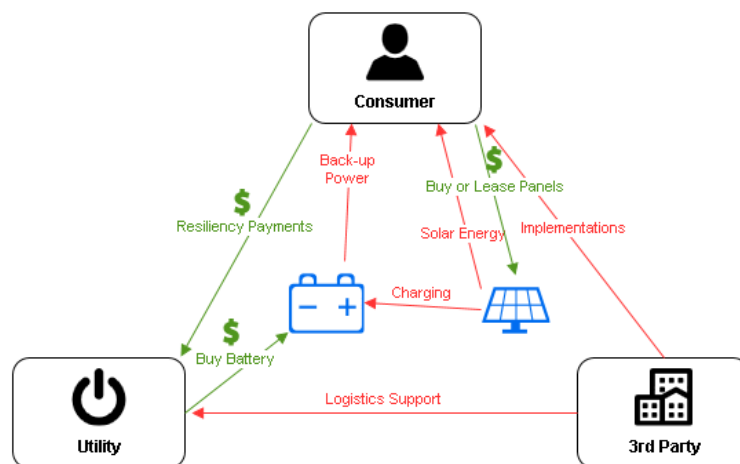


Εικόνα 30: Αρχιτεκτονική Virtual fuel power plant[50]

4.2. Υπό κατασκευή προγράμματα

4.2.1. ConEdison

Ο στόχος του προγράμματος ConEdison είναι να δοκιμάσει ένα επιχειρηματικό εγχείρημα για την ενσωμάτωση στο δίκτυο, συσσωρευτών ενέργειας και οικιακών συστημάτων ηλιακής ενέργειας με δυνατότητες αποθήκευσης. Έτσι, εκατοντάδες ηλιακά συστήματα και συστήματα αποθήκευσης μπαταριών θα συγκεντρωθούν ως σύστημα Vpp και θα εγκατασταθούν μαζί με κατάλληλους μετρητές στα σπίτια των πελατών. Το έργο αναπτύσσεται ώστε να ελέγχεται αυτόνομα μέσω κατάλληλου λογισμικού που διατίθενται και να μπορεί να προσομοιώνει μια ενιαία, μεγαλύτερη εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας. Τέλος, το εγχείρημα αυτό αναμένεται να κοστίζει, περίπου, 15 εκατομμύρια ευρώ και η υλοποίηση του θα γίνει σε διάστημα αρκετών ετών[8].

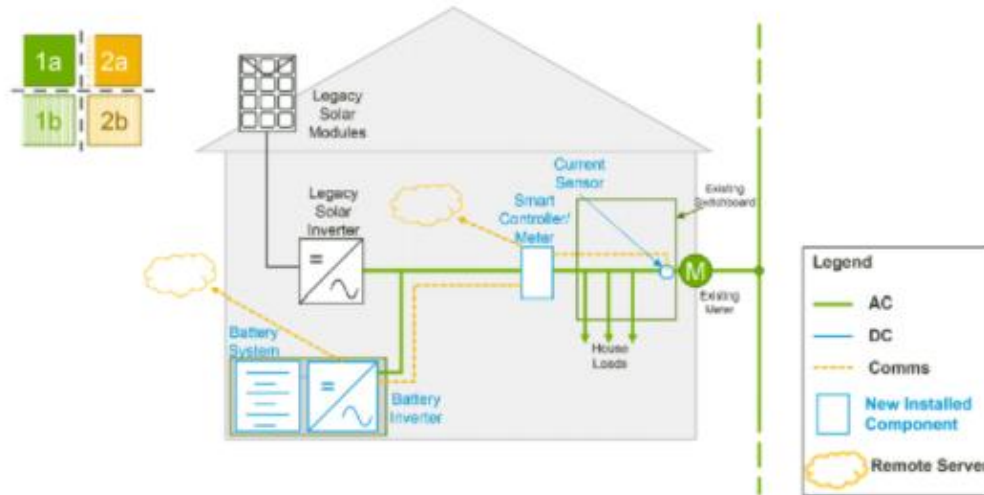


Εικόνα 31: ConEdison πρόγραμμα[51]

4.2.2 South Australian

Το Vpp που αναπτύσσεται στη νότια Αυστραλία σε συνεργασία με την εταιρεία Τέσλα (Tesla), παρέχει μια λύση που έχει ως στόχο να βοηθήσει τους πελάτες να διαχειριστούν τους λογαριασμούς ενέργειας και ταυτόχρονα θα συμβάλλει στη σταθερότητα του δικτύου και αναμένεται να αποτελέσει το μεγαλύτερο Vpp, παγκοσμίως. Πέρα από αυτό το συγκεκριμένο Vpp θα έχει ικανότητα αποθήκευσης 7MWh ενέργειας, με παραγωγή που αντιστοιχεί σε ένα ηλιακό εργοστάσιο με

δυνατότητα ως 5MW, που είναι αρκετή ενέργεια για 1000 σπίτια. Τέλος, θα παρέχει εξισορρόπηση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και θα υποστηρίξει τη διεύθυνση της ανανεώσιμης παραγωγής σε αυτό[8].



Εικόνα 32: Σχηματικό διάγραμμα South Australian προγράμματος[52]

Συμπεράσματα

Με την ανάπτυξη της βιομηχανίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ο αριθμός των κατανεμημένων μονάδων DERs είναι δεδομένο ότι θα αυξηθεί με την πάροδο του χρόνου και τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας θα γίνονται όλο και περισσότερο αποκεντρωμένα. Έτσι, ως μια ευφυή υπηρεσία που κατανέμει τις επιμέρους μονάδες της με στόχο τη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και ως μια εμπορεύσιμη μονάδα στις αγορές χονδρικής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, ο εικονικός σταθμός παραγωγής θα πρέπει να συγκεντρώνει, να βελτιστοποιεί, να συντονίζει και να ελέγχει τα DERs που καλύπτουν την κατανεμημένη παραγωγή, το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας και τα φορτία κατανάλωσης. Ένα Vpp μπορεί να αξιοποιήσει πλήρως τους πόρους από την πλευρά της παραγωγής, αλλά και αυτούς που βρίσκονται από την πλευρά του χρήστη δηλαδή της κατανάλωσης, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στους καταναλωτές να αλληλεπιδρούν ευκολότερα με το δίκτυο. Επιπλέον, με τις υπηρεσίες εξισορρόπησης που παρέχει στο σύστημα μειώνει σημαντικά τα επενδυτικά κόστη για άλλες

ασύμφωρες εγκαταστάσεις παροχής ενέργειας. Τέλος, ένα Vpp ενσωματώνει στις λειτουργίες του τεχνολογίες ελέγχου και έξυπνων μετρήσεων, ευέλικτες τεχνολογίες για τις ενεργειακές συναλλαγές, καθώς και τεχνολογίες επικοινωνίας και πληροφοριών, έτσι ώστε να προωθήσει την αποδοτική αξιοποίηση των πόρων που διαθέτει και να βελτιώσει τα συνολικά οικονομικά και κοινωνικά οφέλη.

Κεφάλαιο 5ο: Επιχειρησιακά μοντέλα εικονικών σταθμών

Η σημερινή απελευθερωμένη αγορά στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας ενθαρρύνει τον ανταγωνισμό τόσο στους τομείς της παραγωγής όσο και της ζήτησης για την επίτευξη κοινωνικοοικονομικής αποτελεσματικότητας και ελευθερία επιλογής για τους καταναλωτές. Η αγορά επικουρικών υπηρεσιών, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση της αξιόπιστης λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, παρέχει μια επιπλέον εμπορική οδό που συνδέει το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή τους διαχειριστές των Vpps και τους ιδιοκτήτες των DERs με τους πελάτες ηλεκτρικής ενέργειας. Υπό το πρίσμα αυτό, στο παρόν κεφάλαιο θα μελετηθούν τα επιχειρησιακά μοντέλα, δηλαδή οι τρόποι, με τους οποίους μπορεί να συνδεθεί η λειτουργία των Vpps με την σύγχρονη αγορά ενέργειας. Η σύνδεση αυτή θα γίνεται όμως με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε να επωφελούνται όλες οι σχετικές ομάδες, δηλαδή, οι καταναλωτές, οι εταιρείες και οι ιδιοκτήτες των DERs. Ένα αποδοτικό μοντέλο αγοράς, λοιπόν θα πρέπει να έχει ως σκοπό το μέγιστο όφελος, γι' αυτό και θα πρέπει να διέπεται από σωστή στρατηγική, αποδοτικό τρόπο λειτουργίας και πλάνο μεγιστοποίησης του κέρδους[53].

Για να εξασφαλιστεί λοιπόν η ύπαρξη κέρδους σε έναν εικονικό σταθμό παραγωγής, η δημιουργία αποδοτικών επιχειρηματικών μοντέλων κρίνεται απαραίτητη. Διάφοροι παράγοντες, ωστόσο θα πρέπει να εξεταστούν κατά την ανάπτυξη ενός επιχειρησιακού μοντέλου όπως οι ανάγκες του συστήματος ηλεκτροδότησης, οι ανάγκες των καταναλωτών και ο παράγοντας της αγοράς ενέργειας. Στόχος λοιπόν ενός τέτοιου μοντέλου είναι να ικανοποιήσει και την μεριά των χρηστών και τη μεριά του δικτύου μέσα από τις υπηρεσίες που θα παρέχει αποδίδοντας ταυτόχρονα οικονομικό όφελος από αυτή τη διαδικασία[53].

5.1. Πρόβλεψη και εμπόριο ανανεώσιμης ενέργειας

Το πρώτο μοντέλο που θα μελετήσουμε είναι αυτό των προβλέψεων και του εμπορίου των ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων. Όπως είναι γνωστό, όσο μεγαλύτερη γίνεται η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών στο τομέα της παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο μεγαλώνει και η ανάγκη της ύπαρξης αξιόπιστων προβλέψεων. Έτσι οι φορείς που διαχειρίζονται τα Vpps θα πρέπει να διαθέτουν ανά

πάσα στιγμή ακριβείς πληροφορίες από τις γεννήτριες παραγωγής για την διατήρηση της σταθερής λειτουργίας των μονάδων τους. Επίσης είναι γνωστό πως αν υπάρχουν αποκλίσεις από το προβλεπόμενο ενεργειακό αποτέλεσμα θα πρέπει άμεσα να αντισταθμίζονται σε μικρό χρονικό διάστημα, γιατί ενδέχεται να επιφέρουν οικονομικές απώλειες στο σύστημα. Αυτές οι απώλειες επιφέρουν οικονομικές ποινές και στους διαχειριστές των Vpps, για τον λόγο αυτό ενθαρρύνονται να έχουν μια ολοκληρωμένη εικόνα για την λειτουργία των μονάδων τους, με το να διαθέτουν πρακτικά συνεχείς και ακριβείς προβλέψεις για τις αποδόσεις τους[54].

Η όλη αυτή διαδικασία των προβλέψεων μπορεί να γίνεται μέσα από τη σύνδεση και την επικοινωνία των επιμέρους στοιχείων του Vpp με τη χρήση τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών, έτσι ώστε ο συνολικός όγκος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από όλες τις κατανεμημένες μονάδες όπως φωτοβολταϊκά ή αιολικά πάρκα να εμφανίζεται ζωντανά σε οθόνες παρακολούθησης. Επίσης είναι σημαντικό να γίνεται και αξιοποίηση των ιστορικών δεδομένων, τα οποία θα εισάγονται στο σύστημα από τις μετρήσεις του διαχειριστή του συστήματος διανομής (DSO), καθώς και από μετεωρολογικά δεδομένα. Όλα αυτά, έπειτα, θα περνούν από στατιστική ανάλυση και από ειδικούς αλγορίθμους μηχανικής μάθησης με σκοπό την εξαγωγή βέλτιστων δυνατών προβλέψεων[54].

Πως αυτή η διαδικασία θα αποφέρει κέρδος; Είναι το κύριο ερώτημα που μας απασχολεί. Ουσιαστικά, ο διαχειριστής του Vpp θα πρέπει να ελέγχει, συνεχώς, τις τιμές που έχει η ηλεκτρική ενέργεια στην ενεργειακή αγορά και να παράγει ενέργεια όταν το κόστος της είναι υψηλό ή να αφήνει τις μονάδες να λειτουργούν με μικρότερες αποδόσεις όταν οι τιμές είναι χαμηλές. Η στρατηγική αυτή μπορεί να οδηγήσει σε μεγιστοποίηση των εσόδων από την παράγωγη και να συμβάλει σε μια πιο βιώσιμη χρήση και αξιοποίηση των εγκαταστάσεων[54].

5.2. Συγκέντρωση των ενεργειακών δυνατοτήτων από ανανεώσιμους πόρους

Ένα ακόμα μοντέλο αγοράς στο οποίο αξίζει να αναφερθούμε είναι η συγκέντρωση των δυνατοτήτων από ανανεώσιμους πόρους. Στο συγκεκριμένο μοντέλο, από την πλευρά της παροχής ενέργειας ο διαχειριστής του δικτύου μεταφοράς (TSO) ανταποκρίνεται σε ενδεχόμενες διακυμάνσεις στη συχνότητα του δικτύου παρέχοντας επιπλέον ενέργεια μέσα από τις μονάδες DERs που διευθύνει. Πολλές χώρες λοιπόν στην Ευρώπη και όχι μόνο έχουν αρχίσει να αξιοποιούν το πλεόνασμα ενέργειας που διαθέτουν τα DERs με τη βοήθεια ειδικών τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας. Έτσι οι μονάδες DERs μπορούν να παρέχουν επικουρικές υπηρεσίες στην

εξισορρόπηση της συχνότητας του δικτύου. Αν υπάρχει κάποια ανισορροπία στη συχνότητα, ο διαχειριστής του Vpp δέχεται εντολή από τον διαχειριστή του δικτύου για παροχή, επιπλέον, ενέργειας. Το Vpp με τη χρήση ειδικών αλγορίθμων αποφασίζει ποιες από τις διαθέσιμες μονάδες DERs είναι ικανές να παρέχουν πλεόνασμα ενέργειας στο δίκτυο βάση των δυνατοτήτων παραγωγής τους, το μέγεθος του αποθηκευτικού χώρου και την διαθεσιμότητα σε πλεονάζουσα ενέργεια[54].

Τα έσοδα τώρα από το συγκεκριμένο μοντέλο αγοράς προκύπτουν με τον ακόλουθο τρόπο. Αρχικά ο διαχειριστής του Vpp διακρίνει ποιιά DERs μπορούν να συνεισφέρουν στην εξισορρόπηση του δικτύου για την μεταφορά επιπλέον ενέργειας σε αυτό. Έπειτα η διαθέσιμη ενέργεια αποστέλλεται από τα DERs στο δίκτυο κάτι που μεταφράζεται σε κέρδος για τους κατόχους των μονάδων. Για παράδειγμα ιδιοκτήτες μπαταριών, σταθμών βιοαερίου, υδροηλεκτρικών σταθμών και ηλεκτρικών οχημάτων. Τέλος, μέσα από αυτή τη λειτουργία παρέχεται υψηλό ποσοστό ευελιξίας και αξιοπιστίας του δικτύου, αφού υπάρχει η δυνατότητα ανταπόκρισης στις απαιτήσεις ακόμα και σε περιόδους μεγάλης ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια[54].

5.3. Ανταπόκριση στη ζήτηση (Demand response aggregator)

Το πρόγραμμα ανταπόκρισης στη ζήτηση είναι ένα ακόμα μοντέλο αγοράς που χρησιμοποιείται, κυρίως, στην Αμερική και λιγότερο στην Ευρώπη και έχει ως στόχο τη διατήρηση της βιωσιμότητας και της σταθερότητας του συστήματος σε περιόδους υψηλών απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια, υψηλής παράγωγης από τα DERs και υψηλών τιμών ηλεκτρικού ρεύματος. Η αποδοτικότητα αυτού του μοντέλου εξαρτάται σημαντικά από την συμπεριφορά του τελικού χρηστή. Συγκεκριμένα, παρέχονται οικονομικά κίνητρα στους καταναλωτές και ως αντάλλαγμα ζητείται από αυτούς η μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν σε περιόδους όπου η τιμή της στην ενεργειακή αγορά είναι υψηλή. Τα κίνητρα αυτά μπορεί να είναι είτε εξοικονόμηση χρημάτων από λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος είτε οικονομικές ανταμοιβές ανάλογα με τη συμμετοχή τους. Επιπλέον, υπάρχει μεγαλύτερη ενεργειακή αποτελεσματικότητα που οδηγεί στην αύξηση της αξιοπιστίας και της σταθερότητας του δικτύου και στη μείωση των εξόδων συντήρησης του εξοπλισμού. Γενικά, αξίζει να αναφερθεί ότι όσο περισσότεροι καταναλωτές συμμετέχουν τόσο

περισσότερο επωφελούνται γιατί τα έσοδα του Vpp προκύπτουν, ανάλογα με το πόσο μεγάλη είναι η συμμετοχή των χρηστών[53],[54].

Μια συμβατική μέθοδος για την κατηγοριοποίηση των προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση είναι να τα διαχωρίσουμε σε προγράμματα που βασίζονται σε κίνητρα (incentive based) ή σε προγράμματα που βασίζονται σε τιμές (price based). Τα προγράμματα τιμών, ουσιαστικά, ενημερώνουν τους τελικούς χρήστες για την αύξηση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας και στη συνέχεια οι ίδιοι επιλέγουν αν θα ανταποκριθούν. Τα προγράμματα κινήτρων είναι εκείνα όπου ο χρήστης λαμβάνει οικονομικές ανταμοιβές για περικοπές που πραγματοποιεί στην κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο μόνο τα προγράμματα κινήτρων μπορούν να συμμετέχουν δυναμικά στην ενεργειακή αγορά, γιατί χρησιμοποιούν συμβόλαια δέσμευσης των καταναλωτών ως προς τη συμπεριφορά που θα ακολουθούσουν, ενώ αντίθετα τα προγράμματα τιμών δεν έχουν αυτή τη δυνατότητα, γιατί δεν μπορούν να προβλέψουν το αποτέλεσμα που θα έχουν[54].

Αρκετές αγορές πλέον έχουν αρχίσει να επιτρέπουν την συμμετοχή του μοντέλου απόκρισης στη ζήτηση στη σημερινή αγορά ενέργειας μέσα από προσφορές που πραγματοποιούν προς τη μεριά της ζήτησης. Έτσι, μεγάλοι τελικοί καταναλωτές ή οι διαχειριστές των Vpps μπορούν να προσφέρουν, άμεσα, μεγάλες ποσότητες εξοικονομούμενης ενέργειας σε δημοπρασίες ενέργειας, ως αντικατάσταση των παραδοσιακών μεθόδων παραγωγής.

5.4. Οικιακό μοντέλο (Residential model)

Το οικιακό μοντέλο είναι αρκετά δημοφιλές σε χώρες όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Αυστραλία, το Βέλγιο και η Γαλλία. Στο συγκεκριμένο μοντέλο υπάρχουν δυο διαφορετικές προσεγγίσεις. Στην πρώτη προσέγγιση οι καταναλωτές που είναι και παραγωγοί ενέργειας (prosumers) ενθαρρύνονται να δημιουργούν μικροδίκτυα και να καλύπτουν τις ενεργειακές τους ανάγκες από την ενέργεια που παράγουν οι ίδιοι αποκτώντας έτσι ευελιξία και ανεξαρτησία από το ενεργειακό σύστημα. Στη δεύτερη προσέγγιση, οι prosumers έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν το πλεόνασμα ενέργειας από την παραγωγή τους στο κυρίως δίκτυο μειώνοντας ακόμα περισσότερο τη χρήση του δικτύου, παρέχοντας παράλληλα επικουρικές υπηρεσίες σε περιόδους υψηλής ζήτησης σε ενέργεια. Αυτό τους παρέχει οικονομικά οφέλη και μειώνει τα κόστη συντήρησης και αναβάθμισης του δικτύου ηλεκτροδότησης[54].

Επιχειρησιακά μοντέλα	Διαχειριστής	Τεχνολογίες	Υπηρεσίες	Έσοδα	Χώρες
Πρόβλεψη και εμπόριο ανανεώσιμης ενέργειας	Πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας	Ηλιακή, Αιολική, Υδροηλεκτρική	Συντονισμό των μονάδων, Προβλέψεις	Παροχή ενέργειας βάσει προβλέψεων των τιμών της αγοράς	Ευρώπη
Συγκέντρωση ανανεώσιμων πόρων	TSO	Βιομάζα, Υδροηλεκτρική, φυσικό αέριο, γεωθερμική, CHP	Ευελιξία από ανανεώσιμους πόρους	Έσοδα από προσφορές σε αγορές υπηρεσιών	Ευρώπη, Βόρεια Αμερική, Αυστραλία, Ανατολική Ασία
Ανταπόκριση στη ζήτηση	TSO	Ηλεκτρόλυση, πυρόλυση, συμπιεστές, μπαταρίες	Ευελιξία από μονάδες DERs	Έσοδα από ενεργειακές παροχές	Ευρώπη, Βόρεια Αμερική, Αυστραλία
Οικιακό μοντέλο	Καταναλωτές/TSO	Ηλιακή, Αιολική μπαταρίες, φυσικό αέριο	Ευελιξία από οικιακές μονάδες	Απολαβές από παροχές στο δίκτυο	ΗΠΑ, Αυστραλία, Βέλγιο, Γαλλία

Πίνακας 3: Επιχειρησιακά μοντέλα εικονικών σταθμών

5.5. Εικονικός σταθμός και αγορά

Η ραγδαία αυξανόμενη διείσδυση των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (DERs) και η τάση που υπάρχει πλέον προς μια πιο απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, απαιτεί αποτελεσματικότερες στρατηγικές διαχείρισης της, ώστε να αντιμετωπίζονται τόσο τα τεχνικά όσο και τα οικονομικά εμπόδια που αναδύονται. Στο παρόν υποκεφάλαιο λοιπόν θα αναλύσουμε πως ένα Vpp μπορεί να λειτουργήσει στα πλαίσια της ενεργειακής αγοράς, παρέχοντας τη δυνατότητα σε μεμονωμένα DERs να έχουν πρόσβαση στις τρέχουσες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα θα αναφερθούμε στο σενάριο της υποβολής προσφορών και το σενάριο ελέγχου των τιμών, τα οποία μπορούν να υιοθετηθούν από ένα Vpp βασισμένο στα δεδομένα της αγοράς (market based) και στα οφέλη που μπορεί να έχει αυτό μέσα από τη χρήση ενός συστήματος θερμότητας και ισχύος (μCHP).

5.5.1. Σχεδιασμός του Market based εικονικού σταθμού

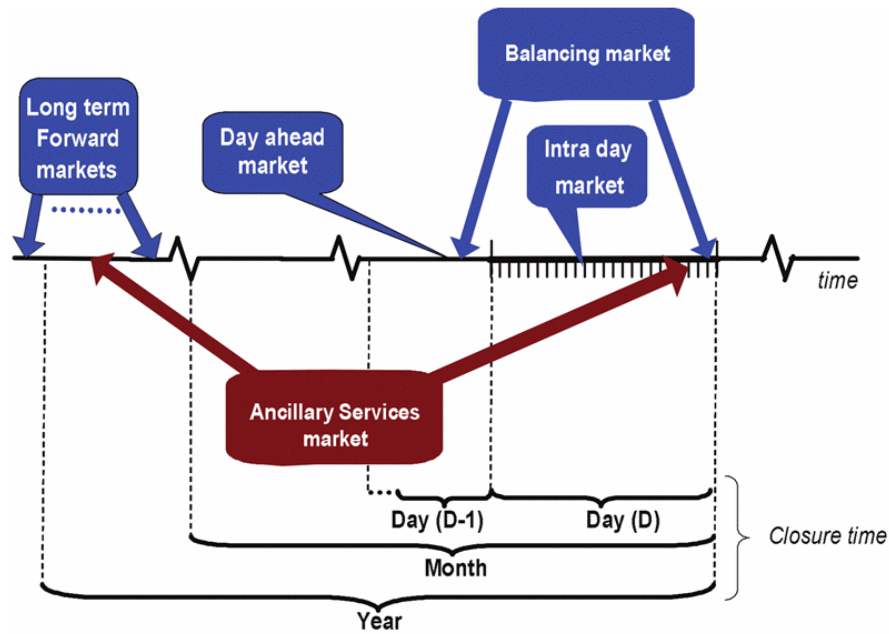
Όπως αναφέραμε η διείσδυση των μονάδων DERs γίνεται πλέον με πολύ γρήγορους ρυθμούς σε ολόκληρο τον κόσμο, γεγονός που οφείλεται στην ανάγκη για ένα πιο βιώσιμο ενεργειακό σύστημα με λιγότερη περιβαλλοντική ρύπανση λόγω της αξιοποίησης ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων και της ύπαρξης καλύτερης

ενεργειακής αποδοτικότητας. Στο μεταξύ, η συνεχιζόμενη διαδικασία απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή η μετάβαση από τις παλαιότερες μονοπωλιακές σε πιο ανταγωνιστικές δομές της αγοράς, προσελκύει ολοένα και μεγαλύτερη προσοχή. Στα πλαίσια λοιπόν αυτών των δυο τάσεων καταλαβαίνουμε ότι η λειτουργία των κατανεμημένων πόρων υπό συνθήκες αγοράς είναι αναπόφευκτη, γεγονός όμως που δημιουργεί νέες προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν. Ειδικότερα, οι μεμονωμένες μονάδες DERs λόγω του ότι μπορεί να είναι πολύ μικρές, ότι μπορεί να δουλεύουν ανεξάρτητα, αφού μπορεί να ανήκουν σε διαφορετικούς ιδιοκτήτες και εξαιτίας της στοχαστικής τους φύσης, δηλαδή, του γεγονότος ότι η παραγωγή τους, συνήθως, εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες όπως, για παράδειγμα, ισχύει με τα φωτοβολταϊκά συστήματα, καθίσταται δύσκολο ως και αδύνατο να ενταχθούν και να λειτουργήσουν αποδοτικά στις αγορές ενέργειας. Συνεπώς, η ικανότητα των DERs περιορίζεται στην κάλυψη των τοπικών αναγκών και όχι στη παροχή υπηρεσιών σε ολόκληρο το δίκτυο. Ένας τρόπος αντιμετώπισης αυτών των ζητημάτων είναι η συγκέντρωση των DERs και η οργάνωση τους υπό τη λειτουργία ενός εικονικού σταθμού παραγωγής, που θα τους δίνει τη δυνατότητα να προωθούν τις υπηρεσίες τους στην ενεργειακή αγορά[55].

Στόχος, λοιπόν, ενός Market Based Vpp είναι να προσφέρει τη δυνατότητα σε ανεξάρτητα DERs να αποκτήσουν πρόσβαση στη σημερινή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Για να επιτευχθεί ένας τέτοιος στόχος, θα πρέπει ο σχεδιασμός του να γίνεται με βάση τις απαιτήσεις της σημερινής αγοράς και να διασφαλίζεται η σύνδεση μεταξύ της εσωτερικής αγοράς του MBVPP και της εξωτερικής παγκόσμιας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας[55].

5.5.2. Χρονικό πλαίσιο της σημερινής ενεργειακής αγοράς

Μια γενική περίληψη του συνολικού χρονοδιαγράμματος για το εμπόριο ηλεκτρικής ενέργειας και την παροχή επικουρικών υπηρεσιών δίνεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 33).



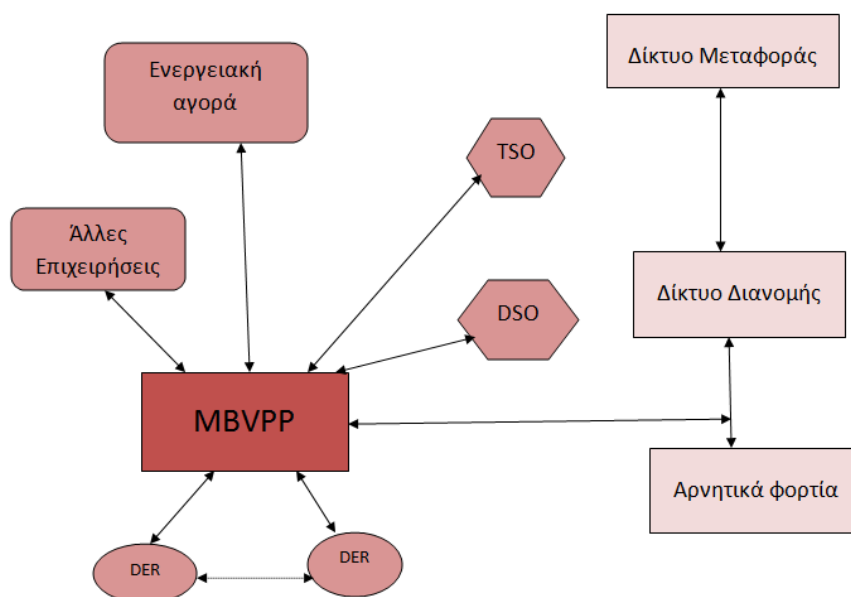
Εικόνα 33: Χρονοδιάγραμμα παροχής ενεργειακών υπηρεσιών[22]

Από το σχήμα βλέπουμε ότι τα μακροπρόθεσμα προθεσμιακά συμβόλαια πραγματοποιούνται μήνες ή και χρόνια πριν από την εκτέλεση μιας συναλλαγής. Επίσης, έχουμε την αγορά της επόμενης ημέρας (day ahead) που παρέχει στους συμμετέχοντες την επιλογή να πάρουν μέρος στη βραχυπρόθεσμη προθεσμιακή αγορά. Όταν, η αγορά της ίδιας ημέρας (intra day) ενεργοποιείται παρέχει τη δυνατότητα διαπραγματεύσεων έως και μια ώρα πριν τη παράδοση. Υπάρχει, επίσης, η αγορά εξισορρόπησης γνωστή και ως ρυθμιστική αγορά, η οποία εκτείνεται από τον πραγματικό χρόνο έως την επόμενη ημέρα και αποτελεί μέρος της συνολικής αγοράς ενέργειας παρέχοντας ισχύ εξισορρόπησης στη λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σε βραχυπρόθεσμο επίπεδο. Επιπλέον, έχουμε και την αγορά επικουρικών υπηρεσιών που καλύπτει ένα χρονικό πλαίσιο από πραγματικό χρόνο μέχρι μακροπρόθεσμο και αλληλεπιδρά με όλες τις προαναφερθείσες αγορές. Οι υπηρεσίες αυτές σχετίζονται άμεσα με τη λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος και παρέχονται από τους συμμετέχοντες στην αγορά και διαχειρίζονται από τους διαχειριστές του συστήματος μεταφοράς (TSO). Παρόμοιες υπηρεσίες παρέχονται και στους διαχειριστές του συστήματος διανομής (DSO) με σκοπό τη διατήρηση της ασφάλειας του συστήματος σε επίπεδο διανομής[2].

5.5.3. Αρχιτεκτονική του MBVPP

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 36), ένα MBVPP παρέχει μια πλατφόρμα μέσω της οποίας κάθε DER αποκτά θέση σε οποιαδήποτε από τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας αναφέρθηκαν παραπάνω. Αρχικά λοιπόν είναι προφανές πως οι περισσότερες μονάδες DERs δίνουν προτεραιότητα στην εξυπηρέτηση των ατομικών τους ενεργειακών αναγκών και εν συνέχεια παρέχουν το πλεόνασμα από την παραγόμενη ενέργεια στο δίκτυο. Η ηλεκτρική ενέργεια αυτή διοχετεύεται από το MBVPP για την κάλυψη είτε της τοπικής ζήτησης είτε της ζήτησης σε άλλες περιοχές σε όλο το σύστημα μεταφοράς και διανομής. Γενικά, ένα MBVPP μπορεί να δραστηριοποιηθεί σε τρία διακριτά πεδία[55].

- ✓ Εμπόριο ηλεκτρικής ενέργειας: Ένα MBVPP μπορεί να πραγματοποιήσει συναλλαγές με όλους τους συμμετέχοντες στην αγορά, όπως για παράδειγμα εμπόρους, DSO, TSO ακόμα και με άλλα MBVPPs. Όλες οι συμφωνημένες συναλλαγές πρέπει να ελέγχονται από τους DSO και TSO, ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σε όλα τα επίπεδα.
- ✓ Εσωτερική αγορά: Ένα MBVPP μπορεί να ενεργεί και ως διαχειριστής της αγοράς καθώς και ως διαχειριστής υπηρεσιών. Προσφέρει διαφορετικές επιλογές και προσφορές για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις όλων των πελατών. Οι διήμερες συναλλαγές μπορούν επίσης να πραγματοποιηθούν μεταξύ μεμονωμένων DERs όπως απεικονίζεται και στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 34).
- ✓ Άλλα πεδία: Εάν ο αριθμός των συμμετεχόντων αυξηθεί σε ένα ορισμένο επίπεδο, το MBVPP μπορεί να παίρνει μέρος και σε άλλα επιχειρηματικά πεδία, όπως οι αγορές καυσίμων και άνθρακα. Κάθε συμμετέχων μπορεί έτσι να επιτύχει περαιτέρω όφελος[55].



Εικόνα 34: Αρχιτεκτονική ενός MBVPP

5.5.4. Σενάρια εσωτερικής αγοράς

Στη προσπάθεια να κάνει όλες τις μονάδες DERs να λειτουργούν πιο αποδοτικά, ένα MBVPP προσφέρει δυο προαιρετικά σενάρια αγοράς. Το σενάριο της υποβολής προσφορών (general bidding) και το σενάριο σήματος βάση των τιμών (price signal). Τα δυο σενάρια είναι ευέλικτα ως προς το χρονικό πλαίσιο της διαπραγμάτευσης, κάτι που δημιουργεί μεγαλύτερη ελευθερία και καλύτερο συντονισμό μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής αγοράς.

1ο Σενάριο: Υποβολή προσφορών

Τα DERs που επιλέγουν το γενικό σενάριο υποβολής προσφορών θα έχουν οικονομικό όφελος βάση της τρέχουσας τιμής της αγοράς εάν οι προσφορές που έχουν υποβάλλει γίνουν αποδεκτές. Επομένως το κέρδος τους εξαρτάται από την ευελιξία των προσφορών τους. Ένα παράδειγμα εφαρμογής του σεναρίου αυτού, με μια τυπική ημερήσια αγορά για την ανταλλαγή ηλεκτρικής ενέργειας δίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4)[55].

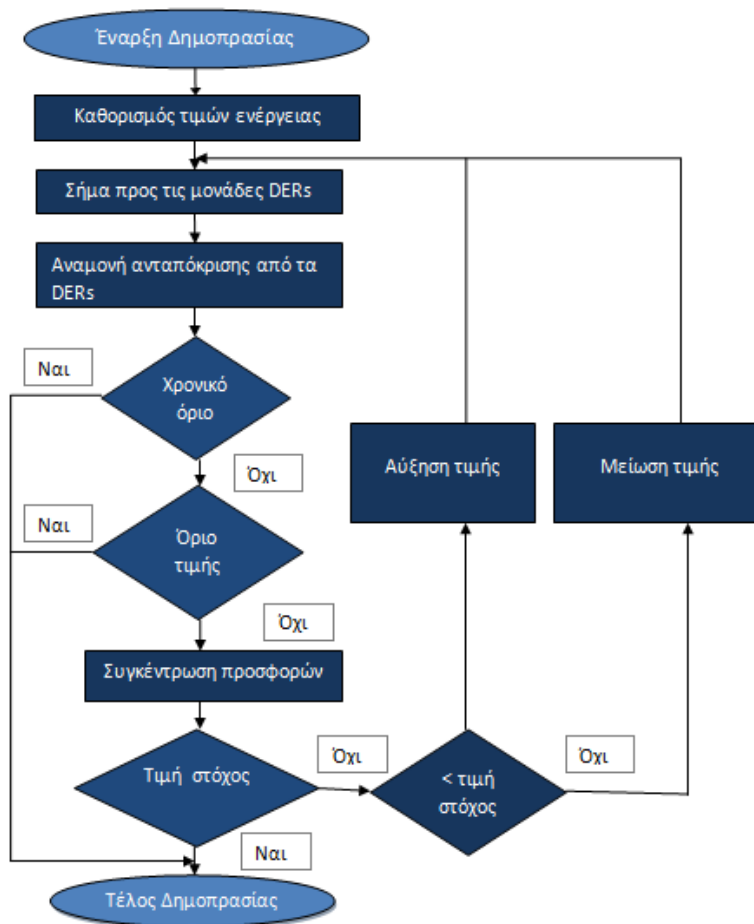
Χρόνος	Διαδικασία
8:00-10:00	Προβλέψεις τιμών από το MBVPP
10:00-10:30	Υποβολή προσφορών από τους ιδιοκτήτες των DERs
10:30-11:30	Συγκέντρωση προσφορών
11:30-12:00	Υποβολή των προσφορών από το MBVPP
13:00-14:00	Ενημέρωση του MBVPP από την αγορά
14:00-19:00	Δημιουργία σχεδίου παραγωγής
15:00-19:00	Υποβολή σχεδίου παραγωγής στον TSO
16:00-19:00	Οριστικοποίηση του σχεδίου από τον TSO
19:00-20:00	Αποστολή του σχεδίου για έλεγχο στον DSO
20:00-21:00	Επικύρωση του σχεδίου από τον DSO
21:00-22:00	Κάθε μονάδα DER λαμβάνει το πρόγραμμα παραγωγής για την επόμενη ημέρα

Πίνακας 4: Σενάριο ημερήσιας αγοράς[55]

Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, ο διαχειριστής του MBVPP είναι υπεύθυνος μόνο για την ανταλλαγή πληροφοριών με τους διάφορους εταίρους και τη συγκέντρωση των προσφορών, ενώ κάθε DER πρέπει να αναπτύξει το δικό του βέλτιστο πρόγραμμα λειτουργίας για την επόμενη ημέρα με βάση τις πληροφορίες πρόβλεψης που παρέχονται από το MBVPP. Όσον αφορά τη προσαρμογή τους σε άλλα χρονοδιαγράμματα της χονδρικής αγοράς, όπως μια ώρα μπροστά ή 15 λεπτά μπροστά μπορούν να αναπτυχθούν παρόμοιες διαδικασίες[55].

2ο σενάριο: Έλεγχος σήματος βάση τιμής

Το σενάριο ελέγχου σήματος επιτρέπει στους ιδιοκτήτες μονάδων DER να ανταποκριθούν σε μια σειρά από σήματα που παρέχονται από τον διαχειριστή του MBVPP βάση των τρεχουσών τιμών, με στόχο τον προγραμματισμό της παραγωγής τους σε πραγματικό χρόνο. Το MBVPP αποκτά με αυτόν τον τρόπο έναν έμμεσο έλεγχο πάνω στις μονάδες DERs μέσω διαφορετικών σημάτων τιμών, έτσι το επίπεδο ταχύτητας και εγρήγορσης του διαχειριστή του MBVPP θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα αυξημένο σε σύγκριση με αυτό που απαιτείται στο σενάριο υποβολής προσφορών, λόγω της ταχείας αλλαγής των τιμών[55].



Εικόνα 35: Σενάριο σήματος τιμής[55]

Όπως φαίνεται και σχήμα (Εικόνα 35), στην αρχή, το MBVPP πρέπει να σχεδιάσει ένα πακέτο που να περιλαμβάνει μια τιμή-στόχο για τον όγκο της επιθυμητής παραγωγής κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου, καθώς και ένα ανώτατο όριο τιμής. Το πακέτο μπορεί να είναι είτε μια διήμερης σύμβαση που έχει υπογράψει με άλλους συμμετέχοντες στην αγορά, είτε να είναι μέρος των προσφορών του MBVPP για την εξωτερική διαπραγμάτευση. Επίσης, το ανώτατο όριο τιμής θα πρέπει να ορίζεται σε ένα λογικό επίπεδο προκειμένου να διασφαλίζεται το κέρδος του φορέα ανάπτυξης του MBVPP. Μετά την αποστολή του πρώτου σήματος τιμών στους ιδιοκτήτες DERs, ο διαχειριστής του MBVPP πρέπει να περιμένει πως θα ανταποκριθούν. Εάν η παρεχόμενη ισχύς είναι μικρότερη από την επιθυμητή ποσότητα, η τιμή της αγοράς θα αυξηθεί ώστε να υπάρξει μεγαλύτερη προθυμία από τις μονάδες για αύξηση της παραγωγής τους. Αντίθετα η υπερβολική παροχή θα οδηγήσει σε χαμηλότερο σήμα τιμής για τη μείωση του συνολικού όγκου της. Αυτός ο κλειστός βρόγχος δημοπρασιών θα συνεχιστεί μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή (στόχος). Ωστόσο, είναι προφανές πως σε αυτή τη διαδικασία

αρκετοί παράγοντες θα πρέπει να σχεδιαστούν σωστά για να διασφαλιστεί η άψογη λειτουργία της. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι:

Αριθμός συμμετεχόντων: Μια δημοπρασία με λίγους συμμετέχοντες δύσκολα μπορεί να είναι κάθε φορά επιτυχής. Επομένως, ένας μεγάλος αριθμός συμμετεχόντων με διαφορετικές μονάδες παραγωγής αποτελεί τη βάση για την εφαρμογή του σεναρίου σήματος τιμής[55].

Χρονική περίοδος δημοπρασιών: Ουσιαστικά, η χρονική περίοδος για κάθε δημοπρασία μπορεί να είναι πολύ ευέλικτη και περιορίζεται μόνο από τα εμπόδια επικοινωνίας. Ωστόσο αν η χρονική περίοδος είναι πολύ σύντομη, για παράδειγμα 1 λεπτό, πολλά DERs ενδέχεται να μην είναι σε θέση να ανταποκριθούν, εγκαίρως. Αντίθετα στη περίπτωση μεγάλης περιόδου, όπως 30 λεπτά, η δημοπρασία μπορεί να κλείσει πολύ νωρίτερα αφήνοντας κενό χρόνο. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να γίνουν έρευνες σχετικά με τους περιορισμούς και τη συμπεριφορά των DERs σε διαφορετικές χρονικές περιόδους δημοπρασιών, ώστε να διασφαλίζεται η σωστή συνεργασία μεταξύ τους[55].

Επιθυμητή παραγωγή: Ο επιθυμητός όγκος παραγωγής θα πρέπει να είναι μικρότερος από τη συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης του MBVPP. Για να το εγγυηθεί αυτό, το MBVPP θα πρέπει να έχει εκτιμήσει την χωρητικότητα των αποθηκευτικών μέσων που διαθέτει με το να υποχρεώνει όλες τις μονάδες DER να αναφέρουν τη διαθέσιμη χωρητικότητα τους πριν την έναρξη της δημοπρασίας[55].

Παρόλο που τα όσα αναφέρθηκαν είναι έκτακτα περιστατικά και δε συμβαίνουν τόσο συχνά, θα πρέπει να γίνεται κατάλληλος σχεδιασμός και να υπάρχει μέριμνα και για αυτές τις μεμονωμένες περιπτώσεις. Συνεπώς, η ύπαρξη αποθεμάτων ενέργειας και η δημιουργία συνεργατικών σχέσεων μεταξύ γειτονικών ενεργειακών πόρων μπορεί να ενισχύσει περαιτέρω την ευρωστία του συστήματος.

5.6. Σενάρια υποβολής προσφορών και σήματος τιμής

Με τα δυο αυτά σενάρια, το MBVPP είναι σε θέση να παρέχει μια ανοικτή πλατφόρμα σε όλα τα είδη των DERs που μπορεί να υπάρχουν, ώστε να αποκτούν πρόσβαση στην αγορά ενέργειας, χωρίς να παρεμβαίνει στη διαδικασία λήψης αποφάσεων των ιδιοκτητών των μονάδων αυτών. Επιπλέον, και τα δυο σενάρια μπορούν να εφαρμοστούν στη ρύθμιση είτε των προθεσμιακών αγορών είτε των αγορών σε πραγματικό χρόνο.

Το σενάριο υποβολής προσφορών επιτρέπει στους συμμετέχοντες στην αγορά να υποβάλλουν προσφορές βάση των προτιμήσεων τους. Αυτό όμως απαιτεί μεγάλη προσοχή και συνεχή ενημέρωση για τους ιδιοκτήτες των DERs, καθώς η προσφορά σε

υψηλότερη τιμή μπορεί να οδηγήσει σε αδυναμία πώλησης. Συνεπώς, κάθε ιδιοκτήτης πρέπει να υποβάλλει προσφορές βάση της οριακής τιμής προκειμένου να επιδιώξει επιπρόσθετο κέρδος.

Όσον αφορά το σενάριο σήματος τιμής, οι μονάδες DERs έχουν τη δυνατότητα να ανταποκριθούν στις τιμές που επιθυμούν, ωστόσο η αβέβαια συμπεριφορά τους που μεταβάλλεται ανάλογα με τις τιμές μπορεί να οδηγήσει σε αποτυχία των δημοπρασιών. Σε αυτή τη περίπτωση, είναι απαραίτητη μια προκαταρκτική μελέτη σχετικά με την ανταπόκριση των DERs στις αλλαγές των τιμών, προκειμένου να ενισχυθεί η ευελιξία και η ευρωστία της αγοράς[55].

Από την πλευρά του διαχειριστή ενός MBVPP, το σενάριο της υποβολής προσφορών είναι περισσότερο αξιόπιστο από το σενάριο σήματος τιμών. Αυτό γιατί ένα MBVPP που εκτελεί το σενάριο υποβολής προσφορών μπορεί να λειτουργήσει και να είναι βιώσιμο μέσα από τις χρεώσεις που επιβάλλει σε κάθε συμμετέχοντα αφήνοντας το κομμάτι του κινδύνου στους ιδιοκτήτες των DERs. Αντίθετα σε ένα σενάριο σήματος τιμής το MBVPP θα πρέπει να υποβάλλει προσφορές στη αγορά βάση των εκτιμήσεων που έχει κάνει πάνω στις τιμές. Ο διαχειριστής σε αυτή τη περίπτωση παίρνει μεγάλο ρίσκο, γιατί δεν γνωρίζει πως θα ανταποκριθούν οι ιδιοκτήτες των DERs στις μεταβολές των τιμών[55].

Είναι δυνατόν, λοιπόν, για ένα MBVPP να εκτελεί όποιο από τα δυο σενάρια επιθυμεί, ενώ μια άλλη επιλογή είναι να τα εκτελεί διαδοχικά ανάλογα με το ποιο από τα δυο θεωρεί καλύτερο, αξιοποιώντας κάθε φορά τα θετικά στοιχεία του κάθε σεναρίου και μειώνοντας έτσι τις αρνητικές συνέπειες.

Συμπεράσματα

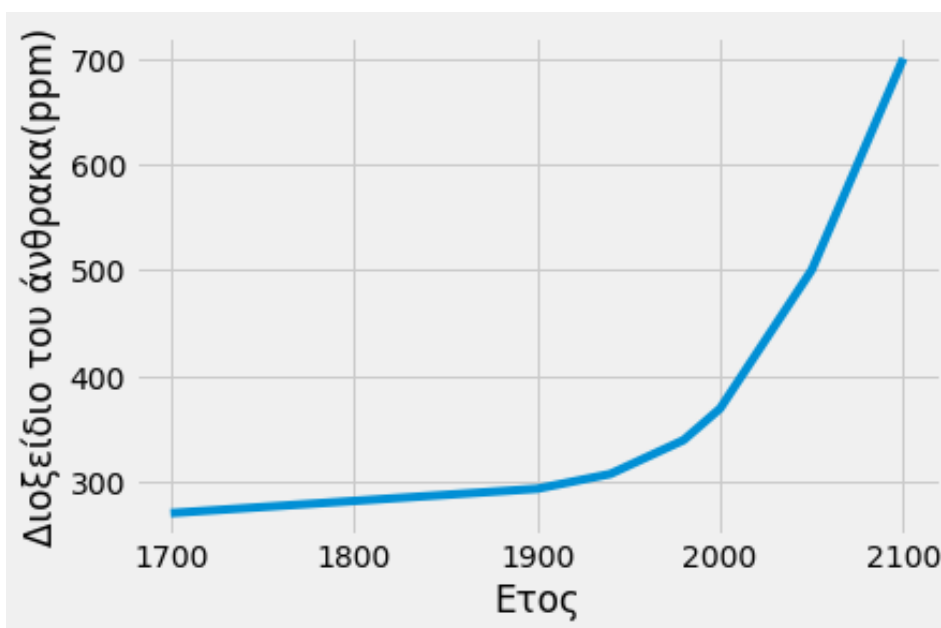
Στο παρόν κεφάλαιο, προτείνουμε ορισμένα μοντέλα αγοράς τα οποία θα καταστήσουν τη λειτουργία των εικονικών σταθμών πιο αποδοτική για όλους τους σχετικούς φορείς. Αναφερθήκαμε επίσης, σε δυο σενάρια που μπορούν να υιοθετηθούν από ένα market-based Vpp για την ενσωμάτωση των DERs στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η αποτελεσματική λειτουργία του δικτύου και η συνεισφορά του κάθε DER σε αυτό επιτυγχάνονται, χάρη στη κατάσταση της αγοράς την εκάστοτε στιγμή. Έτσι, έχουμε το σενάριο της γενικής υποβολής προσφορών και το σενάριο ελέγχου σήματος τιμής, που αποτελούν δυο ευέλικτες και εναλλακτικές λύσεις και χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της εσωτερικής αγοράς του Vpp. Βέβαια, είναι απαραίτητο να γίνει διερεύνηση και άλλων σχετικών θεμάτων, όπως η ανάπτυξη ενός αποτελεσματικού συστήματος τιμολόγησης που θα χρησιμοποιείται στο σενάριο ελέγχου τιμών, η μελέτη διαφοροποιημένων DERs, ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας της εσωτερικής

αγοράς και η ανάπτυξη συστημάτων επείγουσας λειτουργίας. Τέλος, συνίσταται να διενεργηθεί ανάλυση για να αποκαλυφθούν οι πιθανές επιπτώσεις στην τρέχουσα αγορά ηλεκτρικής ενέργειας αν εισαχθεί μεγάλος αριθμός από MBVPP.

Κεφάλαιο 6ο: Εμπειρική ανάλυση

6.1. Έρευνα πάνω στους εικονικούς σταθμούς

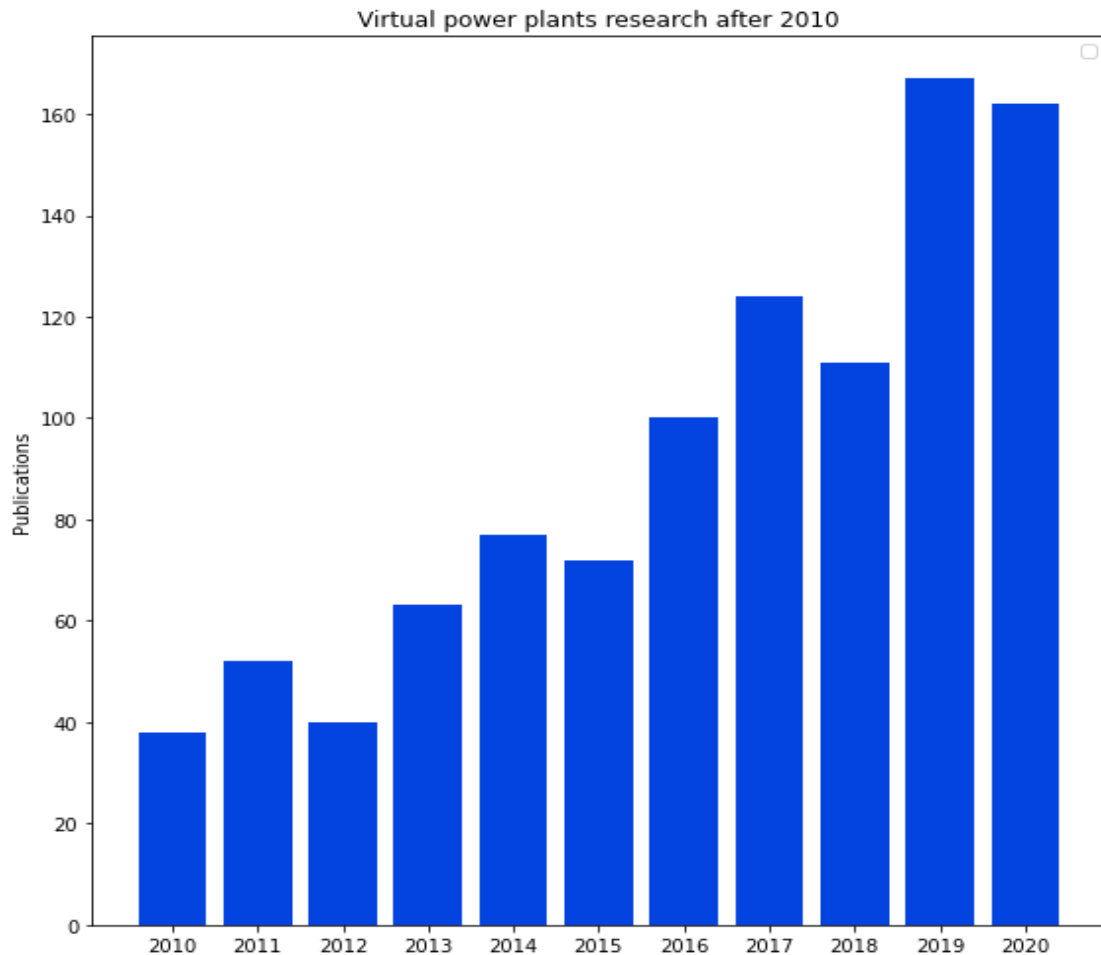
Η καύση ορυκτών καυσίμων, όπως ο άνθρακας το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, απελευθερώνουν σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Τα τελευταία 300 χρόνια η χρήση αυτών των καυσίμων έχει επιταχυνθεί. Ως συνέπεια, φαίνεται να υπήρξε η σταδιακή αλλά επιταχυνόμενη αύξηση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα της γης. Πριν τη βιομηχανική επανάσταση, δηλαδή, περίπου το 1700 οι συγκεντρώσεις αυτές ήταν περίπου 270-280 ppm, Από τότε και έως το 1900 υπήρξε σταθερή αύξηση, αλλά από το 1900 και μετά η συγκέντρωση άρχισε να μεταβάλλεται γρηγορότερα, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Από το 1900 μέχρι το 1940 αυξήθηκε κατά 10ppm και μέχρι το 2000 κατά 62ppm με συνολική συγκέντρωση 369ppm, μια αύξηση πάνω από 30% από το 1700. Αν καμία αλλαγή δεν πραγματοποιηθεί, εκτιμάται ότι το μετά το 2000 θα έχουμε εκτίναξη των συγκεντρώσεων σε 500ppm, το 2050 και 700ppm, το 2100[56].



Εικόνα 36: Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα μετά το 1700

Λόγω της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης σε διοξείδιο του άνθρακα, τα τελευταία χρόνια, δημιουργείται η ανάγκη ύπαρξης μιας πιο ενσυνείδητης στάσης απέναντι στη

μόλυνση της ατμόσφαιρας. Για αυτό τον λόγο, παρατηρούμε ότι από το 2010 έως το 2020 υπάρχει σταδιακή αύξηση πάνω στην έρευνα που διεξάγεται πάνω στους εικονικούς σταθμούς παραγωγής, οι οποίοι μπορούν να δώσουν αρκετές λύσεις στο περιβαλλοντικό πρόβλημα αφού αξιοποιούν κυρίως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Βλέπουμε λοιπόν ότι από το 2010 που είχαμε 38 δημοσιεύσεις το 2020 είχαμε αύξηση στις 162.



Εικόνα 37: Δημοσιεύσεις πάνω στους εικονικούς σταθμούς από το 2010 έως το 2020

Στον παρακάτω πίνακα, βλέπουμε τις κυριότερες διαφορές των Vnpps σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αρχικά, η παραγωγή των Vnpps γίνεται με ανανεώσιμη ενέργεια και άρα λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Επίσης, η παραγωγή γίνεται μέσω αποκεντρωμένων μονάδων DERs που επικοινωνούν και αποθηκεύουν τα δεδομένα τους μέσα από δομές ICTs. Επιπλέον, παρέχονται υψηλά επίπεδα ασφάλειας και αξιοπιστίας ως προς τη μεταφορά της ενέργειας, χωρίς απώλειες προς τους καταναλωτές. Αντίθετα, τα παραδοσιακά συστήματα υστερούν σε όλους τους παραπάνω παράγοντες, αφού λόγω της χρήσης

ορυκτών πόρων, παράγουν υψηλά επίπεδα εκπομπών αερίων επιβαρυντικών για το περιβάλλον. Επίσης, εξαιτίας του μεγάλου ποσοστού απωλειών κατά τη μεταφορά ενέργειας καθίστανται αναξιόπιστα προς τον τελικό χρήστη. Τέλος γίνεται μικρή έως ανύπαρκτη διαχείριση ιστορικών δεδομένων ως προς την ενεργειακή συμπεριφορά καταναλωτών πράγμα που τα κάνει αναποτελεσματικά σε βάθος χρόνου.

	Παραδοσιακά συστήματα	VPP
Παραγωγή	Χρήση Ορυκτών	Ανανεώσιμη
Εκπομπές	Υψηλές	Χαμηλές
Αξιοπιστία	Χαμηλή	Υψηλή
Τεχνολογίες	Κεντρικοί σταθμοί	Αποκεντρωμένες μονάδες(DERs)
Επικοινωνία	Δεν υπάρχει	Μέσω ICTs
Ασφάλεια	Χαμηλή	Υψηλή
Δεδομένα	Δεν αποθηκεύονται	Διαχείριση με ICTs

Πίνακας 5: Σύγκριση παραδοσιακών συστημάτων και Vpps

6.2. Ανάλυση τεχνολογιών εικονικών σταθμών



Εικόνα 38: Τεχνολογίες Vpps

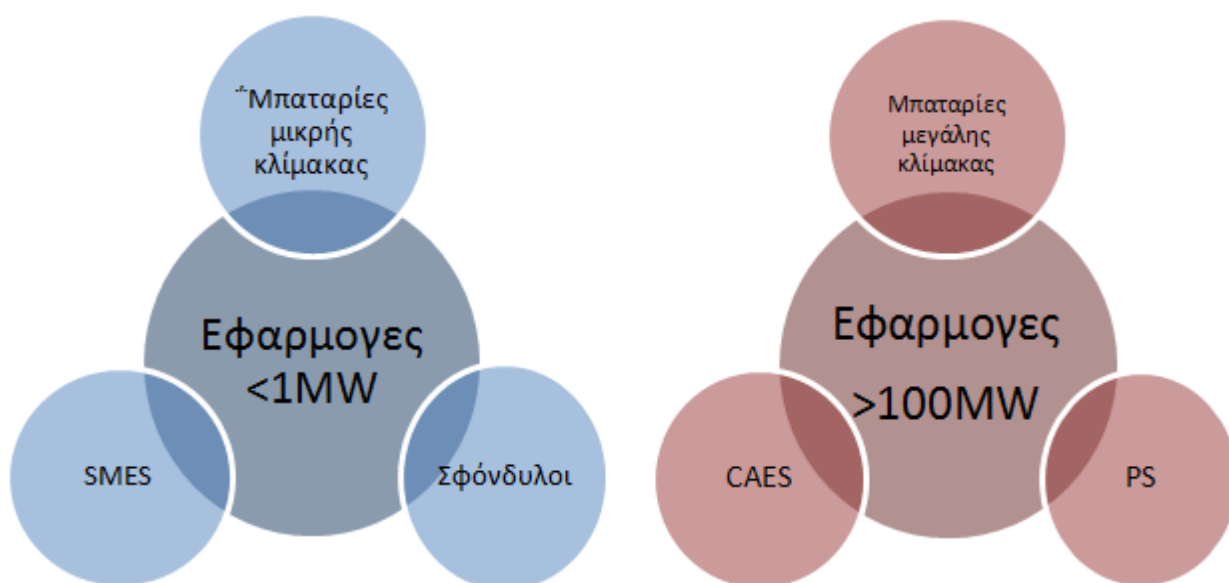
6.2.1 Τεχνολογίες αποθήκευσης

Τεχνολογίες αποθήκευσης

	Μέγεθος	Χρόνος παροχής	Περίοδος αποθήκευσης	Απόδοση
Αποθήκευση πεπιεσμένου αέρα(CAES)	<100MW	2-3 minutes	Μήνες	70-90%
Σφόνδυλοι	>1MW	0-1ms	Λεπτά	80%
Μπαταρία	Όλα τα μεγέθη	10 ms	Μερικές ώρες	75-90%
Πυκνωτής	0-50KW	0-1ms	Μερικές ώρες	70-85%
Αποθήκευση με αντλία(PS)	<100MW	10-15 minutes	Μήνες	90%
Υπεραγώγιμη αποθήκευση μαγνητικής ενέργειας(SMES)	>1MW	20ms	Μερικές ώρες	90%

Πίνακας 6: Τεχνολογίες αποθήκευσης

Παρατηρούμε ότι για εφαρμογές που χρειάζονται άμεση παροχή ενέργειας όπως πτώση τάσης και εξισορρόπηση συχνότητας, οι μπαταρίες, οι σφόνδυλοι, οι πυκνωτές και η υπεραγώγιμη αποθήκευση μαγνητικής ενέργειας(SMES) είναι τα κατάλληλα αποθηκευτικά μέσα, αφού συνδυάζουν υψηλές αποδόσεις και μικρούς χρόνους παροχής. Η ισχύς που απαιτείται για τέτοιου είδους εφαρμογές είναι μικρότερη από 1MW. Για εφαρμογές μεγαλύτερες των 100MW μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα αποθηκευτικά μέσα πεπιεσμένου αέρα(CAES), η αποθήκευση μέσω αντλιών (PS) και μπαταρίες μεγάλης κλίμακας[57].



Εικόνα 39: Δυνατότητες τεχνολογιών αποθήκευσης

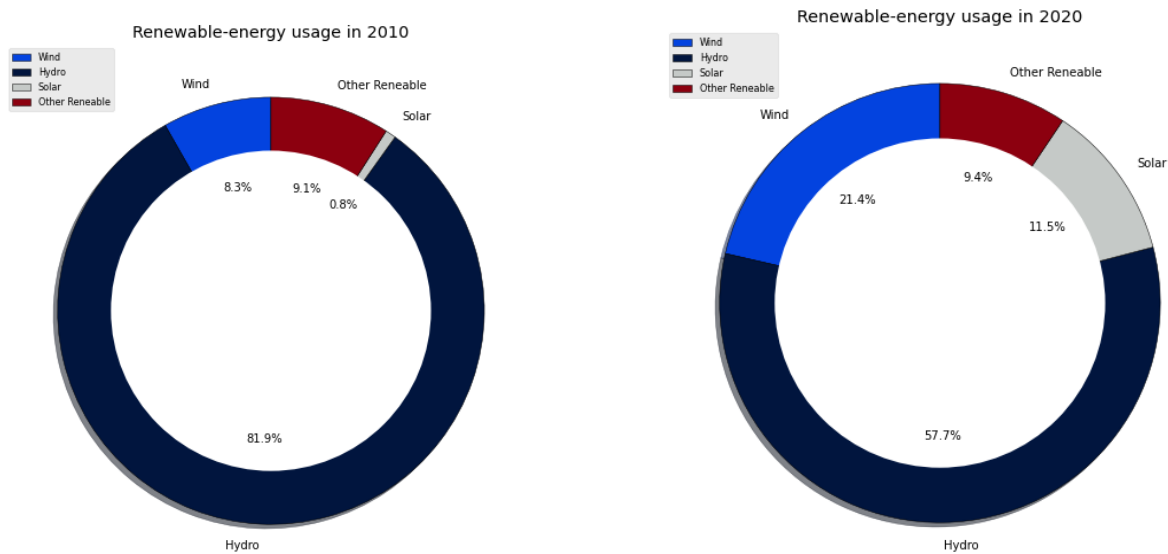
6.2.2 Τεχνολογίες Παραγωγής

Τεχνολογίες Παραγωγής

	Απόδοση(%)	Κόστος(\$/KW)	Εκπομπές διοξειδίου(gr/KW)
Παλινδρομικοί κινητήρες	50	1100-1300	7-20
Κυψέλες καυσίμου	40	3500-4500	≈0
Υδροηλεκτρική μονάδα	75-90	700-3500	20
Αιολική μονάδα	60	1000	≈0
Γεωθερμική	30	1700-1800	0-170
Βιομάζα	30	1400	230
Ηλιακή(PV)	15-20	2400-2900	100-170

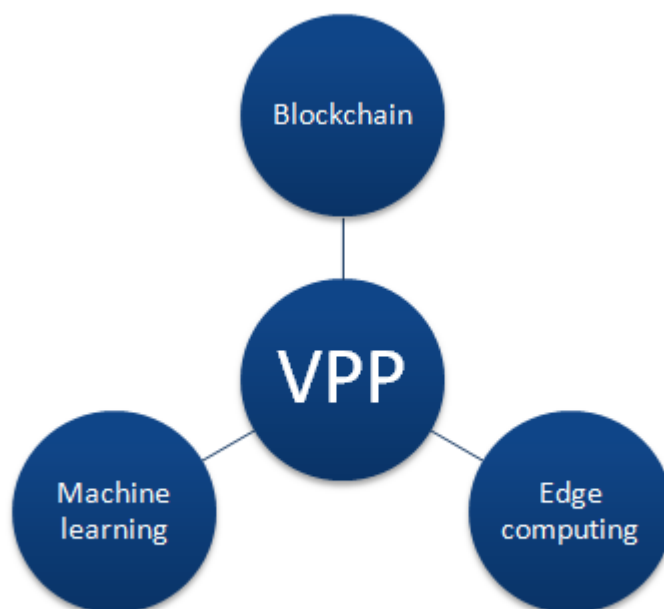
Πίνακας 7: Τεχνολογίες Παραγωγής

Από τον πίνακα βλέπουμε ότι, λόγω της υψηλής απόδοσης και των χαμηλών εκπομπών σε διοξείδιο του άνθρακα, η υδροηλεκτρική ενέργεια κυριαρχεί μέχρι και σήμερα στον τομέα της ανανεώσιμης ενέργειας όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα για το μερίδιο των ανανεώσιμων μορφών το 2020. Ωστόσο, παρατηρούμε ότι από το 2010 έχει ανέβει αρκετά και η χρήση αιολικής ενέργειας που παρουσιάζει αρκετά καλή απόδοση με σχεδόν μηδενικές εκπομπές. Συνεπώς οι δυο αυτές μορφές ανανεώσιμης ενέργειας αποτελούν πολύ καλές επιλογές κατά την ανάπτυξη των μελλοντικών εικονικών σταθμών.



Εικόνα 40: Μερίδιο ανανεώσιμης παραγωγής το 2010 και το 2020

6.2.3. Προσφορά των τεχνολογιών Blockchain, Edge computing και Machine learning



Εικόνα 41: Ανερχόμενες ψηφιακές τεχνολογίες σε ένα Vpp

<u>VPP</u>	Ασφάλεια δεδομένων	Προβλέψεις παραγωγής/ζήτησης	Διαφάνεια	Αυτονομία	Εμπόριο ενέργειας	Πωλήσεις/Marketing	Εγγύτητα
Blockchain	✓		✓		✓	✓	
Edge Computing				✓			✓
Machine learning		✓				✓	

Πίνακας 8: Προσφορά BL-ML-Edge computing

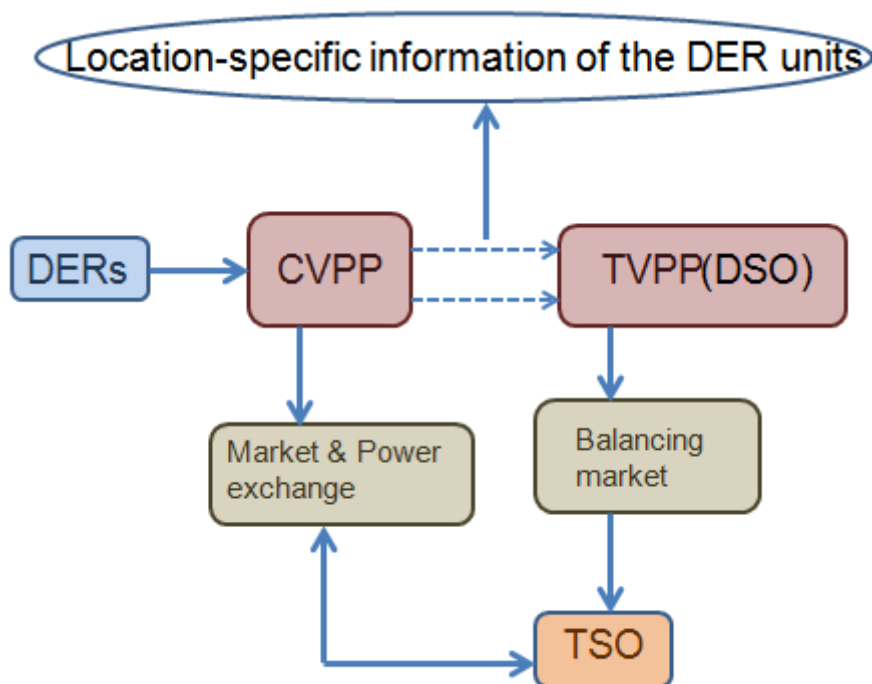
Στον τομέα των τεχνολογιών πληροφορίας και επικοινωνίας (ICTs) σημαντική συνεισφορά για ένα Vpp θα μπορούσαν να αποτελέσουν ο συνδυασμός των τεχνολογιών του Blockchain και Edge Computing και η χρήση Machine learning. Βλέπουμε λοιπόν ότι με την κοινή αξιοποίηση των τριών τεχνολογιών το Vpp θα λειτουργεί σε ένα αποκεντρωμένο P2P δίκτυο, όπου θα υπάρχουν υψηλά επίπεδα ασφάλειας των δεδομένων των καταναλωτών και διαφάνεια, αφού οι αποθηκευμένες πληροφορίες θα είναι προσβάσιμες από όλους τους χρήστες του Blockchain. Αυτό σε συνδυασμό με τη χρήση αλγορίθμων machine learning θα δίνει τη δυνατότητα για δημιουργία προβλέψεων σχετικά με τις ενεργειακές συνήθειες των καταναλωτών και άρα παροχή καλύτερων υπηρεσιών προς αυτούς. Τέλος με τη τεχνολογία Edge computing θα προσφέρεται αυτονομία και αμεσότητα, αφού η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται εκεί που δημιουργούνται, δηλαδή στο σημείο του καταναλωτή και δεν θα χρειάζεται να μεταφερθούν μέσω internet σε κάποιο άλλο σημείο αποθήκευσης σε ένα διαφορετικό τοπικό δίκτυο. Έτσι θα χρησιμοποιείται μικρότερο bandwidth και θα υπάρχουν μικρότερες καθυστερήσεις και χρόνοι απόκρισης [31],[58].

6.3. Προγράμματα και εταιρείες

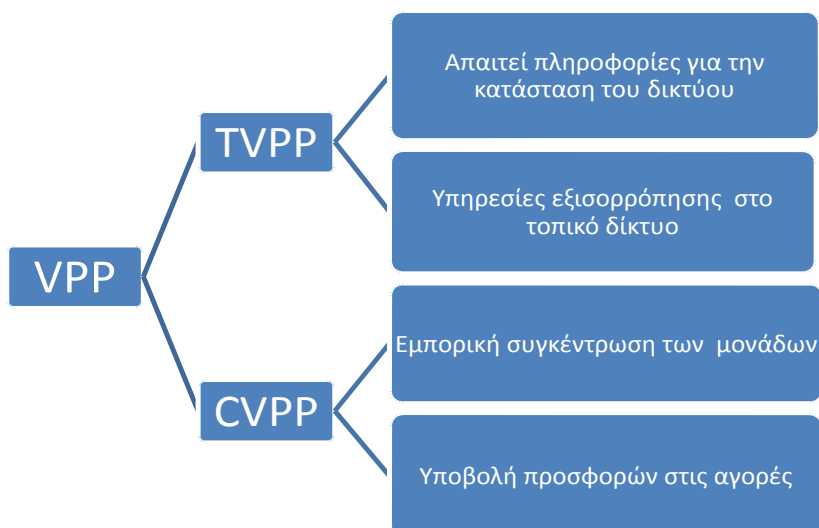
Πρόγραμμα	Έτος έναρξης	Χώρα	Μονάδες (DERs)	Αποθηκευτικά μέσα	Καταναλωτές	Ισχύς
Fenix	2005	Ισπανία, Ηνωμένο Βασίλειο	1.000-1.000.000	-	169.000	1234MW
Edison	2011	Δανία	52	16	27.000	125MW
Web2energy	2009	Γερμανία, Πολωνία	16	12	200	40,5MW
SA Vpp	2017	Νότια Αυστραλία	4.000	300	50.000	250MW
Consolidated Edison	2019	Ηνωμένες Πολιτείες	1.000	21	300	100-1.100MW

Πίνακας 9: Προγράμματα Vpp ανά τον κόσμο

Στόχος των παραπάνω προγραμμάτων είναι να συγκεντρώσουν τις ενεργειακές δυνατότητες μονάδων παραγωγής και αποθήκευσης και την ενσωμάτωση τους στο δίκτυο για την παροχή αξιόπιστης ενέργειας στους καταναλωτές. Το πιο μεγάλο από τα παραπάνω προγράμματα είναι το πρόγραμμα FENIX, το οποίο ενσωματώνει στη λειτουργία και τις έννοιες του technical VPP (TVPP) και του Commercial VPP (CVPP). Ένα TVPP συγκεντρώνει μονάδες από την ίδια γεωγραφική τοποθεσία και παρέχει επικουρικές υπηρεσίες στο τοπικό δίκτυο όπως εξισορρόπηση συχνότητας. Αντίθετα ένα CVPP δεν ασχολείται με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου, αλλά πραγματοποιεί εμπορική συγκέντρωση δίνοντας τη δυνατότητα σε DERs από διαφορετικές τοποθεσίες να συμμετέχουν στις ενεργειακές αγορές. Στο πρόγραμμα FENIX, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, το CVPP αρχικά συγκεντρώνει τα DERs και καταρτίζει συγκεντρωτικές προσφορές που τις αποστέλλει στους φορείς της αγοράς. Η αγορά στη συνέχεια επιβεβαιώνει τη συναλλαγή και το CVPP ενημερώνει τον διαχειριστή του TVPP δηλαδή τον DSO για την επικύρωση της συναλλαγής με την αγορά. Τέλος ο DSO αποστέλλει τις υπηρεσίες στον TSO και στη συνέχεια στον τελικό πελάτη[45].



Εικόνα 42: Αρχιτεκτονική FENIX



Εικόνα 43: Διαχωρισμός σε Technical και Commercial VPP

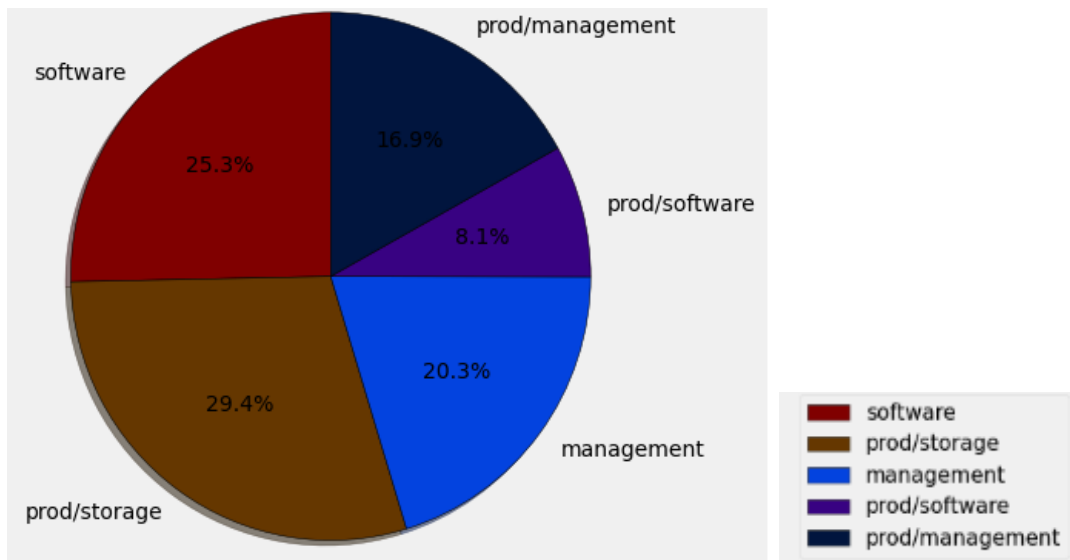
Όσον αφορά τις εταιρείες που συμμετέχουν στην ανάπτυξη των Vpps, υπάρχουν συνολικά 24 εταιρείες αυτή τη στιγμή παγκοσμίως. Δραστηριοποιούνται σε τομείς όπως το λογισμικό, την παραγωγή και αποθήκευση καθώς και τη διαχείριση ενέργειας. Συγκεκριμένα 6 ασχολούνται με την ανάπτυξη λογισμικού, 7 με την παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας, 5 με τη διαχείριση ενέργειας, 2 με την παραγωγή και την ανάπτυξη λογισμικού και 4 με την παραγωγή και τη διαχείριση ενέργειας. Όσες ασχολούνται με τη παραγωγή και τη αποθήκευση επιλέγουν κυρίως τεχνολογίες όπως η ηλιακή(PV) και οι μπαταρίες και έχουν ως στόχο την ενσωμάτωση της ανανεώσιμης ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή για τη μείωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων καθώς και τη δημιουργία ευελιξίας μέσα από την παροχή ενεργειακών υπηρεσιών στο δίκτυο.

Εταιρείες	Αυστραλία	Ευρώπη	Αμερική	Ασία
24	3	8	9	4

Πίνακας 10: Εταιρείες Vpp ανά τον κόσμο

Τεχνολογίες	Εταιρείες
Ηλιακή	12
Μπαταρία	7

Πίνακας 11: Επικρατούσες τεχνολογίες



Εικόνα 44: Πεδία δραστηριοποίησης των εταιρειών

6.4. Επιχειρησιακά μοντέλα

Όπως βλέπουμε και στον παρακάτω πίνακα, ένα επιχειρησιακό μοντέλο για να είναι αποδοτικό για ένα Vpp θα πρέπει να εξακριβώνονται εξαρχής τέσσερις βασικοί παράγοντες. Αρχικά ποιος θα είναι ο στόχος δηλαδή αν αποσκοπεί στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ή στη παροχή επικουρικών υπηρεσιών στο δίκτυο. Επίσης να προσδιορισθούν ποίοι είναι οι διαθέσιμοι πόροι τόσο για την παραγωγή και αποθήκευση όσο και για τις τεχνολογίες πληροφορίας και επικοινωνιών. Επιπλέον ποιος θα είναι ο πελάτης που στοχεύει να παρέχει υπηρεσίες, ο οποίος μπορεί να είναι εμπορικός, βιομηχανικός, οικιακός και δημοτικός. Τέλος είναι σημαντικό να καθορίζεται η πρόταση αξίας δηλαδή η υπηρεσία η οποία θα προσφέρει έσοδα στους φορείς του Vpp. Τέτοιες υπηρεσίες μπορεί να είναι έσοδα από πώληση ενέργειας ή παροχή ισχύος εξισορρόπησης στο δίκτυο[53].

Επιχειρησιακά μοντέλα

Στόχος	Πόροι	Πελάτες	Πρόταση αξίας
Μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων	Είδη κι αριθμός μονάδων DERs	Εμπορικοί	Έσοδα από πώληση ενέργειας
Αύξηση της ανανεώσιμης παραγωγής	Διαθέσιμη χωρητικότητα	Οικιακοί	Ανταπόκριση στη ζήτηση
Μείωση του διοξειδίου του άνθρακα	Τεχνολογίες ICTs	Βιομηχανικοί	Έσοδα από υπηρεσίες εξισορρόπησης
Παροχή υπηρεσιών στο δίκτυο	Συνεταίροι δικτύου	Δήμοι	Παροχή ενέργειας σε περίπτωση διακοπής

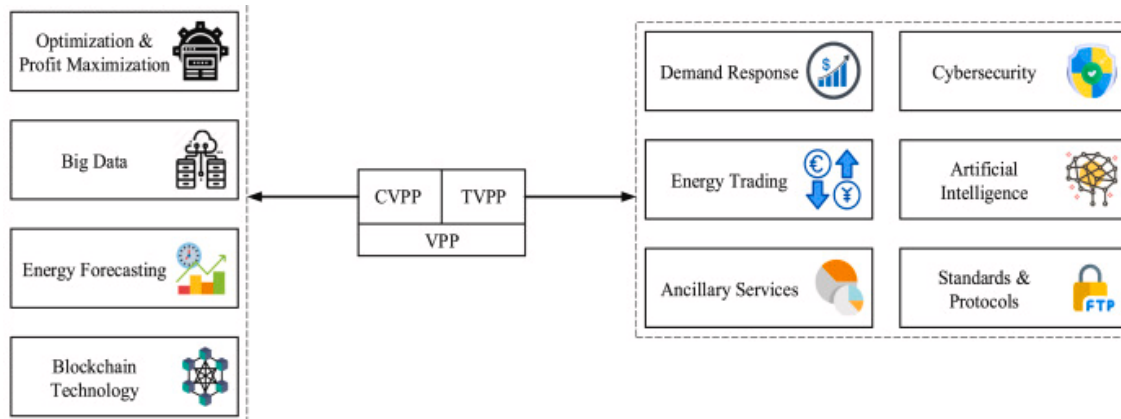
Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά Επιχειρησιακού μοντέλου

Κεφάλαιο 7ο: Εικονικοί σταθμοί επόμενης γενιάς και τελικές σκέψεις - Συμπεράσματα

Ο κόσμος, σήμερα, βρίσκεται στην αρχή μιας νέας τεχνολογικής εποχής μετά από δεκαετίες έρευνας και ανάπτυξης. Η εξέλιξη στον ενεργειακό τομέα έχει διασταυρωθεί με ποικίλες απόψεις και αντιλήψεις που εξυπηρετούν διαφορετικά συμφέροντα και συμμορφώνονται με διαφορετικές ρυθμιστικές και νομοθετικές αρχές. Επιπλέον, από τη στιγμή που ο ανθρώπινος πολιτισμός ανακάλυψε διάφορες πηγές ενέργειας στο φυσικό περιβάλλον, εφηύρε παράλληλα και τεχνολογίες που κάνουν τη ζωή του ευκολότερη μέσω της χρήσης των ενεργειακών πόρων. Συνεπώς, η ενεργειακή βιομηχανία διαθέτει μια εκτεταμένη ιστορία με πολυάριθμα βιομηχανικά και τεχνικά ορόσημα από πολλά χρόνια συνεισφορών. Αν και η ανάπτυξη της τεχνολογίας παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα ήταν ταχεία, γρήγορα ήρθε στο προσκήνιο και ο τομέας του φυσικού αερίου με την κατασκευή ατμοστρόβιλων και της πυρηνικής ενέργειας με τους πυρηνικούς αντιδραστήρες[59]. Ωστόσο, στα τέλη του 20^{ου} αιώνα, βλέποντας τα πλεονεκτήματα που μπορεί να παρέχει, ένα νέο είδος ενέργειας άρχισε να αναδύεται αυτό των ανανεώσιμων πηγών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τα μεγάλα έργα αιολικής, ηλιακής και παλιρροϊκής ενέργειας να έχουν ταχεία επίδραση στον εκσυγχρονισμό της ενεργειακής βιομηχανίας[18],[60].

Πλέον, η ενεργειακή βιομηχανία έχει εισέλθει σε μια νέα εποχή όσον αφορά τους διάφορους τύπους ενέργειας που αξιοποιεί, τις μεθόδους παραγωγής και αποθήκευσης, μεταφοράς και διανομής ενέργειας. Κάτι τέτοιο έχει επιφέρει την ανάπτυξη αρκετών νέων τεχνολογιών ενεργειακής διαχείρισης, μια από αυτές τις τεχνολογίες είναι και οι εικονικοί σταθμοί παραγωγής. Οι εικονικοί σταθμοί διαφέρουν από άλλες σχετικές τεχνολογίες, όπως τα μικροδίκτυα, στο ότι αφορούν διαδικτυακά συνδεδεμένα συστήματα βασισμένα σε ειδικό λογισμικό, οπού η βελτιστοποίηση και τα καθήκοντα εκτελούνται αυτόματα εξ' αποστάσεως. Αυτό γίνεται χωρίς να απαιτούνται μεγάλες κεφαλαιακές δαπάνες για υποδομές και άρα μεγάλος χρόνος κατασκευής για την υλοποίηση. Επίσης όπως προαναφέραμε οι εικονικοί σταθμοί χωρίζονται σε δυο κατηγορίες τους εμπορικούς (CVPP) και τους τεχνικούς (TVPP). Ο στόχος της πρώτης κατηγορίας είναι η αύξηση της οικονομικής αποδοτικότητας, μέσα από την κάλυψη των επιχειρηματικών ζημιών, τον συνδυασμό οικονομικών πλαισίων, τη παροχή υπηρεσιών στο δίκτυο και προώθηση των προσφορών στις ενεργειακές αγορές. Αντίθετα, η δεύτερη ασχολείται με σύνθετους υπολογισμούς και ανάλυση, καθώς και με άλλες τεχνολογικές εφαρμογές, όπως τη βελτιστοποίηση της ροής ισχύος, τις αρχιτεκτονικές των έξυπνων δικτύων, τις λειτουργικές προδιαγραφές και τη σχεδίαση τρόπων παραγωγής και κατανάλωσης.

Οι τεχνολογίες που σχετίζονται με τα CVPP και TVPP παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 44) [45].



Εικόνα 45: Τεχνολογίες εμπορικών και τεχνικών Vpp[5]

Ωστόσο, κατευθυνόμενοι προς την επόμενη γενιά εικονικών σταθμών παρατηρούμε ότι οι εφαρμογές κυβερνοασφάλειας, η μηχανική μάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη, καθώς και τα έξυπνα πρωτόκολλα επικοινωνίας, το εμπόριο ενέργειας και η παροχή επικουρικών υπηρεσιών πρέπει να αναπτυχθούν περισσότερο με στόχο την ακόμα καλύτερη λειτουργία των Vpps. Τα βοηθητικά προγράμματα αποθήκευσης ενέργειας, οι έξυπνοι αντιστροφείς με δυνατότητες Internet of Things (IoT), οι συσκευές edge-computing, ο ευφυής έλεγχος και άλλες σχετικές τεχνολογίες πρέπει να υιοθετηθούν στους εικονικούς σταθμούς επόμενης γενιάς. Η ευρεία ποικιλία τεχνολογιών DER στα δίκτυα ηλεκτροπαραγωγής μικρής και μεσαίας ισχύος θα πρέπει ασφαλώς να συμπεριληφθούν στα Vpps, λαμβάνοντας υπόψη βέβαια και τους ενδεχόμενους περιορισμούς που μπορεί να υπάρχουν[61],[62],[63].

Για να παρουσιάσουμε τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχουν τα μελλοντικά Vpps, θα αναφερθούμε σε ορισμένες κρίσιμες πτυχές που μπορούν να διευκολύνουν τον προσδιορισμό των διαφορών μεταξύ των υφιστάμενων Vpps και αυτών της επόμενης γενιάς.

Αρχικά, σήμερα, για να επιτευχθεί το εμπόριο ενέργειας στις σύγχρονες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, τα Vpps συγκεντρώνουν τις μονάδες DERs, δημιουργώντας μια κεντρική οντότητα παρακολούθησης από έναν συνδυασμό παραμέτρων που χαρακτηρίζει κάθε μονάδα που συμμετέχει. Από την άλλη πλευρά, ένα Vpp επόμενης γενιάς πρέπει να περιλαμβάνει ένα κατακευματισμένο περιβάλλον ελέγχου, παρέχοντας

ένα αυτοδιοικούμενο αποκεντρωμένο σύστημα μέσα σε όλα τα διασυνδεδεμένα δίκτυα.

Επιπλέον, τα υπάρχοντα Vrrps χρησιμοποιούν πλατφόρμες βασισμένες στο υπολογιστικό νέφος για να επιτρέψουν την κεντρική ενσωμάτωση δεδομένων για λειτουργικές εγκαταστάσεις. Στο μέλλον, οι συσκευές edge computing θα μπορούν να ενσωματωθούν σε κάθε μονάδα DER και φορτίο, που συνδέεται με τη κεντρική πλατφόρμα και να επιτρέπουν τη βέλτιστη δυνατή απόκριση[5].

Οι υφιστάμενες ενεργειακές προβλέψεις των Vrrps βασίζονται στην τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας και στη ζήτηση φορτίου, γεγονός που είναι δύσκολο λόγω των περίπλοκων χαρακτηριστικών που έχουν τα φορτία. Χρησιμοποιούν ακόμη παραδοσιακές προσεγγίσεις με μεσάζοντες για το εμπόριο ενέργειας μεταξύ της αγοράς χονδρικής και των DERs. Ως εκ τούτου, το σύστημα αγοράς που βασίζεται στη τεχνολογία Blockchain με τη μορφή των έξυπνων συμβάσεων (smart contracts) αναμένεται να διευκολύνει την εμπορία και την πρόβλεψη ενέργειας[5],[64]. Τέλος, οι έξυπνες τεχνολογίες inverter και smart metering μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καλύτερη ρύθμιση της ενεργού και άεργου ισχύος σε ένα Vrrp.

Παρά τα θετικά στοιχεία που παρουσιάζονται με την έλευση της επόμενης γενιάς Vrrps, απαιτούνται σίγουρα και ποικίλες προϋποθέσεις για την υλοποίηση τους. Οι προϋποθέσεις αυτές είναι απαραίτητες για την ενσωμάτωση και τη συντήρηση των σύγχρονων τεχνολογιών και η έρευνα που θα διεξαχθεί γύρω από αυτές θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα εξής:

- Το πλαίσιο των Vrrps επόμενη γενιάς απαιτείται να είναι πιο ενημερωμένο όσον αφορά τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που ορίζονται από τα πρότυπα IEC 61850, συμπεριλαμβανομένων χαρακτηριστικών όπως τα συστήματα αναφοράς, τη μεταφορά και αποθήκευση δεδομένων[5].
- Σχεδιασμός κατάλληλων στρατηγικών ώστε να εξασφαλιστεί η ανθεκτική λειτουργία του εικονικού σταθμού, προκειμένου να αντιμετωπίζονται ζητήματα σταθεροποίησης τάσης και συχνότητας κατά τη διάρκεια αντίξωων συνθηκών και να διασφαλίζεται η βελτιωμένη και αδιάλειπτη παροχή ισχύος.
- Τα περιβαλλοντικά θέματα που αφορούν την παραγωγή μέσω ανανεώσιμων μορφών ενέργειας αποτελούν και αυτά ένα πρόβλημα που πρέπει να εξεταστεί.
- Η ενσωμάτωση τεχνολογιών Internet of things ανοίγει καινούργια μέτωπα στα οποία μπορούν να επιτεθούν κακόβουλοι χρήστες λογισμικού όπως είναι οι χάκερς. Ως εκ τούτου, η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο πρέπει να είναι

ισχυρότερη για τον μετριασμό των επιθέσεων και πρέπει να θεσπιστούν αυστηρά νομικά μέτρα για τα μελλοντικά Vrrps.

- Θα πρέπει να εισαχθούν αποτελεσματικότερα και πιο κερδοφόρα επιχειρηματικά μοντέλα, προκειμένου να διασφαλίζεται συνεχώς η μεγιστοποίηση του κέρδους για όλους τους σχετικούς με τον εικονικό σταθμό φορείς.
- Ενίσχυση της αξιοπιστίας και της διαθεσιμότητας στον τομέα της παροχής επικουρικών υπηρεσιών και η δυνατότητα γρήγορης αποκατάστασης σε περιπτώσεις αποτυχίας του συστήματος[2].

Από τα παραπάνω, βλέπουμε ότι η επόμενη γενιά εικονικών σταθμών παραγωγής μας παρουσιάζει συστήματα που εξετάζουν διάφορες μεταβαλλόμενες τεχνολογικές πτυχές που πρόκειται να εφαρμοστούν στον τομέα των συστημάτων ισχύος και επικοινωνίας, ξεπερνώντας τις ελλείψεις των υφιστάμενων Vrrps σε τεχνικό και διαχειριστικό επίπεδο. Όλα αυτά με σκοπό την καλύτερη διασύνδεση των μονάδων DERs σε μια ενιαία οντότητα για την βέλτιστη και πιο αποτελεσματική λειτουργία του Vrrp.

Τελικά Συμπεράσματα

Σε αυτή την εργασία μελετήσαμε την καινοτόμο ιδέα του εικονικού σταθμού παραγωγής. Συγκεκριμένα, μιλήσαμε για το πώς ορίζεται, ποια είναι τα στοιχεία και οι τεχνολογίες που το συνθέτουν και γιατί η ύπαρξη του φέρνει σημαντικές αλλαγές στο τομέα της παραγωγής και διαχείρισης ενέργειας. Κάναμε μια ανασκόπηση στα προγράμματα εικονικών σταθμών που έχουν αναπτυχθεί και σε ορισμένα που πρόκειται να αναπτυχθούν στην Ευρώπη και στον κόσμο. Επίσης, αναφερθήκαμε στα επιχειρησιακά μοντέλα που μπορούν να υιοθετηθούν από έναν εικονικό σταθμό και για το πόσο σημαντική είναι η ύπαρξη τους, ώστε να μπορεί να έχει κέρδος μέσα από τις υπηρεσίες που παρέχει. Τέλος, μιλήσαμε για τους ενδεχόμενους ρυθμιστικούς και νομοθετικούς φραγμούς που μπορεί να αναδυθούν κατά την υλοποίηση του. Από την ανάλυση που κάναμε στη παρούσα εργασία βλέπουμε ότι η ιδέα του εικονικού σταθμού παρουσιάζει μια νέα οπτική στον τομέα της παραγωγής, διαχείρισης και εμπορίας της ηλεκτρικής ενέργειας. Είδαμε ότι οι συμβατικές μέθοδοι ηλεκτροπαραγωγής δεν αποτελούν, πλέον, μια βιώσιμη επιλογή τόσο για το περιβάλλον όσο για τον τελικό καταναλωτή. Ο εικονικός σταθμός δίνει, λοιπόν, λύσεις σε πολλά από αυτά τα θέματα που δημιουργούνται από την μέχρι σήμερα κατάσταση που επικρατεί στο τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, δίνει τη δυνατότητα και στον τελικό καταναλωτή να συμμετάσχει στην όλη διαδικασία και ως παραγωγός μέσα από το να παρέχει τις μονάδες του στο σύστημα έχοντας ταυτόχρονα πολλαπλά οφέλη. Παρόλα αυτά, υπάρχουν και ορισμένα εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν και παράγοντες που πρέπει να βελτιωθούν για την καλύτερη και ανεμπόδιστη λειτουργία του και σε επίπεδο διαχείρισης αλλά και κατά την προώθηση των υπηρεσιών του στις αγορές.

Βιβλιογραφία/Αρθρογραφία

1. Μούτης, Π., Χατζηαργυρίου, Ν. (2015). Συμβολή στην παροχή επικουρικών υπηρεσιών από εικονικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Ανακτήθηκε 05/10/22 από:<http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jsrui/handle/123456789/17526>
2. You, S. (2010). Developing Virtual Power Plant for Optimized Distributed Energy Resources Operation and Integration. Technical University of Denmark. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://orbit.dtu.dk/en/publications/developing-virtual-power-plant-for-optimized-distributed-energy-r>
3. Borbely, A.M. Kreider, J.F. (2001). Distributed generation the power paradigm for the new millennium, CRC Press.
4. Voorspools, K., D'haeseleer, W. (2002). The evaluation of small cogeneration for residential heating. *International Journal of Energy Research, Volume 26, Issue 13*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/er.843>
5. Bhuiyan, Erphan A. & Hossain, Md. Zahid & Muyeen, S.M. & Fahim, Shahriar Rahman & Sarker, Subrata K. & Das, Sajal K., (2021). "Towards next generation virtual power plant: Technology review and frameworks," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 150(C). Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v150y2021ics1364032121006444.html>
6. Saboori, H., Mohammadi, M., Taghe, R. (2011). Virtual Power Plant (VPP), Definition, Concept, Components and Types. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, IEEE, 2011*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5749026>
7. Asmus, P. (2010). Microgrids, Virtual Power Plants and Our Distributed Energy Future. *The Electricity Journal, Volume 23, Issue 10, December 2010, Pages 72-82*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1040619010002873?via%3Dihub>
8. Wang, X., Liu, Z., Zhang, H., Zhao, Y., Shi, J. & Ding, H. (2019). "A Review on Virtual Power Plant Concept, Application and Challenges," *2019 IEEE*

Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia). Ανακτήθηκε 05/10/22 από:<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2152/1/012059/meta>

9. Hu, J., Liu, Y., Jiang, C. (2018). An Optimum Bidding Strategy of CVPP by Interval Optimization. *IEEJ, Transactions on Electrical and Electronic Engineering*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/tee.22721>
10. Pourghaderi, N., Firuzabad, M., Kabirifar, M., Aghtaie, M. (2019). Energy Management Framework for a TVPP in Active Distribution Network with Diverse DERs. 27th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE 2019). Ανακτήθηκε 05/10/22 από:
https://www.researchgate.net/publication/334994626_Energy_Management_Framework_for_a_TVPP_in_Active_Distribution_Network_with_Diverse_DERs
11. Hatziargyriou, N., Donnelly, M., Papathanassiou, S., Pecos Lopes, J.A., Takasaki, M., Chao, H., Usaola, J., Lasseter, R., Efthymiadis, a., Karoui, K., Arabi, S. (2000). CIGRE Technical brochure on modeling new forms of generation and storage. TF 38.01.10
12. Akorede, M. & Hizam, H. & Pouresmaeil, E. (2010). "Distributed energy resources and benefits to the environment," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 14(2), pages 724-734, February. Ανακτήθηκε 05/10/22 από:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032109002561>
13. Willis, H. Lee.; Scott, Walter G. (2000). *Distributed power generation: planning and evaluation* Marcel Dekker. New York: CRC Press. Ανακτήθηκε 05/10/22 από:
https://www.academia.edu/38404631/Distributed_Power_Generation_Planning_and_Evaluation_Power_Engineering
14. Hajagos, L.M., Berube G.R. (2001). Utility experience with gas turbine testing and modeling IEEE power engineering society winter meeting, Columbus. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://www.semanticscholar.org/paper/Utility-experience-with-gas-turbine-testing-and-Hajagos-B%3%A9rub%3%A9/76fa2ae955a52f4a3d50426b038f3a415c94dba6>
15. Jurado, f., Saenz J. R. (2002). Adaptive control of a fuel cell-microturbine hybrid power plant. *IEEE power engineering society summer (2002)*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1043180>

16. Fridleifsson, I. (2001). Geothermal energy for the benefit of the people. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2001, vol. 5, issue 3, 299-312. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: https://econpapers.repec.org/article/eeeensus/v_3a5_3ay_3a2001_3ai_3a3_3ap_3a299-312.htm
17. Aitken, D., Armstrong, R. (2015). Geothermal Energy: Pros and cons. Language, Culture, History: International Conference, (Russia, Ulyanovsk, 2017). *Collection of scientific papers*, 132–136. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <http://venec.ulstu.ru/lib/disk/2017/150.pdf#page=132>
18. Goldberg, S., Rosner, R., (2011). Nuclear reactors: Generation to generation American Academy of Arts and Sciences, Cambridge University Press. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://www.amacad.org/publication/nuclear-reactors-generation-generation>
19. Seventa, M., Rathore, N. (2011). Biomass as a Source of Energy (Chapter 14). Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://www.academia.edu/39310549/Fmatter>
20. Kirubakaran, V., Sivaramakrishnan, V., Nalini, R., Sekar, T., Premalatha, M. and Subramanian, P. (2009) A Review on Gasification of Biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 179-186. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2007.07.001>
21. Vassilev, S., Vassileva, C., Vassilev, V. (2015). Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: An overview, *ELSEVIER, Volume 158, 15 October 2015, Pages 330-350*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236115005578?via%3Dihub>
22. Symons, P.C. (2000). The future of energy storage in a deregulated environment. *IEEE panel session, PES summer meeting. Seattle, Washington*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://ieeexplore.ieee.org/document/868751>
23. Weissbach, R.S., Karady, G.G. (2001). Farmer A combined uninterruptible power supply and dynamic voltage compensator using a flywheel energy storage system. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 16 (2).
24. Louie, H., Strunz, K. (2007). Superconducting magnetic energy storage (SMES) for energy cache control in modular distributed hydrogen-electric energy systems. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 17 (2): 2361 - 2364.
25. Lund, H., Salgi, G. (2009). The role of compressed air energy storage (CAES) in future sustainable energy systems. *ELSEVIER, Energy Conversion and*

- Management, Volume 50, Issue 5, May 2009, Pages 1172-1179. Ανακτήθηκε 05/10/22 από:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890409000429>
26. Crotagino, F., Mohmeyer, K.U., Scharf, R. (2001). C.A.E.S. Huntorf. More than 20 years of successful operation. *The Solution Mining Research Institute, Orlando, Florida, USA*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://bit.ly/370VCwR>
27. Bullough, C., Gatzen, C., Jakiel, C., Koller, M., Nowi, A, Zunft. S. (2004). Advanced adiabatic compressed air energy storage for the integration of wind energy. *The European wind energy conference, London*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://bit.ly/3txWSiO>
28. Bao Y., Chen J., Sun X., Han X., Yongchao L., Zhang Y., Gu F., Wang J. (2019). Debris flow prediction and prevention in reservoir area based on finite volume type shallow-water model: a case study of pumped-storage hydroelectric power station site in Yi County, Hebei, China. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://anon.to/TolTqV>
29. Stephen J. Bigelow (2021). What is edge Computing? Everything you need to know. Ανακτήθηκε 05/10/2022 από:
<https://www.techtarget.com/searchdatacenter/definition/edge-computing>
30. Mehta, B.R., Reddy, Y.J., (2015). Industrial Process Automation Systems. Ανακτήθηκε 05/10/22 από:
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/supervisory-control-and-data-acquisition-system>
31. Merlinda A., Valentin R., David Flynn, Simone Abram, Dale Geach, David Jenkins, Peter McCallum, Andrew Peacock (2019). Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Pages 143-174.
32. Zhu, F., Zheng, Y., Guo, X., Wang S. (2005). Environmental impacts and benefits of regional power grid interconnections for China Energy Policy, 33.
33. Strachan, N., Farrell, A. (2006). Emissions from distributed vs. centralized generation: the importance of system performance *Energy Policy*, 34. Ανακτήθηκε 05/10/22 από:
<https://westminsterresearch.westminster.ac.uk/item/92163/emissions-from-distributed-vs-centralized-generation-the-importance-of-system-performance>
34. Pilavachi, P.A. (2002). Mini-and micro-gas turbines for combined heat and power. *Applied Thermal Engineering*, 22 (2002). Ανακτήθηκε 05/10/22 από:
https://www.bioturbine.org/Publications/PDF/microturbine%20market_2003_04_15-Pilavachi.pdf

35. Voorspools, K., D'haeseleer, W. (2003). The impact of the implementation of cogeneration. *IEEE Transactions on Energy Conversion, Volume 18, Issue 1*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1183724>
36. Hadley, S.W., Van Dyke, J.W. (2003). Emissions benefits of distributed generation in the Texas market: United States Dept. of Energy. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://info.ornl.gov/sites/publications/Files/Pub57466.pdf>
37. Chiradeja, P., Ramakumar, R. (2004). An approach to quantify the technical benefits of distributed generation. *IEEE Transactions on Energy Conversion, 19*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1359956>
38. Oyarzabal, J., Hatziargyriou, N., Lopez, J.P., Madureira, A., Moreira, C., Androutsos A. (2005). Deliverable D13 report on socio-economic evaluation of microgrids. Benefits of microgrids. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://www.yumpu.com/en/document/read/40843617/report-on-socio-economic-evaluation-of-microgrids>
39. Pudjianto, D., Strbac, G., Oberbeeke, F., Androutsos, A. (2006). Investigation of regulatory, commercial, economic and environmental issues in microgrids International. *International Conference on Future Power Systems, Amsterdam IEEE Xplore*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1600496>
40. Boedecker, E., Cymbalsky, J., Wade, S. (2000). Modeling distributed electricity generation in the NEMS buildings models. *EIA, Washington, DC*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: https://www.eia.gov/outlooks/analysispaper/electricity_generation.html
41. Denny, E., Malley, M.O. (2006). Wind generation, power system operation, and emissions reduction. *IEEE Transactions on Power Systems (Volume: 21, Issue: 1)*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1583731>
42. Gregory, R., Winterfeldt Von D. (1996). The effects of electromagnetic fields from transmission lines on public fears and property values. *Journal of Environmental Management, 48*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://eurekamag.com/research/009/570/009570613.php>
43. Draper, G., Vincent, T., Kroll, M.E., Swanson, J. (2005). Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. *British Medical Journal, 330*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://www.bmj.com/content/330/7503/1290>
44. Plancke, G., De Vos, K., Belmans, R. and A. Delnooz, (2015). "Virtual power plants: Definition, applications and barriers to the implementation in the distribution system" Ανακτήθηκε 05/10/22 από:

https://www.researchgate.net/publication/308872546_Virtual_power_plants_Definition_applications_and_barriers_to_the_implementation_in_the_distribution_system

45. Kardakos, E., Simoglou, C., Bakirtzis, A. (2016). Optimal Offering Strategy of a Virtual Power Plant: A Stochastic Bi-Level Approach. *IEEE Transactions on Smart Grid* (Volume: 7, Issue: 2, March 2016). Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7095586?arnumber=7095586>
46. Hu, J., Liu, Y., Jiang, C. (2018). An Optimum Bidding Strategy of CVPP by Interval Optimization. *IEEJ, Transactions on Electrical and Electronic Engineering*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/tee.22721>
47. Nezamabadi, H., Vahidinasab, V. (2015). Two stage decision making of technical virtual power plants in electricity market via Nash-SFE equilibrium. 3rd International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG). Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://ur.booksc.eu/book/51010999/70b9e5>
48. Kieny, K., Berseneff, B., Hadjsaid, N., Besanger, Y., Maire, J. (2009). On the concept and the interest of Virtual Power plant: some results from the European project FENIX. *Power & Energy Society General Meeting, 2009 IEEE*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5275526>
49. Horchler S., (2019)., "W2e Final Presentation", Ανακτήθηκε 05/10/2020 από: <http://www.web2energy.com/>.
50. European Virtual Fuel Cell Power Plant-VFCPP. Ανακτήθηκε 05/10/2022 από: <https://www.hydrogenambassadors.com>
51. Bray A., (2016). ConEd' s Virtual Power Plant. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://energyedger.com/2016/07/21/coneds-virtual-power-plant/>
52. SA Dept of Mining & Energy. Ανακτήθηκε 05/10/2022 από: <https://www.energymining.sa.gov.au/>
53. Surma, E., Węglarz, M. (2018). The Virtual Power Plant – A Review Of Business Models. *E3S Web Conf. Volume 108, 2019, Energy and Fuels 2018*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910801006>
54. Kraftwerke VPP, Business models,2020. Ανακτήθηκε 05/10/2022 από: <https://www.next-kraftwerke.com/vpp/virtual-power-plant>
55. You, S., Træholt, C., & Poulsen, B. (2009). A Market-Based Virtual Power Plant. In *International Conference on Clean Electrical Power* (pp. 460-465). IEEE. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/4925698/SB313.pdf>

56. Breeze Paul (2005). Power Generation Technologies.
57. Haisheng C., Thang Ngoc C., Wei Y., Chunqing T., Yongliang Li, Yulong Ding (2009). Progress in electrical energy storage system: A critical review, *Progress in Natural Science*, Pages 291-312.
58. Stephen J. Bigelow (2021). What is edge Computing? Everything you need to know. Αναρτήθηκε 05/10/2022 από: <https://www.techtarget.com/searchdatacenter/definition/edge-computing>
59. Cherp, A., Vinichenko, V., Jewell, J., Suzuki, M., Antal M. (2017). Comparing electricity transitions: A historical analysis of nuclear, wind and solar power in Germany and Japan. *Energy Policy, Elsevier, vol. 101(C), pages 612-628*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://ideas.repec.org/a/eee/enepol/v101y2017icp612-628.html>
60. Rosen, M., Dincer I., (2003). Thermo-economic analysis of power plants: an application to a coal fired electrical generating station, *Energy Convers Manage*, 44 (17). Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://bit.ly/378RdIn>
61. Mashhour, E., Moghaddas-Tafreshi S.M. (2009). The opportunities for future virtual power plant in the power market, a view point 2009 International conference on clean electrical power. *IEEE, International Conference on Clean Electrical Power*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5212014>
62. Caineng, Z., Qun, Z., Guosheng, Z., Bo, X. (2016). Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era, *Natural Gas Industry B, Volume 3, Issue 1*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352854016300109?via%3Dihub>
63. Yavuz, L., Önen, A., Muyeen S.M., Kamwa I. (2019). Transformation of microgrid to virtual power plant—a comprehensive review. *IET Journal, Generation, Transmission & Distribution, 13 (11)*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1049/iet-gtd.2018.5649>
64. Kostmann, M., Wolfgang, H.K. (2019). Forecasting in blockchain-based local energy markets. *Energies, MDPI, vol. 12 (14), pages 1-27, July*. Ανακτήθηκε 05/10/22 από: <https://ideas.repec.org/a/gam/jeners/v12y2019i14p2718-d248771.html>