



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Ανάλυση ενεργειακών δικτύων με αυξημένη ενσωμάτωση
μονάδων αποθήκευσης**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Νάζμι Κατσάνι

Επιβλέπων: Δασκαλοπούλου Ασπασία

Φεβρουάριος 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

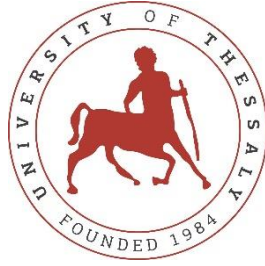
**Ανάλυση ενεργειακών δικτύων με αυξημένη ενσωμάτωση
μονάδων αποθήκευσης**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Νάζμι Κατσάνι

Επιβλέπων: Δασκαλοπούλου Ασπασία

Φεβρουάριος 2022



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

**Analysis of energy networks with increased penetration of storage
units**

MSc Thesis

Nazmi Katsani

Supervisor: Daskalopulu Aspassia

F
e
h
r

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων/πυσα **Ασπασία Δασκαλοπούλου**

Επίκουρος Καθηγήτρια, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος **Δημήτριος Μπαργιώτας**

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος **Ιωάννης Παναπακίδης**

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

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

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

Ο Δηλών

Νάζμι Κατσάνι

DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this MSc thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work / contributions of third parties for which the permission of the authors / beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The points where I have used ideas, text, files and / or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism.

The Declarant

Nazmi Katsani

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα για τη σημαντική συμβολή της στην περάτωση της συγκεκριμένης εργασίας, η οποία με τις καίριες επισημάνσεις της με βοήθησε ουσιαστικά στη συγγραφή της παρούσας μελέτης.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Παναπακίδη Ιωάννη, ο οποίος με τις τεχνικές του γνώσεις συνέβαλε ώστε να ξεπεραστούν διάφορα εμπόδια και δυσκολίες που προέκυπταν κατά τη διάρκεια της έρευνας. Τις ευχαριστίες μου στον κ. Μπαργιώτα Δημήτριο για την συμμετοχή του στην Επιτροπή Εξέτασης.

Τέλος, θερμές ευχαριστίες θέλω να δώσω στην οικογένεια μου για τη συνεχής συμπαράστασή της και για όλα όσα μου έχουν προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια της ζωής μου αλλά και των σπουδών μου.

Ανάλυση ενεργειακών δικτύων με αυξημένη ενσωμάτωση μονάδων αποθήκευσης

Νάζμι Κατσάνι

Περίληψη

Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να παρέχει σημαντικές υπηρεσίες δικτύου που απαιτούνται για την περαιτέρω ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η παγκόσμια εφαρμογή εξακολουθεί να είναι σχετικά περιορισμένη και να κυριαρχείται από τα αντλούμενα υδροηλεκτρικά εργοστάσια, γεγονός που μπορεί να αλλάξει με συνεχείς επενδύσεις και μεταρρυθμίσεις στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας για τη διασφάλιση του χαμηλού κόστους των λύσεων της αποθήκευσης. Το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα για το έτος 2020, όπως παρατηρείται, είναι σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο, αλλά υπάρχουν ακόμα πολλά βήματα τα οποία θα πρέπει να πράξουμε στο μέλλον ώστε να αξιοποιείται 100% η ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα περίπλοκο ζητούμενο το οποίο θα πρέπει να μας απασχολήσει στο μέλλον, κυρίως για τους περιβαλλοντικούς σκοπούς του.

Το EnergyPLAN είναι ένα μοντέλο το οποίο μας δίνει αυτή την δυνατότητα στην μελέτη και έρευνα του διασυνδεδεμένου δικτύου μιας χώρας σε πολύ ικανοποιητικό επίπεδο, κατά 96% της πραγματικότητας. Στην παρούσα διπλωματική, αναφέρονται άλλα 75 λογισμικά τα οποία υπάρχουν και μπορούν το καθένα με το δικό του τρόπο να κάνει αναλύσεις. Διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας έχουν ήδη αναπτυχθεί από διάφορους επιστήμονες. Επιπλέον, αναφέρονται οι σημαντικότεροι τρόποι αποθήκευσης. Μέσω της ανάλυσης ενεργειακών δικτύων μελετάται το ενεργειακό ισοζύγιο της Ελλάδας σήμερα, η εξέλιξή του σε βάθος χρόνου καθώς και η επίδραση της ενσωμάτωσης των αποθηκευτικών μονάδων.

Λέξεις-κλειδιά:

EnergyPLAN, Προσομοίωση ενεργειακών συστημάτων, Ανάλυση, Διείσδυση των ΑΠΕ, CO₂, Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας.

Analysis of energy networks with increased penetration of storage units

Nazmi Katsani

ABSTRACT

Installed electrical power can give the imperative framework administrations required to encourage coordinated renewable sources. Worldwide work is still generally limited and ruled by pumped hydroelectric control, which may be altered with proceeded speculation and power showcase changes to guarantee low-cost capacity arrangements. The potential of renewable vitality sources in Greece for the year 2020 is observed to be satisfactory but there are still numerous steps that have to be taken in order to require within the future and reach the point of 100% renewable energy source. The capacity of power could be a complex issue which ought to concern us within the future primarily for its environmental purposes.

EnergyPLAN could be a show which empowers us to think about and research a country's interconnected organize at an awfully palatable level of 96% of reality. In this thesis, 75 other computer programs are reported which can each in its possess way make analyzes. As of now, Different vitality storage technologies have been created by different researchers. In addition, the most important storage methods are mentioned. Through the analysis of energy networks, the energy balance of Greece today is studied, its evolution over time and the effect of the integration of the storage units.

Keywords:

EnergyPLAN, Simulation of energy systems, Analysis, Penetration of RES, CO₂, Energy storage technologies.

Πίνακας περιεχομένων

<i>Ευχαριστίες</i>	<i>vii</i>
<i>Περίληψη</i>	<i>viii</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>ix</i>
<i>Πίνακας περιεχομένων</i>	<i>x</i>
<i>Κατάλογος εικόνων</i>	<i>xii</i>
<i>Κατάλογος σχημάτων</i>	<i>xiii</i>
<i>Κατάλογος πινάκων</i>	<i>xv</i>
<i>Συντομογραφίες</i>	<i>xvi</i>
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	1
1.1 Προσομοίωση ενεργειακών συστημάτων	1
1.2 Ανασκόπηση μοντέλων προσομοίωσης ενεργειακών συστημάτων	5
1.3 EnergyPLAN	21
1.4 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	26
1.5 Μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας	27
1.6 Δομή της διπλωματικής εργασίας	28
Κεφάλαιο 2 Η σημασία της αποθήκευσης στα σημερινά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας 29	
2.1 Η σημασία της ηλεκτρικής ενέργειας.....	29
2.2 Η μελλοντική εξέλιξη της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας	32
2.3 Αρχιτεκτονική και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας	37
2.4 Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας	43
2.4.1 Αντλησιοταμίευση	44
2.4.2 Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας CEEP	45
2.4.3 Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στις μπαταρίες	45
2.4.4 Αποθήκευση ενέργειας στους σφονδύλους	50
2.4.5 Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας υδρογόνου	52
2.4.6 Αποθήκευση θερμικής ηλεκτρικής ενέργειας	52
2.4.7 Ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μπαταρία.....	55
2.5 Οφέλη αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας	57
2.6 Μελλοντική ανάπτυξη των τεχνολογιών των μπαταριών	63
Κεφάλαιο 3 Ανάλυση EnergyPLAN	65
3.1 Μοντέλο EnergyPLAN.....	65
3.2 Ανάλυση ενεργειακών συστημάτων μέσω του EnergyPLAN	67
3.3 Τεχνικά δεδομένα.....	68
3.4 Καρτέλα Ζήτησης	69
3.4.1 Ηλεκτρισμός.....	70
3.4.2 Θέρμανση	71
3.4.3 Ψύξη.....	71

3.4.4 Καύσιμα	72
3.4.5 Μεταφορά	73
3.4.6 Αφαλάτωση.....	73
3.5 Παραγωγή	74
3.5.1 Μονάδες ηλεκτροπαραγωγής	77
3.5.2 Καύσιμα σταθμών παραγωγής.....	78
3.5.3 Χωρητικότητα γραμμής μεταφοράς	79
3.5.4 Ανανεώσιμη ενέργεια	79
3.5.5 Heat Only	80
3.5.6 Waste.....	81
3.5.7 CO ₂	81
3.6 Εξισορρόπηση και αποθήκευση	82
3.6.1 Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας	82
3.7 Κόστος.....	84
3.7.1 Απαιτούνται οικονομικά δεδομένα	85
3.7.2 Επιτόκιο	85
3.7.3 Τιμή CO ₂	85
3.7.4 Investment Tab	86
3.7.5 Fuel Tab.....	87
3.7.6 Variable OM	88
3.8 Προσομοίωση.....	89
3.9 Έξοδοι	90
Κεφάλαιο 4 Αποτελέσματα	92
4.1 Υποπερίπτωση 1 ^η : Ανάλυση του έτους 2020	93
4.1.2 Υποπερίπτωση 2 ^η : Ανάλυση της αντλησιοταμίευτικής μονάδας στην τιμή 1289 GWh	95
4.1.3 Υποπερίπτωση 3 ^η ανάλυση της αντλησιοταμίευτικής μονάδας στην τιμή 2776	97
4.1.4 Υποπερίπτωση 4 ^η ανάλυση της αντλησιοταμίευτικής μονάδας στην τιμή 2776 και τις χημικές μονάδες αποθήκευσης στην τιμή 3582 GWh.....	99
4.2 Ελληνικό ενεργειακό δίκτυο με αυξημένη ενσωμάτωση των Pump Storage	101
4.3 Ελληνικό ενεργειακό δίκτυο με αυξημένη ενσωμάτωση των Electricity Storage	102
4.4 Ελληνικό ενεργειακό δίκτυο με αυξημένη ενσωμάτωση των Electricity Storage και Pump Storage	103
4.5 Έρευνα αποτελεσματικότητας του Electricity storage στο ελληνικό δίκτυο.....	103
4.6 Ανάλυση ισορροπίας του δικτύου	107
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπεράσματα	110
Βιβλιογραφία.....	112

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2.1: Ενεργειακό Θησαυροφυλάκιο [15]	54
--	----

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1.1: EnergyPLAN [5]	22
Σχήμα 1.2: Διαδικασία της ανάλυσης του ενεργειακού συστήματος [11].....	24
Σχήμα 2.1: Οι 6 κύριοι κατηγορίες των μονάδων αποθήκευσης και η υποκατηγορίες	33
Σχήμα 2.2: Ανάλυση της ανανεώσιμης δομής δικτύου [15].....	36
Σχήμα 2.3: Διάγραμμα βελτιστοποίησης του EnergyPLAN.....	50
Σχήμα 2.4: Βασικά στοιχεία ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας σφονδύλου υψηλής ταχύτητας [18].....	52
Σχήμα 2.5: Η διαδικασία μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια σε μια ηλιακή μονάδα συγκέντρωσης [15].	53
Σχήμα 2.6: Σύνδεση μονάδας αποθήκευσης με το ηλεκτρικό δίκτυο [23].....	57
Σχήμα 3.1: Διάγραμμα ροής του μοντέλου EnergyPLAN	69
Σχήμα 3.2: Καρτέλα με τα στοιχεία της κατανάλωσης	70
Σχήμα 3.3: Καρτέλα με τα στοιχεία της τηλεθέρμανσης	71
Σχήμα 3.4: Καρτέλα με τα στοιχεία της ψύξης	72
Σχήμα 3.5: Καρτέλα με τα στοιχεία των καυσίμων.....	72
Σχήμα 3.6: Καρτέλα με τα στοιχεία της μεταφοράς	73
Σχήμα 3.7: Καρτέλα με τα στοιχεία της αφαλάτωση.....	73
Σχήμα 3.8: Καρτέλα με τα στοιχεία των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής 1.....	77
Σχήμα 3.9: Καρτέλα με τα στοιχεία των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής 2.....	78
Σχήμα 3.10: Καρτέλα με τα στοιχεία της διανομής καύσιμου	78
Σχήμα 3.11: Καρτέλα με τα στοιχεία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	79
Σχήμα 3.12: Προφίλ ανέμου.....	80
Σχήμα 3.13: Ηλιακό προφίλ	80
Σχήμα 3.14: Καρτέλα με τα στοιχεία της Θέρμανσης.....	81
Σχήμα 3.15: Καρτέλα με τα στοιχεία των απόβλητων	81
Σχήμα 3.16: Καρτέλα με τα στοιχεία του διοξειδίου του άνθρακα.....	82
Σχήμα 3.17: Καρτέλα με τα στοιχεία της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας	83
Σχήμα 3.18: Καρτέλα με τα στοιχεία της θερμικής αποθήκευσης	84
Σχήμα 3.19: Καρτέλα με τα στοιχεία της αποθήκευσης αερίου.....	84
Σχήμα 3.20: Καρτέλα με τα στοιχεία από το επιτόκιο της εκάστοτε χωράς	85
Σχήμα 3.21: Καρτέλα με τα στοιχεία των σταθερών επενδυτικών μονάδων.....	86
Σχήμα 3.22: Καρτέλα με τα στοιχεία των επενδυτικών μονάδων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	86
Σχήμα 3.23: Καρτέλα με τα στοιχεία των επενδυτικών μονάδων καυσίμου	87
Σχήμα 3.24: Καρτέλα με τα στοιχεία των επιπρόσθετων δαπανών	88
Σχήμα 3.25: Καρτέλα με τα στοιχεία του κόστους λειτουργίας	88
Σχήμα 3.26: Καρτέλα με τα στοιχεία της προσομοίωσης.....	89
Σχήμα 3.27: Καρτέλα με τα στοιχεία της οικονομικής προσομοίωσης	89
Σχήμα 3.28: Καρτέλα με τα στοιχεία της επισκόπησης	90
Σχήμα 3.29: Γραφήματα διαφορετικών ειδών μέσω του EnergyPLAN	91
Σχήμα 4.1: Scenario 1: Ανάλυση του έτους 2020.....	93
Σχήμα 4.2: Scenario 2: Ανάλυση της αντλησιοταμίευτικής μονάδας στην τιμή 1289 GWh	95

Σχήμα 4.3: Scenario 3_1: Ανάλυση της αντλησιοταμίευτικής μονάδας στην τιμή 2776 GWh.....	98
Σχήμα 4.4: Scenario 3_2: Ανάλυση της αντλησιοταμίευτικής μονάδας στην τιμή 2776 GWh.....	99
Σχήμα 4.5: Scenario 4_1: Ανάλυση της αντλησιοταμίευτικής μονάδας στην τιμή 2776 GWh και τις χημικής μονάδας αποθήκευσης στην τιμή των 3582 GWh	100
Σχήμα 4.6: Scenario 4_2: Ανάλυση της αντλησιοταμίευτικής μονάδας στην τιμή 2776 GWh και τις χημικής μονάδας αποθήκευσης στην τιμή των 3582 GWh.....	101
Σχήμα 4.7: Εισαγωγή φυσικού αερίου	105
Σχήμα 4.8: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.....	106
Σχήμα 4.9: Επιδράσει των αποθηκευτικών μονάδων στην ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια	107
Σχήμα 4.10: Scenario 1_2020_Greece	108
Σχήμα 4.11: Scenario 14.1_2020_Greece	108
Σχήμα 4.12: Scenario 14.2_2020_Greece	109

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1.1: Παρουσίαση των 75 διαφορετικών προγραμμάτων και οι γλώσσες προγραμματισμού τους	5
Πίνακας 1.2: Γενική ανάλυση των παραμέτρων	7
Πίνακας 1.3: Χωροχρονική ανάλυση.....	9
Πίνακας 1.4: Παράμετροι αποθήκευσης παραγωγής.....	12
Πίνακας 1.5: Παράμετροι μοντελοποίησης δικτύου.	13
Πίνακας 1.6: Παράμετροι ζήτησης.....	15
Πίνακας 1.7: Τεχνολογικές και οικονομικές παράμετροι.	16
Πίνακας 2.1: Μηχανική αποθήκευση.....	60
Πίνακας 2.2: Ηλεκτροχημική αποθήκευση	60
Πίνακας 2.3: Χημική αποθήκευση και θερμική	61
Πίνακας 2.4: Επισκόπηση του κόστους.....	61
Πίνακας 3.1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	74
Πίνακας 3.2: Μονάδες λιγνίτη και φυσικού αερίου	75
Πίνακας 3.3: Υδροηλεκτρικές μονάδες	76
Πίνακας 4.1: Δεδομένα Ενεργειακού Συστήματος Ελλάδα.....	92
Πίνακας 4.2: Υποπεριπτώσεις	92
Πίνακας 4.3: Πρωτογενής ενέργεια της 1 ^{ης} υποπερίπτωσης.....	93
Πίνακας 4.4: Συνολικό κόστος της 1 ^{ης} υποπερίπτωσης.....	94
Πίνακας 4.5: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από RES της 1 ^{ης} υποπερίπτωσης	95
Πίνακας 4.6: Εκπομπές CO ₂ της 1 ^{ης} υποπερίπτωσης	95
Πίνακας 4.7: Πρωτογενής ενέργεια της 2 ^{ης} υποπερίπτωσης.....	96
Πίνακας 4.8: Συνολικό κόστος της 2 ^{ης} υποπερίπτωσης	96
Πίνακας 4.9: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από RES της 2 ^{ης} υποπερίπτωσης	97
Πίνακας 4.10: Εκπομπές CO ₂ της 2 ^{ης} υποπερίπτωσης	97
Πίνακας 4.11: Αντλησιοταμίευση	102
Πίνακας 4.12: Ανάλυση των χημικών μονάδων αποθήκευσης	102
Πίνακας 4.13: Ανάλυση αποθηκευτικών μονάδων.....	103
Πίνακας 4.14: Ανάλυση της επίδρασης των αποθηκευτικών μονάδων στην εκπομπές CO ₂	104
Πίνακας 4.15: Ανάλυση της επίδρασης των αποθηκευτικών μονάδων στην εξάρτηση μας από τα καύσιμα	104
Πίνακας 4.16: Επίδραση των αποθηκευτικών μονάδων στο συνολικό κόστος	105
Πίνακας 4.17: Επίδραση των αποθηκευτικών μονάδων στην ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια.....	107

Συντομογραφίες

LCT	Χαμηλές Εκπομπές Διοξειδίου του Άνθρακα	Low Carbon Technologies
EPM	Ενεργειακός Σχεδιασμός και Διαχείριση	Energy planning and management
CHP	Θερμική και με ηλεκτρική ενέργεια	Combined Heat Power
CoE	Κόστος της Ενέργειας	Cost of energy
DNOs	Δίκτυα Διανομής	Distribution Network Operators
ESS	Συστήματα Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας	Energy Storage System
V2G	Οχήματα προς δίκτυο	Vehicle to grid
CAES	Αποθήκευση Ενέργειας Πεπιεσμένου Αέρα	Compressed Air Energy Storage
GHG	Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου	Greenhouse Gases
RE	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	Renewable energy
PHS	Αντλιοσταμείωση	Pumped hydro
IRENA	Διεθνής Οργανισμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	International renewable energy agency
FES	Στρεφόμενος Σφόνδουλος	Flywheel energy storage
SCES	Υπερπυκνωτές	Supercapacitors
SMES	Υπεραγωγική Αποθήκευση Μαγνητικής Ενέργειας	Superconducting magnetic energy storage
HESS	Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας με Βάση το Υδρογόνο	Hydrogen-based energy storage systems
LCOE	Χαμηλότερα Επίπεδα Ενέργειας	least Levelized Cost of Energy
DES	Διεσπαρμένη Αποθήκευση Ενέργειας	Distributed Energy Storage
CEEP	Πλεονάζουσα παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια	Critical Excess Electricity Production
EEEP	Εξαγόμενη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια	Exportable Excess Electricity Production
DR	Ανταπόκριση ζήτησης	Demand Response
DER	Καταναεμημένοι ενεργειακοί πόροι	Distributed Energy Resources
DG	Καταναεμημένη παραγωγή	Distributed Generation
VRES	Μεταβλητή ανανεώσιμη πηγή ενέργειας	Variable Renewable Energy Sources
PHES	Αποθηκευτική αντλία θερμότητας ενέργειας	Pumped Heat Electrical Storage
PP	Σταθμός παραγωγής	Power Plant
TES	Αποθήκευση θερμικής ενέργειας	Thermal Energy Storage
BESS	Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μέσω μπαταριών	Battery Energy Storage System
EVS	Θησαυροφυλάκιο Ενέργειας	Energy Vault Storage
ΚΑΠΕ	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	-
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	-
Φ/Β	Φωτοβολταϊκά	-
ΣΗΘ	Μονάδες Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας	-
ΑΕΠ	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν	-

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Προσομοίωση ενεργειακών συστημάτων

Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, ο ενεργειακός σχεδιασμός και η διαχείριση (EPM) έχει διαδραματίσει ουσιαστικό ρόλο στη μακροπρόθεσμη χάραξη της κοινωνικής, περιβαλλοντικής και οικονομικής πολιτικής των χωρών. Από την κρίση του πετρελαίου του 1973, τα ενεργειακά προβλήματα έχουν μετακινηθεί στον πυρήνα των πιο κρίσιμων και δύσκολων ζητημάτων που αντιμετωπίζει η κοινωνία.

Η αυξημένη ευαισθητοποίηση του κοινού για το ενεργειακό πρόβλημα έχει αποτελέσει κίνητρο για την έναρξη μεγάλων αριθμών μελετών της ενεργειακής πολιτικής και έχει δώσει ουσιαστική ώθηση στην ανάπτυξη ενεργειακών μοντέλων που θα βοηθήσουν τους υπεύθυνους στη λήψη αποφάσεων για την επίλυση των ενεργειακών προβλημάτων. Ένας μεγάλος αριθμός ενεργειακών μοντέλων έχουν αναπτυχθεί όλα αυτά τα χρόνια και τώρα χρησιμοποιούνται για ενεργειακούς και πολιτικούς σκοπούς, σχεδιασμούς σε περιφερειακό ή εθνικό ακόμα και σε διεθνές επίπεδο. Το εύρος των ενεργειακών μοντέλων κυμαίνεται από μηχανικά μοντέλα, διαφορετικής μετατροπής ενέργειας (π.χ. διυλιστήρια). Τα μοντέλα αυτά ασχολούνται με τη ζήτηση ή/ και την προσφορά μεμονωμένων καυσίμων. Επιπλέον, υπάρχουν μοντέλα ενεργειακών συστημάτων που περιλαμβάνουν ολόκληρο το ενεργειακό σύστημα σε μοντέλα που περιγράφουν το ενεργειακό σύστημα ως αναπόσπαστο μέρος της συνολικής οικονομίας. Αυτή η διπλωματική, δεν προορίζεται να δώσει μια εξαντλητική περιγραφή των ενεργειακών τρόπων που αναπτύχθηκαν ή για την αξιολόγηση των διαφορετικών μεθοδολογιών που εφαρμόζονται στα ενεργειακά μοντέλα. Επικεντρώνεται στο ενεργειακό σύστημα και πιο συγκεκριμένα στις μονάδες αποθήκευσης. Τα ενεργειακά μοντέλα αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας θεωρητικές και αναλυτικές μεθόδους από διάφορους κλάδους όπως: μηχανική, οικονομετρία, έρευνα των επιχειρήσεων κ.α. [1],[2].

Απαιτείται μια ολόκληρη προσέγγιση του συστήματος ισχύος για να εξασφαλίζει αποτελεσματικά ολόκληρη την αλυσίδα της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η προσέγγιση είναι επίσης απαραίτητη για τη διευκόλυνση της σύνδεσης των νέων τεχνολογιών,

διατηρώντας παράλληλα την απόδοση και την ποιότητα του υπάρχοντος συστήματος. Αυτό θα επιτύχει σημαντικά και λειτουργικά οφέλη μέσω της βελτιστοποίησης και του συντονισμού όλων των συνδεδεμένων συσκευών στο δίκτυο. Αυτή η αρχιτεκτονική του συστήματος ισχύος είναι η υποκείμενη δομή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και ο τρόπος οργάνωσης και αλληλεπίδρασης των συστατικών του και των συμμετεχόντων του.

Το συμβατικό σύστημα ισχύος μετατρέπεται πλέον σε έξυπνο σύστημα το οποίο αναδεικνύεται τώρα ως ένα αξιόπιστο, βιώσιμο και πάνω απ' όλα έξυπνο δίκτυο. Το μικροδίκτυο είναι μέρος του έξυπνου δικτύου, διαθέτει τα βασικά συστατικά ενός συστήματος ισχύος ανεξάρτητο ή σε συνεργασία με άλλα μικρά ηλεκτρικά δίκτυα τα οποία είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο, με σκοπό να επιτευχθεί το βέλτιστο κόστος λειτουργίας και κατανάλωσης [3].

Ο μεγάλος αριθμός των νέων πηγών του φορτίου και της παραγωγής στην άκρη του δικτύου διανομής, έχει τη δυνατότητα να διαταράξει το παραδοσιακό μοντέλο λειτουργίας. Ωστόσο, νέες καινοτομίες στην παρακολούθηση και τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο στα χαμηλότερα επίπεδα τάσης, βοηθούμενες από τα χαρακτηριστικά των νέων συσκευών που συνδέονται στο δίκτυο, έχουν τη δυνατότητα να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις μέσω της συνετής χρήσης αυτών των συνδεδεμένων συσκευών σε ολόκληρο το δίκτυο. Μπορούν να παρατηρηθούν σημαντικά οφέλη στις αποδόσεις, βελτιστοποιώντας τις λειτουργίες και τα βοηθητικά συστήματα, χρησιμοποιώντας πιο εξελιγμένα συστήματα ελέγχου και ενεργειακά σε ένα αποδοτικότερο εξοπλισμό. Αυτή η χρήση των συνδεδεμένων συσκευών θα ενεργοποιήσει τα υψηλότερα επίπεδα καταναλωμένων ενεργειακών πόρων. Παρέχοντας επίσης την ευκαιρία βελτιστοποίησης της λειτουργίας και της κατανομής των ενεργειακών πόρων για τη μεγιστοποίηση των οφελών του δικτύου [4].

Ένα πρώτο κοινό χαρακτηριστικό πολλών από τις επερχόμενες, προγραμματισμένες ή προβλεπόμενες μεταβάσεις είναι η μετατόπιση από τα παραδοσιακά καύσιμα προς τα ενεργειακά συστήματα που βασίζονται σε πηγές ενέργειας που κυμαίνονται πέρα από τον ανθρώπινο έλεγχο.

Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό επίσης είναι η μετατόπιση της πολυπλοκότητας από τα συστήματα με σχετικά περιορισμένους αριθμούς πηγών καυσίμων προς ένα σύστημα με τη χρήση πολλών συμπληρωματικών πηγών ενέργειας.

Ένα τρίτο χαρακτηριστικό είναι μία κίνηση προς τα πιο ολοκληρωμένα ενεργειακά συστήματα, όπου χρησιμοποιούνται σύγχρονοι μηχανισμοί μετατροπής ενέργειας. Οι διαδικασίες χρησιμοποιούνται για σκοπούς θέρμανσης ή ακόμα και ψύξης στη Δανία. Η τηλεθέρμανση υπήρξε ακρογωνιαίος λίθος στις προσπάθειες της χώρας να περιορίσει την αύξηση της ζήτησης ενέργειας, κάτι το οποίο δεν έχει συμβεί στην Ελλάδα ακόμα.

Οι μεταβάσεις μπορεί να προέρχονται από τα παραδοσιακά ενεργειακά συστήματα όπου οι κάτοικοι έχουν ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας που καλύπτονται από τρόπους συμπύκνωσης στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα. Οι ανάγκες μεταφοράς που καλύπτονται από οχήματα με κινητήρα ντίζελ και οι απαιτήσεις θέρμανσης που καλύπτονται από υπολειπόμενους λέβητες πετρελαίου σε ενεργειακά συστήματα με καλυμμένες τις απαιτήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική και ηλιακή ενέργεια σε συνδυασμό με βιοπαραγωγή, με θερμική και με ηλεκτρική ενέργεια. Οι απαιτήσεις μεταφοράς που καλύπτονται από συνθετικά καύσιμα, που παράγονται με βάση το υδρογόνο από ηλεκτρολυτικούς μετατροπείς και διοξείδιο του άνθρακα από τις μονάδες ΣΗΘ και η θερμότητα που παρέχεται από μονάδες ΣΗΘ, σπαταλούνται από ηλεκτρολυτικές μετατροπές και αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν δεξαμενές θερμότητας χαμηλής ποιότητας [5].

Για τα παραδοσιακά ενεργειακά συστήματα, τα κριτήρια βελτιστοποίησης είναι σχετικά απλά. Το κόστος της ενέργειας (CoE) ετησίως και η μη διαθεσιμότητα του, αλλά και ο σχεδιασμός πολύπλοκων ενεργειακών συστημάτων απαιτούν δείκτες απόδοσης που αποτυπώνουν κατάλληλα την ποιότητα του δεδομένου συστήματος. Ένα απλό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι για παράδειγμα πιο κατάλληλο όταν υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ των ρευμάτων ενέργειας απ' ό,τι όταν τα ρεύματα αναμειγνύονται και οι συνέργειες αξιοποιούνται. Η ικανότητα επιλογής φορτίου και σύνθετων ενεργειακών συστημάτων είναι μια σύνθετη βελτιστοποίηση μιας σειράς παραγωγής, μετατροπής, αποθήκευσης που απαιτούν υψηλής ποιότητας τεχνολογίας [5].

Διευρυμένη ενσωμάτωση παρουσιάζουν οι ανανεώσιμες πηγές στα δίκτυα διανομής με πολλές προκλήσεις για τους φορείς εκμετάλλευσης των δικτύων διανομής (DNOs), ειδικά για την πρόσβαση σε δίκτυα περιορισμένης χωρητικότητας. Υπερβολική παραγόμενη ισχύς πάνω από την απαιτούμενη ποσότητα του φορτίου και τροφοδοσίας διαβιβάζονται στο δίκτυο μεταφοράς ή περιορίζονται εναλλακτικά. Η παροχή

πλεονάζουσας ισχύος στο δίκτυο up-stream είναι συνήθως περιορισμένη από την έλλειψη δυναμικότητας στους τροφοδότες του δικτύου διανομής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει περιορισμός της υπερβολικής παραγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Εξ ορισμού, ο περιορισμός της αιολικής ενέργειας αναφέρεται ως μείωση της παραγωγής ισχύος των ανεμογεννητριών σε επίπεδο εξόδου χαμηλότερο από το διαθέσιμο. Η χρήση των ESS μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της χρήσης της αιολικής ενέργειας αποφεύγοντας τον περιορισμό, μέσω της απορρόφησης της περίσσειας ενέργειας κατά την διάρκεια της φόρτισης. Με άλλα λόγια, η περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την χρέωση των ESS ως εναλλακτική λύση για περικοπή, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί όταν χρειάζεται. Τα ESS διαθέτουν τη δυνατότητα να απορροφήσουν την ηλεκτρική ενέργεια από άνθρακα παρουσιάζοντας μία νέα, χωρίς άνθρακα μη ρυπαντική λύση για λειτουργική ευελιξία μέσω βελτίωσης της απόδοσης των παραγωγικών περιουσιακών στοιχείων και την διευκόλυνση της ενσωμάτωσης μεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [6].

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση θερμικών και μονάδων παραγωγής ορυκτών καυσίμων έχουν ως αποτέλεσμα τη σημαντική περιβαλλοντική επίπτωση μέσω εκπομπών CO₂, NO_x και SO₂. Η ενσωμάτωση των ESS μπορεί να μειώσει την παραγωγή ενέργειας από αυτές τις μονάδες. Επομένως, το επίπεδο των ρύπων που εκπέμπουν αυτές οι πηγές μπορεί να μειωθεί και η συνάρτηση κόστους εκπομπών μπορεί εκφράζεται στην παρακάτω σχέση:

$$c_{Em} = CO_{2(PG)} + NO_{x(PG)} + SO_{2(PG)}$$

σε αυτήν την εξίσωση, το PG και το c_{Em} αντιπροσωπεύουν την παραγωγή ενέργειας και το αντίστοιχο κόστος εκπομπής της μονάδας παραγωγής, αντίστοιχα. Επίσης, τα CO₂, NO_x και SO₂ αντιπροσωπεύουν ισοδύναμες συναρτήσεις κόστους εκπομπών. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι οι εκπομπές ενδέχεται να παράγονται από την ισχύ των εγκαταστάσεων στο δίκτυο ανερχόμενης ροής ή/και στην DG με δυνατότητα αποστολής καυσίμων στο δίκτυο διανομής [6], [7].

Η απαλλαγή από τον άνθρακα στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας έως το 2050 αποτελεί κορυφαία προτεραιότητα, δεδομένου ότι ο άνθρακας είναι η μεγαλύτερη πηγή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στον τομέα της ενέργειας. Ευτυχώς, αυτό έχει ως

αποτέλεσμα τις διάφορες πολιτικές προσπάθειες, βελτίωσης της τεχνολογίας και μείωσης του κόστους, έτσι ώστε ο τομέας να έχει την ευκαιρία να αυξήσει την παραγωγή και να παρέχει τις απαραίτητες μειώσεις εκπομπών. Κυρίως λόγω της αυξημένης ανάπτυξης των τεχνολογιών ηλιακής και αιολικής ενέργειας.

Δυστυχώς, αυτό δεν μπορεί να αναφέρεται στους τομείς τελικής χρήσης όπου τα πλαίσια πολιτικής εξακολουθούν να εφαρμόζουν τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, διότι υστερούν σε κρίσιμες καταστάσεις, παρά τα υποσχόμενα σχέδια σε ορισμένες περιοχές και περιπτώσεις [7], [8].

1.2 Ανασκόπηση μοντέλων προσομοίωσης ενεργειακών συστημάτων

Καθώς όλο και περισσότερη ανάγκη υπάρχει για την μελέτη των ενεργειακών συστημάτων και την πρόβλεψη μακροπρόθεσμων και βραχυπρόθεσμων σεναρίων, διάφορα λογισμικά έχουν φτιαχτεί κατά καιρούς από διάφορες πηγές και με διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού. Στην παρούσα διπλωματική, το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιούμε είναι το EnergyPLAN. Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται μερικά από τα πιο γνωστά μοντέλα. Οι Πίνακες 1.2 έως 1.7 επεκτείνουν αυτές τις πληροφορίες παρουσιάζοντας τις συγκεκριμένες δυνατότητες καθενός από τα μοντέλα. Η γενική λογική και η χωροχρονική ανάλυση των μοντέλων παρουσιάζονται στους Πίνακες 1.2 και 1.3. Τα τεχνολογικά και οικονομικά χαρακτηριστικά των μοντέλων παρουσιάζονται στους Πίνακες 1.4, 1.5, 1.6, και 1.7) [9].

Πίνακας 1.1: Παρουσίαση των 75 διαφορετικών προγραμμάτων και οι γλώσσες προγραμματισμού τους [9].

Model	Software
AURORAxmp	Stand-alone
BALMOREL	GAMS & Solver
Calliope	Python
CASPOC	Stand-alone
COMPETES	AIMMS/GUROBI
COMPOSE	Stand-alone
CYME	Stand-alone
DER-CAM	Online – None, Licensed – GAMS
DESSTinEE	Excel/VBA
DIETER*	GAMS +Solver

DigSILENT/PowerFactory	Stand-Alone
EMLab-	JAVA & Maven
EMMA	GAMS/CPLEX
EMPIRE	Xpress-Mosel
EMPS	Stand-Alone
EnergyPLAN	Stand-Alone
energyPro	Stand-Alone
Enertile	Solver (CPLEX)
ENTIGRIS	GAMS
ETM (1)	GAMS/CPLEX, VEDA-FE & VEDA-BE
ETM (2)	Online tool
ETSAP-TIAM	GAMS/CPLEX, Excel, VEDA-FE & VEDABE
EUCAD	GAMS/CPLEX
EUPower-Dispatch	GAMS/CPLEX,(MATLAB)
ficus	Python
GCAM	BOOST, XERCES, JAVA, HECTOR
GEM-E3	GAMS (Solved with PATH)
GENESYS	Stand-Alone
GridLAB-D	Stand-Alone
HOMER	Stand-Alone
HYPERSIM	Stand-Alone
iHOGA	Stand-Alone
IMAKUS	MATLAB/CPLEX MATLAB/GUROBI
INVERT/EE-Lab	Python
IPSA (2)	Stand-Alone
IRiE	AMPL - CPLEX/GUROBI & EMPS
LEAP	SA
LIBEMOD	GAMS
LIMES-EU	GAMS/CPLEX
LOADMATCH*	UN
LUSYM	GAMS (MATLAB)
MARKAL	GAMS +Solver (VEDA)
MESSAGE	GAMS & ORACLE
NEMO	Python
NEMS	Python +Solver
Oemof	Stand-alone
OpenDSS	GNU MathProg
OSeMOSYS	MathProg
PLEXOS	Stand-alone
POLES	N.A.
PowerGAMA	Python

PRIMES*	-
ProdRisk	Fortran +COIN-CLP/CPLEX
PyPSA	Python
RAPSim	Stand-alone
ReEDS	GAMS (Excel & R)
ReMIND	GAMS/CONOPT
REMix	GAMS
renpass	MySQL, R, RMySQL
RETScreen	Windows with .NET
SAM	Stand-alone
SIMPOW	Stand-alone
SIREN	Stand-alone
SNOW	GAMS & MPSGE
stELMOD	GAMS/CPLEX
SWITCH	Python
Temoa	Python+Solver
TIMES	GAMS +Solver (VEDA)
TIMES-Norway	GAMS, CPLEX/XPRESS
TIMES-Oslo	GAMS, CPLEX/XPRESS
TRNSYS18	Stand-alone
urbs	Python+Solver
WEM	Vensim +others
WeSIM	Unknown
WITCH	GAMS

Πίνακας 1.2: Γενική ανάλυση των παραμέτρων [9]

Μοντέλα	Σκοπός	Προσέγγιση	Μεθοδολογία	Γεωγραφική κάλυψη
AURORAxmp	I & ODS, S,PSAT	BU	S, LP, MIP, PE	Ενιαίο έργο → Παγκόσμια
BALMOREL	I & ODS	H	PE/LP (MIP)	Περιφερειακό → Διεθνές
Calliope	I & ODS	BU	LP (MIP υπό ανάπτυξη)	UD
CASPOC	PSAT	BU	S	Μονοσύστημα/Τοπικό
COMPETES	I & ODS	BU	LP (In.), MIP (Op.)	Εθνική (Ευρώπη)
COMPOSE	ODS & S	BU	A (In.), MIP(Op.)	Μονοσύστημα/Σύστημα
CYME	PSAT	BU	S	Ενιαίο Σύστημα → Περιφερειακό
DER-CAM	I & ODS	BU	MIP	Ενιαίο Έργο → Περιφερειακό
DESStInEE	S, I & ODS	BU	S	Ευρώπη
DIETER*	I & ODS	BU	LP	Βαθμονομημένο στη Γερμανία
DigSILENT/PowerFactory	PSAT	BU	S	Συστήματα Ηλεκτρισμού
EMLab-Generation	IDS	H	ABS	Δύο αγορές/χώρες
EMMA	I & ODS	BU	LP	Ευρώπη
EMPIRE	IDS	H	LP (Στοχαστική πολλαπλών)	Ευρώπη
EMPS	I & ODS	BU	LP	Περιφερειακό → Ευρωπαϊκός
EnergyPLAN	S, IDS	BU	S	Τοπικός → Ευρωπαϊκός
energyPro	I & ODS	BU	AO ^c	Τοπικός → Περιφερειακό
Enertile	I & ODS	BU	LP	EUMENA (Εθνική)

ENTIGRIS	I & ODS	BU	LP	Περιφερειακό → Διεθνές
ETM (1)	S	BU	PE & LP	Παγκόσμια (17 περιοχές)
ETM (2)	S	H	S	Κοινότητα → Διεθνές
ETSAP-TIAM	I & ODS, S	BU	LP, PE	Παγκόσμια (15 περιοχές)
EUCAD	ODS	BU	MIQCP	Ευρώπη
EUPower-Dispatch	ODS	BU	MIP	Ευρώπη
ficus	I & ODS	BU	MIP	Τοπικός → Εθνικός
GCAM	S	H	PE	Παγκόσμια (Περιφερειακή)
GEM-E3	S	TD	CGE	Παγκόσμια (38 περιοχές)
GENESYS	IDS	BU	CMA-ES & HO	EUMENA (Εθνικά)
GridLAB-D	PSAT	BU	ABS	Τοπικός → Εθνικός
HOMER	I & ODS	BU	S & O	Τοπικός
HYPERSIM	PSAT	BU	S	Ενιαίο Σύστημα → Περιφερειακό
iHOGA	I & ODS	BU	HO	Τοπικός
IMAKUS	I & ODS	BU	LP	Γερμανία
INVERT/EE-Lab	S	BU	S	Κτίρια
IPSA 2	PSAT	BU	S	Συστήματα Ηλεκτρισμού
IRIE	ODS	BU	MIP	26 περιοχές στη Βόρεια Ευρώπη
LEAP	S	H	S & LP	Τοπικός → Παγκόσμια
LIBEMOD	S	H	ECE	Ευρώπη
LIMES-EU	S, I & ODS	H	LP	Ευρώπη
LOADMATCH*	S	BU	S	CONUS (4° × 5° δεδομένα WWS)
LUSYM	ODS	BU	MIP	Εθνικός
MARKAL	S	BU	LP/MIP, PE	Τοπικός → Περιφερειακό
MESSAGE	S, IDS	H	LP	Παγκόσμια (11 Περιφέρειες)
NEMO	I & ODS	BU	CMA-ES & S	Εθνικός
NEMS	S	H	S, O, PE	Περιφερειακό/Εθνικό (ΗΠΑ)
Oemof (SOLPH)	S, I & ODS	All	LP, MILP, PE	UD
OpenDSS	PSAT	BU	S	Τροφοδότες/περιοχές διανομής
OSeMOSYS	IDS	BU	LP	Κοινότητα → Ευρωπαϊκός
PLEXOS	I & ODS, S, PSAT	BU	^f	Ενιαίο έργο → Παγκόσμιο
POLES	S, I & ODS	H	PE/S	Παγκόσμια (66 περιοχές)
PowerGAMA	S (IDS)	BU	S, LP	Περιφερειακό/Εθνικό
Models	Purpose	Appr.	Methodology	Γεωγραφική κάλυψη
PRIMES*	S, IDS	H	PE	Ευρώπη
ProdRisk	ODS	BU	LP (SDDP)	Τοπικός → Εθνικός
PyPSA	I & ODS, PSAT	BU	LP	Τοπικός → Ευρωπαϊκός
RAPSim	PSAT	BU	S	Τοπικός
ReEDS	S (& IDS)	BU	LP & PE	^h
ReMIND	S	H	NLP	Παγκόσμια (11 Περιφέρειες)
REMix	I & ODS	H	LP	Γερμανία → Εθνική (Ευρώπη)
renpass	ODS, S	BU	S (In) & O (Op)	Περιφερειακό/Εθνικό (Δυτική Ε)
RETScreen	IDS, S	H	S	Μονοσύστημα → Παγκόσμια
SAM	IDS	BU	S	Ενιαίο σύστημα
SIMPOW	PSAT	BU	S	Μονοσύστημα → Τοπικός
SIREN	S	BU	S	Περιφερειακό/Εθνικό
SNOW	S	H	CGE	^j
stELMOD	ODS	BU	MIP	Ευρώπη
SWITCH	I & ODS	BU	MIP	Περιφερειακό/Εθνικό
Temoa	S	BU	LP	Περιφερειακό (UD) ^k
TIMES	I & ODS	H/BU	LP/MIP, PE	Τοπικό - Παγκόσμιο
TIMES-Norway	S, IDS (& ODS)	BU	LP	Νορβηγία (Σουηδία προαιρετικά)
TIMES-Oslo	S, IDS (& ODS)	BU	LP	Όσλο (Νορβηγία προαιρετικά)

TRNSYS18	PSAT	BU	S & L/NLP	Ενιαίο Έργο → Τοπικός
urbs	I & ODS	BU	LP	Τοπικός → Εθνικός
WEM*	S	H	S	Παγκόσμια (25 Περιφέρειες)
WeSIM	I & ODS	H	LP	Εθνικός → Ευρωπαϊκός
WITCH	S, IDS	H	NLP, E	Παγκόσμια (13 περιοχές (UD))

Πίνακας 1.3: Χωροχρονική ανάλυση [9]

Μοντέλα	Χρονική Ανάλυση	Ορίζοντας μοντελοποίησης
AURORAxmp	UD (Ωριαία)	UD (50+ ετών)
BALMOREL	Ωριαία/Σύνολο	50 χρόνια (UD)
Calliope	UD	UD
CASPOC	UD	μς έως 1 έτος
COMPETES	Ωριαία	UD
COMPOSE	UD (Ωριαία)	UD
CYME	UD (Συνήθως ms)	UD
DER-CAM	Ωριαία (In.) & Λεπτά (Op.)	Έως 20 ετών
DESSTinEE	Ωριαία	2050
DIETER*	Ωριαία	1 Χρόνος
DigSILENT/PowerFactory	UD	UD
EMLab-Generation	Χρονιαία	2050
EMMA	Ωριαία	Μακροπρόθεσμη οικονομική ισορροπία
EMPIRE	5 (In.), Χρονικά έτη ΗΠΑ ανά έτος (Op.)	Συνήθως 40–50 έτη
EMPS	Εβδομαδιαία, ^{a, b}	25 Χρονιά
EnergyPLAN	Ωριαία	1 Έτος
energyPro	Λεπτά, ^c	Μέγιστο 40 έτη
Enertile	Ωριαία	Συνήθως 2050
ENTIGRIS	Ωριαία (Op.), 5 έτη (In.)	2050
ETM (1)	Έξι χρονικά κομμάτια: τρεις εποχές & μέρα/ νύχτα	2100
ETM (2)	15 λεπτά (+ ώρα και πολλά)	2050
ETSAP-TIAM	Ετήσια (εποχές & ώρες ημέρας-νύχτας)	2100
EUCAD	Ωριαία	Ετήσια
EUPower-Dispatch	Ωριαία	Ετήσια
ficus	Τυπικά 15 Λεπτά	1 Έτος
GCAM	5 Χρονιά	2100
GEM-E3	5 Χρονιά	2030 και 2050
GENESYS	Ωριαία	2050
GridLAB-D	Υποδευτερόλεπτα – Έτη	3–5 έτη
HOMER	Λεπτά	Πολυετής
HYPERSIM	10 μsecond	UD
iHOGA	Ωριαία	Ετήσια
IMAKUS	Ωριαία	Αρκετές Δεκαετίες
INVERT/EE-Lab	Χρονιαία (In), Μηνιαία (Op)	2030/2050/2080
IPSA 2	^d	^e
IRiE	15-Λεπτά	Ετήσια
LEAP	Χρονιαία	Συνήθως 20–50 έτη
LIBEMOD	Ετήσιο (Το EI χωρίζεται το καλοκαίρι και τον χειμώνα, μια μέρα χωρίζεται σε μέρα και νύχτα)	1 → 20 έτη
LIMES-EU	5/10 Χρονιαία (6 επαναληπτικές ημέρες το χρόνο, 8 φορές την ημέρα)	2050
LOADMATCH*	30 δευτερόλεπτα	6 ετών (2050–2055)

LUSYM	15 λεπτά/Ωριαία & Καθημερινά (UC)/Εβδομαδιαία (Προγραμματισμός)	Καθημερινά/Εβδομαδιαία (UC) & Ετήσιο (Προγραμματισμός)
MARKAL	Πολλαπλά χρόνια (χρονικά τμήματα UD μέσα σε ένα χρόνο)	Μακροπρόθεσμη (UD)
MESSAGE	UD (Πολλαπλά έτη)	Μακροπρόθεσμη (50–100+ έτη)
NEMO	Ωριαία	Συνήθως 1 έτος
NEMS	Χρονιαία	2050
Oemof (SOLPH)	Δευτερόλεπτα σε Χρόνια	UD
OpenDSS	UD (1 Δευτερόλεπτα σε 1 Ωριαία)	UD
OSeMOSYS	UD (Ενδοετήσιο)	UD (10–100 έτη)
PLEXOS	UD έως 1 λεπτό (Συνήθως ανά ώρα) ,f	UD (1 ημέρα έως 50 + έτη)
POLES	Ετήσια (Σχήμα τομεακού φορτίου για δύο τυπικές ημέρες με ανάλυση δύο ωρών)	2050 (2100)
PowerGAMA	Ωριαία	Συνήθως 1 έτος
PRIMES*	Χρονιαία	Μακροπρόθεσμη
ProdRisk	Συνήθως 5–25 εβδομαδιαίες περιόδους	Συνήθως 3-10 έτη
PyPSA	Ωριαία	1 χρόνος
RAPSim	Λεπτά	Πολλαπλές μέρες
ReEDS	g	2050
ReMIND	i	2150
REMix	Ωριαία	Συνήθως 1 έτος
renpass	Ωριαία	1 έτος
RETScreen	Μηνιαίο/Ετήσιο/Ημερήσιο Μέγιστο 100 χρόνια	Μέγιστο 100 έτη
SAM	Υποωρία	1 έτος (Διάρκεια ζωής για π.χ. μπαταρίες + Φ/Β)
SIMPOW	Χιλιοστά του Δευτερολέπτου	Δευτερόλεπτα
SIREN	Ωριαία	1 έτη
SNOW	Χρονιαία	UD (1-100 έτη)
stELMOD	Ωριαία	1 Έτος
SWITCH	Ωριαία Αποστολή/Δεκαετή Περίοδος Επένδυσης	UD (2050)
Temoa	Ετήσιο (Με χρονικά τμήματα UD)	UD
TIMES	Πολλαπλά χρόνια - με χρονικά τμήματα UD μέσα σε ένα χρόνο	Μακροπρόθεσμη (UD)
TIMES-Norway	Πολλαπλά έτη – 260 χρονικά τμήματα ετησίως	2050
TIMES-Oslo	Πολλαπλά έτη – 260 χρονικά τμήματα ετησίως	2050
TRNSYS18	0,01 δευτ. έως 1 ώρα	Πολλαπλά χρόνια
urbs	UD (Ωριαία)	UD (ετησίως)
WEM*	Χρονιαία	2040
WeSIM	Ώρα ή μισή ώρα	1 ώρα – πολλά χρόνια
WITCH	5 Χρονιά	150 έτη

Συνομογραφίες που χρησιμοποιούνται στους Πίνακες Γενική λογική και χωροχρονική ανάλυση

- Σκοπός:

IDS– Υποστήριξη Επενδυτικών Αποφάσεων

ODS – Υποστήριξη Επιχειρησιακής Απόφασης

S – Σενάριο

PSAT – Εργαλείο ανάλυσης συστήματος ισχύος

A – Ανάλυση

Προσέγγιση:

BU– Από κάτω προς τα πάνω,

TD – Από πάνω προς τα κάτω

H – Υβριδικό

- Μεθοδολογία:
 - S– Προσομοίωση
 - LP – Γραμμικός Προγραμματισμός
 - MIP – Μικτός Ακέραιος Προγραμματισμός
 - PE – Μερική Ισορροπία
 - A- Λογιστική
 - ABS – Προσομοίωση βασισμένη σε καταναλωτές
 - MIQCP – Μικτός Ακέραιος Τετραγωνικός Περιορισμένος Προγραμματισμός,
 - CGE – Υπολογίσιμη Γενική Ισορροπία,
 - E – Ισορροπία
 - CMA-ES – Στρατηγική Εξέλιξης Προσαρμογής Πίνακα Συν διακύμανσης
 - HO –Βελτιστοποίηση
 - ECE – Οικονομική Υπολογίσιμη Ισορροπία
 - SDDP – Στοχαστικός Διπλός Δυναμικός Προγραμματισμός;
 - Χρονική ανάλυση/Ορίζω μοντελοποίησης/Γεωγραφική κάλυψη:
 - UD– Ορισμένο από τον Χρήστη
 - NL – Χωρίς περιορισμούς
- a. Το μοντέλο περιλαμβάνει στοχαστικό δυναμικό προγραμματισμό (SDP), γραμμικό προγραμματισμό και προσομοίωση. Στην αξιολόγηση στρατηγικής, χρησιμοποιήστε το SDP για να υπολογίσετε τις αυξητικές τιμές νερού για να αντιμετωπίσετε τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των τοποθεσιών. Στο μέρος της προσομοίωσης του μοντέλου, το συνολικό κόστος του συστήματος ελαχιστοποιείται σε μια γραμμική διατύπωση προβλήματος.
 - b. Σε μια στρατηγική ανασκόπηση, η λύση είναι εβδομαδιαία. Σε μια προσομοίωση μπορεί να είναι εβδομαδιαία με καμπύλη διάρκειας φορτίου πάνω από μια εβδομάδα ή ωριαία ανάλυση.
 - c. Αναλυτική βελτιστοποίηση.
 - d. 30 λεπτά (Ανάλυση ροής φορτίου). Συνήθως χιλιοστά του δευτερολέπτου (Μεταβατική σταθερότητα & Επίπεδο σφάλματος).
 - e. Περίπου 1 έτος (Ροή φορτίου). Επίπεδα σφάλματος (εκατοντάδες χιλιοστά του δευτερολέπτου). Μεταβατικά (δευτερόλεπτα).
 - f. Βελτιστοποίηση (Μικτός Ακέραιος, Γραμμικός και Μη Γραμμικός)/Μερική Ισορροπία (π.χ. επίλυση Nash-Cournot με ακέραια προβλήματα χρησιμοποιεί Τετραγωνικό Προγραμματισμό Μικτού Ακέραιου).
 - g. Διαδοχικές περίοδοι 2 ετών, 17 εποχικά/ημερήσια τμήματα μη χρονολογικών ωρών.
 - h. 134 περιοχές εξισορρόπησης προσφοράς/ζήτησης (+ 20 CA/+ 49 ME) & 356 περιοχές ανανεώσιμων πόρων (+ 47 CA/+ 49 ME).
 - i. 5 χρόνια έως το 2060, 10 έως το 2110, 20 έως το 2150.
 - j. Καθολική έκδοση: Ευέλικτη, συνήθως 2–10 περιοχές, Εθνική έκδοση: Νορβηγία και υπόλοιπος κόσμος.
 - k. Τα μοντέλα έχουν συνήθως 1–50 ζώνες φόρτωσης.
 - l. Ένα νέο χαρακτηριστικό το 2016 είναι η συμπερίληψη μιας πιο λεπτομερούς μονάδας αγοράς ενέργειας με ωριαία ανάλυση.

Πίνακας 1.4: Παράμετροι αποθήκευσης παραγωγής [9]

Μοντέλα	Συμβατική παραγωγή	Ανανεώσιμη παραγωγή	Αποθήκευση
AURORAxmp	Όλα	Όλα	Όλα (Γενικά)
BALMOREL	Όλα	HP, ROR, SP, WP, ST, WaP	Όλα
Calliope	Όλα	Όλα	Όλα
CASPOC	Όλα	Όλα	Όλα
COMPETES	Όλα	HP, SP, WP, GT	PHS, CAES
COMPOSE	Όλα	Όλα	Όλα
CYME	Όλα	SP, WP (Όλα)	B
DER-CAM	Όλα (εκτός από πυρηνικά)	Όλα	Όλα
DESSTinEE	Όλα	Όλα	PHS
DIETER*	Όλα (εκτός από πυρηνικά και λιγνίτη)	WP, SP	B, H, PHS, CAES
DigSILENT/PowerFactory	Όλα	Όλα	Όλα (Γενικά)
EMLab-Generation	Όλα	WP, SP (Γενικά)	Όλα (Γενικά)
EMMA	Όλα	WP, SP, HP, ROR	PHS
EMPIRE	Όλα	Όλα (εκτός από το Tidal)	Όλα (Γενικά)
EMPS	Όλα	Όλα	PHS
EnergyPLAN	Όλα	Όλα	Όλα
energyPro	Όλα (εκτός από πυρηνικά)	Όλα	PHS, CAES, B, TES
Enertile	Όλα	Όλα	PHS, TES, B
ENTIGRIS	Όλα	HP, WP, SP, CSP	PHS, B, TES
ETM (1)	Όλα	Όλα	TES
ETM (2)	Όλα	Όλα (εκτός TP & WaP)	PHS, B, H, TES
ETSAP-TIAM	Όλα	HP, ROR, WP, SP, ST, CSP, GT	PHS
EUCAD	Όλα	Όλα	PHS, CAES, B, H
EU Power-Dispatch	Όλα	Όλα	PHS
ficus	Όλα	Όλα	Όλα (Γενικά)
GCAM	Όλα	HP, SP, CSP, WP, GT	PHS, H
GEM-E3	Όλα	HP, WP, SP	Κανένα
GENESYS	Κανένα (Περιλαμβάνεται στην επόμενη έκδοση)	Όλα	Όλα
GridLAB-D	Γεννήτριες Ντίζελ	WP, SP	B
HOMER	Όλα (εκτός από πυρηνικά)	Όλα	CAES, B, H
HYPERSIM	Όλα	Όλα	B
iHOGA	Ντίζελ / Βενζίνη	WP, HP, SP	H, B
IMAKUS	Γεννήτριες Όλα	Όλα (Εξωγενή)	Όλα
INVERT/EE-Lab	ΣΗΘ μικρής κλίμακας	Φ/Β	Κανένα
IPSA 2	Όλα	Όλα	Όλα
IRiE	Όλα	HP, WP, SP	Κανένα
LEAP	Όλα	Όλα	Όλα
LIBEMOD	Όλα	HP, ROR, WP, SP	PHS
LIMES-EU	Όλα	HP, WP, SP, CSP	Όλα (Γενικά)
LOADMATCH	Κανένα	Όλα	PHS, TES, H
LUSYM	Όλα	Όλα	Όλα (Γενικά)
MARKAL	Όλα	HP, WP, SP, GT	PHS
MESSAGE	Όλα	Όλα	Όλα
NEMO	OCGT, CCGT, Άνθρακας (CCS)	HP, WP, PV, CST, GT	PHS, B
NEMS	Όλα	Όλα (εκτός από TP & WaP)	PHS, B, TES
Oemof (SOLPH)	Όλα	Όλα	Όλα
OpenDSS	Όλα (Γενικά)	SP (Άλλα Γενικά)	Όλα (Γενικά)
OSeMOSYS	Όλα	Όλα	Όλα

PLEXOS	Όλα	Όλα	Όλα (Γενικά)
POLES	Όλα (25 τεχνολογίες)	Όλες (16 τεχνολογίες)	PHS
PowerGAMA	Όλα (Γενικά)	Όλα (Γενικά)	Όλα (Γενικά)
PRIMES*	Όλα	Όλα	Όλα
ProdRisk	Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί	HP, WP	PHES
PyPSA	Όλα	Όλα	Όλα (Γενικά)
RAPSim	Κανένα (Υπό ανάπτυξη)	WP, SP	Κανένα (Υπό ανάπτυξη)
ReEDS	Όλα	Όλα (εκτός από το Tidal)	Όλα (εκτός υδρογόνου)
ReMIND	Όλα (Άνθρακας, Πετρέλαιο, Αέριο, Ουράνιο, Βιομάζα)	HP, SP, WP, GT	Όλα (Γενικά)
REMix	Όλα	Όλα	Όλα
renpass	Όλα	HP, WP, SP, GE, ROR	PHS, CAES, B
RETScreen	Όλα	Όλα	B
SAM	Συμβατική Θερμική & Βιομάζα	SP, ST, CSP, WP, GT	B, TES
SIMPOW	Όλα	Όλα	Κανένα
SIREN	Όλα	Όλα	Όλα (Γενικά)
SNOW	Όλα	Όλα	Κανένα
stELMOD	Όλα	HP, WP, ROR & SP	PHS
SWITCH	Όλα	Όλα (Γενικά)	Όλα
Temoa	Όλα	Όλα	Όλα
TIMES	Όλα	Όλα	Όλα
TIMES-Norway	Όλα (εκτός από τον άνθρακα)	Όλα (Εκτός GT (για el), CSP, WaP & T)	B, TES
TIMES-Oslo	Όλα (εκτός από άνθρακα και πυρηνικά)	Όλα (Εκτός GT (για el), CSP, WaP & T)	Κανένα
TRNSYS17	Όλα (εκτός από πυρηνικά)	SP, WP, ST, CSP, GT	B, H, TES
urbs	Όλα	Όλα	Όλα (Γενικά)
WEM*	Όλα	Όλα	Όλα
WeSIM	Όλα	Όλα	Όλα
WITCH	Όλα	HP, WP, SP, CSP	TES, B

Πίνακας 1.5: Παράμετροι μοντελοποίησης δικτύου [9]

Μοντέλα	Δίκτυο	Μοντελοποίηση Αγοράς
AURORAxmp	Εισαγωγή/Εξαγωγή, NTC, Ροή φορτίου DC (SCUC/SCOPF)	Ηλεκτρισμός & θερμότητα
BALMOREL	NTC	Ηλεκτρισμός & θερμότητα, Υδρογόνο & Καύσιμα
Calliope	NTC	Ηλεκτρισμός & θερμότητα, Υδρογόνο & Καύσιμα
CASPOC	Power Electronics & Circuit Modeling	Ηλεκτρική ενέργεια
COMPETES	NTC/DC Simplification	Ηλεκτρική ενέργεια
COMPOSE	Κανένα (Οι περιορισμοί μπορούν να παραμετροποιηθούν)	Ηλεκτρισμός, θερμότητα & Καύσιμα
CYME	Λεπτομερής προσομοίωση ισχύος	Ηλεκτρική ενέργεια
DER-CAM	Εισαγωγή/Εξαγωγή, Ροή ισχύος	Ηλεκτρισμός & θερμότητα
DESSTinEE	NTC	Ηλεκτρική ενέργεια
DIETER*	Κανένα	Ηλεκτρική ενέργεια
DigSILENT/PowerFactory	Λεπτομερής Ροή ισχύος	Ηλεκτρική ενέργεια
EMLab-Generation	NTC	Ηλεκτρική ενέργεια
EMMA	NTC	Ηλεκτρισμός & θερμότητα
EMPIRE	NTC	Ηλεκτρική ενέργεια
EMPS	NTC (Full Load)	Ηλεκτρική ενέργεια
EnergyPLAN	Δυνατότητα ροής) Εισαγωγή/Εξαγωγή	Ηλεκτρισμός & θερμότητα, Υδρογόνο & Καύσιμα

energyPro	Κανένα	Ηλεκτρισμός & θερμότητα
Enertile	NTC	Ηλεκτρισμός & θερμότητα
ENTIGRIS	NTC	Ηλεκτρική ενέργεια
ETM (1)	Εισαγωγή/Εξαγωγή	Ηλεκτρισμός & θερμότητα, Υδρογόνο & Καύσιμα
ETM (2)	Εισαγωγή/Εξαγωγή, NTC	Ηλεκτρισμός & θερμότητα, Υδρογόνο & Καύσιμα
ETSAP-TIAM	Εισαγωγή/Εξαγωγή	Οποιοδήποτε εμπόρευμα
EUCAD	NTC	Ηλεκτρισμός & Υδρογόνο
EU Power-Dispatch	NTC	Ηλεκτρική ενέργεια
ficus	Εισαγωγή/Εξαγωγή	Οποιοδήποτε εμπόρευμα
GCAM	Κανένα	Οποιοδήποτε
GEM-E3	Εισαγωγή/Εξαγωγή	Οποιοδήποτε εμπόρευμα
GENESYS	NTC	Ηλεκτρική ενέργεια
GridLAB-D	Λεπτομερής Ροή ισχύος	Ηλεκτρική ενέργεια
HOMER	Εισαγωγή/Εξαγωγή	Ηλεκτρισμός & θερμότητα
HYPERSIM	Λεπτομερής Ροή ισχύος	Ηλεκτρική ενέργεια
iHOGA	Εισαγωγή/Εξαγωγή	Ηλεκτρισμός & Υδρογόνο
IMAKUS	Εισαγωγή/Εξαγωγή	Ηλεκτρισμός & Υδρογόνο
INVERT/EE-Lab	Κανένα	Ηλεκτρισμός & θερμότητα
IPSA 2	Λεπτομερής Ροή ισχύος	Ηλεκτρική ενέργεια
IRiE	NTC	Ηλεκτρική ενέργεια
LEAP	Κανένα	Ηλεκτρισμός & θερμότητα
LIBEMOD	NTC	Ηλεκτρισμός, θερμότητα & Καύσιμα
LIMES-EU	NTC	Ηλεκτρική ενέργεια
LOADMATCH	NTC Καμία απώλεια δεν λαμβάνεται υπόψη	Ηλεκτρισμός & θερμότητα, Υδρογόνο
LUSYM	Γραμμικοποιημένη ροή ισχύος συνεχούς ρεύματος	Ηλεκτρική ενέργεια
MARKAL	NTC	Οποιοδήποτε εμπόρευμα
MESSAGE	Εισαγωγή/Εξαγωγή	Οποιοδήποτε εμπόρευμα
NEMO	Κανένα	Ηλεκτρική ενέργεια
NEMS	Εισαγωγή/Εξαγωγή	Ηλεκτρισμός & θερμότητα
Oemof (SOLPH)	Εισαγωγή/Εξαγωγή, NTC	Ηλεκτρισμός & θερμότητα, Υδρογόνο & Καύσιμα
OpenDSS	Πλήρης Πολυφασική Ροή Φορτίου AC. Δυναμική	Ηλεκτρική ενέργεια
OSeMOSYS	Κανένα	Ηλεκτρική ενέργεια
PLEXOS	^c	Ρεύμα (με Θερμότητα), Αέριο και Νερό
POLES	Κανένα (Εισαγωγή/Εξαγωγή)	Ηλεκτρισμός, Καύσιμα
PowerGAMA	Γραμμικοποιημένη ροή ισχύος συνεχούς ρεύματος	Ηλεκτρική ενέργεια
PRIMES*	Βέλτιστη ροή ισχύος DC γραμμική	Ηλεκτρισμός & θερμότητα, Υδρογόνο
ProdRisk	Κανένα (Υπάρχει πρωτότυπο με λεπτομερές δικτύου)	Ηλεκτρική ενέργεια
PyPSA	Μη γραμμική/γραμμική ροή ισχύος, NTC	Οποιοδήποτε εμπόρευμα
RAPSim	Λεπτομερής Ροή ισχύος	Ηλεκτρική ενέργεια
ReEDS	Γραμμικοποιημένη ροή ισχύος συνεχούς ρεύματος	Ηλεκτρική ενέργεια
ReMIND	Κανένα	Ηλεκτρισμός & θερμότητα, Υδρογόνο & Καύσιμα
REMix	NTC, DC απλοποίηση	Ηλεκτρισμός & θερμότητα, Υδρογόνο
renpass	NTC	Ηλεκτρική ενέργεια
RETScreen	Κεντρική/Απομονωμένη/ Εκτός δικτύου (Εισαγωγή/Εξαγωγή)	Ηλεκτρισμός & θερμότητα
SAM	Κανένα	Ηλεκτρική ενέργεια
SIMPOW	Λεπτομερής Ροή ισχύος	Ηλεκτρική ενέργεια
SIREN	NTC	Ηλεκτρική ενέργεια

SNOW	Εισαγωγή/Εξαγωγή	Οποιοδήποτε εμπόρευμα
stELMOD	NTC, DC απλοποίηση	Ηλεκτρισμός & θερμότητα
SWITCH	^g	Ηλεκτρισμός (Μερική μεταφορά)
Temoa	NTC	Οποιοδήποτε εμπόρευμα
TIMES	NTC	Οποιοδήποτε εμπόρευμα
TIMES-Norway	NTC	Οποιοδήποτε εμπόρευμα
TIMES-Oslo	NTC	Οποιοδήποτε εμπόρευμα
TRNSYS17	^j	Ηλεκτρισμός & θερμότητα, Υδρογόνο & Καύσιμα
urbs	NTC (+Γραμμικοποιημένη ροή φορτίου)	Οποιοδήποτε εμπόρευμα
WEM*	Κανένα	Ηλεκτρισμός & θερμότητα, Υδρογόνο & Καύσιμα
WeSIM	NTC	Ηλεκτρισμός & θερμότητα & Αέριο
WITCH	NTC	Οποιοδήποτε εμπόρευμα

Πίνακας 1.6: Παράμετροι ζήτησης [9]

Μοντέλα	Τομείς Ζήτησης	Ελαστικότητα Ζήτησης	DR
AURORAxmp	Ηλεκτρισμός (με Θερμότητα), διεπαφή με μοντέλα αερίου	Ελαστικό	Ναί
BALMOREL	Συγκεντρωτικά (Χωριστά για ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα)	Ελαστικό	Ναί
Calliope	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
CASPOC	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Όχι
COMPETES	Συγκεντρωτικά	Ανελαστικό/Ελαστικό (βραχυπρόθεσμο)	Ναί
COMPOSE	Κτίρια, μεταφορές και βιομηχανία (καθορίζεται από τον χρήστη)	Όχι Ελαστικό	Όχι, ^a
CYME	Συγκεντρωτικά	NA	Όχι
DER-CAM	Συγκεντρωτικά, Ηλεκτρισμός, Κτίρια	Ελαστικό	Ναί
DESSTinEE	Κτίρια, Μεταφορές & Βιομηχανία	Όχι Ελαστικό	Όχι
DIETER*	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
DigSILENT/PowerFactory	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	NA
EMLab-Generation	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Όχι
EMMA	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
EMPIRE	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
EMPS	Συγκεντρωτικά	Ελαστικό	Ναί
EnergyPLAN	Κτίρια, Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό	Όχι
energyPro	Συγκεντρωτικά	Ελαστικό	Όχι
Enertile	Κτίρια, Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό για P2H, Μη ελαστικό κατά τα άλλα	Ναί
ENTIGRIS	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
ETM (1)	Κτίρια, Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό	Όχι
ETM (2)	Κτίρια, Μεταφορές & Βιομηχανία	Όχι Ελαστικό	Ναί
ETSAP-TIAM	Κτίρια, Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό	Όχι
EUCAD	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
EU Power-Dispatch	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
ficus	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Όχι
GCAM	Κτίρια, Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό	Όχι
GEM-E3	Κτίρια, Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό	Όχι
GENESYS	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Όχι
GridLAB-D	Συγκεντρωτικά	Ελαστικό	Ναί
HOMER	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Όχι, ^b
HYPERSIM	Συγκεντρωτικά	NA	Όχι
iHOGA	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Όχι

IMAKUS	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
INVERT/EE-Lab	Κτίρια	Ελαστικό	Όχι
IPSA 2	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
IRiE	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Όχι
LEAP	Κτίρια , Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό	Όχι
LIBEMOD	Κτίρια , Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό	Όχι
LIMES-EU	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Όχι
LOADMATCH	Κτίρια , Μεταφορές & Βιομηχανία	Όχι Ελαστικό	Ναί
LUSYM	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
MARKAL	Κτίρια , Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό	Ναί
MESSAGE	Κτίρια , Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό	Ναί
NEMO	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
NEMS	Κτίρια , Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό	Όχι
Oemof (SOLPH)	Κτίρια , Μεταφορές & Βιομηχανία	Όχι Ελαστικό	Ναί
OpenDSS	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
OSeMOSYS	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
PLEXOS	Κτίρια , Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό	Ναί
POLES	Κτίρια , Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό	Όχι
PowerGAMA	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Όχι ^e
PRIMES*	Κτίρια , Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό	Ναί
ProdRisk	Συγκεντρωτικά	Ναι	Όχι
PyPSA	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
RAPSim	Κτίρια	Όχι Ελαστικό	Όχι
ReEDS	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
ReMIND	Κτίρια , Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό	Ναί
REMix	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
renpass	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Όχι
RETScreen	Κτίρια & Βιομηχανία	Όχι Ελαστικό	Όχι
SAM	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Όχι
SIMPOW	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	NA
SIREN	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Όχι
SNOW	46 Βιομηχανίες, νοικοκυριά & δημοσίως τομέας	Ελαστικό	Όχι
stELMOD	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Όχι
SWITCH	Συγκεντρωτικά	Ελαστικό /Μη Ελαστικό	Ναί
Temoa	Κτίρια , Μεταφορές & Βιομηχανία	Όχι Ελαστικό	Όχι
TIMES	Κτίρια , Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό	Ναί
TIMES-Norway	Κτίρια , Μεταφορές & Βιομηχανία	Όχι Ελαστικό	Όχι ⁱ
TIMES-Oslo	Κτίρια , Μεταφορές & Βιομηχανία	Όχι Ελαστικό	Όχι
TRNSYS17	Κτίρια & Βιομηχανία	Όχι Ελαστικό	NA
urbs	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
WEM*	Κτίρια , Μεταφορές & Βιομηχανία	Ελαστικό	Ναί
WeSIM	Συγκεντρωτικά	Όχι Ελαστικό	Ναί
WITCH	Συγκεντρωτικά	Ελαστικό	Ναί

Πίνακας 1.7: Τεχνολογικές και οικονομικές παράμετροι [9]

Μοντέλα	Δικαστικά έξοδα	Αγορά	Εκπομπές
AURORAxmp	I, O&M, F, CO ₂ , B	Όλα	Οποιοδήποτε ρύπος
BALMOREL	I, O&M, F, CO ₂ , T, B	Σημείο	CO ₂ , SO ₂ και NO _x
Calliope	I, O&M, F, CO ₂	Προσφορά / Ζήτηση	Οποιοδήποτε ρύπος
CASPOC	NA	NA	Όχι

COMPETES	I, O&M, F, CO ₂ , B, T	Σημεία/ Εξισορρόπηση (Βραχυπρόθεσμη)	CO ₂
COMPOSE	I, O&M, F, CO ₂ , T, B	Spot, Εξισορρόπηση Αγορών	CO ₂
CYME	NA	NA	NA
DER-CAM	I, O&M, F, CO ₂ , T	Προσφορά / Ζήτηση, Σημείο, Εξισορρόπηση	Αγορά CO ₂
DESSTinEE	I, O&M, F, CO ₂	Spot	CO ₂
DIETER*	I, O&M, F, CO ₂ , B	Σημείο	Όχι
DigSILENT/PowerFactory	NA	NA	Όχι
EMLab-Generation	I, O&M, F, CO ₂	Spot + CO ₂ Αγορά	CO ₂
EMMA	I, O&M, F, CO ₂ , B	Σημείο	Όχι
EMPIRE	I, O&M, F, CO ₂	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂
EMPS	I, O&M, F, CO ₂ , B	Σημείο	CO ₂
EnergyPLAN	I, O&M, F, CO ₂ , T	Σημείο	CO ₂
energyPro	I, O&M, F, CO ₂ , B, T	Σημείο	CO ₂ , SO ₂ και NO _x
Enertile	I, O&M, F, CO ₂	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂
ENTIGRIS	I, O&M, F, CO ₂ , B	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂
ETM (1)	I, O&M, F, CO ₂ , T	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂
ETM (2)	I, O&M, F, CO ₂ , T	Προσφορά/Ζήτηση, Σημεία, Εξισορρόπηση Αγορών	CO ₂
ETSAP-TIAM	I, O&M, F, CO ₂ , T	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂ , CH ₄ , NO _x , SO _x
EUCAD	O&M, F, B, T	Προσφορά / Ζήτηση	Κανένα
EU Power-Dispatch	O&M, F, CO ₂	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂
figus	I, O&M, F, CO ₂	Προσφορά / Ζήτηση	Οποιοδήποτε ρύπος
GCAM	I, O&M, F, CO ₂	Προσφορά / Ζήτηση	Οποιοδήποτε CO ₂
GEM-E3	I, O&M, F, CO ₂	Προσφορά / Ζήτηση	Οποιοδήποτε ρύπος
GENESYS	I, O&M, F, CO ₂	Προσφορά / Ζήτηση	Κανένα (CO ₂ στην επόμενη έκδοση)
GridLAB-D	NA	Δημοπρασίας Ενιαίας Τιμής	NA
HOMER	I, O&M, F, CO ₂	Προσφορά / Ζήτηση	Οποιοδήποτε ρύπος
HYPERSIM	NA	NA	NA
iHOGA	I, O&M, F, CO ₂	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂
IMAKUS	I, O&M, F, CO ₂	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂
INVERT/EE-Lab	I, O&M, F	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂
IPSA 2	NA	NA	NA
IRiE	O&M, F, CO ₂ , B	Αγορά αποθεμάτων και Εξισορρόπησης	Κανένα
LEAP	I, O&M, F, CO ₂	Προσφορά / Ζήτηση	Οποιοδήποτε ρύπος
LIBEMOD	I, O&M, F, CO ₂ , T, B	Προσφορά / Ζήτηση, Εθνική Ικανότητα	Αγορά CO ₂
LIMES-EU	I, O&M, F, CO ₂	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂
LOADMATCH	I, O&M, F, (+ Κόστος υγείας και κλίματος)	Προσφορά/Ζήτηση	Κανένα
LUSYM	O&M, F, CO ₂ , B	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂
MARKAL	I, O&M, F, CO ₂ , T	Προσφορά/Ζήτηση (Ανταγωνιστική, διορατικότητα)	Οποιοδήποτε ρύπος
MESSAGE	I, O&M, F, CO ₂ , T	Προσφορά / Ζήτηση	Οποιοδήποτε ρύπος
NEMO	I, O&M, F, CO ₂	Σημείο	CO ₂
NEMS	I, O&M, F, CO ₂ , T	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂ , SO ₂ και NO _x
Oemof (SOLPH)	I, O&M, F, CO ₂ , T, B	Προσφορά / Ζήτηση	Οποιοδήποτε ρύπος
OpenDSS	NA	NA	NA
OSeMOSYS	I, O&M, F, CO ₂ , B	Προσφορά / Ζήτηση	Οποιοδήποτε ρύπος
PLEXOS	I, O&M, F, CO ₂ , B	^d	Όλα γενικά
POLES	I, O&M, F, CO ₂ , T	Προσφορά / Ζήτηση (τιμή άνθρακα)	GHG
PowerGAMA	Οριακό Κόστος	Προσφορά / Ζήτηση (Τέλεια)	Κανένα
PRIMES*	I, O&M, F, CO ₂ , T	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂
ProdRisk	Όχι σταθερή τιμή	Spot (Αγορά χωρητικότητας υπό ανάπτυξη)	Κανένα

PyPSA	Κεφάλαιο Κόστος & Οριακό	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂
RAPSim	Κανένα	Κανένα	Κανένα
ReEDS	I, O&M, F, CO ₂ , T	f	CO ₂ , SO ₂ και NO _x και Mercury
ReMIND	I, O&M, F, CO ₂	Προσφορά / Ζήτηση (Pareto/Nash)	Οποιοδήποτε ρύπος
REMix	I, O&M, F, CO ₂	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂
renpass	I, O&M, F, CO ₂	Σημείο	CO ₂
RETScreen	I, O&M, F, CO ₂ , T	Προσφορά / Ζήτηση	GHG
SAM	I, O&M, F, T	Κανένα (Συμφωνία EG Αγορά ισχύος)	Κανένα
SIMPOW	NA	NA	NA
SIREN	I, O&M, F	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂
SNOW	I, O&M, F, CO ₂ , T	Προσφορά / Ζήτηση	Οποιοδήποτε ρύπος
stELMOD	O&M, F, CO ₂ , B	Σημείο Ενδοημερησίας Αποθεματικής - Αγοράς	CO ₂
SWITCH	I, O&M, F	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂
Temoa	I, O&M, F	Προσφορά / Ζήτηση	Οποιοδήποτε ρύπος
TIMES	I, O&M, F, CO ₂ , T, B	h	Οποιοδήποτε ρύπος
TIMES-Norway	I, O&M, F, CO ₂ , T	h	CO ₂
TIMES-Oslo	I, O&M, F, CO ₂ , T	h	CO ₂
TRNSYS17	NA	NA	NA
urbs	I, O&M, F, CO ₂ , B	Κανένα	Οποιοδήποτε ρύπος
WEM*	I, O&M, F, CO ₂ , B	Προσφορά / Ζήτηση (+ Σημείο)	CO ₂
WeSIM	I, O&M, F, CO ₂ , B	Προσφορά / Ζήτηση	CO ₂
WITCH	I, O&M, F, CO ₂ , B	Προσφορά / Ζήτηση + CO ₂ -Αγορά	Οποιοδήποτε ρύπος

Συντομογραφίες που χρησιμοποιούνται στους πίνακες Τεχνολογικές και οικονομικές παράμετροι:

- Ren. Gen:
 - HP – Υδροηλεκτρική ενέργεια
 - ROR – Run-of-river
 - SP – Solar Power
 - WP – Wind Power
 - ST – Ηλιακή Θερμική
 - WaP – Wave Power
 - GT – Γεωθερμία
 - CSP – Συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια
 - TP – Παλιρροιακή ισχύς
- Αποθήκευση:
 - PHS - Αντλησιοταμίευση
 - CAES – Αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα
 - B – Μπαταρίες
 - H – Υδρογόνο
 - TES – Αποθήκευση θερμικής ενέργειας
- Δίκτυο:
 - NTC – Καθαρή ικανότητα μεταφοράς
- Κόστος:
 - I – Investment
 - O&M – Λειτουργία & Συντήρηση
 - F – Καύσιμο
 - CO₂ – Κόστος άνθρακα
 - T – Φόροι
 - B – Εξισορρόπηση κόστους

- a. Μπορεί να παραμετροποιηθεί.
- b. Μπορεί να μοντελοποιησει τα φορτία που μπορούν να ελεγχθούν με ποικίλους τρόπους.
- c. Εισαγωγή/Εξαγωγή, NTC, ροή φορτίου DC, ροή φορτίου AC (γραμμική προσέγγιση με χρήση σταθερών ή μεταβλητών συντελεστών μετατόπισης - PTDF), SCOPF και FBMC.
- d. Φυσικές και χρηματοοικονομικές μελλοντικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας (Προηγούμενο έτος, προηγούμενος μήνας, σημείο, μέση ημέρα).
- e. Ένα απλοποιημένο μοντέλο για να περιλαμβάνει πιο ευέλικτη ζήτηση.
- f. Αγορά ενέργειας (ισοζύγιο προσφοράς/ζήτησης), αγορά δυναμικότητας (απαιτούμενο περιθώριο αποθεματικού προγραμματισμού), αγορά βοηθητικών υπηρεσιών (λειτουργικά αποθέματα), αγορά πίστωσης για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (REC) (κρατικά πρότυπα χαρτοφυλακίου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας).
- g. Το SWITCH χρησιμοποιεί ένα απλό μοντέλο μεταφοράς για επενδυτικό προγραμματισμό, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιεί τροφοδοσία AC με περιορισμένη ασφάλεια ροής για τη μοντελοποίηση του κόστους παραγωγής.
- h. Προσφορά-Ζήτηση (Ανταγωνιστικό με τέλεια διορατικότητα ή period myopic).
- i. Θα εφαρμοστεί στην επόμενη έκδοση.
- j. Συνήθως αντιμετωπίζει το δίκτυο ως μια άπειρη πηγή ενέργειας, αλλά διαθέτει μοντέλα για απώλειες μετάδοσης και διακοπές στο δίκτυο.

Τα μοντέλα ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται συχνά για την επίλυση προβλημάτων ή την απάντηση σε μια δεδομένη ερώτηση. Μια κατηγοριοποίησή τους είναι οι τέσσερις διαφορετικοί σκοποί [9]:

- Εργαλεία ανάλυσης συστήματος ισχύος - Εργαλεία που αναπτύχθηκαν για τη μελέτη ισχύος του συστήματος με υψηλό βαθμό λεπτομέρειας, συνήθως χειρίζεται τη ροή ισχύος και τις έρευνες επιπέδου σφαλμάτων.
- Υποστήριξη Λήψης Αποφάσεων - Εργαλεία που αναπτύχθηκαν για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη για παράδειγμα την δέσμευση μονάδας. Αυτά τα μοντέλα λειτουργούν βραχυπρόθεσμα, αλλά σε μεγαλύτερη κλίμακα από τα εργαλεία ανάλυσης ενεργειακών συστημάτων, για παράδειγμα σε εθνικό ή ευρωπαϊκό επίπεδο.
- Επενδυτική Υποστήριξη - Εργαλεία που βελτιστοποιούν τις επενδύσεις στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Λόγω της μακράς επένδυσης στον τομέα της ενέργειας, τέτοια μοντέλα είναι συνήθως μακροπρόθεσμα μοντέλα. Η επενδυτική μοντελοποίηση μπορεί να γίνει με μια τέλεια προοπτική προσέγγιση. Με μια άψογη προοπτική προσέγγιση, το σύστημα βελτιστοποιείται καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης, ενώ κατανοεί πλήρως πώς θα εξελιχθούν οι παράμετροι της αγοράς εντός του προγραμματισμένου ορίζοντα.
- Σενάρια - Τέτοια εργαλεία διερευνούν μελλοντικά μακροπρόθεσμα σενάρια στο τομέα ενέργειας/ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, μπορεί να

χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του αντίκτυπου διαφορετικών προσεγγίσεων πολιτικής.

Τα ενεργειακά μοντέλα ακολουθούν γενικά δύο προσεγγίσεις. Προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω ή από κάτω προς τα πάνω. Τα μοντέλα (top-down or bottom-up) από πάνω προς τα κάτω αναφέρονται συχνά ως μηχανική προσέγγιση και βασίζονται σε λεπτομερείς τεχνολογικές περιγραφές του συστήματος ισχύος. Από την άλλη πλευρά, τα μοντέλα από κάτω προς τα πάνω ακολουθούν την οικονομική προσέγγιση, λαμβάνοντας υπόψη τις μακροοικονομικές σχέσεις και τις μακροπρόθεσμες αλλαγές [9].

Σε πολλές περιπτώσεις, τόσο η μακροπρόθεσμη αλλαγή όσο και τα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι ιδιαίτερα σημαντικά κατά την αξιολόγηση της ενοποίησης των κυμαινόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα μοντέλα μπορούν να συνδυαστούν με μια υβριδική προσέγγιση για την αποτύπωση και των δύο [9].

Τα μοντέλα εμπίπτουν γενικά σε τρεις κύριες κατηγορίες μοντελοποίηση, βελτιστοποίηση και ισορροπία.

- Τα μοντέλα προσομοίωσης

Προσομοιώνει ένα σύστημα ισχύος που βασίζεται σε συγκεκριμένες εξισώσεις και ιδιότητες. Τις περισσότερες φορές πρόκειται για μοντέλα step-up με λεπτομερή τεχνική περιγραφή του συστήματος ισχύος. Αυτά τα μοντέλα επιτρέπουν τη δοκιμή διαφορετικών τοπολογικών συστημάτων, καθώς και τις επιπτώσεις και τις εξελίξεις διαφορετικών σεναρίων. Η προσομοίωση που βασίζεται σε πράκτορες είναι μια συγκεκριμένη περίπτωση μοντέλων όπου οι παράγοντες που εμπλέκονται, π.χ. η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας μοντελοποιούνται ρητά ως παράγοντες με διαφορετικές στρατηγικές και συμπεριφορές [9].

- Τα μοντέλα βελτιστοποίησης

Τα μοντέλα αυτά βελτιστοποιούν μια δεδομένη κατάσταση. Κατά τη μοντελοποίηση τα συστήματα ενέργειας και ηλεκτρικής ενέργειας σχετίζονται συνήθως με το υφιστάμενο λειτουργικό σύστημα ή επένδυσης που θα υπάρξουν στο άμεσο μέλλον κατά προσέγγιση, ενώ ορισμένα μοντέλα έχουν τη δυνατότητα βελτιστοποίησης πολλών πτυχών ταυτόχρονα. Τα περισσότερα μοντέλα βελτιστοποίησης χρησιμοποιούν μεθόδους γραμμικού προγραμματισμού (LP), όπου η αντικειμενική συνάρτηση είτε μεγιστοποιείται είτε ελαχιστοποιείται (για παράδειγμα, ελαχιστοποιώντας το συνολικό κόστος του

συστήματος), υπόκεινται σε πολλούς περιορισμούς (όπως ισοζύγιο προσφοράς και ζήτηση δικτύου). Ο Μικτός Γραμμικός Προγραμματισμός (MILP) αναγκάζει ορισμένες μεταβλητές να είναι ακέραιοι. Αυτό είναι χρήσιμο, για παράδειγμα, εάν έχετε περισσότερα αιολικά πάρκα ή περισσότερες ανεμογεννήτριες για να επενδύσετε. Το μοντέλο βελτιστοποίησης μπορεί επίσης να είναι μη γραμμικό. Δηλαδή, η αντικειμενική συνάρτηση ή περιορισμός είναι μη γραμμική. Τα εκτεταμένα μοντέλα βελτιστοποίησης διαφέρουν από τα παραδοσιακά μοντέλα βελτιστοποίησης επειδή δεν βρίσκουν πάντα την καλύτερη λύση. Απλές και γρήγορες μέθοδοι όπως η Στρατηγική Προσαρμοστικής Εξέλιξης Πίνακα Συνδιακύμανσης (CMA-ES) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσέγγιση της βέλτιστης λύσης [9].

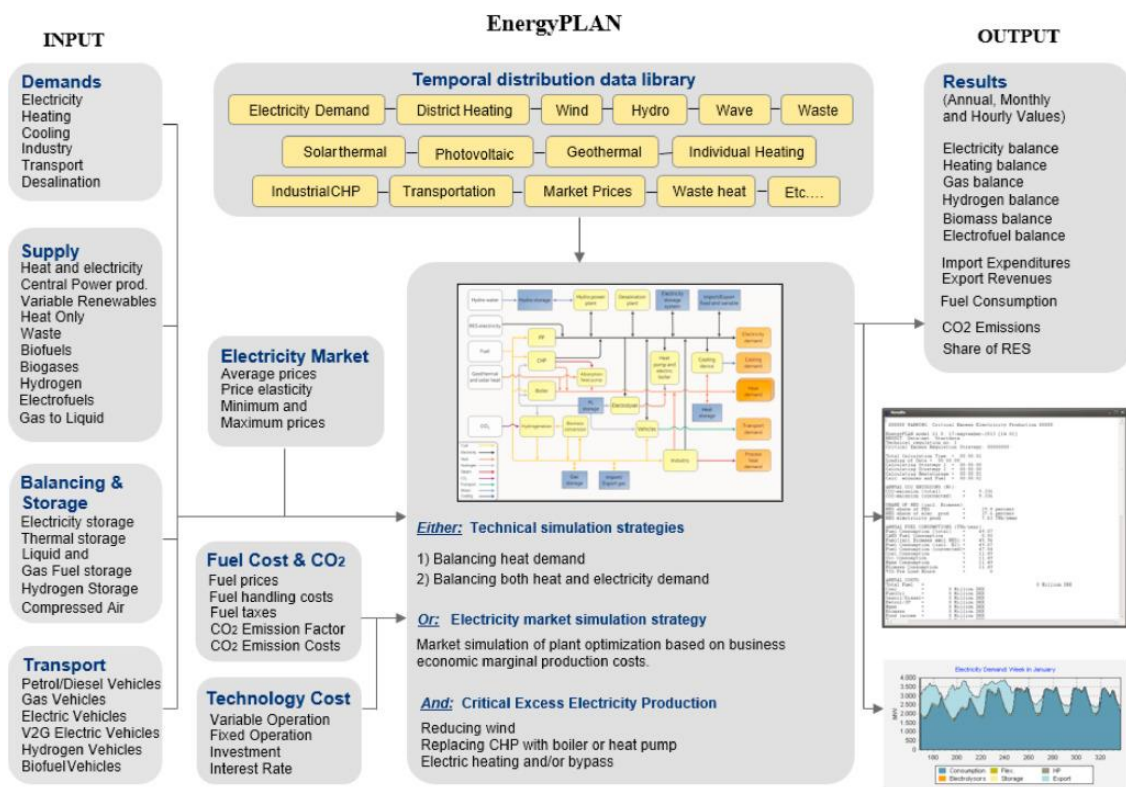
- Τα μοντέλα ισορροπίας

Αυτά τα μοντέλα υιοθετούν μια οικονομική προσέγγιση, μοντελοποιώντας τον ενεργειακό τομέα ως μέρος της συνολικής οικονομίας και μελετώντας τη σχέση του με άλλους οικονομικούς τομείς. Ως εκ τούτου, τέτοια μοντέλα χρησιμοποιούνται συχνά για την αξιολόγηση του αντίκτυπου διαφορετικών πολιτικών στη συνολική οικονομία. Μοντέλο Γενικής Ισορροπίας (CGE). Καθορίζουν την ισορροπία όλων των αγορών και προσδιορίζουν ενδογενώς σημαντικές οικονομικές παραμέτρους όπως το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ). Το μοντέλο μερικής ισορροπίας (PE) εστιάζει στην εξισορρόπηση της αγοράς. Στην περίπτωση αυτή, η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της υπόλοιπης οικονομίας, δεν μοντελοποιείται [9].

1.3 EnergyPLAN

Το EnergyPLAN είναι ένα από τα μοντέλα που εφαρμόζεται χειροκίνητα υπό τον όρο εύρεσης βέλτιστων διαμορφώσεων των ενεργειακών συστημάτων και η αρχική δομή του παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.1. Το μοντέλο μπορεί να παράγει ή να προέρχεται από αυτό, αρκεί να εφαρμόζονται ως κριτήριο οι δείκτες απόδοσης. Το μοντέλο είναι ικανό να εκτελεί ωριαίες προσομοιώσεις σε χρονικό πλαίσιο ενός έτους. Εκτελείται με ολόκληρο το ενεργειακό σύστημα και περιλαμβάνει συγχρονισμούς που προκύπτουν από την ολοκλήρωση του τομέα, συμπεριλαμβανοντας [5]:

1. Όλες τις απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης, ευέλικτες και μη ευέλικτες απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας, απαιτήσεις μεταφοράς, όπως ορυκτών καυσίμων, ηλεκτρικής ενέργειας και συνθετικών καυσίμων.
2. Μονάδες ισχύος που βασίζονται σε ΑΠΕ αιολική ισχύς εκτός και παράκτια, παλίρροια, φωτοβολταϊκά (ΦΒ), υδροηλεκτρική ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια με δεξαμενές, γεωθερμική ισχύ.
3. Μονάδες τηλεθέρμανσης με βάση ΑΠΕ (γεωθερμική).
4. Τεχνολογίες μετατροπής ενέργειας μεμονωμένους και περιφερειακούς λέβητες καυσίμου που συνδέονται με θέρμανση, ηλεκτρικούς λέβητες, αντλίες θερμότητας, ηλιακοί συλλέκτες και μονάδες ΣΗΘ, ισχύς λειτουργίας συμπύκνωσης, ηλεκτρολύτες και παραγωγοί συνθετικών καυσίμων.
5. Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας ατομική και τηλεθέρμανση συνδεδεμένη με αποθήκευση θερμότητας, ηλεκτρική αποθήκευση οχήματος προς δίκτυο (V2G). Αποθήκευση Ενέργειας Πεπιεσμένου Αέρα (CAES), υδρογόνο και άλλες αποθήκες καυσίμων.



Σχήμα 1.1: Ανάλυση του προγράμματος EnergyPLAN [5]

Η είσοδος του ενεργειακού συστήματος βάσει του λογισμικού EnergyPLAN αποτελείται από τα ακόλουθα:

- Απαιτήσεις ενέργειας (θερμότητα, ηλεκτρικό ρεύμα, μεταφορές κλπ)
- Μονάδες και πόροι παραγωγής ενέργειας συμπεριλαμβανομένων μονάδων μετατροπής ενέργειας, όπως ηλεκτρολύτες, βιοαέριο και μονάδες αεριοποίησης επίσης ως μονάδες υδρογόνωσης.
- Προσομοίωση (καθορισμός της προσομοίωσης και λειτουργίας κάθε μονάδας και του συστήματος συμπεριλαμβανομένων τεχνικών περιορισμών, όπως η ικανότητα μετάδοσης κλπ.)
- Κόστος (Κόστος καυσίμου, φόροι, μεταβλητό και σταθερό λειτουργικό κόστος και επενδίκτυο κόστος)

Γενικές εισροές είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι ενεργειακές ικανότητες, το κόστος και μια σειρά προαιρετικών και διαφορετικών στρατηγικών προσομοιώσεων που δίνουν έμφαση στην εισαγωγή/εξαγωγή και στην υπερβολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εκροές είναι ενεργειακά ισοζύγια απ' όπου προκύπτουν οι ετήσιες παραγωγές κατανάλωσης καυσίμου, εισαγωγές/εξαγωγές και το συνολικό κόστος συμπεριλαμβανομένων των εσόδων από την ανταλλαγή της ηλεκτρικής ενέργειας [10].

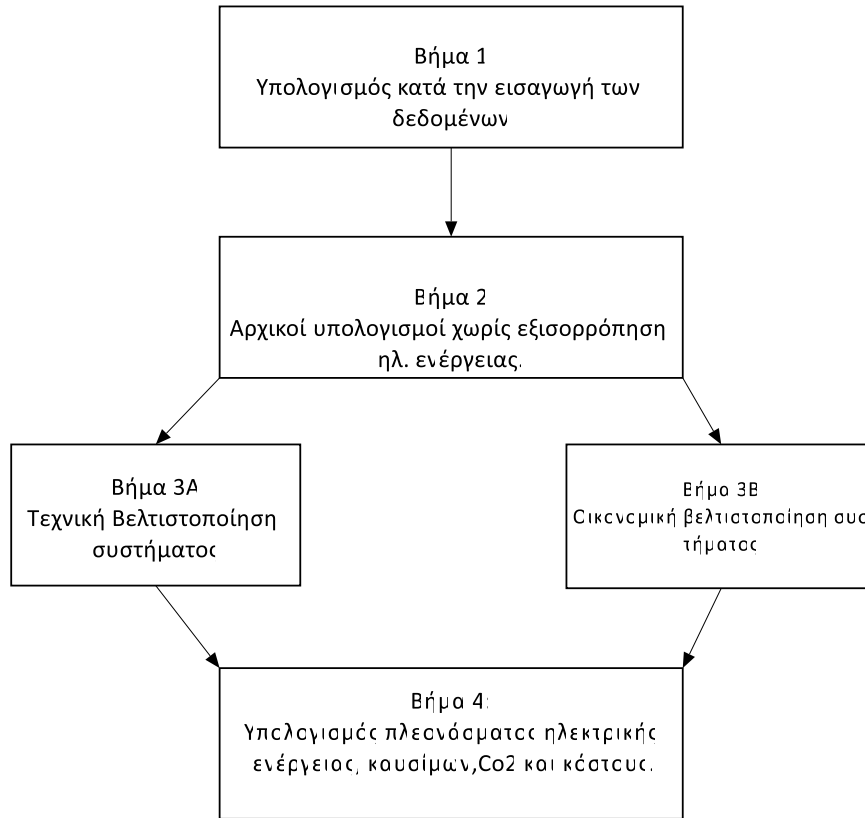
Επιπλέον το κόστος μπορεί να αναλυθεί σε 6 ξεχωριστούς παράγοντες:

1. Κόστος καύσιμου.
2. Μεταβλητό λειτουργικό κόστος.
3. Επενδυτικό κόστος.
4. Πάγιο λειτουργικό κόστος.
5. Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας και οφέλη ανταλλαγής.
6. Πληρωμές CO₂.

Οι αναλύσεις του προγράμματος βάσει του EnergyPLAN παρατηρείται στο Σχήμα 1.2 και οι υπολογισμοί των στοιχείων γίνονται στο Κεφάλαιο 3, στο οποίο γίνεται ταυτόχρονα με την πληκτρολόγηση των δεδομένων.

Το EnergyPLAN χωρίζεται σε τεχνική ή οικονομική προσομοίωση αγοράς. Η τεχνική προσομοίωση ελαχιστοποιεί την εισαγωγή/εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αναζητά τον επιθυμητό στόχο για τον εντοπισμό της λύσης. Από την άλλη πλευρά, η προσομοίωση

αγοράς-οικονομίας προσδιορίζει τη λύση χαμηλότερου κόστους με βάση το επιχειρηματικό-οικονομικό κόστος κάθε μονάδας παραγωγής [11].



Σχήμα 1.2: Διαδικασία της ανάλυσης του ενεργειακού συστήματος [11]

Βήμα 1: Υπολογισμός από τα φύλλα καρτελών εισαγωγής:

1. Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Ηλιακός θερμικός.
3. RES1, RES2, RES3, RES4.
4. Είσοδος υδροηλεκτρικής ενέργειας.
5. Πυρηνική ενέργεια ή γεωθερμία.
6. Ωριαία κατανομή μεταξύ ψύξης που παράγεται από φυσική ψύξη και/ή τηλεθέρμανση και ηλεκτρική ενέργεια.
7. Τα μεμονωμένα ηλιακά θερμικά, λέβητες, ΣΗΘ και αντλίες θερμότητας.
8. Βιοκαύσιμα για μεταφορές και ΣΗΘ/Λέβητες που παράγονται με απόβλητα.
9. Βιοαέριο, αεριοποίηση και εκροές βιοκαυσίμων.
10. Συνθετικό αέριο δικτύου και βιοκαύσιμα.

11. Τιμές αγοράς της εξωτερικής αγοράς .

Βήμα 2: Αρχικοί υπολογισμοί που δεν περιλαμβάνουν εξισορρόπηση ηλεκτρικής ενέργειας

1. Σταθερή εισαγωγή/εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Απαιτήσεις τηλεθέρμανσης συμπεριλαμβανομένων και της θέρμανσης από την απορρόφηση της ψύξης.
3. Τηλεθέρμανση βιομηχανικών και αποβλήτων και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
4. Σταθερή παραγωγή λέβητα αφαιρούμενη από τη ζήτηση τηλεθέρμανσης.
5. Παραγωγή λέβητα στην ομάδα τηλεθέρμανσης 1.

Βήμα 3Α: Τεχνική Ανάλυση Ενεργειακού Συστήματος

1. ΣΗΘ, αντλίες θερμότητας και λέβητες στις ομάδες 2 και 3.
2. Ευέλικτη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.
3. Υδροηλεκτρική ενέργεια.
4. Μεμονωμένα συστήματα ΣΗΘ και αντλιών θερμότητας.
5. Ηλεκτρολύτης για CHP, μεταφορά, υδρογόνωση και ΣΗΘ και λέβητες στην ομάδα DH 2 και DH 3.
6. Αποθήκευση θερμότητας στις ομάδες 2 και 3.
7. Μεταφορά (Εξυπνη φόρτιση και V2G).
8. Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο υπολογισμός της ισχύος συμπύκνωσης και της εισαγωγής/εξαγωγής συμπεριλαμβανομένων των CEEP και EEEP (κρίσιμης σημασίας και εξαγόμενης πλεονάζουσας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) υπολογίζονται συνεχώς περισσότερο ή λιγότερο μετά από κάθε μία από τις ακόλουθες διαδικασίες ανάλυσης τεχνικού ενεργειακού συστήματος.

Βήμα 3Β: Ανάλυση αγοράς-οικονομικού ενεργειακού συστήματος

1. Καθαρή εισαγωγή και προκύπτουσα εξωτερική τιμή αγοράς.
2. Προσομοίωση οικονομικής αγοράς.
3. Ελάχιστη παραγωγή ΣΗΘ3.
4. Λέβητες και ηλιακοί θερμικοί στην τηλεθέρμανση.
5. Απαιτήσεις υδρογόνου και ηλεκτρικής ενέργειας για ηλεκτρόλυση.

6. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για αντλίες θερμότητας και ηλεκτρολύτες για υδρογόνο σε ΣΗΘ και λέβητες στις ομάδες τηλεθέρμανσης 2 και 3.
7. Υδροηλεκτρική ενέργεια.
8. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ και Μονάδες Ηλεκτρικής Ενέργειας.
9. Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

Βήμα 4: Κανονισμός CEEP, υπολογισμοί καυσίμων, CO₂ και κόστους

1. Σταθερή παραγωγή λέβητα προστίθεται στους λέβητες στις ομάδες 2 και 3.
2. Κανονισμός περί κρίσιμης περίσσειας.
3. Σταθεροποίηση δικτύου.
4. Υπόλοιπα θερμότητας στα συστήματα τηλεθέρμανσης.
5. Κατανάλωση καυσίμου.
6. Εκπομπές CO₂.
7. Εξισορρόπηση του δικτύου αερίου.
8. Μερίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.
9. Κόστος.

1.4 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας, κατά κύριο λόγο, είναι η ανάλυση του ενεργειακού συστήματος της Ελλάδας με αυξημένη διείσδυση των μονάδων αποθήκευσης. Η μελέτη αυτή θα μπορούσε να βρει άμεσα ανταπόκριση στο ελληνικό σύστημα κυρίως για την ώθηση στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Επίσης αποδεικνύεται από το δεκαετές πρόγραμμα ανάπτυξης της Ελλάδας και από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), η οποία στοχεύει σε μια αύξηση της τάξης άνω των 300% στην ανάπτυξη των μονάδων αποθήκευσης. Αυτές οι μονάδες είναι ήδη αδειοδοτημένες μονάδες αποθήκευσης από την ΡΑΕ.

Στην παρούσα διπλωματική μελετάται μόνο η ηπειρωτική Ελλάδα για το έτος 2020, ενώ δε μελετάται η μείωση των λιγνιτικών μονάδων. Να επισημανθεί ότι στο έτος 2020 δεν είχε ολοκληρωθεί η διασύνδεση της Κρήτης με την υπόλοιπη ηπειρωτική Ελλάδα.

Τα νησιά δεν θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν στην έρευνά αυτή, λόγω της διαφορετικότητάς τους ως προς το δίκτυο και το φορτίο.

Επιπλέον, η παρούσα διπλωματική παρέχει ιδιαίτερη ευαισθησία στους περιβαλλοντικούς παράγοντες και κυρίως προς τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα στο περιβάλλον. Τέλος τονίζεται ότι ο κύριος σκοπός της αποθήκευσης ενέργειας εξαρχής ήταν δυο:

1. Η διείσδυση των ΑΠΕ.
2. Η μείωση των εκπομπών CO₂.

Για την πιο αποτελεσματική μελέτη χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα EnergyPLAN, το οποίο είναι ένα από τα πιο αποτελεσματικά λογισμικά σε αυτό τον τομέα.

1.5 Μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας

Τα ερευνητικά ερωτήματα που τίθενται σε αυτή τη διπλωματική εργασία είναι τα εξής:

1. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά ενός αξιόπιστου λογισμικού για προσομοιώσεις ενεργειακών συστημάτων;
2. Τι είδους δεδομένα απαιτούνται για την προσομοίωση ενός ενεργειακού συστήματος μιας χώρας;
3. Πως επιδράει η αυξημένη διείσδυση μονάδων αποθήκευσης στην λειτουργία ενός ενεργειακού συστήματος μιας χώρας;

Για την διευθέτηση των συγκεκριμένων ερευνητικών ερωτημάτων η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

1. Στη διπλωματική εργασία παρέχεται ένας λεπτομερής οδηγός του λογισμικού EnergyPLAN. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, το συγκεκριμένο λογισμικό έχει βρει εφαρμογή σε πλειάδα περιπτώσεων από μελέτες.
2. Στη διπλωματική εργασία αναλύεται ο τύπος των δεδομένων που απαιτούνται, τα οποία διακρίνονται σε τεχνικά και οικονομικά δεδομένα.
3. Για την λεπτομερή αξιολόγηση της επίδρασης της αποθήκευσης σε ένα ενεργειακό σύστημα, διαμορφώνονται σενάρια διαφορετικής εγκατεστημένης ισχύος. Τα αποτελέσματα των σεναρίων αναλύονται διεξοδικά και διατυπώνονται τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

1.6 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Στο κεφάλαιο 1 αναλύεται μια γενική περιγραφή της διπλωματικής ως προς τους σκοπούς και το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε. Επιπλέον, παρουσιάζονται και τα 75 μοντέλα, τα οποία είναι κυρίως γνωστά με τις γλώσσες λογισμικού τους.

Στο Κεφάλαιο 2 αναλύεται η αποθήκευση της ενέργειας με μια αναλύσει τον κυρίως μονάδων επιπλέον αναλύονται τα οφέλη της αποθηκεύσεις τα οποία θα υπάρχουν για το άνθρωπο και το περιβάλλον αντίστοιχα.

Στο κεφάλαιο 3 δίνεται μια εκτεταμένη ανάλυση των μονάδων αποθήκευσης ενέργειας και των οφελών τους στο ενεργειακό σύστημα της χώρας μας, παρέχεται επιπλέον και ένας διαχωρισμός στις ηλεκτρικές μονάδες αποθήκευσης. Επιπρόσθετα, αναλύεται το πρόγραμμα EnergyPLAN φτιάχνοντας και το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας του έτους 2020 το οποίο γίνεται με την βοήθεια των φωτογραφιών με μια μικρή επίδειξη ως προς τη συμπλήρωση των δεδομένων στο λογισμικό σε ένα μεγάλο φάσμα.

Στο κεφάλαιο 4 αναλύονται οι 13 υποπεριπτώσεις, οι οποίες δημιουργήθηκαν για το μελλοντικό ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας. Για την περαιτέρω ανάλυση δημιουργήθηκε ένα επιπλέον σενάριο, το σενάριο 14.

Στο κεφάλαιο 5 παρέχονται τα κυρίως συμπεράσματα της διπλωματικής.

Κεφάλαιο 2 Η σημασία της αποθήκευσης στα σημερινά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας

2.1 Η σημασία της ηλεκτρικής ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη, την πρόοδο, την ασφάλεια και τον συνολικό τρόπο ζωής στην παγκόσμια οικονομία. Η εκβιομηχάνιση οδήγησε στην κατασκευή μεγάλων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής σε κεντρικές στρατηγικές τοποθεσίες με σκοπό να παράγουν και να τροφοδοτούν με ενέργεια τους καταναλωτές μέσω του το δικτύου διανομής. Σε παγκόσμιο επίπεδο υπάρχει επί του παρόντος μεγάλη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα ή τους πυρηνικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Ο παγκόσμιος τομέας της ενέργειας αντιμετωπίζει την πρόβλεψη των αλλαγών που προκαλούνται από παράγοντες που περιλαμβάνουν [12]:

- Αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.
- Γήρανση της υποδομής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Αύξηση της μεταβλητότητας και των ευέλικτων χαμηλών εκπομπών άνθρακα με τεχνολογίες, όπως η αιολική ενέργεια, τα Φ/Β, και τα ηλεκτρικά οχήματα.

Φυσικές καταστροφές έχουν επίσης επηρεάσει τις αλλαγές σε ορισμένες χώρες. Για παράδειγμα, η καταστροφή της Φουκουσίμα το 2011, οδήγησε σε ριζική αλλαγή στην ενεργειακή πολιτική. Στη Γερμανία η κυβέρνηση ανακοίνωσε σχέδια για την σταδιακή κατάργηση της πυρηνικής ενέργειας μεταξύ 2011 και 2022 και ταυτόχρονα αύξηση στις ΑΠΕ. Υπάρχουν αυξημένες ανησυχίες για τη μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου (GHG). Η βελτίωση της ασφάλειας εφοδιασμού, της οικονομίας και της αξιοπιστίας οδήγησε τις χώρες παγκοσμίως να εργαστούν για την ανάπτυξη ενός απαλλαγμένου από άνθρακα τομέα ενέργειας με βάση τις υποδομές ενός έξυπνου δικτύου. Στην Ευρώπη, υπάρχουν σχέδια μείωσης των εκπομπών σε ολόκληρο το δίκτυο από 80% - 95% έως το 2050 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 [12].

Η επιβράδυνση της κλιματικής αλλαγής είναι μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της ανθρωπότητας και απαιτεί ταχεία απεμπλοκή των ενεργειακών συστημάτων μας. Συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (ESS) μπορούν να υποστηρίξουν την απαλλαγή από τον άνθρακα στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέποντας την

συμμετοχή μεγαλύτερων μεριδίων μεταβλητής ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Ωστόσο, η επίδραση των ESS σε GHG στα ηλεκτρικά συστήματα δεν είναι αυτονόητες. Τα ESS δεν παράγουν καθαρή ηλεκτρική ενέργεια αλλά μπορούν να μετατοπίσουν την χρήση ηλεκτρικής ενέργειας με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η μετατόπιση οδηγεί σε δύο βασικές επιπτώσεις των ESS στις εκπομπές του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας [13].

1. Πρώτον, τα ESS αυξάνουν τη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, επειδή οι απώλειες απόδοσης μετ' επιστροφής πρέπει να αντισταθμιστούν.
2. Δεύτερον, τα ESS αλλάζουν το μείγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνοντας τη ζήτηση κατά τη φόρτιση και μειώνοντας τη ζήτηση κατά την εκφόρτιση.

Η εκτίμηση αυτών των επιπτώσεων των ESS στις εκπομπές περιπλέκεται ακόμη περισσότερο από το γεγονός ότι δεν λειτουργούν όλα τα συστήματα αποθήκευσης με τον ίδιο τρόπο. Τα ESS αναπτύσσονται για διάφορους λόγους, για παράδειγμα, για τη μεγιστοποίηση του κέρδους από τις χονδρικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, την αύξηση της αυτονομίας των ιδιωτικών νοικοκυριών ή τη μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας των καταναλωτών. Αυτοί οι επιμέρους στόχοι ενδέχεται να ευθυγραμμιστούν ή και όχι με το γενικό στόχο μείωσης των εκπομπών αερίου θερμοκηπίου των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, η ανάπτυξη των ESS και η λειτουργία τους επηρεάζονται από τους υπεύθυνους χάραξης της πολιτικής τους, οι οποίοι στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέσω διαφόρων παρεμβάσεων [13].

Η εφαρμογή μη συμβατικών και αποκεντρωμένων τεχνολογιών παραγωγής μπορεί να προσφέρει τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη στο ηλεκτρικό σύστημα, όπως μείωση ζημιών, βελτιωμένη αξιοπιστία και ασφάλεια του συστήματος, βελτιωμένο προφίλ τάσης, αναβάθμιση δικτύου, μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, μειωμένο κόστος καυσίμων και μειωμένη συμφόρηση στο δίκτυο διανομών. Αν όμως δεν έχει προγραμματιστεί σωστά, η διαχείριση της ενσωμάτωσης ΑΠΕ μπορεί επίσης να οδηγήσει σε αρνητικά αποτελέσματα, επιπλέον επιπτώσεις τόσο τεχνικές όσο και οικονομικές, που μπορούν να επηρεάσουν τη χρήση και την απόδοση της παραγωγής, των δικτύων διανομών και της ηλεκτρικής ενέργειας. Ζητήματα που περιλαμβάνουν, υψηλή ροή ισχύος διπλής κατεύθυνσης, απρόβλεπτα επίπεδα τάσης και υψηλά καθημερινή αιχμή φορτίου της ζήτησης λόγω των αυξημένων τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών

διοξειδίου του άνθρακα (LCT), όπως Φ/Β και αντλίες θερμότητας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι το ζήτημα της εξισορρόπησης της ζήτησης και της προσφοράς που προκαλείται από τα υψηλά επίπεδα μεταβλητής παραγωγής από ΑΠΕ. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση και των δύο ασταθών τιμών χονδρικής ηλεκτρικής ενέργειας και σε αρνητικές χονδρικές τιμές. Για παράδειγμα, η τελευταία κατάσταση συνέβη στη Δυτική Ευρώπη το 2012. Η παραγωγή υψηλής αιολικής ενέργειας κατά τη διάρκεια ήπιων καιρικών συνθηκών το χειμώνα, οδήγησαν σε αρνητικές χονδρικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας που διήρκεσαν ώρες. Επιπλέον, υπάρχει και η αυξανόμενη απαίτηση να αναθέσει σε πιο ευέλικτη και εφεδρική παραγωγική ισορροπία τις στοχαστικές διακυμάνσεις που προκύπτουν από αυξημένες ΑΠΕ. Αντίθετα, η αύξηση των ΑΠΕ στο δίκτυο οδηγεί σε μείωση των ωρών της λειτουργία και της κερδοφορίας της εφεδρικής παραγωγής. Στα δίκτυα διανομής, υπάρχουν σημαντικές αλλαγές που συμβαίνουν πιο κοντά στα κέντρα φόρτισης, λόγω αύξησης των LCT, ενεργειακή απόδοση, απόκριση ζήτησης (DR) (που σημαίνει μείωση κατανάλωση ενέργειας και μετατόπιση κατανάλωσης ενέργειας αντίστοιχα) και τα ESS είναι οι βασικές λύσεις που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ενεργοποίηση LCTs. Για να ελαχιστοποιηθούν οι δυσκολίες και να αξιοποιηθούν στο έπακρο οι τεχνικές, τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη που μπορούν να παρέχονται από την αύξηση των ΑΠΕ και η ζήτηση LCT, είναι πιθανό ότι ένας συνδυασμός λύσεων όπως ευέλικτη παραγωγή, DR, ενεργειακή απόδοση, οι ESS θα πρέπει να εφαρμοστούν και παράλληλα τις περισσότερες φορές. Επιπλέον, οι τρέχουσες ρυθμιστικές δομές και δομές της αγοράς θα πρέπει να ενημερωθούν στα επόμενα χρόνια για τρία ρυθμιστικά εμπόδια των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας που επηρεάζουν τη χρήση και τη βιωσιμότητα των ESS [12]:

- Διαχωρισμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που οδηγούν σε έλλειψη διαφάνειας στις δραστηριότητες παραγωγής, προμήθειας και δικτύου. Αυτό επηρεάζει στην αξιολόγηση της πλήρους αξίας του ESS στο ηλεκτρικό σύστημα. Επιπλέον, η αποτροπή της συμμετοχής ρυθμιζόμενων μονοπωλίων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας εμποδίζει τους φορείς εκμετάλλευσης των δικτύων διανομών που κατέχουν τα ESS να μπορούν να επηρεάσουν την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό περιορίζει περαιτέρω τους τρόπους ανάκτησης του υψηλού επενδυτικού κόστους των ESS.

- Ταξινόμηση στοιχείων των ESS, όπως η λειτουργία παραγωγής και ζήτησης. Επομένως, οι κανόνες που εφαρμόζονται και στις δύο λειτουργίες των ESS θα επηρεάσουν τη βιωσιμότητά τους.
- Δυσκολία στην εκτίμηση της αξίας στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της ολοκληρωμένης συμπεριφοράς της προσφοράς και της παραγωγής υπηρεσιών κοινής ωφέλειας που επηρεάζουν τη ρευστότητα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και αλλάζουν τις συνθήκες της αγοράς που επηρεάζονται από γεγονότα του εξωτερικού παράγοντα (όπως φυσικές καταστροφές), μεταβαλλόμενες πολιτικές, οικονομικοί και λειτουργικοί παράγοντες. Υπάρχει έλλειψη κοινών προτύπων και πρακτικές για νέες τεχνολογίες ESS, με αποτέλεσμα τον περιορισμό στην ανάπτυξή τους [12].

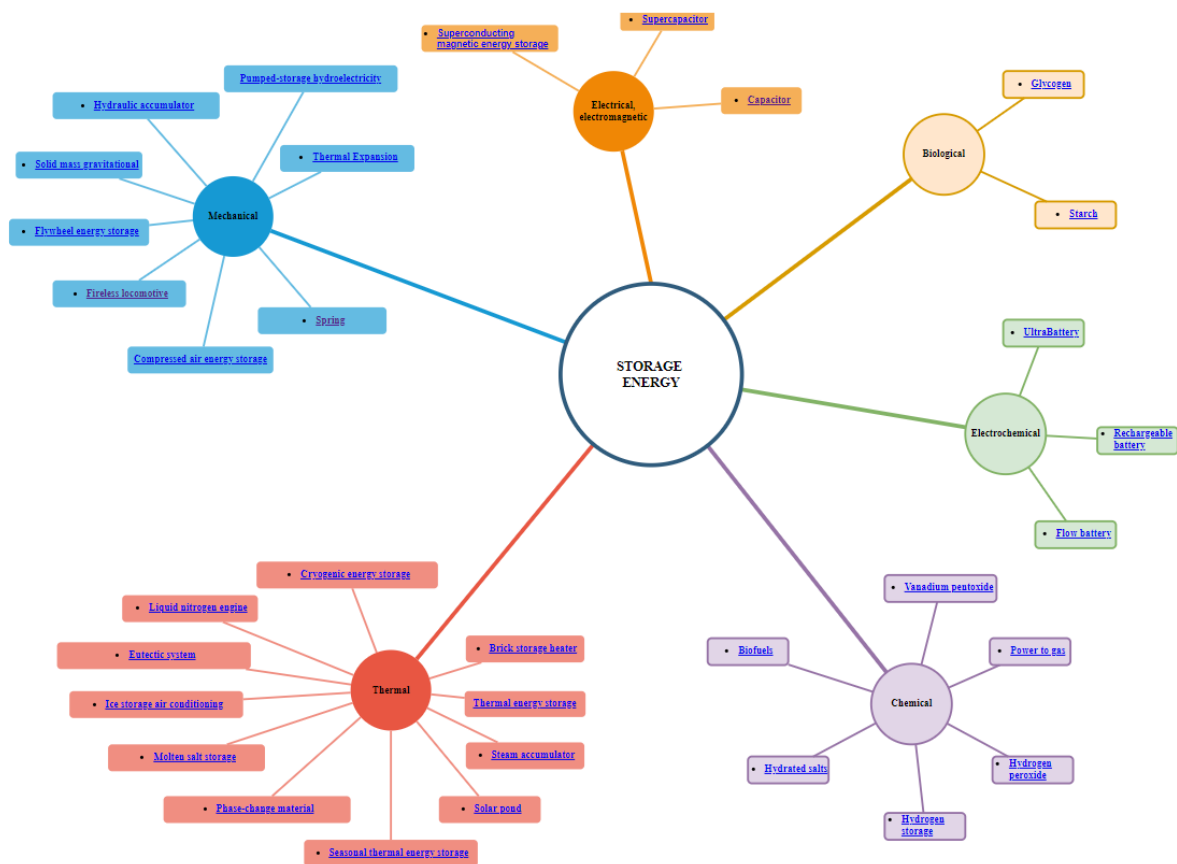
2.2 Η μελλοντική εξέλιξη της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Η ικανότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μειώσει τους περιορισμούς στο δίκτυο μεταφοράς και μπορεί αναβάλλει την ανάγκη για μεγάλες επενδύσεις σε υποδομές. Αυτό ισχύει και για τη διανομή, παρά τους περιορισμούς που αντικατοπτρίζουν την αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τα μεταβαλλόμενα πρότυπα ζήτησης. Η εφαρμογή επιτρέπει στους καταναλωτές να διαχειρίζονται τους λογαριασμούς τους, μειώνει τις χρεώσεις αιχμής και αυξάνει την Φ/Β «αυτοκατανάλωση». Εκτός από την παροχή πολλαπλών υπηρεσιών και υπηρεσιών στους χρήστες, η αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να διακόψει πολλαπλές ροές εσόδων παρέχοντας ένα σύνολο υπηρεσιών. Αναμένονται υψηλά ποσοστά αιολικής και ηλιακής ενέργειας μετά το 2030 (π.χ. υψηλά ποσοστά ηλιακής ενέργειας αναμένονται μετά το 2030) 70-80%. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι μακροπρόθεσμες ενεργειακές ανάγκες αποθήκευσης είναι σημαντικές για την ομαλοποίηση των ημερήσιων, εβδομαδιαίων και μηνιαίων διακυμάνσεων της προσφοράς [4],[8].

Μαζί με την υψηλή ευελιξία του συστήματος είναι απαραίτητες και τεχνολογίες αποθήκευσης με χαμηλό κόστος ενέργειας και ρυθμούς εκφόρτισης, όπως αντλούμενα υδροηλεκτρικά συστήματα ή καινούργιες καινοτομίες για οικονομικότερη αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας ή για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αν και τέτοιες προκλήσεις εκτείνονται μελλοντικά στο χρόνο, παρόλα αυτά στο πεδίο εφαρμογής της παρούσας

ανάλυσης πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι στο μέλλον οι ανάγκες στρέφονται προς τις μακροπρόθεσμες δυνατότητες της αγοράς. Αυτό δίνει την απαραίτητη ώθηση για την ανάπτυξη της αποθήκευσης σήμερα. Η έρευνα και η ανάπτυξη έως το 2030 είναι απαραίτητες για να διασφαλιστούν οι μελλοντικές λύσεις οι οποίες έχουν αποδειχθεί ότι είναι έτοιμες να κλιμακωθούν όταν χρειαστούν [4],[8].

Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να οδηγήσει άμεσα στην ταχεία απόσυρση άνθρακα από βασικά τμήματα της ενέργειας. Στις μεταφορές, η ικανότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων βελτιώνεται ραγδαία. Οι μπαταρίες σε ηλιακά συστήματα οικιακής χρήσης και σε μίνι δίκτυα εκτός δικτύου είναι συστήματα απαλλαγής άνθρακα τα οποία εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα καύσιμα, ενώ παρέχουν επίσης σαφή κοινωνικά και οικονομικά οφέλη. Στο Σχήμα 2.1 παρέχεται μια εικονική ανάπτυξη των κυρίων μονάδων αποθήκευσης ενέργειας [4],[8].



Σχήμα 2.1: Οι 6 κύριοι κατηγορίες των μονάδων αποθήκευσης και η υποκατηγορίες

Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται ότι αποτελούν ένα κρίσιμο τμήμα της λύσης για την αύξηση της πρόσβασης στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με την Φ/Β εγκατάσταση σε ηλιακά συστήματα ως παροχή υπηρεσιών σταθερότητας σε μίνι δίκτυα, βελτιώνοντας την ποιότητα ισχύος και την αύξηση του δυνητικού μεριδίου των μεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε τέτοια απομακρυσμένα δίκτυα. Αυτό οφείλεται στο χαμηλότερο κόστος των Φ/Β [4],[8].

Ο τεράστιος όγκος των μπαταριών που χρειάζονται για τον τομέα των μεταφορών, εάν ο τομέας πρόκειται να απαλλαγεί από τον άνθρακα, συνεπάγεται την ουσιώδη σημασία της συμπερίληψης των συνολικών στοιχείων της αγοράς σε οποιαδήποτε ανάλυση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Έχουν υλοποιηθεί ορισμένα πιλοτικά έργα για να ενσωματώσουν τη διαχείριση από την πλευρά της ζήτησης στο δίκτυο, για τη διαχείριση της ζήτησης και την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής ή όταν απαιτούνται υπηρεσίες ευελιξίας. Η στατική αποθήκευση μπορεί να παρέχει μια ποικιλία ενεργειακών υπηρεσιών με προσιτό τρόπο. Οι αναδυόμενες τεχνολογίες γίνονται όλο και πιο δαπανηρές, η αποθήκευση γίνεται πιο ανταγωνιστική και μπορούν να προσφέρονται περισσότεροι τύποι χρηματοοικονομικών υπηρεσιών. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί προς το παρόν μια οικονομική λύση του δικτύου των ηλιακών συστημάτων οικιακής χρήσης και μίνι δικτύων, όπου μπορεί επίσης να αυξηθεί η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύστημα μέχρι και 100%. Το ίδιο ισχύει και για τα νησιά ή άλλα απομονωμένα δίκτυα που βασίζονται σε παραδοσιακούς τρόπους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αναδυόμενα τμήματα της αγοράς περιλαμβάνουν τη σύζευξη του χώρου αποθήκευσης σε κατοικίες ή επαγγελματικούς χώρους με Φ/Β στον τελευταίο όροφο για αύξηση της αυτοκατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ή/και για την αποφυγή της αιχμής της ζήτησης με εξισορρόπηση του ζητούμενου φορτίου [4],[8].

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας παίζουν σημαντικό ρόλο στην επίτευξη των στόχων της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από 100% ανανεώσιμες πηγές ενέργειας βελτιώνοντας την αποδοτικότητα και την ευελιξία τους.

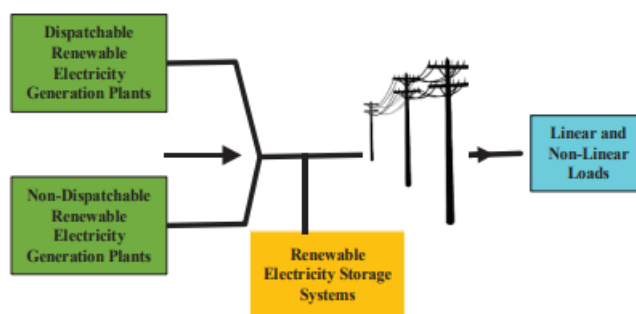
Το μειονέκτημα των ESS συχνά απαιτεί εξάρτηση από διαφορετικούς χώρους αποθήκευσης. Συστήματα αποθήκευσης αναπτύσσονται και μελετώνται καθημερινά με

σκοπό την αποθήκευση της παραγόμενης των ΑΠΕ για μεταγενέστερη χρήση και συνεπώς αύξηση της διείσδυσης των τεχνολογιών αυτών [14].

Η αποθήκευση ενέργειας, λόγω της διακύμανσης της παραγωγής από τον ήλιο και τον άνεμο δε συμβαδίζει απαραίτητα με τη ζήτηση. Η αντλούμενη αποθήκευση υδροηλεκτρικής ενέργειας (PHS) είναι η μόνη μεγάλης κλίμακας τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας στην Ευρώπη, που αντιπροσωπεύει περίπου το 96% της χωρητικότητας της Ευρώπης. Εξαιτίας των περιορισμένων διαθέσιμων τοποθεσιών για περαιτέρω επεκτάσεις PHS και αύξηση ανάγκης για αποθήκευση ενέργειας, προτείνονται άλλες λύσεις. Υδρογόνο, θερμικές μονάδες αποθήκευσης ενέργειας, μπαταρίες ή CAES, μπορεί να είναι ολόένα και πιο σημαντικές λύσεις στο μέλλον. Το δίκτυο και τα εργαλεία ανάλυσης του συστήματος ισχύος εφαρμόζουν λεπτομερή μοντελοποίηση συμπεριλαμβανομένων της ροής ισχύος, της αρμονικότητας και της σταθερότητας του δικτύου [9].

Αν και η μοντελοποίηση του κόστους είναι δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια, είναι απαραίτητη η μοντελοποίηση των αποτελεσμάτων: επενδύσεις, λειτουργία, συντήρηση, καύσιμα, διοξείδιο του άνθρακα, φόροι, κόστος προϋπολογισμού (κόστος εκκίνησης και κόστος τερματισμού λειτουργίας) [9].

Οι σημαντικότερες πηγές ΑΠΕ αιολικής και ηλιακής ενέργειας είναι απρόβλεπτες. Αλλάζουν με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και την ώρα της ημέρας, δεν μπορούν να ενεργοποιηθούν και να απενεργοποιηθούν, με βάση την αναγκαιότητα του δικτύου, δεν μπορούν να προσαρμοστούν στο ηλεκτρικό δίκτυο αλλά το δίκτυο είναι σημαντικό να προσαρμοστεί στις ΑΠΕ. Ως εκ τούτου, η αποθήκευση είναι ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία εκτεταμένων εργοστασίων (πάρκα) ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Είναι η βέλτιστη λύση για τυχαίες πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπως ο άνεμος και η ηλιακή, ώστε να εκπληρωθούν οι απαιτήσεις βασικού φορτίου κοινής ωφέλειας. Η διαχείριση της μη προβλεψιμότητας και της σποραδικής φύσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι μια σημαντική πρόκληση για την επιτυχία των αμιγώς ανανεώσιμων δικτύων. Για την παρακολούθηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο χώρος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας βοηθώντας στην προσαρμοστικότητα του δικτύου σε ένα οικονομικότερο και φιλικότερο προς το περιβάλλον τρόπο. Το Σχήμα 2.2 απεικονίζει μια δομή του δικτύου καθαρά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με εγκαταστάσεις αποθήκευσης [15].



Σχήμα 2.2: Ανάλυση της ανανεώσιμης δομής δικτύου [15]

Η καθαρή υποδομή του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές αναδεικνύεται ως βασικό συστατικό μιας έξυπνης πόλης. Θα ήταν σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί για την αναβάθμιση του στόχου της βιωσιμότητας μιας πόλης ώστε να προσφέρει ένα καθαρό περιβάλλον για τους κατοίκους της. Η αυτοματοποίηση που χρησιμοποιεί το IoRE θα βοηθήσει σημαντικά στον καθορισμό του μέλλοντος των έξυπνων βιώσιμων πόλεων. Αναβαθμίζοντας τις πόλεις για να γίνουν πιο φιλικές προς τον χρήστη, οι άνθρωποι μπορούν να συνειδητοποιήσουν τα οφέλη [15].

Επιπλέον, η αποθήκευση της ενέργειας είναι σημαντική για τη διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας, τη ρύθμιση συχνότητας, την εξομάλυνση των σημείων αιχμής, την εξισορρόπηση του φορτίου, την εποχιακή αποθήκευση και τη δημιουργία αναμονής κατά τη διάρκεια βλάβης. Έτσι, η αποθήκευση και οι τεχνολογίες έχουν αποκτήσει αυξημένη προσοχή και έχουν γίνει κάτι περισσότερο από μια ανάγκη στις μέρες μας [16]. Επιπλέον, η εξάντληση των καυσίμων, οι αυξημένες τιμές πετρελαίου και η αύξηση της ζητούμενης ηλεκτρικής ενέργειας έχουν οδηγήσει σε σημαντικά αυξανόμενο ενδιαφέρον προς τις ΑΠΕ. Επιπροσθέτως, τα κτίρια στην Ευρώπη είναι υπεύθυνα για το 40% της συνολικής κατανάλωσης της ενέργειας της ΕΕ και ως εκ τούτου, συμβάλλουν στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και στην κλιματική αλλαγή. Επομένως, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και η χρήση ΑΠΕ σε κτίρια θεωρείται ότι θα έχει θετικό αντίκτυπο στο κλίμα και στη σταδιακή ανεξαρτησία από τα συμβατικά καύσιμα. Η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να επιτρέψει ενέργεια που θα αποθηκευτεί κατά τη διάρκεια υψηλής παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ή χαμηλής περιόδου ζήτησης, να χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ανανεώσιμης ενέργειας ή περιόδων υψηλής ζήτησης. Μαζί με τις διακυμάνσεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας η παραγωγή και η αποθήκευση είναι σημαντικές για την ισχύ και την τάση εξομάλυνσης. Οι διάφορες τεχνολογίες

αποθήκευσης βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια ωριμότητας και εφαρμόζονται σε διαφορετικές κλίμακες δυναμικότητας [16].

2.3 Αρχιτεκτονική και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας

Η συνεχής λειτουργία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επιφέρει τεχνικά και οικονομικά ζητήματα για τη λειτουργία και τη χρήση της καθαρά ανανεώσιμης δομής δικτύου. Ένας τρόπος αντιμετώπισης της διακοπτότητας της ανανεώσιμης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η αποθήκευσή της. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας θα επιτρέψει την αποθήκευση της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την αποστολή αργότερα όταν χρειαστεί [15].

Τα συστήματα αποθήκευσης είναι απαραίτητα για συστήματα μεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο τεράστιος όγκος αποθήκευσης απαιτεί εγκαταστάσεις που συμβάλλουν στη σταθερότητα του δικτύου, το οποίο είναι κεντρικό σε μια καλά τεκμηριωμένη, αμιγώς ανανεώσιμη ενέργεια. Έρευνες έχουν δείξει ότι η παγκόσμια ζήτηση αποθήκευσης θα φτάσει τις 40 TWh έως το 2040 [15].

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας βασίζονται στην απλή ιδέα ότι ο εξοπλισμός θα μπορεί να φορτίζεται και στη συνέχεια να αποφορτίζεται αργότερα κατά τη διάρκεια περιόδων μη παραγωγής των ΑΠΕ. Ενώ η ενέργεια από τα συστήματα αποθήκευσης μπορούν να εξυπηρετήσουν μια σειρά από σκοπούς (π.χ. ηλεκτρικά αυτοκίνητα, κινητά τηλέφωνα κ.λπ.), έχουν σημαντικό ρόλο όσον αφορά διάφορες τεχνολογίες RE που χρησιμοποιούνται στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. αιολική, ηλιακή, υδροηλεκτρική, κ.λπ.) λόγω της αδυναμίας ελέγχου του χρονοδιαγράμματος της ενεργειακής παραγωγής τους. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σημαντική ανάπτυξη στην εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο, οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν σχεδόν διπλασιαστεί από το 2017 έως το 2019. Η βιβλιογραφία έχει να επιδείξει με μεγάλη λεπτομέρεια πώς διάφορα συστήματα που επιτρέπουν την αποθήκευση του RE μπορεί να χρησιμοποιηθούν για διαφορετικές εφαρμογές. Αυτές οι εφαρμογές μπορούν να εξυπηρετήσουν διάφορους σκοπούς, όπως συνεχή παροχή ρεύματος, εφεδρικές υπηρεσίες, οικονομική εξισορρόπηση (αρμπιτράζ), ισοζύγιο προσφοράς και ζήτησης και υπηρεσίες δικτύου. Σε αυτό το πλαίσιο, το εύρος των

πιθανών εφαρμογών αποθήκευσης RE συστημάτων μπορεί να επηρεάζονται από διάφορους εξωτερικούς παράγοντες όπως [14]:

- Τεχνολογία.
- Ρυθμίσεις.
- Ενεργειακές υποδομές.
- Χαρτοφυλάκιο ενέργειας.

Ειδικότερα, οι τεχνολογικές πτυχές μπορούν να επηρεάσουν το φάσμα των εφαρμογών για την αποθήκευση ανανεώσιμης ενέργειας. Οι διαφορετικές τεχνολογίες χαρακτηρίζονται από διαφορετικές τεχνοοικονομικές ιδιότητες που μπορούν να επηρεάσουν πιθανές εφαρμογές συστημάτων αποθήκευσης ΑΠΕ.

Επιπλέον, η ρύθμιση μιας χώρας ή μιας περιοχής μπορεί να επηρεάσει το φάσμα των εφαρμογών που αφορούν τα συστήματα αποθήκευσης ΑΠΕ, υπαγορεύοντας ποια συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή, πώς μπορούν να λειτουργήσουν, σε ποιες τεχνολογίες μπορούν να βασιστούν και σε ποιους φορείς μπορούν να εμπλακούν για την ίδρυσή τους [14].

Η υπάρχουσα ενεργειακή υποδομή μιας χώρας ή μιας περιοχής (π.χ., η κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου) και το ενεργειακό του χαρτοφυλάκιο μπορεί να επηρεάσουν το φάσμα των σχετικών εφαρμογών των διάφορων συστημάτων αποθήκευσης ΑΠΕ. Εκτός από τους παράγοντες που αναφερθήκαν, οι πιθανές εφαρμογές των ΑΠΕ και αποθήκευσης μπορούν επίσης να προσδιοριστούν από τρεις διαφορετικούς τύπους συστημάτων αποθήκευσης. Αυτά τα τρία μη επικαλυπτόμενα συστήματα αποθήκευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν διαφορετικές θέσεις στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας [14]:

1. Συστήματα αποθήκευσης εκτός δικτύου.
2. Συστήματα αποθήκευσης πίσω από των μετρητή.
3. Συστήματα αποθήκευσης μπροστά από τον μετρητή.

Τα συστήματα αποθήκευσης εκτός δικτύου δεν συνδέονται με το περιφερειακό ή το εθνικό δίκτυο και μπορούν να βασίζονται στις περισσότερες από τις διαθέσιμες τεχνολογίες ανάλογα με τις συγκεκριμένες ανάγκες. Συχνά συνδυάζονται με συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εκτός δικτύου, τα οποία μπορούν να βασίζονται σε

διαφορετικές τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η παγκόσμια αγορά για αυτά τα συστήματα αποθήκευσης αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια. Το κύριο χαρακτηριστικό των συστημάτων αποθήκευσης εκτός δικτύου είναι η ανεξαρτησία τους και τείνουν να λειτουργούν ως ένα "αυτοτελές" ενεργειακό σύστημα για την παροχή ενέργειας σε απομονωμένες κοινότητες, ιδιωτικές μονάδες ή καταναλωτές εκτός δικτύου [14].

Τα συστήματα αποθήκευσης πίσω από τον μετρητή συνδέονται με την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου (εθνικό, περιφερειακό κ.λπ.) μέσω των μετρητών καταναλωτών (δηλαδή, ένας μόνο καταναλωτής ή πολλοί καταναλωτές μαζί ως μέρος μιας κοινότητας), έτσι ώστε η είσοδος και η έξοδος των συστημάτων, από και προς το δίκτυο, μπορεί να είναι μετρήσιμη και αναγνωρισμένη. Αυτά τα συστήματα αποθήκευσης βασίζονται συχνά σε τεχνολογίες που περιλαμβάνουν μικρής κλίμακας εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. μπαταρίες). Επίσης, η παγκόσμια επένδυση σε συστήματα αποθήκευσης πίσω από τον μετρητή έχει σημειώσει τεράστια ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα στις ανεπτυγμένες χώρες (π.χ. Ευρώπη, ΗΠΑ, Αυστραλία, Ιαπωνία και Νότια Κορέα). Οι εφαρμογές τέτοιων συστημάτων περιλαμβάνουν εφεδρικές υπηρεσίες, που επιτρέπουν στους καταναλωτές να αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μονάδες ΑΠΕ σε περίπτωση διακοπής ρεύματος. Με τη συμμετοχή τοπικών προμηθευτών ενέργειας και αρκετών ιδιωτικών προγραμματιστών, αυτά τα συστήματα αποθήκευσης επιτρέπουν στις τοπικές κοινότητες να χρησιμοποιούν ενέργεια ακόμη και όταν διακόπτεται η τροφοδοσία από το δίκτυο. Επιπλέον, δεδομένου ότι οι ΑΠΕ πίσω από τον μετρητή συνδέονται με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία κερδών ή τη μείωση των δαπανών. Για παράδειγμα, προκειμένου να μειωθεί το κόστος, ο κάτοχος του συστήματος αποθήκευσης μπορεί να αποθηκεύσει την ενέργεια που παράγεται από τη δική του εγκατάσταση RE (ή/και ενέργεια από το δίκτυο) όταν οι τιμές της ενέργειας από το δίκτυο είναι χαμηλές. Στη συνέχεια καταναλώνεται ή πωλείται η αποθηκευμένη ενέργεια όταν οι τιμές είναι υψηλές. Τέλος, μια συνολική χρήση συστημάτων αποθήκευσης πίσω από τον μετρητή συχνά σε συνδυασμό με τις εγκαταστάσεις RE πίσω από τον μετρητή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά. Σε τέτοιες περιπτώσεις, όταν η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο είναι μειωμένη, ειδικά

κατά τις ώρες αιχμής, μπορεί να παρέχει διάφορες εγκαταστάσεις RE με μεγαλύτερο μερίδιο της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά και όταν υπάρχει μικρότερο, πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλα μέσα παραγωγής ενέργειας, τα οποία είναι συχνά περισσότερα ρυπογόνα [π.χ., σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με βάση τα ορυκτά καύσιμα] [14].

Το σύστημα αποθήκευσης μπροστά από το μετρητή συνδέεται απευθείας με το δίκτυο μεταφοράς ή διανομής χωρίς να περνά από τον μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας του μεμονωμένου καταναλωτή. Αυτά τα συστήματα αποθήκευσης ενδέχεται να επιτρέψουν την εξεύρεση της ισορροπίας μεταξύ της προσφοράς και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ παράλληλα αντιμετωπίζονται συνηθισμένα κενά στην παραγωγή RE (π.χ. η ημερήσια μείωση του ηλιακού φωτός, όταν η χρήση Φ/Β εγκαταστάσεων είναι χαμηλή). Τα μεγάλα συστήματα αποθήκευσης μπορούν να αποθηκεύουν την ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ ή άλλο εξοπλισμό σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και να την απελευθερώνουν κατά τη ζήτηση αιχμής [14].

Τα συστήματα αποθήκευσης μπορούν να αποθηκεύσουν την ενέργεια που παράγεται από εγκαταστάσεις RE ή άλλες εγκαταστάσεις σε περιόδους χαμηλής ζήτησης προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε τέτοιες περιπτώσεις, δηλαδή, όταν υπάρχει ανάγκη αντιμετώπισης ενός ξαφνικού χάσματος μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, αντικαθιστώντας έτσι τα περισσότερα ρυπογόνα μέσα παραγωγής ενέργειας, ο οποίος είναι ένας από τους πιο κύριους περιβαλλοντικούς σκοπούς, ο οποίος μας απασχολεί σε μεγάλο βαθμό αυτή την χρονική περίοδο και θα μας απασχολήσει ακόμα εντονότερα στο μέλλον. Από το μπροστινό μέρος του μετρητή των RE στο σύστημα αποθήκευσης χρεώνεται σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, επιτρέποντας συνεχή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο ακόμη και όταν η ταχύτητα του ανέμου μειώνεται ξαφνικά. [14].

Η δημιουργία εταιρικών σχέσεων αποθήκευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να επηρεαστεί από την ανάγκη συντονισμού μεταξύ διαφορετικών τμημάτων της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και των οντοτήτων που τις κατέχουν ή τις διαχειρίζονται. Τα συστήματα αποθήκευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας περιλαμβάνουν πολλά ηλεκτρικά εξαρτήματα και μπορούν να χωριστούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Τμήμα παραγωγής, συμπεριλαμβανομένων των ΑΠΕ και το σύστημα αποθήκευσης.

- Τμήμα παράδοσης, συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτρικού δικτύου και την λειτουργία του συστήματος.
- Τμήμα κατανάλωσης, συμπεριλαμβανομένου του μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας και της τοποθεσίας των καταναλωτών.

Ωστόσο, ποτέ ένας οργανισμός δεν μπορεί συνήθως να περιλαμβάνει όλα αυτά τα τμήματα. Όλα τα παραπάνω ανήκουν και διοικούνται από διαφορετικούς οργανισμούς με διαφορετική ατζέντα και ενδιαφέροντα. Επομένως, ο συγχρονισμός και ο συντονισμός μεταξύ αυτών των διαφορετικών τμημάτων απαιτεί από τους ιδιοκτήτες ή τους διευθυντές τους να συνεργαστούν για την ανταλλαγή σχετικών πληροφοριών. Διαφορετικά συστήματα αποθήκευσης ΑΠΕ περιέχουν διαφορετικά εξαρτήματα ισχύος, τα οποία μπορούν να διευκολύνουν διαφορετικές συνεργασίες όπως [14]:

Τα συστήματα αποθήκευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εκτός δικτύου δεν περιλαμβάνουν το δίκτυο και συχνά απαιτούν συντονισμό μεταξύ του οργανισμού που κατέχει ή διαχειρίζεται τον τομέα παραγωγής και παραγόντων που σχετίζονται με την κατανάλωση [14].

Τα συστήματα αποθήκευσης RE πίσω από το μετρητή, από την άλλη πλευρά, περιλαμβάνουν το δίκτυο. Συνεπώς απαιτείται συνεργασία μεταξύ των αρμοδίων παραγόντων και για τα τρία κύρια τμήματα [14]:

1. Τμήμα παραγωγής.
2. Τμήμα παράδοσης.
3. Τμήμα κατανάλωσης.

Ένα παράδειγμα αυτού υπάρχει στο Haarlemmermeer στις Κάτω Χώρες, όπου πολλές μπαταρίες αποθήκευσης πίσω από τον μετρητή έχουν δημιουργηθεί σε συνδυασμό με ηλιακούς συλλέκτες. Αυτό το έργο απαιτεί συντονισμό μεταξύ των τοπικών καταναλωτών ενέργειας. Ο ιδιώτης κατασκευαστής που είναι υπεύθυνος για το τμήμα παραγωγής, συμπεριλαμβανομένου του τμήματος ηλιακών και μπαταριών, και της τοπικής κοινής εταιρείας εξυπηρέτησης, η οποία έχει προσαρμόσει τη λειτουργία του δικτύου για τη χαμηλή ζήτηση στις περιόδους αιχμής. Τα συστήματα αποθήκευσης μπροστά από το μετρητή δεν συνεπάγονται πάντα την άμεση συμμετοχή των τελικών χρηστών, όπως τα μεμονωμένα νοικοκυριά. Επομένως, αυτά τα συστήματα αποθήκευσης απαιτούν, και συχνά έχουν, συντονισμό μεταξύ του οργανισμού που κατέχει ή διαχειρίζεται το τμήμα

παραγωγής και του οργανισμού που κατέχει ή διαχειρίζεται το τμήμα προμήθειας Δεδομένα για τις ενεργειακές ανάγκες των τελικών χρηστών. Ένα παράδειγμα τέτοιου είδους είναι το αντλούμενο σύστημα αποθήκευσης υδροηλεκτρικών συσκευών που σχεδιάστηκε στο Port Augusta στη Νότια Αυστραλία, σε συνδυασμό με αρκετές Φ/Β εγκαταστάσεις. Αυτό το σύστημα αποθήκευσης RE απαιτεί το συντονισμό μεταξύ του ιδιώτη παραγωγού, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την εγκατάστασή του και του υπευθύνου για τη διαχείριση και τη λειτουργία του δικτύου του αντλούμενου υδροηλεκτρικού συστήματος με σκοπό τη λήψη ενέργειας από το σύστημα αποθήκευσης [14].

Ορισμένα εμπόδια που σχετίζονται με την τεχνολογία γύρω από τις τεχνολογίες αποθήκευσης, εμποδίζουν επίσης την ταχύτερη και ευρύτερη ανάπτυξη τους. Το κόστος είναι σίγουρα ένα από αυτά τα εμπόδια. Το κόστος της μπαταρίας για παράδειγμα έχει μειωθεί και αναμένεται να μειωθεί κι άλλο. Αυτό δεν μπορεί να θεωρηθεί ανταγωνιστικό ως προς το κόστος για όλες τις υπηρεσίες και για όλες τις χώρες. Η ανταγωνιστικότητα της αποθήκευσης είναι δύσκολη, επειδή οι συμβατικές τεχνολογικές γενιές εξακολουθούν να επενδύουν σε δραστηριότητες αναζήτησης και ανάπτυξης για να επιτύχουν τα κέρδη απόδοσης της αποθήκευσης. Η διαθεσιμότητα είναι μια άλλη πρόκληση που αντιμετωπίζει ιδιαίτερα η τεχνολογία για την έξαψη των μπαταριών ιόντων λιθίου [17].

Καθώς οι μεταβλητές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξάνονται σε σημαντικά επίπεδα, η ηλεκτρική ενέργεια των συστημάτων απαιτεί μεγαλύτερη ευελιξία. Σε πολύ υψηλές μετοχές του SRE, η ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να αποθηκευτεί σε ημέρες, εβδομάδες ή και μήνες. Παρέχοντας αυτές τις βασικές υπηρεσίες, η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές απορρίψεις ηλεκτρικής ενέργειας και να συμβάλει στη μετατροπή ολόκληρου του ενεργειακού τομέα. Τα συστήματα ισχύος χρειάζονται ήδη μια σειρά βοηθητικών υπηρεσιών για να διασφαλιστεί η ομαλή και αξιόπιστη λειτουργία. Επομένως, η προσφορά και η ζήτηση πρέπει να εξισορροπούνται σε πραγματικό χρόνο για να διασφαλιστεί η ποιότητα της προσφοράς (για παράδειγμα, για να εξασφαλιστεί η ποιότητα της προσφοράς). Διατηρεί σταθερή τάση και συχνότητα, αποτρέπει τη ζημιά στον ηλεκτρικό εξοπλισμό και διατηρεί την τροφοδοσία σε όλους τους χρήστες. Όλα τα συστήματα ισχύος απαιτούν έναν βαθμό ευέλικτης υπηρεσίας που επιτρέπει στους χειριστές του δικτύου να αντιδρούν σε απροσδόκητες αλλαγές στη ζήτηση

και σημαντικές απώλειες στην προσφορά (π.χ. αποσύνδεση και σύνδεση). Η ευελιξία παρέχει στον χειριστή εργαλεία για γρήγορη αποκατάσταση της ισορροπίας του συστήματος [4],[8],[18].

2.4 Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας

Οι διαφορετικές τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας που υπάρχουν έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως διάρκεια ζωής, διάρκεια κύκλου φόρτισης, ισχύς ενέργειας, αποδοτικότητα, επιβάρυνσης στο περιβάλλον, κόστος, χρόνος απόκρισης και επιλέγονται ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία απαιτούνται. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο μεγάλες ομάδες, ανάλογα με τις εφαρμογές για τις οποίες σχεδιάστηκαν [10]:

- Οι εφαρμογές ισχύος είναι αυτές που απαιτούν υψηλή ισχύ σε πολύ μικρό χρόνο εκφόρτισης.
- Οι εφαρμογές ενέργειας έχουν μεγαλύτερους χρόνους εκφόρτισης με σκοπό να δώσουν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας.

Λόγω των διαφόρων προσεγγίσεων στην αποθήκευση ενέργειας, μπορούμε να θεωρήσουμε τις ακόλουθες έξι βασικές κατηγορίες τεχνολογιών:

1. Οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης, ένα εύρος από ηλεκτροχημικές μεθόδους αποθήκευσης, που περιλαμβάνουν εξελιγμένες χημικές μπαταρίες και πυκνωτές.
2. Οι μπαταρίες ροής, ένα είδος μπαταριών στο οποίο η ενέργεια αποθηκεύεται κατευθείαν στο ηλεκτρολυτικό διάλυμα για μεγαλύτερο χρόνο ζωής και γρήγορους χρόνους απόκρισης.
3. Οι σφόνδυλοι, μηχανικές συσκευές που εκμεταλλεύονται την κινητική ενέργεια από περιστροφή για να αποδώσουν άμεσα ηλεκτρική ενέργεια.
4. Η αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα είναι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν συμπιεσμένο αέρα για να δημιουργήσουν αποθέματα ενέργειας.
5. Οι θερμικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν θερμότητα για να παράγουν ενέργεια.
6. Η αντλησιοταμίευση χρησιμοποιεί μεγάλο όγκο νερού για την αποθήκευση ενέργειας.

Επειδή οι διαφορετικές τεχνολογίες αποθήκευσης μπορούν να συμπληρώσουν η μία την άλλη, τα υβριδικά συστήματα με πολλαπλές μεθόδους αποθήκευσης έχουν τη δυνατότητα

να παρέχουν υψηλότερης ποιότητας ενέργεια και ισχύ στους καταναλωτές, σε σύγκριση με συστήματα που βασίζονται σε μια μόνο πηγή.

2.4.1 Αντλησιοταμίευση

Η αντλούμενη υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η πιο ώριμη και ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία αποθήκευσης. Οι αντλούμενες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν υψηλές και χαμηλές δεξαμενές νερού, τυπικά με υψομετρικές διαφορές. Κατά την περίοδο αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ή «φόρτισης», το νερό αντλείται από το χαμηλότερο προς το υψηλότερο ρεζερβουάρ και στη συνέχεια, όταν απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια, το νερό ρέει από την υψηλή δεξαμενή προς τα κάτω, μέσω μιας υδροηλεκτρικής τουρμπίνας. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα να χάνουν πολύ λίγο ηλεκτρικό ρεύμα, φτάνοντας σε υψηλές αποδόσεις μετ' επιστροφής ως 95%. Οι κυριότερες προκλήσεις για τα αντλούμενα υδροηλεκτρικά περιλαμβάνουν την εξάρτηση από τη γεωγραφία και τις ανησυχίες του κοινού για το περιβάλλον, όπου δημιουργούνται νέες δεξαμενές. Επιπλέον, σε ορισμένες περιοχές, το κόστος για νέες αντλούμενες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις ενδέχεται να είναι απαγορευτικό [19].

Από την ανασκόπηση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας, οι υπεύθυνοι των PHES αναφέρουν έναν αριθμό βασικών λόγων για νέες εξελίξεις, οι οποίοι μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Κυβερνητικοί και περιφερειακοί στόχοι για την αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ενθαρρύνουν την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας σε πολλές χώρες. Η αυξημένη μεταβλητή παραγωγή θεωρείται ότι θα οδηγήσει τη ζήτηση για το αποθεματικό και την αύξηση της ζήτησης για δαπάνες υπηρεσιών PHP.
- Μια γενικά αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια και κορυφαία ισχύ με απελευθερωμένες αγορές σε ολόκληρη την Ευρώπη.
- Η αυξημένη διασύνδεση αναφέρεται ότι συμβάλλει στην αξία του PHES, καθώς οι προγραμματιστές έχουν πρόσβαση σε περισσότερες δυνητικές αγορές και ευκαιρίες της αγοράς.
- Ασφάλεια εφοδιασμού. Το PHES θεωρείται από πολλούς ειδικούς ερευνητές σημαντική συμβολή στην ασφάλεια του εφοδιασμού σε χώρες ή περιοχές.

- Μειώστε τη μεταβλητότητα ή αυξήστε την αποδοτικότητα των σημερινών υδροηλεκτρικών συνόλων. Οι προγραμματιστές που διαθέτουν ήδη υπάρχοντα υδροηλεκτρικά στοιχεία ενεργητικού ή PHES χρησιμοποιούν νεότερο αποδοτικότερο εξοπλισμό για να αυξήσουν τη λειτουργική απόδοση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων.

2.4.2 Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας CEEP

Η αποθήκευση αντλιών είναι μια επιλογή αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που διατίθεται στο Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα. Η λειτουργία της ρυθμίζεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το CEEP. Ο τρόπος με τον οποίο ρυθμίζεται η αποθήκευση της αντλίας μπορεί να περιγράψει μέσω της ρύθμισης της αντλίας (μονάδας φόρτισης) και της ρύθμισης του στροβίλου (εκφόρτιση μονάδα) [10].

Ο ρόλος της αντλίας είναι να γεμίσει τον αποθηκευτικό χώρο όταν υπάρχει CEEP. Η ωριαία λειτουργία της αντλίας περιορίζεται από την τιμή του CEEP e_{CEEP} , τη διαθέσιμη χωρητικότητα αντλίας C_{pump} (MW) και το διαθέσιμο ενεργειακό περιεχόμενο αποθήκευσης. Επομένως, το φορτίο της αντλίας θεωρείται ίσο με τη χαμηλότερη τιμή, η εξίσωση δίνεται παρακάτω [10].

$$e_{pump} = \min\left[e_{CEEP}, \frac{S_{pump} - s_{pump}}{a_{pump}}, C_{pump}\right]$$

Ο ρόλος της τουρμπίνας είναι να αδειάσει την αποθήκη για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια, η οποία θα αντικαταστήσει τη συμπύκνωση παραγωγής PP. Η ωριαία λειτουργία του στροβίλου περιορίζεται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την συμπύκνωση PP, τη διαθέσιμη χωρητικότητα τουρμπίνας $C_{Turbine}$ (MW) και τη διαθέσιμη αποθήκευση στο ενεργειακό περιεχόμενο. Επομένως, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του στροβίλου θεωρείται ίση με τη χαμηλότερη αξία μεταξύ των προαναφερθέντων και η εξίσωση δίνεται παρακάτω [10].

$$e_{Turbine} = \min[e_{PP}, (S_{pump} * \mu_{Turbine}), C_{Turbine}]$$

2.4.3 Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στις μπαταρίες

Οι μπαταρίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διατηρήσουν την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα ευρύ φάσμα. Επίσης, οι μπαταρίες μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε στο ηλεκτρικό δίκτυο. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται συχνά ως αποθήκευση

ηλεκτρικής ενέργειας για νησιωτικά ηλεκτρικά συστήματα. Η μπαταρία μπορεί να εγκατασταθεί ως αποθηκευτικό μέσο κοντά σε κατοικημένες ή βιομηχανικές περιοχές για τη σταθεροποίηση του ηλεκτρικού δικτύου. Μπορεί επίσης να είναι μια εγκατάσταση αποθήκευσης για τελική χρήση, όπως μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων. Οι μπαταρίες θεωρούνται πλήρως ανεπτυγμένες αποθήκες ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν αρκετές εγκαταστάσεις αποθήκευσης μπαταριών σε σταθμούς αιολικών πάρκων βοηθώντας να διατηρήσουν σταθερή την ισχύ όταν δεν προμηθεύονται άνεμο από τα εξωτερικά αιολικά εργοστάσια [8],[15],[18].

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι πιθανό να κυριαρχήσουν στην αγορά EV, αλλά δεν θα συμβεί σε σταθερές εφαρμογές. Εδώ, οι μπαταρίες συνδέονται με την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου για τη διάχυση του ηλεκτρικού ρεύματος για χρήση. Μία μπαταρία κατάλληλη για ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια μεγάλης εμβέλειας για αποθήκευση είναι η μπαταρία οξειδοαναγωγικής ροής. Η κύρια μπαταρία ροής είναι πολυθειούχο βρωμίδιο (PSB), οξειδοαναγωγικό βαναδίου (VRB) και βρωμιούχο ψευδάργυρο (ZnBr). Η λειτουργία της μπαταρίας ροής απαιτεί συστήματα αντλιών και ρυθμιστές ροής με εξωτερική αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Το αρχικό κεφάλαιο και τα έξοδα εργασίας βρίσκονται στην υψηλή πλευρά σε σύγκριση με άλλες μπαταρίες, για αυτό το λόγο άλλωστε αποτελεί το ακριβότερο μέσο αποθήκευσης. Οι μπαταρίες ροής που χρησιμοποιούν ενεργό οξειδοαναγωγικό και ηλεκτροκαταλύτες ευγενών μετάλλων είναι μια κατηγορία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που εκμεταλλεύεται τις ευεργετικές χημικές και ηλεκτροχημικές ιδιότητες των μορίων κίνησης. Είναι μια μπαταρία ροής χωρίς μέταλλα που βασίζεται στον μηχανισμό λειτουργίας της μπαταρίας ροής οξειδοαναγωγής (RFB). Στη ροή κίνησης-βρωμιδίου, η μπαταρία έχει παρουσιάσει πάνω από 99% ικανότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά κύκλο. Αυτή η κατηγορία μπαταρίας ροής έχει την ικανότητα αποθήκευσης τεράστιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας σε αμελητέα τιμή. Οι μπαταρίες Na₂S είναι η πιο σημαντική επιλογή μπαταριών για τη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας. Άλλα πρόσφατα ρεύματα μπαταρίας οδήγησαν σε μια αργή μετατόπιση της τεχνολογίας αποθήκευσης από το Na₂S στις μπαταρίες Li-ion και ροής. Αυτό οφείλεται στην επιτυχία αυτών των τεχνολογιών να επιτύχουν προηγμένη λειτουργικότητα και χαμηλότερη τιμή. Η τεχνολογία υδατικής αποθήκευσης μπαταρίας ροής θείου εκτός από

δυνατότητες χαμηλών τιμών, έχει επίσης τη δυνατότητα χρήσης για μεγάλο χρονικό διάστημα [8],[15],[18].

Οι βασικές παράμετροι που σχετίζονται με τις τεχνολογίες EES είναι η ισχύς, η ενεργειακή βαθμολογία, ο χρόνος απόκρισης, η πυκνότητα ενέργειας, η πυκνότητα ισχύος, η θερμοκρασία λειτουργίας, η αυτόματη εκφόρτιση, η αποδοτικότητα μετ'επιστροφής, η διάρκεια ζωής, οι κύκλοι, το κόστος ενέργειας. Μεταξύ αυτών οι πιο σημαντικές παράμετροι, όσον αφορά την τεχνογνωσία της ικανότητας των τεχνολογιών EES είναι η ενεργειακή πυκνότητα, η πυκνότητα ισχύος, η αποδοτικότητα μετ'επιστροφής και τα χαρακτηριστικά εκφόρτισης/επαναφόρτισης. Ειδικά στο ευρωπαϊκό πλαίσιο, η βασική ανάπτυξη των EES εκτιμάται ως τομέας προτεραιότητας στο μελλοντικό ενεργειακό τοπίο. Ειδικότερα καθοριστικές παράμετροι της ανάπτυξης της EES είναι η σαφής μελλοντική ανάγκη για χωρητικότητα αποθήκευσης της ενέργειας στην Ευρώπη και Παγκοσμίως, η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ικανότητα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η διείσδυση της διαχείρισης της πλευράς της ζήτησης και της εναλλακτικής εφεδρικής διαθεσιμότητας ισχύος. Οι πιο αποτελεσματικές τεχνολογίες EES είναι αυτές που έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίζουν υψηλές βαθμολογίες ισχύος με σχετικά μικρό ενεργειακό περιεχόμενο, καθιστώντας την κατάλληλη για ποιότητα ισχύος και αξιοπιστία. Υπό αυτό το πλαίσιο η EES με περισσότερες κοινές τεχνολογίες είναι η αντλούμενη υδροηλεκτρική αποθήκευση (PHS), η αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα (CAES), η αποθήκευση ενέργειας με στρεφόμενο σφόνδυλο (FES), η αποθήκευση ενέργειας στους υπερπυκνωτές (SCES), η υπεραγωγίμη αποθήκευση μαγνητικής ενέργειας (SMES), η αποθήκευση ενέργειας στις μπαταρίες (BES) και τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με βάση το υδρογόνο (HESS) [20].

Σύμφωνα με το χαρακτηριστικό της ενεργειακής πυκνότητας μεταξύ των τεχνολογιών EES, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι τεχνολογίες EES με χαμηλή ενέργεια πυκνότητας είναι οι FES, οι πυκνωτές, οι υπερπυκνωτές και το PHS, ενώ οι τεχνολογίες EES υψηλής πυκνότητας ενέργειας είναι οι CAES, οι κρυογονικές αποθήκευσης ενέργειας και οι μπαταρίες. Επιπλέον, SCES, SMES, FES και μικρομεσαίες μπαταρίες διατηρούν τυπικά σύντομους χρόνους εκφόρτισης (από δευτερόλεπτα έως λεπτά), και διασφαλίζουν την ποιότητα και τη συνέχεια της ισχύος που παρέχεται κατά την μετάβαση από τη μία πηγή ηλεκτρικής ενέργειας στην άλλη. Παράλληλα, PHS, CAES, μπαταρίες μεγάλης κλίμακας και

HESS υποστηρίζουν εφαρμογές ενεργειακής διαχείρισης που απαιτούν μεγάλη ισχύ και ενεργειακή χωρητικότητα, όταν ο χρόνος εκφόρτισης κυμαίνεται από ώρες και ημέρες έως εβδομάδες. Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα του κύκλου των SMES πυκνωτών, υπερπυκνωτές, PHS, CAES, μπαταρίες και μπαταρίες ροής είναι υψηλότεροι από 60% σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες EES. Το CAES έχει το χαμηλότερο κόστος κεφαλαιακής ενέργειας σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες EES. Παρόλα αυτά, η τεχνολογία CAES απαιτεί ειδικούς γεωλογικούς χώρους, ενώ το προηγμένο CAES έχει δείξει υψηλά επίπεδα αποδοτικότητας μετ'επιστροφής παρόμοια με την PHS. Επομένως, το CAES είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία EES για μελλοντική ανάπτυξη. Από την άλλη πλευρά, παρόλο που το PHS θα μπορούσε να ικανοποιήσει την πλειοψηφία των αναγκών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με τη συνολική αποθήκευση ενέργειας εγκατεστημένη, η τεχνολογία PHS διατηρεί εξαιρετικά υψηλό κόστος κεφαλαίου. Επίσης μεγάλους χρόνους κατασκευής, ειδικές απαιτήσεις εργοταξίων, χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα και το χαμηλότερο επίπεδο ενέργειας (LCOE) μεταξύ των EES [20].

Το πρόβλημα της βελτιστοποίησης στοχεύει στην εύρεση της βέλτιστης θέσης του συντελεστή ισχύος και της ενεργειακής ικανότητας των ESS στο δίκτυο διανομής. Ο στόχος του προβλήματος είναι να μεγιστοποιήσει τα οφέλη, γεγονός που επιτυγχάνεται με τις εφαρμογές των ESS στο δίκτυο με την επιφύλαξη των τεχνικών περιορισμών του δικτύου και των ESS. Το ESS σχεδιάζει ένα δίκτυο διαύλου, μοντέλο ενιαίου κόμβου το οποίο αναφέρεται μόνο στο μέγεθος του ESS. Η ανασκόπηση του σχεδιασμού του ESS στα δίκτυα διανομής, έχει συγχωνευτεί στο σχεδιασμό του ESS στο δίκτυο και στο σχεδιασμό του ESS στο μικροδίκτυο. Οι περισσότερες εφαρμογές ESS στο δίκτυο διανομής που περιλαμβάνουν έλεγχο της τάσης και μείωση των ζημιών, γεγονός που οδηγεί στην μείωση της συμφόρησης και στην επίτευξη της αναβολής της επέκτασης του δικτύου μόνο στο πλαίσιο περιορισμένου δικτύου. Αυτή η διαδικασία έχει αποδειχθεί ότι λειτουργεί καθώς έχουν δημοσιευθεί πολυάριθμα νέα έργα τα οποία το επιβεβαιώνουν [6].

Μερικοί ερευνητές προτείνουν να εξεταστούν, όπως τα ενεργά δίκτυα, ο σχεδιασμός πολλαπλών σταδίων, ο αντικειμενικός σχεδιασμός και ο κοινός σχεδιασμός. Οι προτάσεις για τα μελλοντικά έργα σε αυτό το πλαίσιο μπορούν να δηλωθούν όπως οι ακόλουθες [6]:

- Χρησιμοποιώντας πολλαπλές συνεργικές εφαρμογές των ESSs με αυτό τον τρόπο πιθανόν να αυξηθεί η αποδοτικότητα της σχέσης με τις άλλες λύσεις στο δίκτυο.

Για παράδειγμα, η εφαρμογή των ESS για δράση απευθύνεται ως εφεδρική πηγή σε λειτουργία νησιού ή σε λειτουργία του δικτύου που είναι μικρότερη.

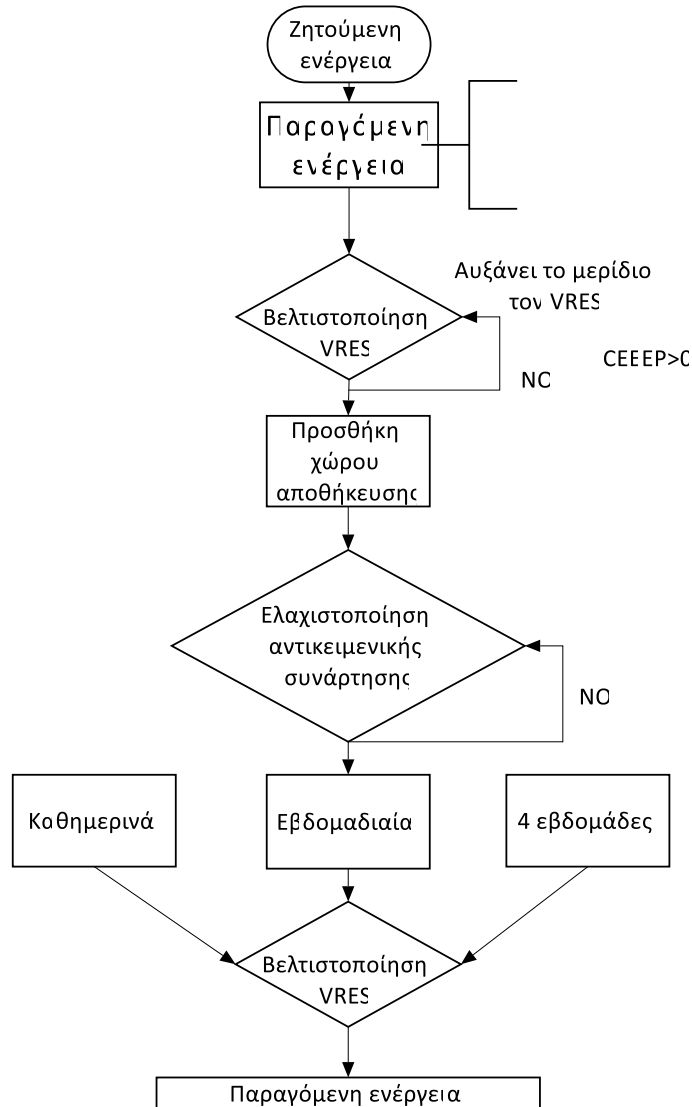
- Η ανάπτυξη νέων μοντέλων πολλαπλών στόχων από συνεργικές μη ομογενείς εφαρμογές ESS είναι ένας άλλος τρόπος για να καλυφθεί το υψηλό κόστος επένδυσής τους. Υπάρχουν διάφορα μοντέλα πολλαπλών στόχων, για παράδειγμα το μοντέλο Pareto Front.
- Μπορούν να προταθούν νέα μοντέλα κοινού σχεδιασμού των ESS, συμπεριλαμβανομένων νέου ή/και αντικατάσταση εναέριων αγωγών και υπογείων τροφοδοτικών καλωδίων, μετασχηματιστών, πυκνωτών, διακοπών φάσεων, αυτόματων εκκινήτων, DFACTS, PHEV, DGS με δυνατότητα αποστολής και μη αποστολής και σε άλλες συμβατικές και νέες συσκευές σε επίπεδα μεσαίας και χαμηλής τάσης.

Η ωφέλιμη προσαρμογή του ESS στο σύστημα ισχύος, ειδικά εκείνων με ενσωματωμένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν είναι αμφισβητήσιμη. Ωστόσο, εξακολουθούν να υφίστανται κάποιες προκλήσεις που δεν πρέπει να αγνοηθούν. Οι κύριες προκλήσεις είναι η οικονομική διάσταση της ένταξης του ESS στο σύστημα ισχύος. Παρόλο που υπάρχει επαγγελματική προσαρμογή που αποκτάται μέσω της ενεργειακής διαιτησίας, το συνολικό λειτουργικό κόστος που δαπανάται ειδικά για ζημίες BESS και επενδύσεις ήταν μεγαλύτερο από το ποσό που αποκτήθηκε από το κέρδος. Επιπλέον, είναι δύσκολο να επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ της απόδοσης του ESS και του κόστους [21],[22].

Για παράδειγμα η Li-ion battery με υψηλή απόδοση καθώς και υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, έχει υψηλό κόστος παραγωγής ταυτόχρονα. Άλλωστε, η αξιολόγηση του ESS όσον αφορά το οικονομικό επίπεδο είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί, επειδή επηρεάζεται από διαφορετικούς παράγοντες όπως οι τεχνολογίες ESS, η εφαρμογή του ESS, η χωρητικότητα που απαιτείται και η δομή του συστήματος ισχύος. Η πρόκληση είναι να εντοπιστούν οι τεχνικές που είναι σε θέση να ενισχύσουν την αποτελεσματικότητα των ESS. Ακόμα κι αν η ιδανική απόδοση είναι 100% δεν μπορεί να είναι εφικτή στην πράξη, για αυτό η απόδοση των ESS θα πρέπει να φτάνει όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο 100% για την καλύτερη λειτουργία. Επιπλέον πρόκληση αποτελεί και η αποτελεσματικότητα υπολογισμού του αλγορίθμου και ο έλεγχος της απόδοσης του ESS στο σύστημα ισχύος

στο διάγραμμα βελτιστοποίησης του συστήματος ισχύος που υπάρχει στο EnergyPLAN παρατηρείται στο Σχήμα 2.3 [21],[22].

Διάγραμμα Ροής Βελτιστοποίησης μέσω του EnergyPLAN



Σχήμα 2.3: Διάγραμμα βελτιστοποίησης του EnergyPLAN

2.4.4 Αποθήκευση ενέργειας στους σφονδύλους

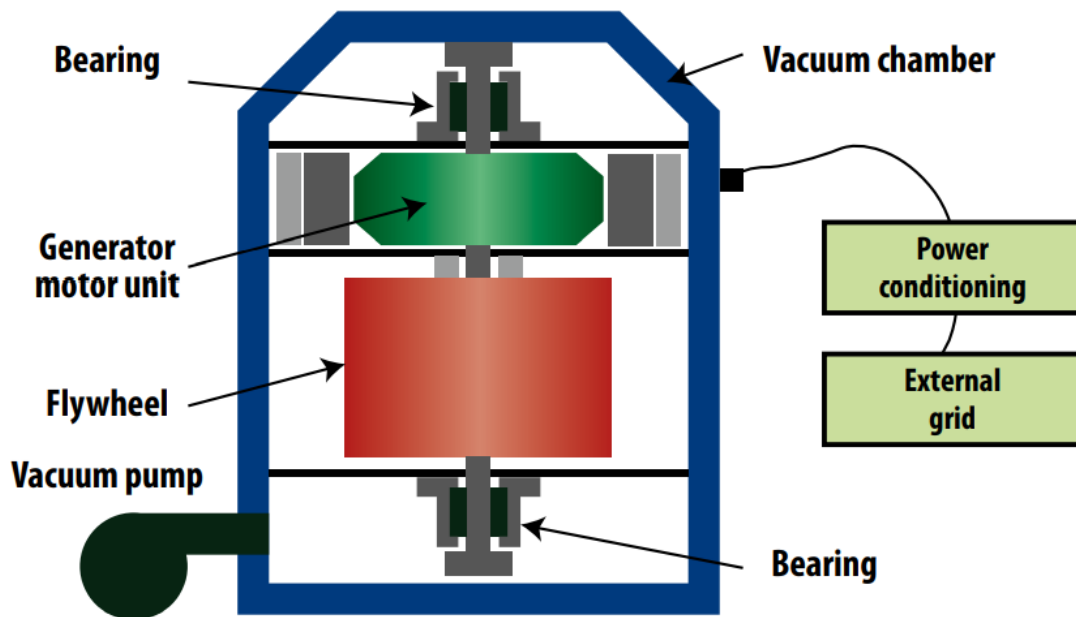
Οι σφόνδυλοι αποθηκεύουν την ενέργεια ως περιστροφική κινητική ενέργεια επιταχύνοντας και φρενάροντας μια περιστρεφόμενη μάζα. Η ενέργεια σφονδύλου στα συστήματα αποθήκευσης (FES) είναι η περιστρεφόμενη μάζα γύρω από έναν σταθερό άξονα (δηλ. τη συσκευή περιστροφής του σφονδύλου), συνδεδεμένη με έναν αναστρέψιμο ηλεκτροκινητήρα που λειτουργεί ως κινητήρας κατά τη φόρτιση, αντλώντας ισχύ από το δίκτυο για να περιστρέψει τον σφόνδυλο στην επιθυμητή ταχύτητα, Και ως

γεννήτρια κατά την εκφόρτιση, όταν ο ήδη περιστρεφόμενος σφόνδυλος παρέχει ροπή στη γεννήτρια για παροχή ρεύματος σε ένα εξωτερικό δίκτυο ή φορτίο. Η ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα σύστημα FES καθορίζεται κυρίως από τη ροπή ρελαντί (βάρος) και την ταχύτητα περιστροφής του ρότορα. Η αδράνεια της περιστρεφόμενης μάζας είναι συνάρτηση της μάζας και του σχήματος της, αν και οι ιδιότητες των υλικών του ρότορα συγκεκριμένα, η αντοχή προσδιορίζει τη μέγιστη ταχύτητα στο οποίο μπορεί να επιστραφεί, λόγω περιορισμών υλικής τάσης. Με βάση αυτές τις ιδιότητες, δύο βασικές ευρείες κατηγορίες έχουν αναπτυχθεί για τον σφόνδυλο [18]:

1. Μια χαμηλής ταχύτητας FES δεν υπερβαίνει 10.000 στροφές το λεπτό.
2. Μια υψηλής ταχύτητας FES έως 100.000 στροφές το λεπτό.

Ιστορικά, οι μάζες του ρότορα για ένα σύστημα FES χαμηλής ταχύτητας ήταν γενικά σχεδιασμένες με μεταλλικά υλικά. Από την περιστροφή του, οι απαιτήσεις καταπόνησης δεν υπερβαίνουν το όριο ασφαλείας για το χάλυβα, που αποτελεί κοινή επιλογή υλικών για τέτοια συστήματα. Για συστήματα υψηλής ταχύτητας, ισχυρότερα αλλά ελαφρύτερα υλικά είναι ελκυστικά και ο ρότορας τους είναι συνήθως κατασκευασμένος από σύνθετη ίνα, η οποία πληροί αυτές τις απαιτήσεις, αν και με πιο υψηλό κόστος από το χάλυβα. Για το κόστος του χάλυβα μερικές φορές χρησιμοποιείται το χαμηλό άκρο ενός συστήματος υψηλής ταχύτητας FES [18].

Για λόγους ασφαλείας, δεδομένης της υψηλής ταχύτητας και των δύο συστημάτων, το περίβλημα του σφονδύλου έχει σχεδιαστεί για να προστατεύει από καταστροφική βλάβη. Για να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες τριβής, ένα σύστημα FES περιλαμβάνει επίσης ένα σετ ρουλεμάν. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα έδρανα είναι τα παραδοσιακά μηχανικά ρουλεμάν και τα μαγνητικά ρουλεμάν, αλλά μερικές φορές έχουν εφαρμοστεί υβριδικά συστήματα σχεδιασμού ρουλεμάν. Τα συστήματα υψηλής ταχύτητας βασίζονται συνήθως σε μαγνητικά ρουλεμάν καθώς έχουν μικρότερες απώλειες τριβής. Ένα κενό περίβλημα χρησιμοποιείται επίσης συχνά ως περίβλημα για το σύστημα FES, το οποίο αφενός μειώνει τις απώλειες λόγω αυτοεκφόρτισης και μετατροπής ενέργειας και αφετέρου τις απώλειες τριβής λόγω της αντίστασης που προκαλεί ο αέρας μέσα στο περίβλημα. Το Σχήμα 2.4 εμφανίζει ένα σύγχρονο σύστημα FES [18].



Σχήμα 2.4: Βασικά στοιχεία ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας σφονδύλου υψηλής ταχύτητας [18]

2.4.5 Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας υδρογόνου

Η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία υδρογόνου. Στη συνέχεια αποθηκεύονται στο χώρο αποθήκευσης και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μπαταρίες καυσίμου, μηχανικές και αιολικές γεννήτριες. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε υδρογόνο δημιουργείται μέσω απλών τεχνικών φωτομετατροπής ή ηλεκτρολυτών. Στη συνέχεια αποθηκεύεται για κάποιο χρονικό διάστημα και είτε οξειδώνεται είτε υποβάλλεται σε χημική επεξεργασία. Η ενέργεια από το υδρογόνο έχει χαρακτηριστικά που αποδεικνύουν αντίστοιχη ποιότητα ηλεκτρικής ενέργειας [15].

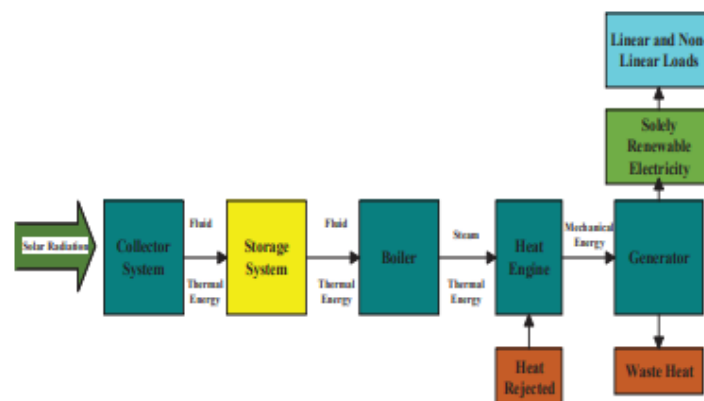
2.4.6 Αποθήκευση θερμικής ηλεκτρικής ενέργειας

Η αποθήκευση θερμικής ηλεκτρικής ενέργειας (TES) σχετίζεται με την αποθήκευση της θερμότητας στο υλικό αποθήκευσης. Συστήματα θερμικής αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που συνήθως αποτελούνται από υλικό αποθήκευσης και μηχανή για θερμική έγχυση και αφαίρεση σε ένα υλικό. Το υλικό αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι ένας φυσικός τρόπος που συμβαίνει κάτω από τη γη (υπέδαφος). Αυτό μπορεί να γίνει και με ανθρώπινη παρέμβαση με τη δεξαμενή να αποτρέπει την

απώλεια/απόκτηση θερμότητας από το περιβάλλον της δεξαμενής. Υπάρχουν τρεις τρόποι για το TES, αυτοί είναι [15]:

1. (Latent TES) Λανθάνων, Θερμοχημικά και ευαίσθητα TES.
2. (Conventionally TES) Συμβατικά, η αποθήκευση σε μορφή θερμότητας είναι λογική TES, δηλαδή αυξάνει τα υλικά σε βαθμό θερμότητας που υπάρχουν.
3. (Sensible TES) Τα ευαίσθητα TES περιλαμβάνουν ζεστό νερό αποθήκευσης όπως η υδροσυσσώρευση. Ένα άλλο καλό παράδειγμα, είναι κάτω από τη γη η θερμική αποθήκευση όπως υδροφόρος ορίζοντας, γεώτρηση, σπήλαιο, αγωγοί στο χώμα και λάκκος .

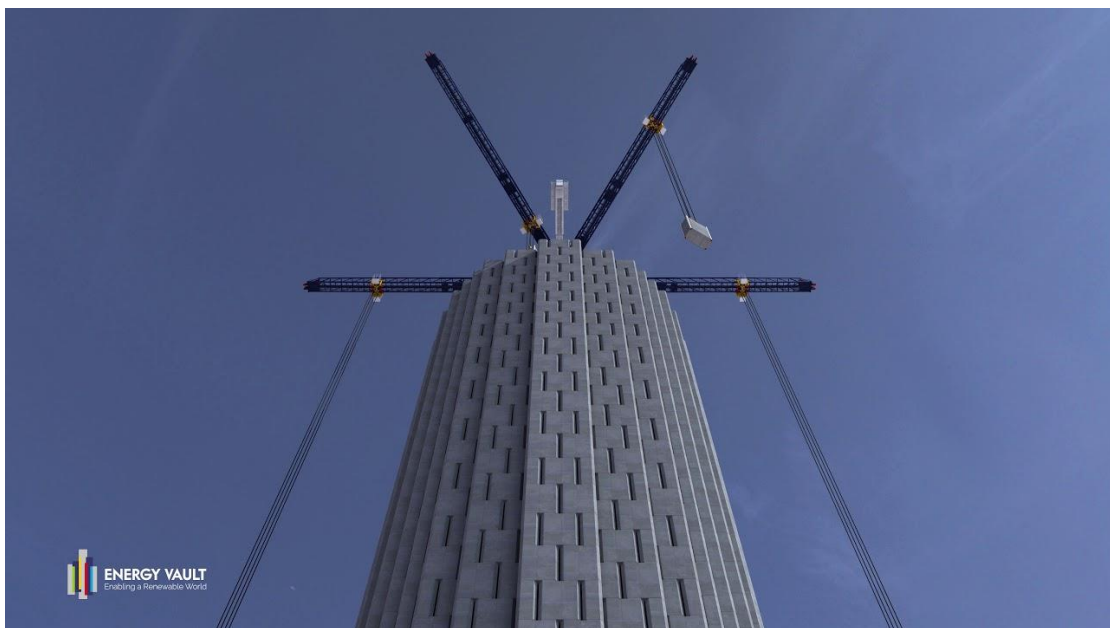
Η συσσώρευση πετρωμάτων με χρήση βράχων ή χαλκικών εξακολουθεί να είναι μια τυπική περίπτωση της λογικής TES. Το Σχήμα 2.5 δείχνει τη βασική διαδικασία μετατροπής της ηλιακής θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές αποκλειστικά σε CSP.



Σχήμα 2.5: Η διαδικασία μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια σε μια ηλιακή μονάδα συγκέντρωσης [15].

Το σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας Energy Vault Storage (EVS), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1, είναι ένα οικονομικά αποδοτικό σχέδιο αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ευρείας κλίμακας και με βάση τη βαρύτητα δεν βασίζεται στα φυσικά χαρακτηριστικά αλλά καθορίζεται από τη γεωλογία μιας περιοχής. Η τεχνολογία αποθήκευσης Energy Vault χρησιμοποιεί τα ίδια φυσικά χαρακτηριστικά και τα ίδια βασικά στοιχεία κινητικής ενέργειας με τη λύση PHES. Αλλά εδώ, το νερό αντικαθίσταται από τα παρασκευασμένα συνθετικά μπλοκ [15].

Χρησιμοποιώντας έτσι εξαιρετικά εφευρετικά και λιγότερο ακριβά υλικά. Αυτά τα προσαρμοσμένα σύνθετα μπλοκ χαμηλού κόστους, σε συνδυασμό με προηγμένη σχεδίαση συστήματος και έξυπνο λογισμικό ελέγχου, επιτρέπουν στο Energy Vault να προσφέρει όλα τα πλεονεκτήματα μιας λύσης PHES, αλλά σε πολύ χαμηλή τιμή και στο αρχικό μέγεθος, χωρίς την ανάγκη της εύρεσης της κατάλληλης τοποθεσίας. Οι παράμετροι λειτουργίας του αποθηκευτικού χώρου ενέργειας είναι ένα σύνθετο τούβλο 35 τόνων που αυξάνεται σε υψηλότερο επίπεδο για την ανέγερση ενός πύργου. Σε αυτή την περίπτωση η ενέργεια αποθηκεύεται στο ύψος που αποκτήθηκε. Στη συνέχεια, τα τούβλα επανέρχονται πίσω στο βασικό επίπεδο, όπου η ισχύς κίνησης που παράγεται από τα τούβλα που κινούνται γρήγορα από το υψηλότερο σε χαμηλότερο επίπεδο αντιστρέφονται ή μετατρέπονται σε προϊόν ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η τεχνολογία, περιλαμβάνει ενότητες ως βάση σχεδιασμού και αυτό είναι προσαρμόσιμο με το εύρος αποθήκευσης 20-35-80 MWh. Είναι κατά προτίμηση κατάλληλο για σημαντική περίοδο μακράς αποθήκευσης με εξαιρετικά γρήγορους χρόνους αντίδρασης. Αναμενόμενα, ο χρόνος αποθήκευσης είναι για μήνες έως έτη ή απεριόριστη περίοδος. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος που μπορεί να προσφέρει μια εύκολη αποθήκευση τόσο πιο ποιοτική είναι για το δίκτυο [15].



Εικόνα 2.1: Ενεργειακό Θησαυροφυλάκιο [15]

2.4.7 Ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μπαταρία

Τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία διαθέτουν ένα επαναφορτιζόμενο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας και έναν ηλεκτρικό κινητήρα (συνεχούς ή εναλλασσόμενο ρεύματος, ανάλογα με την τεχνολογία). Η μπαταρία φορτίζεται, είτε συνδέοντας το αυτοκίνητο σε μια κοινή πρίζα, είτε σε κάποιο εξοπλισμό παροχής ηλεκτρικών οχημάτων. Το επίπεδο της τάσης που φορτίζεται από τη μπαταρία, και επομένως και η ταχύτητα της φόρτισης, εξαρτάται από το πρότυπο που υλοποιείται. Για παράδειγμα, στη Βόρεια Αμερική χρησιμοποιείται το πρότυπο SAE J1772, το οποίο συντηρείται από την Ένωση Μηχανικών Αυτοκινούμενων Μέσων, και ορίζει τρία επίπεδα φόρτισης. Το πρώτο είναι εναλλασσόμενο μονοφασικό, τάσης 120V και ρεύματος 16A και το δεύτερο είναι επίσης εναλλασσόμενο μονοφασικό, τάσης 208-240V και ρεύματος μέχρι 80A. Όσον αφορά το τρίτο επίπεδο, το οποίο είναι το υψηλότερο για την πιο γρήγορη φόρτιση, δεν έχει προτυποποίηση ακόμα, αλλά γίνονται προσπάθειες προτυποποίησής του, και η προτεινόμενη τάση είναι 200-600 VDC, μέχρι 400A. Τα διαφορετικά επίπεδα φόρτισης εφαρμόζονται με στόχο ο χρήστης να μπορεί να φορτίσει το όχημα στο σπίτι του ή στο χώρο εργασίας του, μέσω μιας κοινής πρίζας με αργό ρυθμό, χωρίς εξειδικευμένο εξοπλισμό. Άλλος τρόπος φόρτισης, είναι σε κάποιο σταθμό φόρτισης, όπου η διαδικασία γίνεται πιο γρήγορα με αποτέλεσμα να μην αναλώνεται χρόνος στην φόρτιση του οχήματος κατά την διάρκεια ενός μεγάλου ταξιδιού. Ανάλογα με το επίπεδο φόρτισης, θα μπορούσε να εφαρμοστεί και διαφορετικός τρόπος φόρτισης, είτε μέσω καλωδίου, είτε με επαγωγική φόρτιση [18].

Μια άλλη ενδιαφέρουσα προσέγγιση που έχει προταθεί αντί για σταθμούς φόρτισης είναι η αλλαγή μπαταρίας. Αυτή η διαδικασία θα ήταν πολύ γρήγορη, και θα επέτρεπε μεγάλα ταξίδια χωρίς στάσεις για φόρτιση, αλλά θα απαιτούσε κάποιες προϋποθέσεις, όπως προτυποποίηση ενός περιορισμένου αριθμού τύπων μπαταρίας και παρόμοιας αρχιτεκτονικής στο σασί των αυτοκινήτων και των υποδομών αλλαγής μπαταρίας. Ένα παράδειγμα υλοποίησης αυτής της ιδέας είναι από την εταιρεία Better Place, η οποία το 2009 ξεκίνησε μια φιλόδοξη προσπάθεια να υλοποιήσει ένα δίκτυο σταθμών αλλαγής μπαταρίας και αυτοκινήτων στο Ισραήλ και στη Δανία. Παρόλο όμως που είχε ένα πολλά υποσχόμενο ξεκίνημα και μεγάλες χρηματοδοτήσεις από επενδυτές, δεν μπόρεσε να επηρεάσει την αγορά με τον τρόπο που ήθελε και χρεοκόπησε το 2013. Η εγκατάλειψη

της ιδέας και από την Tesla Motors δείχνει ότι ίσως οι καταναλωτές δεν είναι ακόμα έτοιμοι για την υλοποίησή της. Η μπαταρία είναι το πιο σημαντικό στοιχείο των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι απαιτήσεις για τις μπαταρίες διαφέρουν από αυτές των συμβατικών αυτοκινήτων και των μπαταριών για άλλους σκοπούς. Συγκεκριμένα, κάποια χαρακτηριστικά που έχουν μεγάλη σημασία για την εφαρμογή των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι [18]:

1. Η ισχύς, σε συνάρτηση και με το βάρος.
2. Η ενέργεια, σε συνάρτηση και με το βάρος.
3. Η χωρητικότητα αποθήκευσης.
4. Ο χρόνος απόκρισης.
5. Η αποδοτικότητα.
6. Η ευαισθησία στη θερμότητα.
7. Η περιβαλλοντική επίδραση.
8. Οι χρόνοι φόρτισης/εκφόρτισης και ο χρόνος ζωής σε κύκλους φόρτισης.
9. Το κόστος αγοράς και συντήρησης.

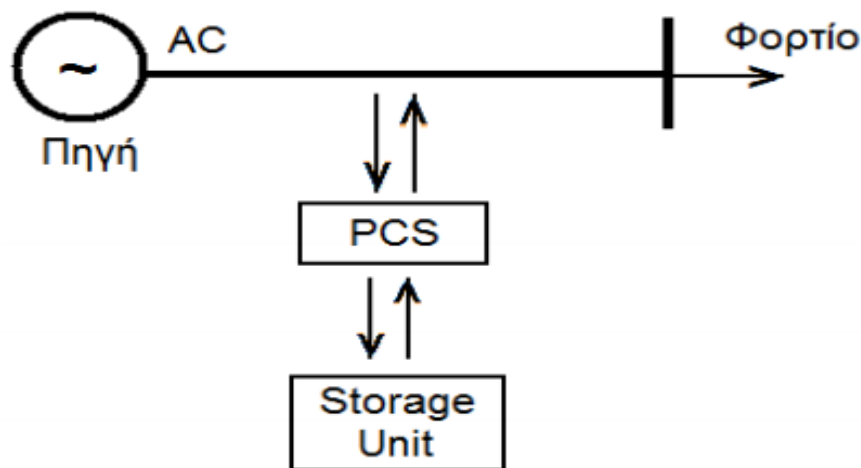
Ανάλογα με τον τύπο του ηλεκτρικού οχήματος και τον βαθμό εξηλεκτρισμού που υπάρχουν, υπάρχουν και διαφορές στις απαιτήσεις για την μπαταρία. Επίσης, ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την κατασκευή της μπαταρίας, έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα. Κάποια παραδείγματα τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται είναι μπαταρίες ιόντων λιθίου και μόλυβδου-οξέος. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μπαταρίες δεν έχουν μηχανή εσωτερικής καύσης και επομένως, η λειτουργία τους στηρίζεται πλήρως στη φόρτιση από το ηλεκτρικό δίκτυο. Επομένως, η διάδοσή τους είναι αυτή που θα επηρεάσει περισσότερο το δίκτυο ηλεκτροδότησης [18].

Καθώς η ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων επιταχύνεται, νέες ευκαιρίες θα προκύψουν για να προσφέρουν περισσότερες επιλογές από την απλή παροχή κινητικότητας υπηρεσιών. Τα ηλεκτρικά οχήματα, με σημαντική χωρητικότητα αποθήκευσης, μπορεί να παίξουν σημαντικό ρόλο στην υποστήριξη του συστήματος ισχύος. Τα ιδιωτικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούνται συνήθως για το 10% ή λιγότερο τον χρόνο, που σημαίνει ότι εάν συνδέονται με υποδομή φόρτισης τον υπόλοιπο χρόνο, είναι δυνητικά διαθέσιμα για την παροχή υπηρεσιών στο δίκτυο. Αυτό μπορεί να είναι τόσο απλό όσο η αλλαγή των χρόνων φόρτισης σε ώρες εκτός αιχμής, αλλά όταν διαχειρίζονται σωστά, οι μπαταρίες EV

μπορούν να τροφοδοτήσουν το σύστημα ισχύος και τελικά να βοηθήσουν στην ενσωμάτωση υψηλότερων κλασμάτων ΑΠΕ στο δίκτυο. Αυτό σημαίνει αλλαγή παραδείγματος, τόσο για τη μεταφορά όσο και για την ισχύ τους στον τομέα, επιτρέποντας μεγαλύτερη απαλλαγή από άνθρακα. Ωστόσο, η αποτελεσματική αντιμετώπιση αυτής της ευκαιρίας συνεπάγεται οικονομικότερες προτάσεις για τους πελάτες [18].

2.5 Οφέλη αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Το σύστημα αποθήκευσης και τα οφέλη της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για να συνδεθούν με το δίκτυο απαιτούν ένα σύστημα μετατροπής ισχύος (Power Conditioning System – PCS) που τοποθετείται ενδιάμεσα στη μονάδα αποθήκευσης (Storage Unit) και του δικτύου η σύνδεση αυτή φαίνεται στο Σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6: Σύνδεση μονάδας αποθήκευσης με το ηλεκτρικό δίκτυο [23]

Το PCS είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος που μετατρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα από εναλλασσόμενο σε συνεχές και αντίστροφα. Αυτό είναι απαραίτητο, καθώς οι μπαταρίες φορτίζονται με συνεχές ρεύμα, ενώ το δίκτυο λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα. Ως σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας δεν λογίζονται φυσικά μόνο οι μπαταρίες αλλά και οι μονάδες αντλησοταμίευσης. Ωστόσο, οι νέες εγκαταστάσεις αντλησοταμίευσης δεν επεκτείνονται καθώς απαιτούν ιδιαίτερη μορφολογία εδάφους και μεγάλους χώρους. Η αποθηκευτική ικανότητα ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας και ο χώρος που απαιτείται για την εγκατάστασή του είναι αλληλένδετα στοιχεία. Αντί λοιπόν να δεσμεύονται μεγάλοι χώροι για την εγκατάσταση

μεγάλων συστημάτων αποθήκευσης, πρέπει να χρησιμοποιούνται μικρότερες μονάδες αποθήκευσης σε διαφορετικά σημεία του συστήματος διανομής.

Η έννοια αυτή ονομάζεται κατανεμημένη αποθήκευση ενέργειας (Distributed Energy Storage – DES) [23].

Μελλοντικά είναι πιθανό αυτή η μέθοδος να είναι η πιο διαδεδομένη και να καταγράψει πολύ υψηλότερη διείσδυση απ' ό,τι η κατανεμημένη παραγωγή ισχύος.

Πιο συγκεκριμένα, οι τεχνολογίες DES περιλαμβάνουν μπαταρίες, σφονδύλους (flywheels), υπερπυκνωτές (supercapacitors) και υπεραγώγιμα πηνία (Superconducting Magnetic Energy Storage – SMES). Από τα παραπάνω, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι οι μπαταρίες και οι σφόνδυλοι. Αντίθετα με τις DES, οι τεχνολογίες αντλησοσταμείωσης και οι CAES είναι ογκώδης και απαιτούν μεγάλους χώρους για να εγκατασταθούν. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας έχει πολλαπλά οφέλη τα οποία αναλύονται παρακάτω [23]:

1. Υποστήριξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας: Η αποθήκευση μπορεί να μειώσει τις διακυμάνσεις στην παραγόμενη αιολική και ηλιακή ενέργεια. Επίσης, επιτρέπει την πώληση της καθαρής ενέργειας σε περιόδους όπου η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας έχει την υψηλότερη τιμή. Γεγονός που βοηθά στην γρηγορότερη απόσβεση της επένδυσης.
2. Αξιοπιστία και ποιότητα ισχύος: Η αποθήκευση αποτελεί δικλείδα ασφαλείας σε περίπτωση διακοπής ρεύματος, ώστε τα φορτία να συνεχίσουν να τροφοδοτούνται.
3. Έλεγχος άεργου ισχύος, διόρθωση συντελεστή ισχύος και ανύψωση τάσης: Τα ηλεκτρονικά των μονάδων αποθήκευσης της ισχύος παρέχουν τη δυνατότητα να μεταβάλλουν γρήγορα την ενεργό και άεργο ισχύ.
4. Ισοστάθμιση φορτίου: Η φόρτιση των μπαταριών γίνεται σε περιόδους όπου η ηλεκτρική ενέργεια έχει χαμηλό κόστος, δηλαδή όταν το συνολικό φορτίο είναι χαμηλό. Αντίστοιχα, η εκφόρτιση τους γίνεται όταν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλή, δηλαδή στην ζώνη αιχμής του φορτίου. Αυτό έχει ως συνέπεια την βελτίωση του συντελεστή ισχύος, την αναβολή της επέκτασης των μονάδων παραγωγής και την μειωμένη ανταλλαγή ενέργειας με τους σταθμούς, οι οποίοι καλύπτουν τα φορτία αιχμής.

5. Εφεδρεία συστήματος: Χάρη στην ικανότητα των μπαταριών να αυξομειώνουν την ταχύτητα στην εγχεόμενη στο δίκτυο ισχύ, μέσω των ηλεκτρονικών ισχύος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως αποθέματα του συστήματος, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για χρήση των ασύμφορων εφεδρικών σταθμών παραγωγής.
6. Αναβολή αναβάθμισης ηλεκτρικών γραμμών: Η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας έχει την τάση να αυξάνεται όσο η τεχνολογία προχωρά, γεγονός που απαιτεί και την τακτική αναβάθμιση των ηλεκτρικών γραμμών. Η τοποθέτηση μονάδων αποθήκευσης κοντά στα φορτία και η χρήση τους σε περιόδους υψηλής ζήτησης συμβάλλει στη μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται να μεταφερθεί μέσω των ηλεκτρικών γραμμών και συνεπώς η αναβάθμισή τους αναβάλλεται για το μέλλον.
7. Αναβολή εγκατάστασης νέων μονάδων παραγωγής: Όμοια με παραπάνω, οι κατάλληλα τοποθετημένες μονάδες αποθήκευσης ικανοποιούν τοπικά τα φορτία αιχμής και συνεπώς, η συνολική ζήτηση που αντιμετωπίζει το σύστημα δεν απαιτεί την κατασκευή νέων σταθμών παραγωγής για την κάλυψή της.
8. Υποστήριξη της κατανεμημένης παραγωγής: Οι μονάδες αποθήκευσης επιτρέπουν στην κατανεμημένη παραγωγή, όπως μικροστρόβιλοι και κυψέλες καυσίμου, να λειτουργούν με σταθερή παραγωγή, μειώνοντας ταυτόχρονα τις ανάγκες σε καύσιμα και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η εκφόρτιση των DES συστημάτων τις ώρες αιχμής συμβάλλει στην μείωση της απαιτούμενης εγκατεστημένης ισχύος σε κατανεμημένη παραγωγή.
9. Ευστάθεια του συστήματος: Οι διακυμάνσεις της ισχύος και της συχνότητας μπορούν να μειωθούν μεταβάλλοντας σε μικρά χρονικά διαστήματα την ενεργό και άεργο ισχύ που αποδίδει το σύστημα αποθήκευσης στο δίκτυο. Να αναφερθεί ότι το βελτιωμένο όριο ευστάθειας δημιουργείται χάρη στα ηλεκτρονικά ισχύος των DES συστημάτων.

Οι μονάδες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μας παρέχουν μειωμένη χρήση καυσίμων και περιβαλλοντικά οφέλη, χρησιμοποιούνται ως αποθέματα τις ώρες αιχμής, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για χρήση των λιγότερων αποδοτικών μονάδων παραγωγής. Οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούν ως καύσιμο το φυσικό αέριο, ενώ οι μπαταρίες μπορούν να φορτίζονται από ΑΠΕ, κι έτσι προκύπτουν επιπρόσθετα οφέλη από την χρήση των μονάδων αποθήκευσης. Επιπλέον, μειώνονται οι εκπομπές ρύπων καθώς και οι απώλειες

του συστήματος, αφού ο συντελεστής ισχύος του βελτιώνεται κι έτσι μειώνεται η χρησιμοποιούμενη ενέργεια [23].

Στους Πίνακες 2.1, 2.2 και 2.3 απεικονίζονται λεπτομερώς οι κατηγορίες των μονάδων αποθήκευσης με μια ανάλυση στα στοιχεία τους και ο διαχωρισμός γίνεται σε Μηχανική, Ηλεκτροχημική, Χημική και Θερμική Αποθήκευση.

Πίνακας 2.1: Μηχανική Αποθήκευση

Μηχανική			
Τεχνολογία	Αντλησιοταμίευση	Συμπιεσμένος αέρας	Ρότορας
Power	· 10MW-3GW	· 100MW-1GW	· 100kW-20MW
Ενέργεια	· έως 100 GWh	· έως 10 GWh	· 10-100 kWh
Αποδοτικότητα σε %	· 70-85	· 40-75	· 70-95
Βοηθητικό πρόγραμμα σε επίπεδο δικτύου	· Μετάδοση	· Μετάδοση	· Διανομή δικτύου
Πλεονεκτήματα	· Ώριμη τεχνολογία · Υψηλή πυκνότητα ισχύος · Μακροζωία	· Μακροζωία	· Υψηλή πυκνότητα ισχύος · Γρήγορη επαναφόρτιση · Χαμηλή συντήρηση
Μειονεκτήματα	· Γεωγραφικά περιορισμένη · Μεγάλος χρόνος παράδοσης · Μόνο κλίμακα δικτύου	· Γεωγραφικά περιορισμένη · Μεγάλος χρόνος παράδοσης · Μόνο κλίμακα δικτύου	· Χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα · Υψηλές τεχνικές απαιτήσεις · Μεγάλες απώλειες αναμονής
Αναπτυξιακή κατάσταση	· Έτος 2000: εφαρμογές παγκοσμίως	· Μόνο 2 σταθμοί παγκοσμίως	· Απαιτείται περαιτέρω ανάπτυξη

Πίνακας 2.2: Ηλεκτροχημική αποθήκευση

Ηλεκτροχημική			
Τεχνολογία	Li-ion	Μόλυβδου οξέος	Κυψέλη ροής
Power	· 1kW-100MW	· Μερικά kW-100MW	· Μερικά kW - 100MW
Ενέργεια	· έως 100 MWh	· έως 10 MWh	· 100 kWh έως μερικές MWh
Αποδοτικότητα σε %	· 85-98	· 75-90	· 60-85
Βοηθητικό πρόγραμμα σε επίπεδο δικτύου	· Διανομή δικτύου	· Διανομή δικτύου	· Διανομή δικτύου
Πλεονεκτήματα	· Υψηλή πυκνότητα ισχύος · Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα · Υψηλής απόδοσης	· Οικονομική	· Ενέργεια υψηλού κύκλου ζωής · Ισχύς ανεξάρτητα κλιμακούμενη
Μειονεκτήματα	· Διαθεσιμότητα λιθίου Αναδυόμενη Δαπανηρή τεχνολογία	· Υψηλή συντήρηση περιβάλλοντος · Κίνδυνοι Μικρής διάρκειας ζωής	· Ακριβή συντήρηση για τη Όξινη διαρροή · Υψηλό κόστος για το διάλυμα οξειδοαναγωγής
Αναπτυξιακή κατάσταση	· Χρησιμοποιείται ευρέως στο εμπόριο	· Ώριμη τεχνολογία	· Ανάπτυξη

Πίνακας 2.3: Χημική αποθήκευση και θερμική

	Χημική		Θερμική
Τεχνολογία	· Υδρογόνο	· Μεθάνιο	· Αντλία θερμότητας τηλεθέρμανσης συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας
Power	· 1kW-1GW	· 1MW-1GW	· kW-MW
Ενέργεια	· 10 kWh έως αρκετά GWh	· 1 MWh έως αρκετά GWh	· kWh-MWh
Αποδοτικότητα σε %	· 25-45	· 25-30	· Εξαρτάται από την τεχνολογία
Βοηθητικό πρόγραμμα σε επίπεδο δικτύου	· Διανομή δικτύου	· Δίκτυο	· Διανομή δικτύου
Πλεονεκτήματα	· Μπορεί να αποθηκευτεί υπόγεια · Υψηλό επίπεδο αποθήκευσης ενέργειας	· Μακροχρόνια αποθήκευση · Συμβατό με την υπάρχουσα τεχνολογία φυσικού αερίου	· Χρήσιμο για την αποθήκευση ηλιακής θέρμανσης -Τηλεθέρμανση -Καθιερωμένη τεχνολογία -Καθιερωμένη τεχνολογία αντλίας θερμότητας
Μειονεκτήματα	· Υψηλού κόστους ηλεκτρόλυση · Πυκνότητα αποθήκευσης μικρότερη από το μεθάνιο · Λειτουργικό κόστος που συνδέεται με την τιμή ηλεκτρικής ενέργειας	· Χαμηλή απόδοση · Υψηλό κόστος	· Αργή απόκριση
Αναπτυξιακή κατάσταση	· Ανάπτυξη φάσης επίδειξης	· Αρχικό στάδιο ανάπτυξης πιλοτικών έργων	· Διαφημιστικό στάδιο CSP

Οι εκτιμήσεις κόστους μπορεί να είναι προκλητικές για τις τεχνολογίες αποθήκευσης, όμως το κόστος ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τη γεωγραφία (ειδικά για τα αντλούμενα υδροηλεκτρικά και συστήματα πεπιεσμένου αέρα) και είναι δύσκολο να εκτιμηθούν για αναδυόμενες τεχνολογίες. Ο Πίνακας 2.4 επισκόπηση του κόστους, παρέχει μια επισκόπηση του κόστους των τεχνολογιών αποθήκευσης [19].

Πίνακας 2.4: Επισκόπηση του κόστους

Technology	Cost/kW (power)	Cost/kWh (storage)
Pumped Hydro	\$1500-\$4300	\$250-430
Compressed Air	\$800-\$1500	\$125/kWh
Lead-Acid	\$1700-\$4900	\$450-\$950
Li-ion	\$1000	\$500-\$850
Flow Batteries	\$3100-\$3700	\$520-\$550
Nas	\$3100-\$3300	\$520-\$550
Hydrogen	\$500-\$1200	\$75

Η αύξηση της τιμής του άνθρακα έχει δύο αποτελέσματα στα μοντέλα αποθήκευσης [6]:

- Πρώτον, ανάλογα με την αποδοτικότητα των ορυκτών καυσίμων και των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγή της αξίας της οριακής τιμής και το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ένας λεγόμενος «διακόπτης καυσίμου», καθιστώντας την παραγωγή από πηγές χαμηλών εκπομπών άνθρακα φθηνότερη από τις πηγές υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα.
- Δεύτερον, με την τιμή του CO₂ γίνεται κυρίαρχο μέρος στο οριακό κόστος μιας τεχνολογίας, όταν η τιμή της χονδρικής ηλεκτρικής ενέργειας είναι λιγότερο κατανομημένη, κατά συνέπεια, οι ευκαιρίες για ESS μειώνονται.

Το υψηλό κόστος που σχετίζεται με την εγκατάσταση ESS και ιδιαίτερα το υψηλό επενδυτικό κόστος, είναι το κύριο εμπόδιο για την ανάπτυξη αυτών των χρήσιμων συσκευών. Αν και έχουν προταθεί νέες τεχνολογικές εξελίξεις ελαχιστοποίησης του προβλήματος, τα ESS δεν είναι ακόμη συγκρίσιμα με άλλους συμβατικούς εξοπλισμούς στο δίκτυο διανομής. Μία από τις πρακτικές λύσεις για να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο είναι να ληφθούν όλες οι εφαρμογές εκτός του ESS ταυτόχρονα. Με άλλα λόγια, η εξαγωγή πολλαπλών εφαρμογών των ESS μπορεί να βοηθήσει να αυξηθούν τα οφέλη τους, να ενισχυθεί η αποδοτικότητα του κόστους και να δικαιολογηθεί το υψηλό επενδυτικό κόστος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ένα βέλτιστο επενδυτικό σχέδιο για τα ESS στο δίκτυο διανομής [6].

Τα εμπόδια της αγοράς είναι τα πρώτα που έρχονται στο μυαλό κατά τη συζήτηση που αντιμετωπίζει η αποθήκευση. Υπάρχουν διάφορες υπηρεσίες που η αποθήκευση μπορεί να αυξήσει το κέρδος. Μεταξύ αυτών είναι οι μαύρες εκκινήσεις, η αδρανειακή απόκριση, η αποφυγή εκκίνησης της μονάδας θερμικής παραγωγής, η αύξηση της αποδοτικότητας του συστήματος που μεταφράζεται σε χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου και η πιθανή μείωση των εκπομπών. Ιστορικά, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και οι ρυθμιστικές αρχές εποπτεύουν τη λειτουργία της συμβατικής θερμικής παραγωγής. Ο σχεδιασμός της αντιστάθμισης εξελίχθηκε γύρω από τις δυνατότητες και τα πρότυπα αυτών των τύπων. Η αγορά ενέργειας είναι αυτή που δημιουργεί τη συντριπτική πλειοψηφία των εσόδων για τους παραγωγούς, με μόνο ένα μικρό μερίδιο των εσόδων να προέρχεται από βοηθητικές υπηρεσίες. Οι βοηθητικές υπηρεσίες είναι η τιμολόγηση με βάση το κόστος που προκύπτει λόγω της ικανότητας από την ενεργειακή τους αγορά να παρέχεται στην βοηθητική αγορά. Επιπλέον, η παροχή βοηθητικών υπηρεσιών μπορεί γενικά να παρέχεται εύκολα από μια

γεννήτρια, αφού η γεννήτρια είναι ήδη για την παροχή ενέργειας. Για αποθήκευση όμως, η κατάσταση είναι πολύ διαφορετική. Η συσκευή αποθήκευσης μπορεί να αναπτυχθεί αποκλειστικά για τις βοηθητικές υπηρεσίες. Επομένως, εάν η συσκευή αποθήκευσης είναι αρκετά μεγάλη για παροχή στο σύνολο της βοηθητικής υπηρεσίας που απαιτείται, στη συνέχεια η τιμή παροχής βοηθητικών υπηρεσιών μπορεί να πέσει στο (σχεδόν) μηδέν και ο χώρος αποθήκευσης δεν θα λάβει καθόλου ή θα λάβει λίγα έσοδα για την ανάκτηση του κεφαλαιουχικού κόστους. Υπηρεσίες τιμολόγησης με βάση το οριακό κόστος είναι κατάλληλες για τις υπάρχουσες, οι οποίες διαθέτουν σημαντικό σταθερό και μεταβλητό κόστος λειτουργίας. Ωστόσο, για αποθήκευση, όπου το κόστος κεφαλαίου είναι υψηλό αλλά το λειτουργικό κόστος είναι χαμηλό, αυτό το κλασικό σύστημα αντιστάθμισης της αγοράς είναι προβληματικό. Αυτό το τελευταίο, ισχύει και για της ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτή η παρατήρηση του τρόπου με τον οποίο η αποθήκευση μπορεί να αλλοιώσει τις τιμές της αγοράς είναι εξαιρετικά σημαντική, όταν συζητάμε για την αξία της αποθήκευσης. Είναι πιθανό, ότι η αποθήκευση μπορεί να καταρρεύσει σε ένα συγκεκριμένο βαθμό, εάν η συσκευή αποθήκευσης είναι αρκετά μεγάλη (λαμβάνοντας υπόψιν ότι η αγορά βοηθητικών υπηρεσιών είναι μικρή). Ως εκ τούτου, υποθέτοντας ότι η αποθήκευση και η τεχνολογία θα αμείβονται στην τιμή της αγοράς (δηλαδή να λαμβάνει τιμές) είναι μια υπόθεση που πρέπει να γίνει με προσοχή [17].

2.6 Μελλοντική ανάπτυξη των τεχνολογιών των μπαταριών

Τα βασικά ζητήματα για τη μελλοντική ανάπτυξη της τεχνολογίας μπαταριών σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας είναι η απαίτηση λεπτομερούς τεχνοοικονομικής αξιολόγησης, η έλλειψη πολλαπλών κατασκευών που σταματούν την ανάπτυξη, και η επίτευξη οικονομικής κλίμακας στο εγγύς μέλλον. Συνολικά, το βασικό ζήτημα για μελλοντική ανάπτυξη και εμπορικά η εκκίνηση στατικών μπαταριών είναι το κεφαλαιουχικό κόστος. Αυτό καθορίζεται ως το κόστος ανά μονάδα ενέργειας, διαιρούμενο με τη διάρκεια του κύκλου και ο μακρύ κύκλος απόδοσης των μπαταριών [20]. Στο πλαίσιο της λειτουργίας τεχνολογιών EES, οι παράμετροι έχουν ως εξής:

- Η χωρητικότητα και η διάρκεια αποθήκευσης.
- Η διαθέσιμη ισχύς.
- Ο ρυθμός μετάδοσης ισχύος.

- Ο χρόνος εκφόρτισης.
- Η αποτελεσματικότητα της ενέργειας σχετίζεται τόσο με τη βελτιστοποίηση της ενέργειας όσο και με τις οικονομικές επιδόσεις του εργοστασίου EES.
- Ο κύκλος ζωής και η διάρκεια ζωής.
- Η αυτονομία.
- Το κόστος.
- Η σκοπιμότητα και προσαρμογή στην πηγή παραγωγής.
- Η αυτοεκφόρτιση.
- Οι πυκνότητες ενέργειας μάζας και όγκου.
- Ο εξοπλισμός παρακολούθησης και ελέγχου.
- Η αξιοπιστία.
- Η ασφάλεια και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της ανακύκλωσης.
- Η ωριμότητα της τεχνολογίας.
- Οι άλλες προδιαγραφές σχετικά με τις εξελίξεις της τεχνολογίας.

Μια συνοπτική περιγραφή των τάσεων τιμολόγησης για την αποθήκευση ενέργειας έχουν ως εξής:

- Η τάση τιμών CAES αυξάνεται περαιτέρω ανάλογα με την εξέλιξη των τεχνολογικών εξελίξεων.
- Η τάση τιμολόγησης PHS είναι σταθερή.
- Η τάση τιμολόγησης μπαταριών μειώνεται περαιτέρω ανάλογα με την αύξηση των εγκαταστάσεων.
- Η τεχνολογία υπερπυκνωτών βρίσκεται σε αρχικό στάδιο, επομένως δεν θα πρέπει να τεθεί σε λειτουργία η ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας.
- Η τάση τιμολόγησης των FES μειώνεται μακροπρόθεσμα.

Κεφάλαιο 3 Ανάλυση EnergyPLAN

3.1 Μοντέλο EnergyPLAN

Το EnergyPLAN είναι ένα εύχρηστο εργαλείο σχεδιασμένο σε ένα σύνολο φύλλων καρτελών και προγραμματισμένο σε Delphi Pascal γλώσσα λογισμικού. Ένα βασικό χαρακτηριστικό του EnergyPLAN είναι ότι η ανάλυση πραγματοποιείται ανά μια ώρα για περίοδο ενός έτους με βάση είτε στρατηγικές βελτιστοποιήσεις είτε στρατηγικές οικονομικής αγοράς [11],[24].

Ο υπολογισμός ενός έτους χρειάζεται μόνο λίγα δευτερόλεπτα σε έναν κανονικό υπολογιστή για να διεξαχθεί. Το μοντέλο στοχεύει κυρίως στην υποβοήθηση του σχεδιασμού της εθνικής ενέργειας και στον σχεδιασμό στρατηγικών με ανάλυση των αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών εθνικών ενεργειακών συστημάτων και επενδύσεων τεχνικά ή οικονομικά. Αυτό γίνεται με την προσομοίωση ολόκληρου του ενεργειακού συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της θερμότητας, της ηλεκτρικής ενέργειας, μεταφορών και βιομηχανικών τομέων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ της παραγωγής μονάδας συμπαραγωγής και της κυμαινόμενης ανανεώσιμης πηγής ενέργειας [11],[24].

Για παράδειγμα, η πρόκληση της ενσωμάτωσης της κυμαινόμενης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση έξυπνων δικτύων δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μεμονωμένο ζήτημα, αλλά πρέπει να θεωρηθεί ως ένας κύριος στόχος για επίτευξη προσέγγισης των βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων γενικώς. Ως εκ τούτου, το EnergyPLAN έχει σχεδιαστεί για να είναι ένα εργαλείο στο οποίο μπορούν να υπάρχουν ηλεκτρικά έξυπνα δίκτυα συντονισμένα με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και για άλλους σκοπούς εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στο πρόγραμμα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μετατρέπονται σε άλλες μορφές εκτός από την ηλεκτρική ενέργεια, συμπεριλαμβανομένων θερμότητα, υδρογόνο, συνθετικά αέρια και βιοκαύσιμα, εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και βελτίωση της αποδοτικότητας όπως η ΣΗΘ [11],[24].

Τέτοια μέτρα έχουν τη δυνατότητα να αντικαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα ή να βελτιώσουν την αποδοτικότητα του συστήματος. Τα μακροπρόθεσμα σχετικά συστήματα

είναι εκείνα στα οποία τα μέτρα συνδυάζονται με την ενέργεια για την βελτίωση και την διατήρηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος. Κατά συνέπεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το εργαλείο EnergyPLAN για αναλύσεις που απεικονίζουν, για παράδειγμα, το λόγο που τα έξυπνα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να θεωρούνται μέρος του συνολικού έξυπνου ενεργειακού συστήματος

Στο μοντέλο, η τηλεθέρμανση χωρίζεται σε τρία ξεχωριστά συστήματα: Ένα προορίζεται για συστήματα μόνο με λέβητα, ένα προορίζεται για μικρά συστήματα ΣΗΘ και ένα για μεγάλες μονάδες ΣΗΘ και μονάδες εξαγωγής [11],[24].

Κατά συνέπεια, το εργαλείο EnergyPLAN δεν υπολογίζει μόνο ένα ωριαίο ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά επίσης ωριαία ισοζύγια τηλεθέρμανσης, ψύξης, υδρογόνου και φυσικού αερίου, συμπεριλαμβανομένων των εισφορών από βιοαέριο, αεριοποίηση καθώς και ηλεκτρόλυση και υδρογόνωση.

Στο μοντέλο του υδρογόνου υπολογίζεται ως τρία ξεχωριστά συστήματα: Ένα για ΣΗΘ και σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, ένα για τις μικρές CHP, και ένα κοινό σύστημα για την παραγωγή υδρογόνου για μεταφορά και υδρογόνωση. Η απεικόνιση των στοιχείων που εμπλέκονται όταν το μοντέλο EnergyPLAN υπολογίζει την ωριαία εξισορρόπηση του Συστήματος GAS GRID που περιλαμβάνει αλληλεπιδράσεις με άλλα μέρη ολόκληρου του συστήματος.

Αρχικά, δημιουργείται ένα μοντέλο αναφοράς για να επιτρέψετε στο EnergyPLAN να προσομοιώσει σωστά το ενεργειακό σύστημα. Το μοντέλο αναφοράς συνήθως δεν απαιτεί χρηματοοικονομικά στοιχεία, καθώς συγκρίνεται μόνο η τεχνική απόδοση. Δημιουργώντας ένα μοντέλο αναφοράς χρησιμοποιώντας τεχνικές εισροές, μπορείτε να προσθέσετε καύσιμο και επένδυση για να πραγματοποιήσετε κοινωνικοοικονομική ανάλυση του ενεργειακού σας συστήματος. Επομένως, μπορείτε να δημιουργήσετε εναλλακτικές λύσεις και να τις συγκρίνετε ως προς την τεχνική απόδοση και το ετήσιο κόστος λειτουργίας [11],[24].

Μπορείτε να προσθέσετε ένα εξωτερικό κόστος αγοράς ενέργειας για να ολοκληρώσετε την προσομοίωση αγοράς στο EnergyPLAN.

Αυτό μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε τη βέλτιστη απόδοση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας από οικονομική επιχειρηματική άποψη και όχι από τεχνική άποψη. Ωστόσο,

συνήθως ο στόχος είναι όταν δημιουργούνται μελλοντικές εναλλακτικές λύσεις είτε να επιτευχθεί το βέλτιστο επιχειρηματικο-οικονομικό σενάριο, είτε να μεταβληθεί ώστε να αντιπροσωπεύει το βέλτιστο κοινωνικοοικονομικό σενάριο (δηλαδή με προσαρμογή των φόρων), καθώς αυτό είναι το πιο επωφελές για την κοινωνία.

Τέλος, πριν συζητήσουμε τα δεδομένα που συλλέγονται, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε το είδος των δεδομένων που απαιτεί το EnergyPLAN. Συνήθως, το μοντέλο EnergyPLAN απαιτεί τα ακόλουθα τεχνικά [11],[24]:

1. Η συνολική ετήσια παραγωγή/ζήτηση (δηλαδή TWh/έτος).
2. Η χωρητικότητα της εγκατεστημένης μονάδας (δηλαδή MW).
3. Η ωριαία κατανομή της συνολικής ετήσιας παραγωγής/ζήτησης, τα οποία έχουν τα ακόλουθα κριτήρια:
 - Πρέπει να υπάρχουν 8784 σημεία δεδομένων, ένα για κάθε ώρα.
 - Τα σημεία δεδομένων είναι συνήθως μεταξύ 0 και 1, αντιπροσωπεύοντας το 0-100% της παραγωγής/ζήτησης.
 - Ωστόσο, εάν μια κατανομή έχει εισαχθεί με τιμές μεγαλύτερες από 1, το EnergyPLAN θα καταχωρήσει αυτόματα την κατανομή. Αυτό γίνεται διαιρώντας κάθε καταχώριση κατανομής κατά τη μέγιστη τιμή στη διανομή. Αυτό σημαίνει ότι το ιστορικό από τα ωριαία δεδομένα μπορεί να χρησιμοποιηθούν απευθείας στο EnergyPLAN για τη διανομή.

3.2 Ανάλυση ενεργειακών συστημάτων μέσω του EnergyPLAN

Διαφορετικά είδη ανάλυσης ενεργειακών συστημάτων μπορούν να πραγματοποιηθούν από το EnergyPLAN:

Τεχνική ανάλυση του εθνικού ενεργειακού συστήματος βάσει διαφόρων στρατηγικών τεχνικής ρύθμισης, όπως [11],[24]:

1. Εξισορρόπηση των απαιτήσεων θερμότητας.
2. Εξισορρόπηση τόσο των απαιτήσεων θερμότητας όσο και της ηλεκτρικής ενέργειας
3. Εξισορρόπηση τόσο των απαιτήσεων θερμότητας όσο και της ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας παράλληλα τη ΣΗΘ, όταν απαιτείται εν μέρει για τη σταθεροποίησή του δικτύου.
4. Εξισορρόπηση ζήτησης θερμότητας με τριπλή χρέωση.

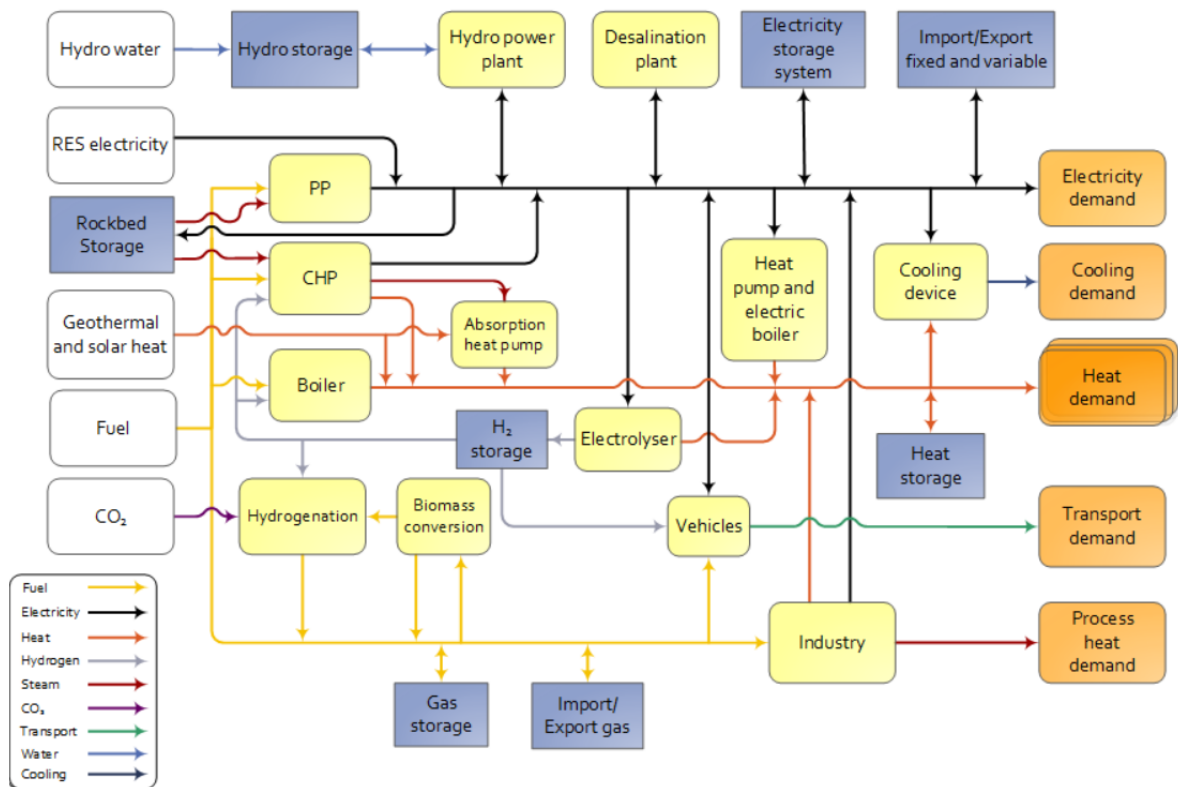
Η τεχνική ανάλυση προϋποθέτει ενεργειακές απαιτήσεις, παραγωγή, αποδοτικότητα και ικανότητες καθώς και ενέργεια πηγών εισροών. Οι εκροές είναι ετήσια ισοζύγια ενέργειας, κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές CO₂.

Μια οικονομική ανάλυση του εμπορίου και των ανταλλαγών στις διεθνείς αγορές ηλεκτρικής ενέργειας αναφέρει ότι απαιτούνται πρόσθετες εισροές για τον καθορισμό των τιμών στην αγορά και την εκτίμηση της ανταπόκρισης των τιμών στις αλλαγές εισαγωγής/εξαγωγής. Επίσης πρέπει να εισαχθούν οικονομικά στοιχεία για το οριακό κόστος παραγωγής των μονάδων, κάθε ανάλυση βελτιστοποιείται σύμφωνα με τα οικονομικά κέρδη [11],[24].

Οι μελέτες σκοπιμότητας μπορούν να διεξαχθούν με το EnergyPLAN με την προσθήκη δεδομένων για επενδυτικό κόστος, λειτουργία και κόστος συντήρησης, διάρκειας ζωής και επιτόκια. Επιπλέον, οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις των παραγωγών μπορούν να οριστούν. Βασικά, το μοντέλο διαφοροποιεί τον τεχνικό κανονισμό και τον κανονισμό αγοράς-οικονομίας, αφού μόνο τότε μπορεί να επιλεγεί μία από τις δύο στρατηγικές βελτιστοποίησης. Η τεχνική βελτιστοποίησης ελαχιστοποιεί την εισαγωγή/εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στοχεύει στον προσδιορισμό της λύσης με τη χαμηλότερη δυνατή κατανάλωση καυσίμου. Η βελτιστοποίηση της αγοράς-οικονομίας προσδιορίζει τη λύση με το χαμηλότερο δυνατό κόστος με βάση το επιχειρηματικο-οικονομικό κόστος κάθε μονάδας παραγωγής [11],[24].

3.3 Τεχνικά δεδομένα

Το EnergyPLAN προσομοιώνει ένα χρόνο σε ωριαία βήματα. Για να δημιουργηθεί ένα αρχικό μοντέλο, επιλέχθηκε το έτος 2020 επειδή αυτό ήταν το πιο πρόσφατο πλήρες έτος. Η καρτέλα στη «Μπροστά σελίδα» που εμφανίζεται στο Σχήμα 3.1 δείχνει ένα δείγμα διαγράμματος ροής, που δείχνει πώς όλα τα διαφορετικά στοιχεία ενός συστήματος ισχύος που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Η καρτέλα "Εισαγωγή" χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις παραμέτρους του εν λόγω ενεργειακού συστήματος. Η καρτέλα "Κόστος" χρησιμοποιείται για την εισαγωγή του κόστους που σχετίζεται με το ενεργειακό σύστημα που ερευνάται και η καρτέλα «Έξοδος» χρησιμοποιείται για την ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνάς μας. Τέλος, η καρτέλα "Ρυθμίσεις" επιτρέπει στον χρήστη να αλλάξει την κλίμακα των μονάδων στο πρόγραμμα.

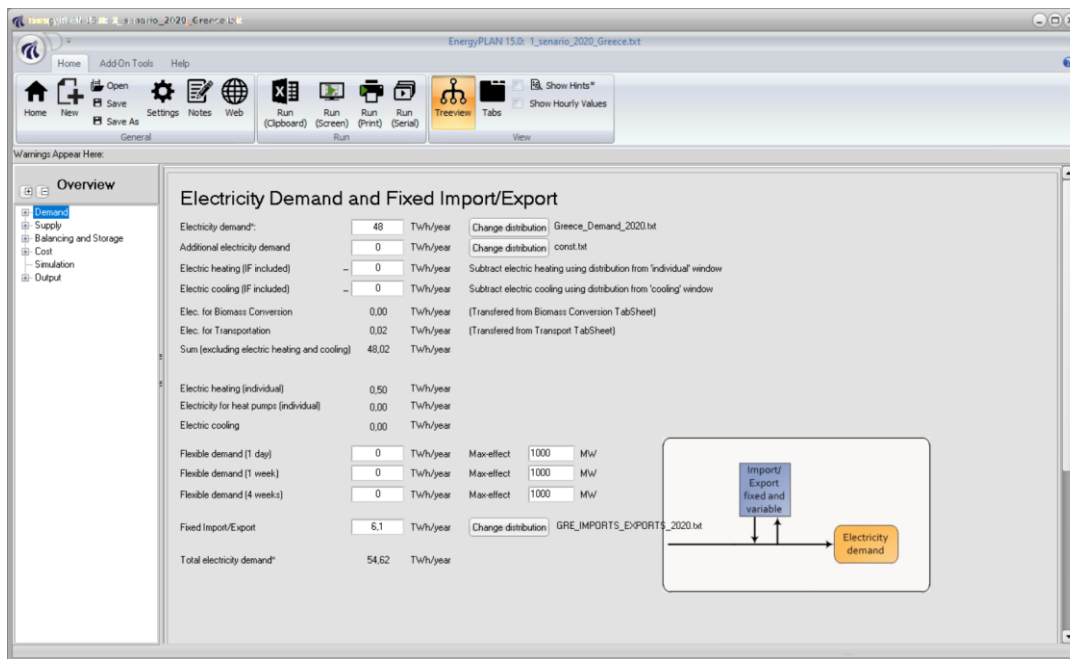


Σχήμα 3.1: Διάγραμμα ροής του μοντέλου EnergyPLAN

3.4 Καρτέλα Ζήτησης

Παρακάτω είναι μια σύντομη περιγραφή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην καρτέλα "Ζήτηση" στο μοντέλο. Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται από μια ετήσια τιμή (TWh ανά έτος) και μπορεί κάποιος να καθορίσει μια σταθερή εισαγωγή/εξαγωγή. Η καρτέλα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.2.

Επιπλέον, μπορεί κανείς να ορίσει διάφορα είδη ευέλικτης ηλεκτρικής ενέργειας Day, Week και 4Week σε συνδυασμό με τιμές μέγιστης χωρητικότητας. Να σημειωθεί επίσης ότι κάθε υποκατηγορία σε αυτήν την ενότητα αντιπροσωπεύει δεδομένα που απαιτούνται για διαφορετική καρτέλα στο EnergyPLAN. Το πρώτο κομμάτι πληροφοριών που θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι το «Υπόλοιπο ενέργειας» για τη χώρα ή την περιοχή. Αυτά τα έγγραφα θα ζητηθούν από διάφορες αρχές ή θα αγοραστούν ή θα γίνει έρευνα στο διαδίκτυο. Η έρευνα του διαδικτύου είναι ο πιο οικονομικός και εύκολος τρόπος ώστε να υπάρξει πρόσβαση στα δεδομένα.



Σχήμα 3.2: Καρτέλα με τα στοιχεία της κατανάλωσης

Οι οργανισμοί από όπου λήφθηκαν τα κυρίως δεδομένα είναι κατά σειρά:

1. <https://www.rae.gr/>
2. <https://www.admie.gr/>
3. <https://www.dei.gr/el>
4. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>

Τα μετεωρολογικά δεδομένα αποδείχθηκαν επίσης πολύ σημαντικά κατά την πρόβλεψη παραγωγής των ΑΠΕ. Τα μετεωρολογικά δεδομένα είναι συνήθως διαθέσιμα από μετεωρολογικές υπηρεσίες.

1. <http://www.hnms.gr/emy/el/>
2. <https://www.dapeep.gr/>

3.4.1 Ηλεκτρισμός

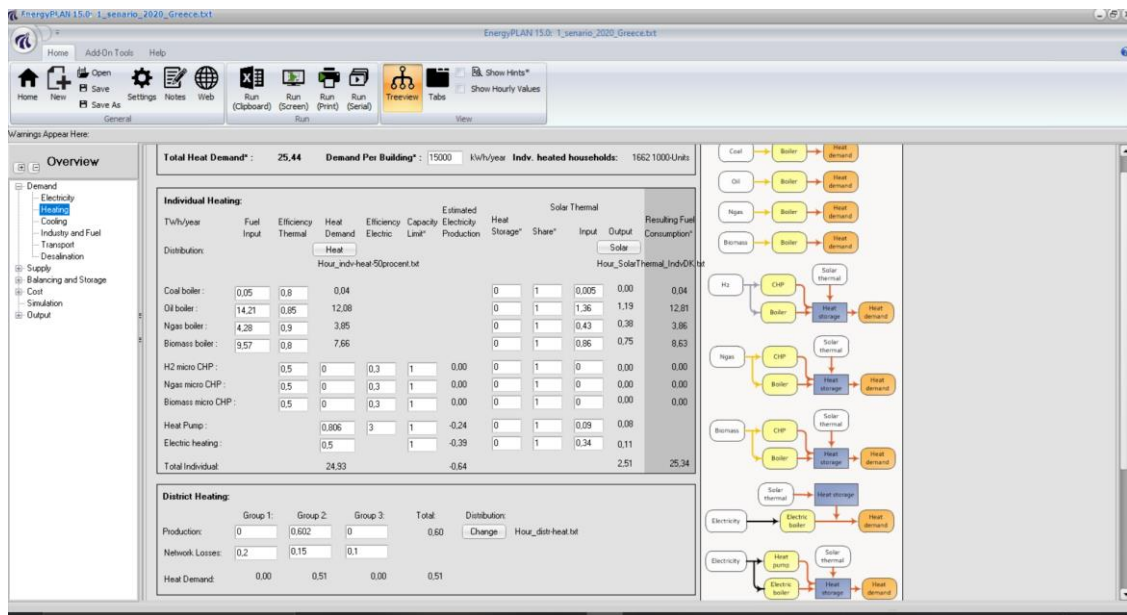
Η συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ελήφθη από τον ελληνικό διαχειριστή συστήματος. Ένας κατάλογος των χωρών του ENTSO-E είναι διαθέσιμος από όπου μπορούν να ληφθούν τα δεδομένα. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

1. Δεδομένα παραγωγής.
2. Δεδομένα κατανάλωσης.
3. Ανταλλαγή δεδομένων.

4. Διάφορα δεδομένα.

3.4.2 Θέρμανση

Για το ενεργειακό μοντέλο χρειάστηκε να συμπεριληφθεί η τηλεθέρμανση σε μια μικρή ποσότητα η οποία εκτιμήθηκε στα 0,602 TWh στην Ελλάδα. Η καρτέλα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3: Καρτέλα με τα στοιχεία της τηλεθέρμανσης

3.4.3 Ψύξη

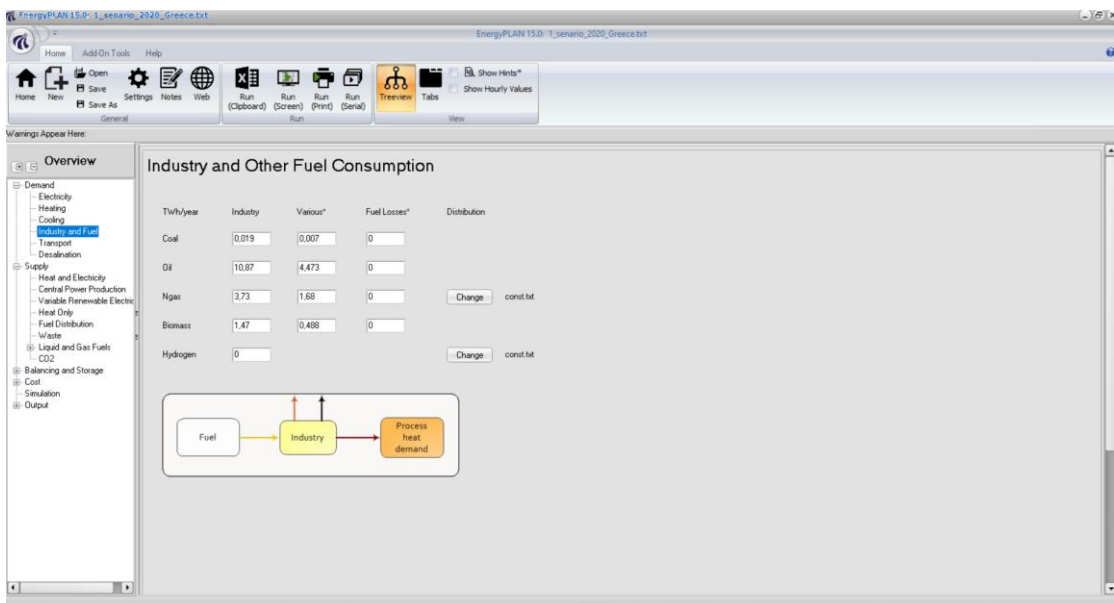
Επί του παρόντος υπάρχουν μικρές ποσότητες ψύξης η οποίες φτάνοντας 0,821 TWh συγκεκριμένα δεδομένα φορτίου ψύξης στην Ελλάδα. Η καρτέλα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4: Καρτέλα με τα στοιχεία της ψύξης

3.4.4 Καύσιμα

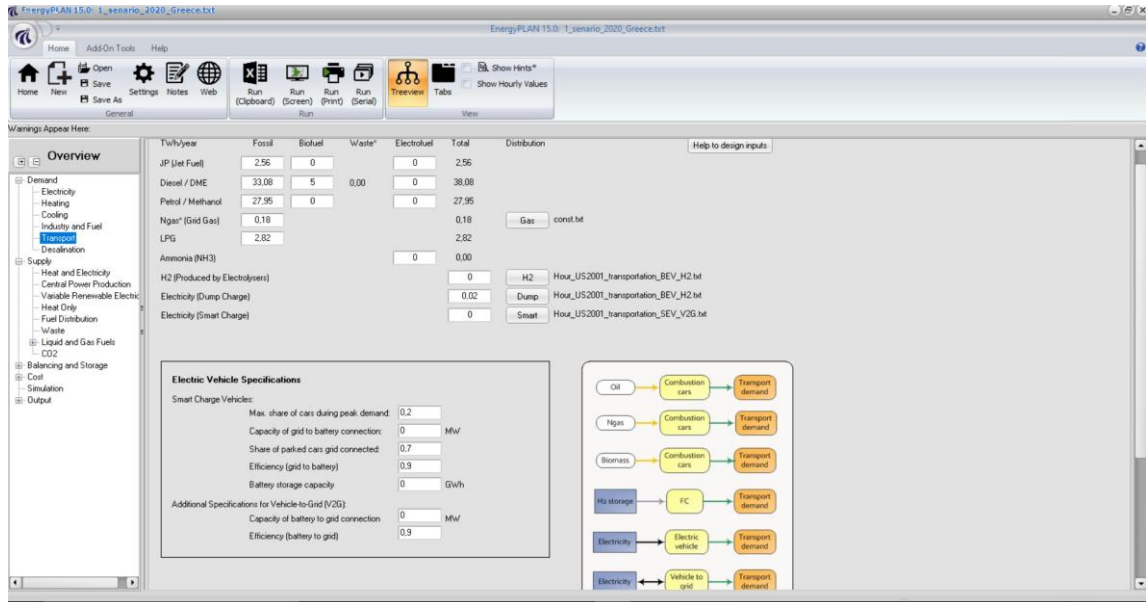
Η κατανάλωση κάθε καυσίμου που καταναλώνεται στη βιομηχανία μπορεί να βρεθεί στο ενεργειακό ισοζύγιο. Η καρτέλα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.5. Η ένδειξη «Διάφορα» χρησιμοποιείται μόνο εάν η κατανάλωση δεν μπορεί να προσδιοριστεί διαφορετικά ή πρέπει να αναλυθεί ανεξάρτητα.



Σχήμα 3.5: Καρτέλα με τα στοιχεία των καυσίμων

3.4.5 Μεταφορά

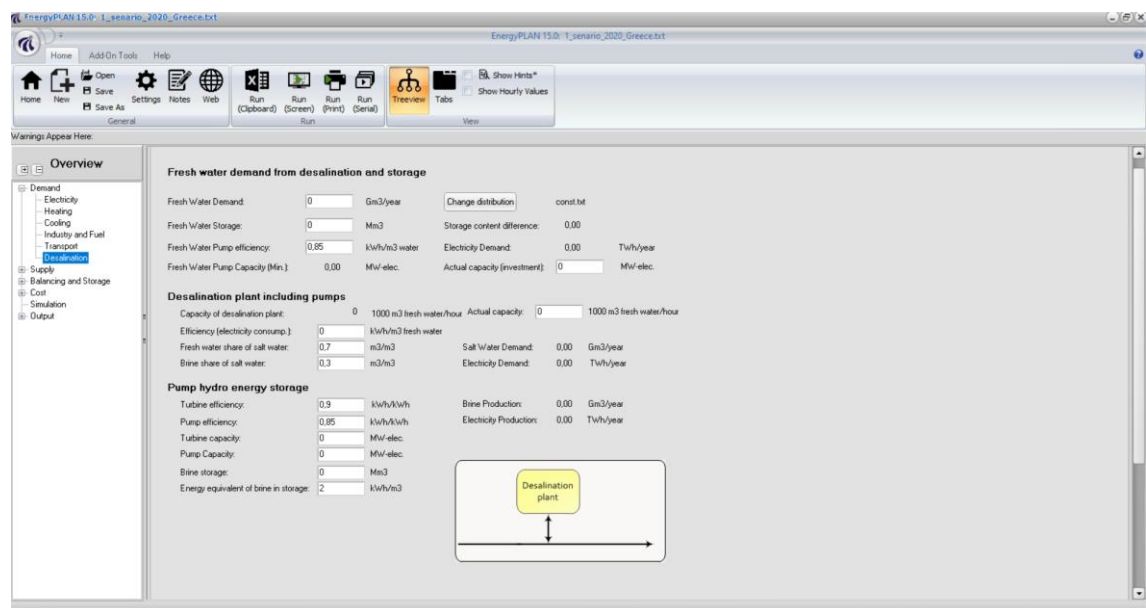
Η ποσότητα του καυσίμου που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά είναι διαθέσιμη ανάλογα με τον τύπο του καυσίμου. Η καρτέλα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.6. Επισημαίνουμε εδώ ότι τα καύσιμα εισάγονται σε μονάδες ενέργειας και όχι σε βάρους ή όγκους.



Σχήμα 3.6 Καρτέλα με τα στοιχεία της μεταφοράς

3.4.6 Αφαλάτωση

Επί του παρόντος δεν υπάρχουν δεδομένα αφαλάτωσης στην Ελλάδα. Η καρτέλα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.7.



Σχήμα 3.7 Καρτέλα με τα στοιχεία της αφαλάτωσης

3.5 Παραγωγή

Το Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα χωρίζεται στο εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα το οποίο καλύπτει την ηπειρωτική χώρα και τα μη διασυνδεδεμένα συστήματα ισχύος των νησιών με βάση τη ρυθμιστική αρχή ενέργειας. Ένας από τους βασικούς περιορισμούς που ισχύουν σε αυτή την διπλωματική είναι ότι μελετάται μόνο το διασυνδεδεμένο ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας.

Αυτό γίνεται επειδή τα δύο συστήματα πρέπει να διαμορφωθούν ξεχωριστά, έτσι ώστε η βελτιστοποίηση να είναι πιο ρεαλιστική. Εάν οι συγκεντρωτικές τιμές που αντιστοιχούν στις ποσότητες τόσο των διασυνδεδεμένων όσο και των μη διασυνδεδεμένων έχουν εισαχθεί, τότε το μοντέλο έχει την δυνατότητα να αντικαταστήσει τις μονάδες του ενός συστήματος με μονάδες του άλλου αν και πρακτικά αυτό είναι αδύνατον.

Η ηλεκτρική Ενέργεια συνδέεται άμεσα με την λειτουργία ποικίλων τεχνολογιών και υποδομών. Βέβαια η αδιάλειπτη και υψηλής ποιότητας παροχή ηλεκτρικής ενέργειας καθίσταται επιτακτική και για τους ίδιους τους καταναλωτές της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα δεδομένα για το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.1 έως 3.3 [10].

Πίνακας 3.1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

ΕΙΔΟΣ	ΙΣΧΥΣ (MW)		
	Με μη Οριστικές Προσφορές Σύνδεσης	Με Οριστικές Προσφορές Σύνδεσης	Σε λειτουργία
Α/Π	14532	2616	3731
ΜΥΗΣ	194	12	243
ΣΗΘΥΑ	61	17	107
Φ/Β	464	1188	2983
ΣΒΙΟ	71	0	95
Η/Θ	121	0	0
<u>ΣΥΝΟΛΟ</u>	<u>15443</u>	<u>3833</u>	<u>7159</u>

Πίνακας 3.2: Μονάδες λιγνίτη και φυσικού αερίου

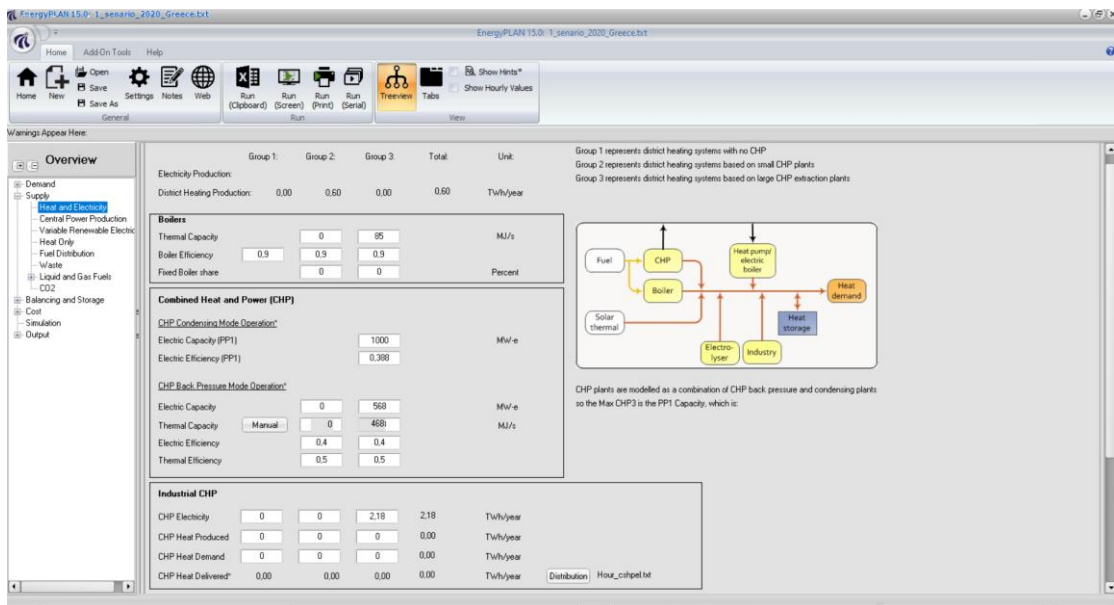
ΠΑΡΑΓΩΓΟΣ	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΕΓΚΑΤ/ΝΗ ΙΣΧΥΣ(MW)	ΚΑΘΑΡΗ ΙΣΧΥΣ(MW)
Λιγνιτικές Μονάδες				
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου	Άγ. Δημήτριος Ι	300	274
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου	Άγ. Δημήτριος ΙΙ	300	274
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου	Άγ. Δημήτριος ΙΙΙ	310	283
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου	Άγ. Δημήτριος ΙV	310	283
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου	Άγ. Δημήτριος V	375	342
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αμυνταίου	Αμύνταιο Ι	300	273
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αμυνταίου	Αμύνταιο ΙΙ	300	273
ΔΕΗ	ΑΗΣ Καρδιάς	Καρδιά Ι	300	275
ΔΕΗ	ΑΗΣ Καρδιάς	Καρδιά ΙΙ	300	275
ΔΕΗ	ΑΗΣ Καρδιάς	Καρδιά ΙΙΙ	306	280
ΔΕΗ	ΑΗΣ Καρδιάς	Καρδιά ΙV	306	280
ΔΕΗ	ΑΗΣ Μεγαλόπολη Α	Μεγαλόπολη ΙΙΙ	300	255
ΔΕΗ	ΑΗΣ Μεγαλόπολη Β	Μεγαλόπολη ΙV	300	256
ΔΕΗ	ΑΗΣ Μελίτης	Μελίτη Ι	330	289
Σύνολο ισχύος Λιγνιτικών Μονάδων:			4337	3912
Μονάδες Φυσικού Αερίου Συνδυασμένου Κύκλου (ΜΣΚ)				
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αλιβερίου	Αλιβέρι V	426,9	417
ΔΕΗ	ΑΗΣ Κομοτηνής	ΜΣΚ Κομοτηνής	484,6	476,3
ΔΕΗ	ΑΗΣ Λαυρίου	Λαύριο ΙV	560	550,2
ΔΕΗ	ΑΗΣ Λαυρίου	Λαύριο V	385,2	377,6
ΔΕΗ	ΑΗΣ Μεγαλόπολης Β	Μεγαλόπολη V	860	811
ELPEDISON ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ	ΘΗΣ ΕΝΘΕΣ	ΜΣΚ ΕΝΘΕΣ	408,4	400,3
ΗΡΩΝ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΒΟΙΩΤΙΑ	ΘΗΣ ΗΡΩΝ ΙΙ	ΜΣΚ ΗΡΩΝ ΙΙ	432	422,1
KOPINΘOS POWER	ΘΗΣ Αγ. Θεοδώρων	ΜΣΚ Αγ. Θεοδώρων	436,6	433,5
ELPEDISON ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ	ΘΗΣ Θίσβης	ΜΣΚ Θίσβης	421,6	410
PROTERGIA	ΘΗΣ Αγ. Νικολάου	ΜΣΚ Αγ. Νικολάου	444,5	432,7
Σύνολο ισχύος Μονάδων ΦΑ Συνδυασμένου Κύκλου:			4859,8	4730,7
Μονάδες Φυσικού Αερίου Ανοικτού Κύκλου				
ΗΡΩΝ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ	ΘΗΣ ΗΡΩΝ	3 μονάδες	148,5	147,8
Σύνολο ισχύος Ατμοστροβιλικών Μονάδων ΦΑ: 1			148,5	147,8
Κατανεμόμενες Μονάδες ΣΗΘΥΑ				
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ	ΘΗΣ Αλουμινίου	3 μονάδες	334	334
Σύνολο ισχύος Κατανεμόμενων Μονάδων ΣΗΘΥΑ:			334	334
Σύνολο ισχύος Θερμοηλεκτρικών Σταθμών:			8819,3	8313,5

Πίνακας 3.3: Υδροηλεκτρικές Μονάδες

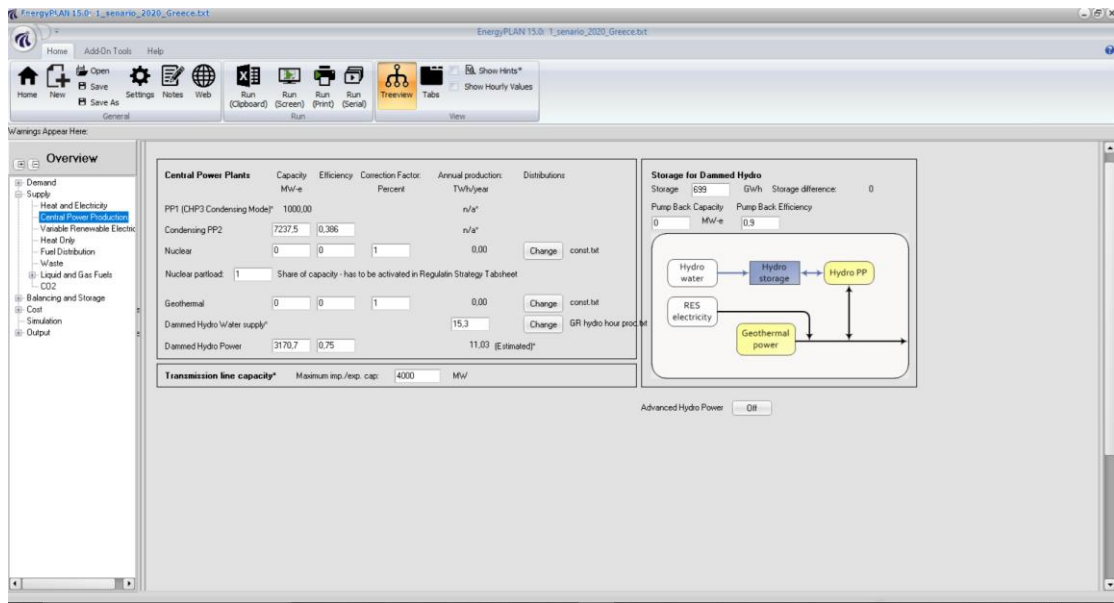
ΠΑΡΑΓ- ΩΓΟΣ	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΕΓΚΑΤ/ΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΚΑΘΑΡΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
ΔΕΗ	ΥΗΣ Άγρα	Άγρας I	25	25
ΔΕΗ	ΥΗΣ Άγρα	Άγρας II	25	25
ΔΕΗ	ΥΗΣ Ασωμάτων	Ασώματα I	54	54
ΔΕΗ	ΥΗΣ Ασωμάτων	Ασώματα II	54	54
ΔΕΗ	ΥΗΣ Εδεσσαίου	Εδεσσαίος	19	19
ΔΕΗ	ΥΗΣ Ιλαρίωνα	Ιλαρίωνας I	76.5	76.5
ΔΕΗ	ΥΗΣ Ιλαρίωνα	Ιλαρίωνας I	76.5	76.5
ΔΕΗ	ΥΗΣ Καστρακίου	Καστράκι I	80	80
ΔΕΗ	ΥΗΣ Καστρακίου	Καστράκι II	80	80
ΔΕΗ	ΥΗΣ Καστρακίου	Καστράκι III	80	80
ΔΕΗ	ΥΗΣ Καστρακίου	Καστράκι IV	80	80
ΔΕΗ	ΥΗΣ Κρεμαστών	Κρεμαστά I	109.3	109.3
ΔΕΗ	ΥΗΣ Κρεμαστών	Κρεμαστά II	109.3	109.3
ΔΕΗ	ΥΗΣ Κρεμαστών	Κρεμαστά III	109.3	109.3
ΔΕΗ	ΥΗΣ Κρεμαστών	Κρεμαστά IV	109.3	109.3
ΔΕΗ	ΥΗΣ Λάδωνα	Λάδωνας I	35	35
ΔΕΗ	ΥΗΣ Λάδωνα	Λάδωνας II	35	35
ΔΕΗ	ΥΗΣ Πηγών Αώου	Πηγές Αώου I	105	105
ΔΕΗ	ΥΗΣ Πηγών Αώου	Πηγές Αώου II	105	105
ΔΕΗ	ΥΗΣ Πλαστήρα	Πλαστήρας I	43.3	43.3
ΔΕΗ	ΥΗΣ Πλαστήρα	Πλαστήρας II	43.3	43.3
ΔΕΗ	ΥΗΣ Πλαστήρα	Πλαστήρας III	43.3	43.3
ΔΕΗ	ΥΗΣ Πλατανόβρυσης	Πλατανόβρυση I	58	58
ΔΕΗ	ΥΗΣ Πλατανόβρυσης	Πλατανόβρυση II	58	58
ΔΕΗ	ΥΗΣ Πολύφυτου	Πολύφυτο I	125	125
ΔΕΗ	ΥΗΣ Πολύφυτου	Πολύφυτο II	125	125
ΔΕΗ	ΥΗΣ Πολύφυτου	Πολύφυτο III	125	125
ΔΕΗ	ΥΗΣ Πουρναρίου I	Πουρνάρι I, Μονάδα I	100	100
ΔΕΗ	ΥΗΣ Πουρναρίου I	Πουρνάρι I, Μονάδα II	100	100
ΔΕΗ	ΥΗΣ Πουρναρίου I	Πουρνάρι I, Μονάδα III	100	100
ΔΕΗ	ΥΗΣ Πουρναρίου II	Πουρνάρι II, Μονάδα I	16	16
ΔΕΗ	ΥΗΣ Πουρναρίου II	Πουρνάρι II, Μονάδα II	16	16
ΔΕΗ	ΥΗΣ Πουρναρίου II	Πουρνάρι II, Μονάδα III	1,6	1,6
ΔΕΗ	ΥΗΣ Στράτου	Στράτος I	75	75
ΔΕΗ	ΥΗΣ Στράτου	Στράτος II	75	75
ΔΕΗ	ΥΗΣ Θησαυρού	Μονάδα Θησαυρός I (Αναστρέψιμη αντλητική)	128	128
ΔΕΗ	ΥΗΣ Θησαυρού	Μονάδα Θησαυρός II (Αναστρέψιμη αντλητική)	128	128
ΔΕΗ	ΥΗΣ Θησαυρού	Μονάδα Θησαυρός III (Αναστρέψιμη αντλητική)	128	128
ΔΕΗ	ΥΗΣ Σφηκιάς	Μονάδα Σφηκιά I (Αναστρέψιμη αντλητική)	105	105
ΔΕΗ	ΥΗΣ Σφηκιάς	Μονάδα Σφηκιά II (Αναστρέψιμη αντλητική)	105	105
ΔΕΗ	ΥΗΣ Σφηκιάς	Μονάδα Σφηκιά III (Αναστρέψιμη αντλητική)	105	105
<u>Σύνολο ισχύος Υδροηλεκτρικών Μονάδων:</u>			<u>3170,7</u>	<u>3170,7</u>

3.5.1 Μονάδες ηλεκτροπαραγωγής

Για τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παρατηρείται στα Σχήματα 3.8 και 3.9, η πρώτη παράμετρος που απαιτείται είναι η συνολική εγκατεστημένη χωρητικότητα, η οποία λήφθηκε από το Ελληνικό δίκτυο. Εάν είναι απαραίτητο, μπορούμε να χωρίσουμε τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε δύο κατηγορίες: συμπύκνωση και PP2. Το PP2 χρησιμοποιείται συνήθως εάν υπάρχει ένα διαφορετικό εργοστάσιο στο σύστημα, δηλαδή εάν υπάρχει μία ομάδα με χαμηλή απόδοση αλλά είναι ακριβή, και μια άλλη ομάδα που έχει υψηλή απόδοση αλλά είναι φθηνή [11].



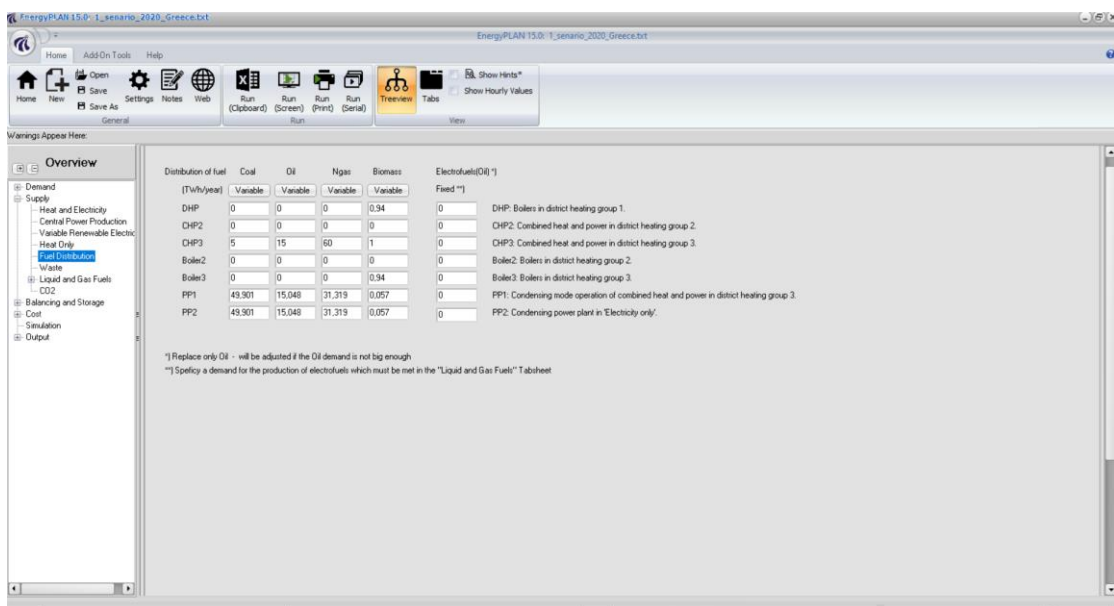
Σχήμα 3.8: Καρτέλα με τα στοιχεία των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής 1



Σχήμα 3.9: Καρτέλα με τα στοιχεία των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής 2

3.5.2 Καύσιμα σταθμών παραγωγής

Δεδομένου ότι η βιομηχανική ΣΗΘ στην Ελλάδα δεν υπόκειται σε κανόνες, η σταθερή διανομή χρησιμοποιείται για τη βιομηχανική ΣΗΘ, περιλαμβάνεται στο πρότυπο αρχείο διανομής του EnergyPLAN ως "Const.txt" η συνολική κατανάλωση καυσίμου παρατηρείται στο Σχήμα 3.10 για κάθε τύπο σταθμού παραγωγής ενέργειας και μπορεί να ληφθεί από το ενεργειακό ισοζύγιο.



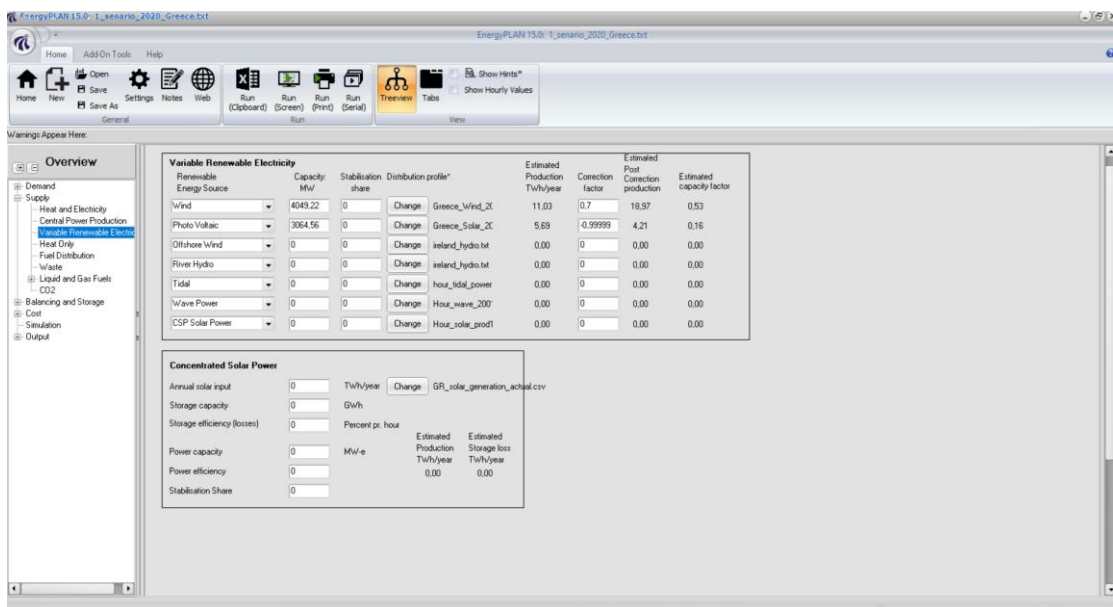
Σχήμα 3.10: Καρτέλα με τα στοιχεία της διανομής καυσίμου

3.5.3 Χωρητικότητα γραμμής μεταφοράς

Οι τιμές που εξετάστηκαν προκειμένου να καθοριστεί η μέγιστη εξαγωγική ικανότητα της Ελλάδας και να καθοριστεί μια τιμή στην Ικανότητα Γραμμής Μεταφοράς στην καρτέλα Κανονισμός του EnergyPLAN.

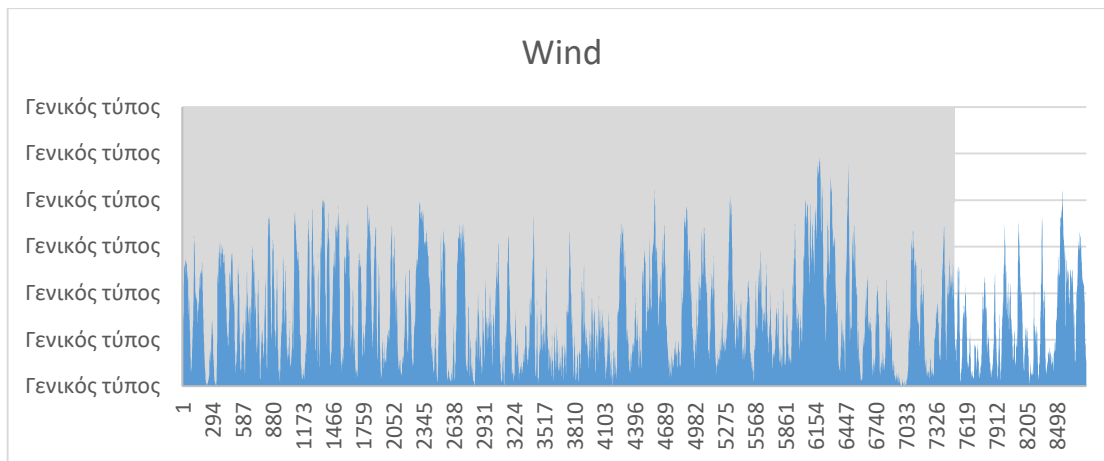
3.5.4 Ανανεώσιμη ενέργεια

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που λαμβάνονται υπόψη για το ελληνικό ενεργειακό σύστημα είναι οι ακόλουθες: Wind (RES1), Photo Voltaic (RES2), τα σχετικά δεδομένα εισόδου για κάθε ΑΠΕ παρουσιάζονται στη συνέχεια μαζί με τους συντελεστές απόδοσης οι οποίοι διαμορφώνονται στο γενικό σύνολο του Ελληνικού δικτύου παρατηρείται στο Σχήμα 3.11.



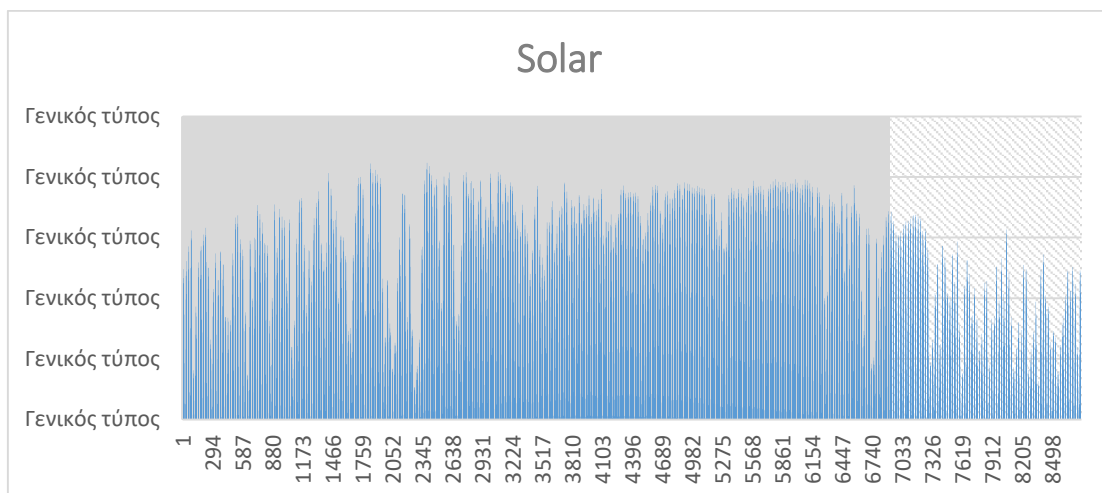
Σχήμα 3.11: Καρτέλα με τα στοιχεία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του ΚΑΠΕ η δυναμικότητα του ανέμου για το 2020 για την ελληνική διασυνδεδεμένη ενέργεια στο σύστημα είναι ίση με 4049,22 MW και το προφίλ διανομής απεικονίζεται στο Σχήμα 3.12.



Σχήμα 3.12: Προφίλ ανέμου

Η χωρητικότητα των Φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων στο Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Ενεργειακό Σύστημα το 2020 είναι 3064,56 MW, και το προφίλ διανομής εμφανίζεται στο Σχήμα 3.13.



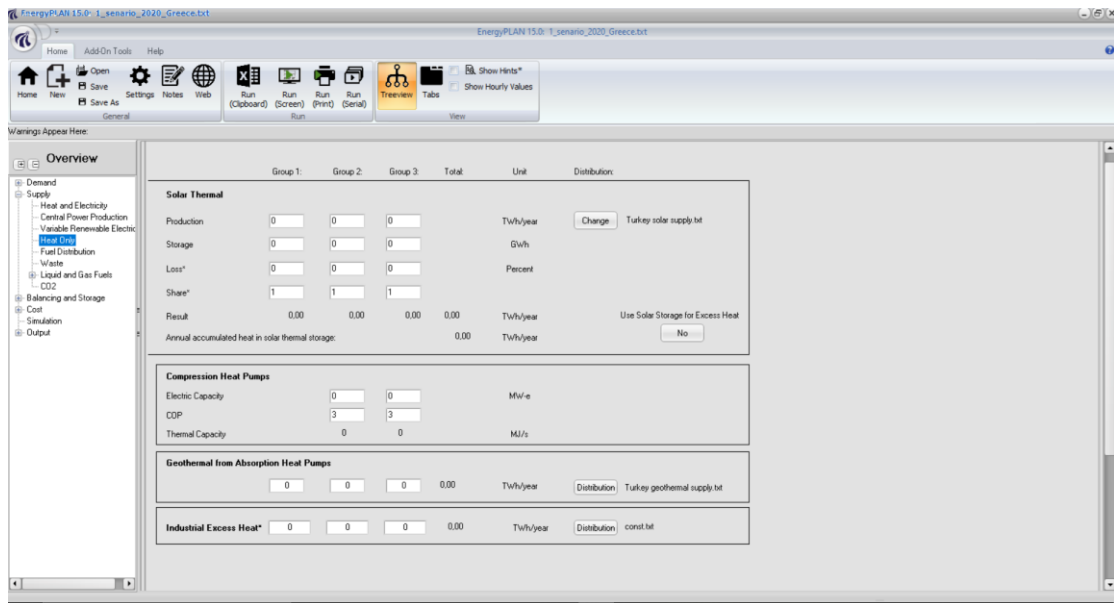
Σχήμα 3.13: Ηλιακό προφίλ

3.5.5 Heat Only

Στην Ελλάδα δεν λειτουργούν τέτοια συστήματα:

1. Ηλιακή θερμική και χρήση σε συστήματα τηλεθέρμανσης.
2. Αντλίες θερμότητας συμπίεσης.
3. Θερμότητα από γεωθερμικές μονάδες.

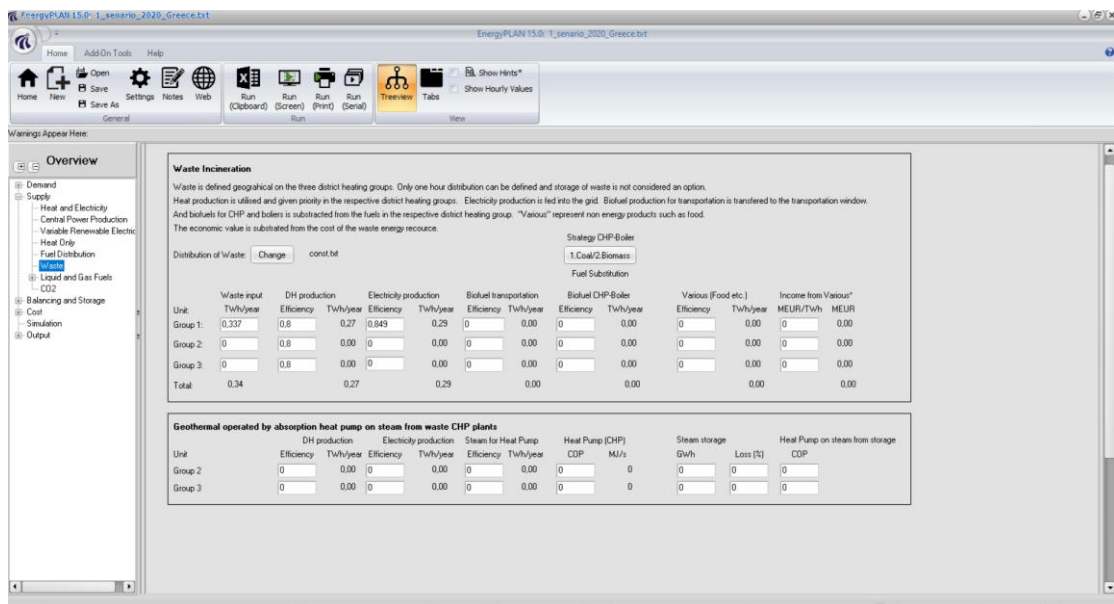
επιπλέον δεν γίνεται διάθεση της επιπλέον θερμότητας που παράγεται στη βιομηχανία για τηλεθέρμανση. Στο Σχήμα 3.14 φαίνεται ότι στο πρόγραμμα όλοι οι δείκτες καταχωρήθηκαν με την τιμή 0.



Σχήμα 3.14: Καρτέλα με τα στοιχεία της Θέρμανσης

3.5.6 Waste

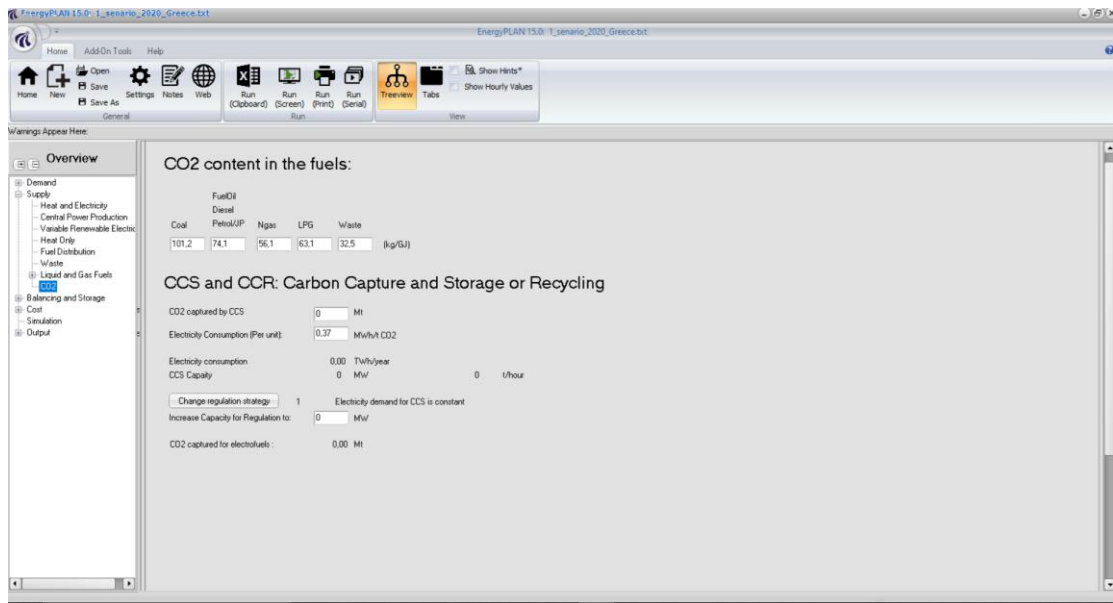
Επί του παρόντος χρησιμοποιούνται απορρίμματα για τη παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα, οπότε απαιτούνται δεδομένα για το Ελληνικό μοντέλο αναφοράς που αντιστοιχούν σε 0,337 TWh. Τα δεδομένα απεικονίζονται στο Σχήμα 3.15.



Σχήμα 3.15: Καρτέλα με τα στοιχεία των απόβλητων

3.5.7 CO₂

Στην καρτέλα Σχήμα 3.16 ορίζουμε τα κόστη για της εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.



Σχήμα 3.16: Καρτέλα με τα στοιχεία του διοξειδίου του άνθρακα

3.6 Εξισορρόπηση και αποθήκευση

3.6.1 Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας

Οι υδροηλεκτρικές μονάδες με αντλησιοταμίευση αποτελούν την μόνη εφαρμοζόμενη τεχνολογία σε μεγάλη κλίμακα στην Ελλάδα.

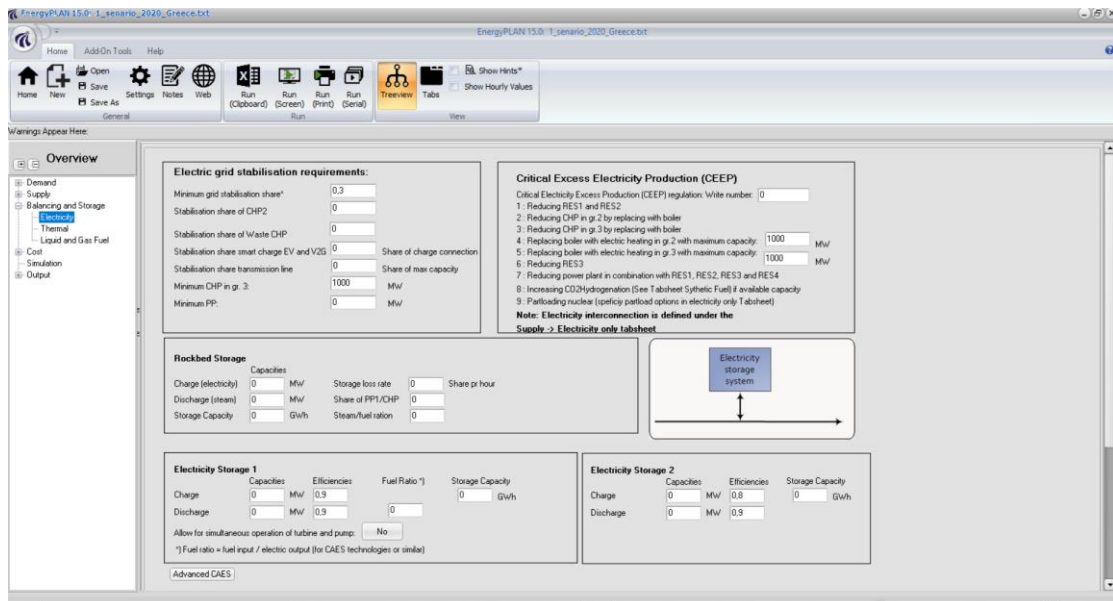
Ωστόσο οι ΥΠΟ καρτέλες electricity storage 1 και 2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό οποιουδήποτε τύπου αποθήκευσης ισχύος με δυνατότητα φόρτισης (π.χ. αντλία/συμπιεστή), ικανότητα εκκένωσης (π.χ. στρόβιλος) και δυνατότητα αποθήκευσης. Κατά τον προσδιορισμό της διαθέσιμης χωρητικότητας αποθήκευσης ενέργειας, μπορεί επίσης να οριστεί μια στρατηγική λειτουργίας αποθήκευσης ισχύος (Advance CAES). Και πάλι, δεδομένου ότι το EnergyPLAN χρησιμοποιεί το PHES ως αναφορά, το ερώτημα που θέτει το EnergyPLAN κατά τον καθορισμό στρατηγικών λειτουργιών είναι "να επιτρέπεται στους στρόβιλους και στις αντλίες να λειτουργούν ταυτόχρονα: ΝΑΙ/ΟΧΙ ». Όλες οι λεπτομέρειες απεικονίζονται στο Σχήμα 3.17 [24].

Οι στρατηγικές ρύθμισης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που μπορούν να εφαρμοστούν είναι οι ακόλουθες επτά:

1. Μείωση RES1 και RES2.
2. Μείωση της παραγωγής ΣΗΘ στην ομάδα 2 (Αντικατάσταση με λέβητα).

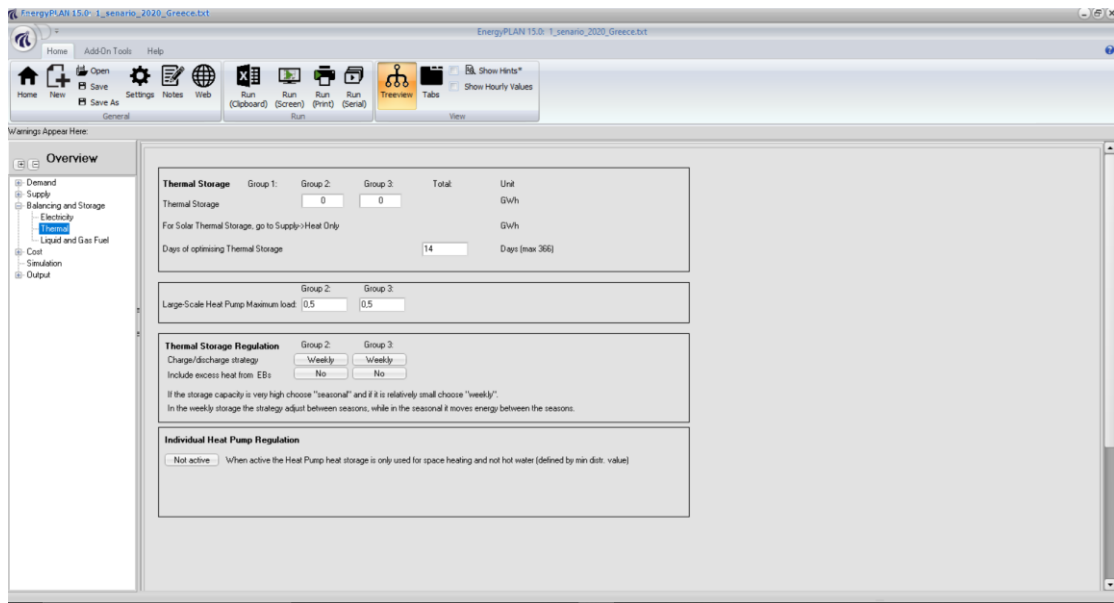
3. Μείωση της παραγωγής ΣΗΘ στην ομάδα 3 (Αντικατάσταση με λέβητα).
4. Αντικατάσταση παραγωγής λέβητα με ηλεκτρική θέρμανση στην ομάδα 2.
5. Αντικατάσταση παραγωγής λέβητα με ηλεκτρική θέρμανση στην ομάδα 3.
6. Μείωση του ΑΠΕ 3.
7. Μείωση της παραγωγής σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στο συνδυασμό με RES1, RES2, RES3 και RES4.

Οι επτά επιλογές ενεργοποιούνται κατά προτεραιότητα, είτε μεμονωμένα είτε με οποιονδήποτε πιθανό συνδυασμό.

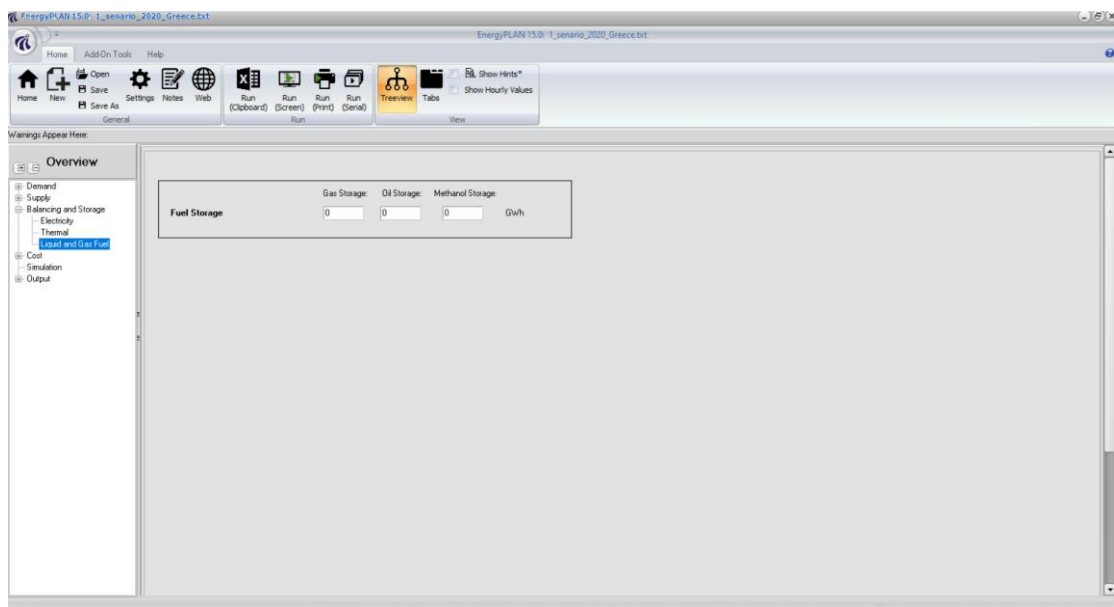


Σχήμα 3.17: Καρτέλα με τα στοιχεία της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Επιπλέον, υπάρχουν και οι καρτέλες Thermal Storage και Gas Storage οι οποίες φαίνονται στο Σχήμα 3.18 και στο Σχήμα 3.19 αντίστοιχα.



Σχήμα 3.18: Καρτέλα με τα στοιχεία της θερμικής αποθήκευσης



Σχήμα 3.19: Καρτέλα με τα στοιχεία της αποθήκευσης αερίου

3.7 Κόστος

Κατά τη λήψη του εργαλείου EnergyPLAN, λαμβάνουμε επίσης μια σειρά βάσεων δεδομένων κόστους για διαφορετικά έτη. Αυτά βασίζονται κυρίως σε προβλέψεις τιμών από τον Ελληνικό Οργανισμό Ενέργειας. Το EnergyPLAN μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτό το κόστος για τη διεξαγωγή κοινωνικοοικονομικής και επιχειρηματικής-οικονομικής έρευνας και για την προσομοίωση αγορών όσον αφορά τα ενεργειακά συστήματα.

3.7.1 Απαιτούνται οικονομικά δεδομένα

Το EnergyPLAN προσομοιώνει το κόστος ενός ενεργειακού συστήματος σε τέσσερις κύριες κατηγορίες:

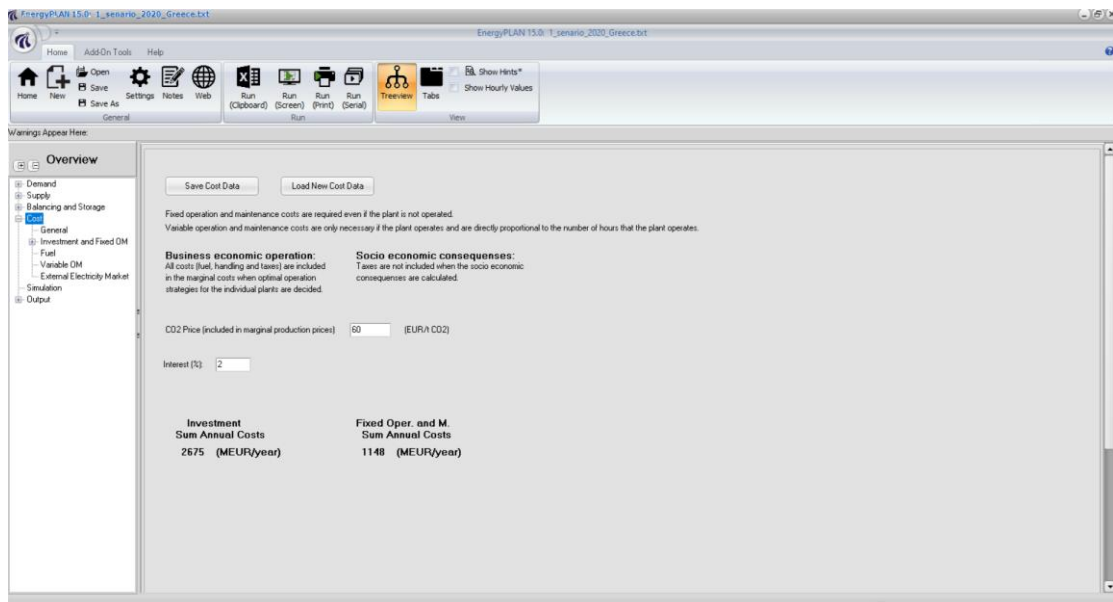
1. Επενδυτικά κόστη: Απαιτούμενο κεφάλαιο, διάρκεια ζωής κάθε μονάδας και το επιτόκιο των αποπληρωμών.
2. Κόστος καυσίμου: Αγορά, διακίνηση και φόροι σε σχέση με κάθε καύσιμο, καθώς και το κόστος CO₂.
3. Κόστος λειτουργίας: Το μεταβλητό και σταθερό κόστος λειτουργίας και συντήρησης για κάθε μονάδα παραγωγής.
4. Εξωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

3.7.2 Επιτόκιο

Συνήθως ένα επιτόκιο 2% καθορίζεται κατά την προετοιμασία μιας ανάλυσης. Απεικονίζεται στο Σχήμα 3.20.

3.7.3 Τιμή CO₂

Ο φόρος του άνθρακα στην Ελλάδα αυτή τη στιγμή εκτιμάται ότι είναι 60 ευρώ .



Σχήμα 3.20: Καρτέλα με τα στοιχεία από το επιτόκιο της εκάστοτε χώρας

3.7.4 Investment Tab

Σε αυτές τις καρτέλες Σχήμα 3.21, πρέπει να εισαχθούν οι επενδύσεις, η διάρκεια ζωής και το σταθερό κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Αυτά τα κόστη χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ετήσιου κόστους κάθε στοιχείου του δανείου με βάση τις αποπληρωμές σταθερού επιτοκίου. Τα κόστη από τις ανανεώσιμες επενδύσεις υπολογίζονται σε ξεχωριστή καρτέλα Σχήμα 3.22.

Prod. type	Unit	Investment			Period O. and M.		Total Inv. Costs MEUR	Annual Costs (MEUR/year)	
		MEUR pr. Unit	Years	% of Inv.	MEUR	Investment		Fixed Opr. and M.	
Small CHP units	0 MW-e	0	0	0	0	0	0	0	
Large CHP units	568 MW-e	0.83	26	3	471	23	14		
Heat Storage CHP	0 GWh	0	0	0	0	0	0		
Waste CHP	0.34 TWh/year	215	25	6	72	4	4		
Abtrop. HP (Waste)	0 MW-th	0	0	0	0	0	0		
Heat Pump gr. 2	0 MW-e	0	0	0	0	0	0		
Heat Pump gr. 3	0 MW-e	0	0	0	0	0	0		
DHP Boiler group 1	0 MW-th	0	0	0	0	0	0		
Boilers gr. 2 and 3	85 MW-th	0.45	30	2	38	2	1		
Electr. Boiler Gr. 2+3	2000 MW-e	0.075	20	1.5	150	9	2		
Large Power Plants	7670 MW-e	0.713	25	1.44	5468	280	79		
Nuclear	0 MW-e	0	0	0	0	0	0		
Interconnection	4000 MW	0.0022	50	1	9	0	0		
Charge e1 storage	0 MW-e	0.8	50	1.5	0	0	0		
Discharge e1 storage	0 MW-e	0.8	50	1.5	0	0	0		
E1 storage cap	0 GWh	0.00004	10	2	0	0	0		
Charge e2 storage	0 MW-e	0	0	0	0	0	0		
Discharge e2 storage	0 MW-e	0	0	0	0	0	0		
E2 storage cap	0 GWh	0	0	0	0	0	0		
Indust. CHP Electr.	2.18 TWh/year	65	25	2	142	7	3		

Σχήμα 3.21: Καρτέλα με τα στοιχεία των σταθερών επενδυτικών μονάδων

Prod. type	Unit	Investment			Period O. and M.		Total Inv. Costs MEUR	Annual Costs (MEUR/year)	
		MEUR pr. Unit	Years	% of Inv.	MEUR	Investment		Fixed Opr. and M.	
Wind	4043 MW-e	0.99	27	3.2	4009	194	120		
Wind offshore	0 MW-e	0	0	0	0	0	0		
Photo Voltaic	3065 MW-e	1.25	25	1	3831	196	38		
Wave power	0 MW-e	0	0	0	0	0	0		
Tidal Power	0 MW	0	0	0	0	0	0		
CSP Solar Power	0 MW	0	0	0	0	0	0		
Flow of hydro	0 MW-e	5.6	60	1.5	0	0	0		
Hydro Power	3171 MW-e	2.51	60	1.25	7958	229	99		
Hydro Storage	699 GWh	0.4	50	1.5	280	9	4		
Hydro Pump	0 MW-e	0.4	50	1.5	0	0	0		
Geothermal Electr.	0 MW-e	0	0	0	0	0	0		
Geothermal Heat	0 TWh/year	0	0	0	0	0	0		
Solar thermal	0 TWh/year	0	0	0	0	0	0		
Heat Storage Solar	0 GWh	0	0	0	0	0	0		
Indust. Excess Heat	0 TWh/year	0	0	0	0	0	0		

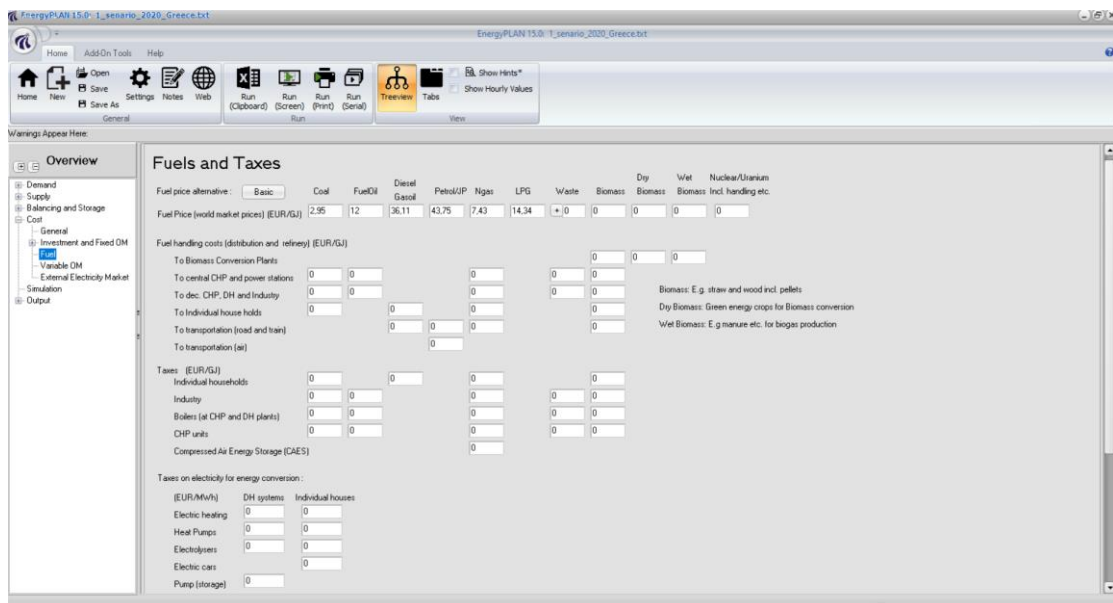
Σχήμα 3.22: Καρτέλα με τα στοιχεία των επενδυτικών μονάδων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

3.7.5 Fuel Tab

Κόστος καυσίμου και CO₂

Τα κόστη για τα καύσιμα είναι σε μια ξεχωριστή αναλυτική καρτέλα Σχήμα 3.23. Στην περίπτωση που δεν τα γνωρίζουμε θα μπορούσαμε να τα πληροφορηθούμε από αυτούς τους 3 ιστότοπους :

- Crude Oil: <http://www.oil-price.net/>
- Coal: <http://www.eia.doe.gov/cneaf/coal/page/coalnews/coalmar.html>
- NaturaGas: <http://www.bloomberg.com/markets/commodities/energyprices.html>



Σχήμα 3.23: Καρτέλα με τα στοιχεία των επενδυτικών μονάδων καυσίμου

Η καρτέλα "Πρόσθετο" παρατηρείται στο Σχήμα 3.24, μπορεί να χρησιμοποιηθεί εάν υπάρχουν πρόσθετα έξοδα που δεν έχουν ληφθεί υπόψη.

EnergyPLAN 15.0 - 1_senario_2020_Greece.txt

Home Add-On Tools Help

Home New Save Settings Notes Web Run (Clipboard) Run (Screen) Run (Print) Run (Serial) Treeview Tabs Show Hints* Show Hourly Values

Warnings Appear Here:

Overview

- Demand
- Supply
- Balancing and Storage
- Cost
 - General
 - Investment and Fixed OM
 - Heat and Electricity
 - Renewable Energy
 - Liquid and Gas Fuels
 - Heat Infrastructure
 - Road Vehicles
 - Other Vehicles
 - Water
 - Variable OM**
 - Fuel
 - Variable DM
 - External Electricity Market
 - Simulation
 - Output

Description of Investment	Period Years	O. and M.		Total Inv. Costs MEUR	Annual Costs (MEUR/year)	
		% of Inv.	MEUR		Investment	Fixed Ops. and M.
Total Various:					0	0
1.		0	0	0	0	0
2.		0	0	0	0	0
3.		0	0	0	0	0
4.		0	0	0	0	0
5.		0	0	0	0	0
6.		0	0	0	0	0
7.		0	0	0	0	0
8.		0	0	0	0	0
9.		0	0	0	0	0
10.		0	0	0	0	0
11.		0	0	0	0	0
12.		0	0	0	0	0
13.		0	0	0	0	0
14.		0	0	0	0	0
15.		0	0	0	0	0
16.		0	0	0	0	0
17.		0	0	0	0	0
18.		0	0	0	0	0
19.		0	0	0	0	0
20.		0	0	0	0	0

Σχήμα 3.24: Καρτέλα με τα στοιχεία των επιπρόσθετων δαπανών

3.7.6 Variable OM

Η καρτέλα Variable OM παρατηρείται στο Σχήμα 3.25, αναφέρεται σε διάφορα κόστη λειτουργίας της εγκατάστασης.

EnergyPLAN 15.0 - 1_senario_2020_Greece.txt

Home Add-On Tools Help

Home New Save Settings Notes Web Run (Clipboard) Run (Screen) Run (Print) Run (Serial) Treeview Tabs Show Hints* Show Hourly Values

Warnings Appear Here:

Overview

- Demand
- Supply
- Balancing and Storage
- Cost
 - General
 - Investment and Fixed OM
 - Variable OM**
 - Fuel
 - External Electricity Market
 - Simulation
 - Output

Variable Operation and Maintenance Cost

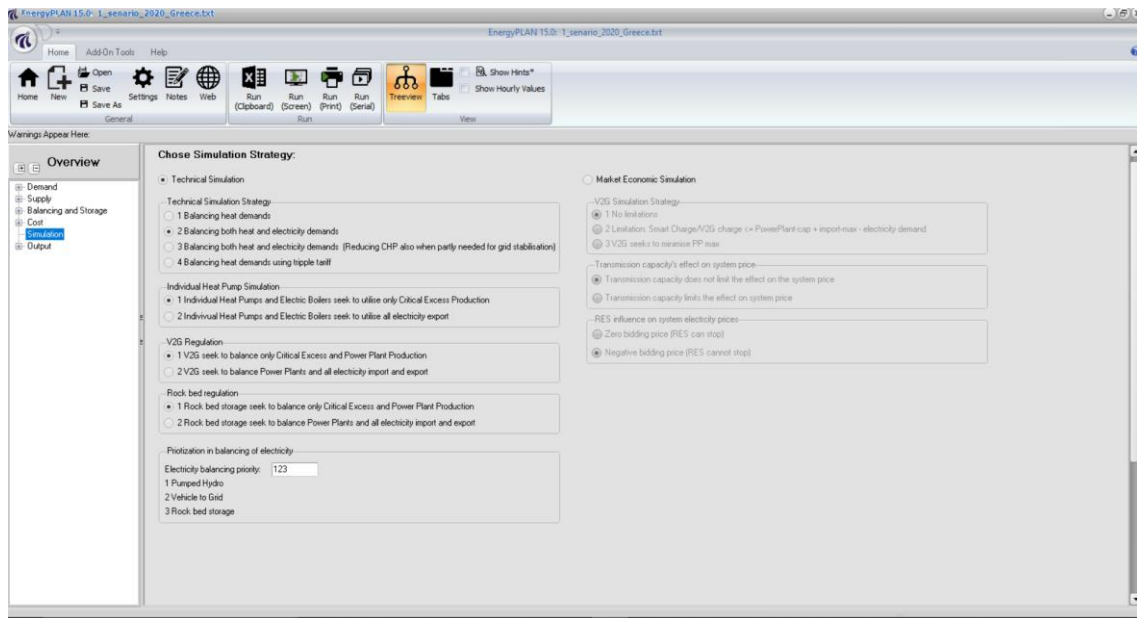
Category	Item	Value	Unit
District Heating and CHP systems	Boiler	0	EUR/MWh/h
	CHP	0	EUR/MWh/e
	Heat Pump	0	EUR/MWh/e
	Electric heating	0	EUR/MWh/e
	Electric heating	0	EUR/MWh/e
Power Plants	Hydro Power	30	EUR/MWh/e
	Condensing	10	EUR/MWh/e
	Geothermal	0	EUR/MWh/e
	GTL M1	0	EUR/MWh/fuel-input
	GTL M2	0	EUR/MWh/fuel-input
Storage	Electrolyser	1	EUR/MWh/e
	Pump	2.3	EUR/MWh/e
	Turbine	2.3	EUR/MWh/e
	V2G Discharge *)	0	EUR/MWh/e
	Hydro Power Pump	1.19	EUR/MWh/e
Steam Storage	0	EUR/MWh/e	
Individual	Boiler	0	EUR/MWh/h
	CHP	0	EUR/MWh/e
	Heat Pump	0	EUR/MWh/e
	Electric heating	0	EUR/MWh/e
Marginal Costs of producing 1 MWh electricity	District Heating		
	Incr. CHP2 decr. HP2	59	EUR/MWh
	Incr. CHP3 decr. HP3	74	EUR/MWh
	Incr. CHP2 decr. B2	36	EUR/MWh
	Incr. CHP3 decr. B3	104	EUR/MWh
	Incr. B2 decr. HP2	109	EUR/MWh
	Incr. B3 decr. HP3	0	EUR/MWh
	Incr. B2 decr. EB2	36	EUR/MWh
	Incr. B3 decr. EB3	0	EUR/MWh
	Incr. CHP2 decr. ELT2	29	EUR/MWh
Incr. CHP3 decr. ELT3	38	EUR/MWh	
Incr. B2 decr. ELT2	29	EUR/MWh	
Incr. B3 decr. ELT3	-1	EUR/MWh	
Incr. GTL decr. B3	634	EUR/MWh	
Incr. GTL decr. CHP3	-317	EUR/MWh	
Power Plants			
Condensing Power	110	EUR/MWh	
FP2	110	EUR/MWh	
Hydro Power	30	EUR/MWh	
Geothermal	0	EUR/MWh	
Individual			
Incr. Ngas CHP decr. B.	40	EUR/MWh	
Incr. Bio CHP decr. B.	33	EUR/MWh	
Incr. HP decrease EH	0	EUR/MWh	
Marginal Costs of storing 1 MWh electricity			
Individual			
Incr. H2/CHP decr. Boiler	2	1.85	
Storage			
V2G (Electric Vehicle)	0	1.23	
Pump/Turbine (CAES)	5	1.23	
Pump/Turbine (Storage)	5	1.39	
Hydro Pump Storage	21	1.48	
Steam Storage	-	0.00	

*) Total cost of storing defined pt. MWh of electricity production
**) Minimum selling price divided by maximum buying price

Σχήμα 3.25: Καρτέλα με τα στοιχεία του κόστους λειτουργίας

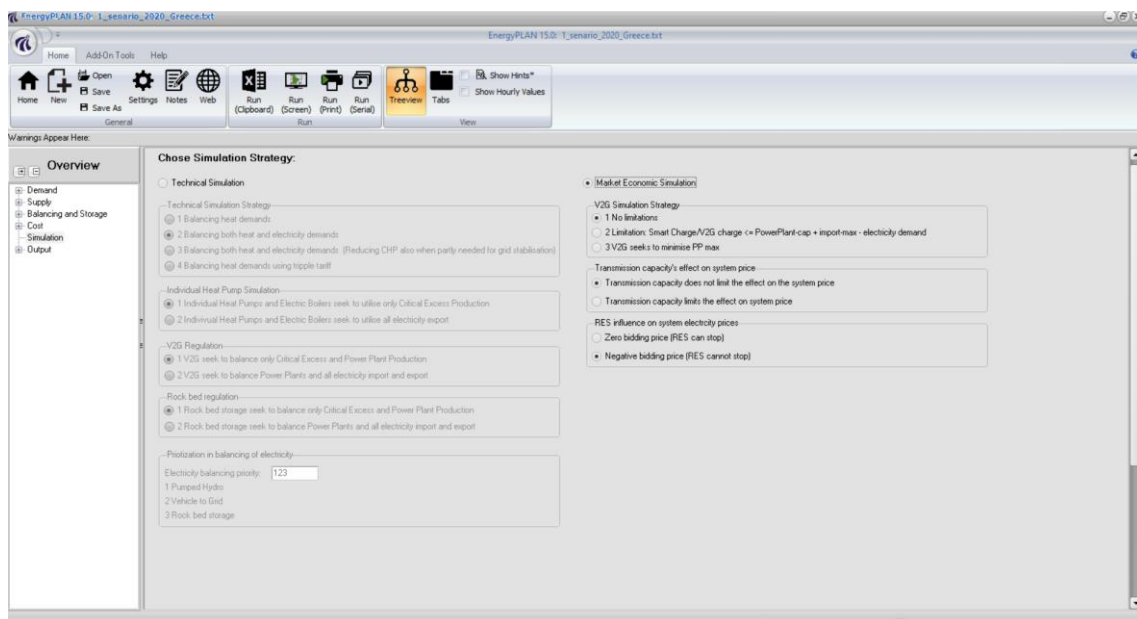
3.8 Προσομοίωση

Από την καρτέλα “Simulation” παρατηρείται στο Σχήμα 3.26, υπάρχει η δυνατότητα να επιλεγεί οποιαδήποτε τεχνική προσομοίωσης (Technical Simulation) θεωρείται καταλληλότερη για την εκάστοτε μελέτη.



Σχήμα 3.26: Καρτέλα με τα στοιχεία της προσομοίωσης

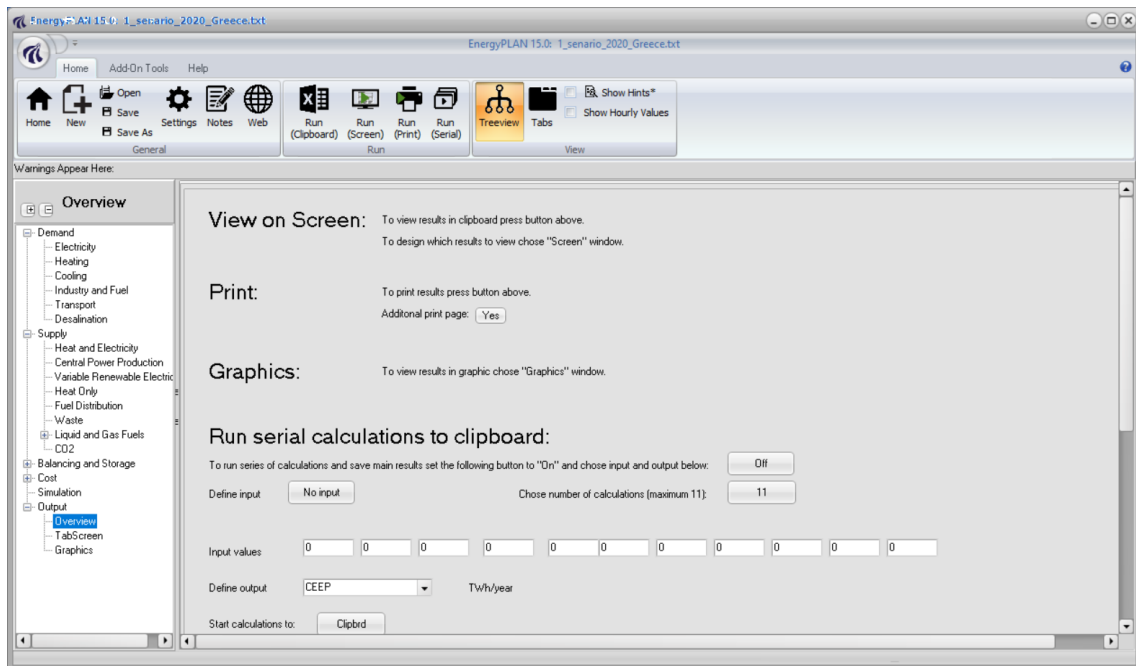
Στην καρτέλα προσομοίωσης (Simulation) επιλέγουμε “Market Economic Simulation”, ώστε να έχουμε οικονομική προσομοίωση της αγοράς παρατηρείται στο Σχήμα 3.27.



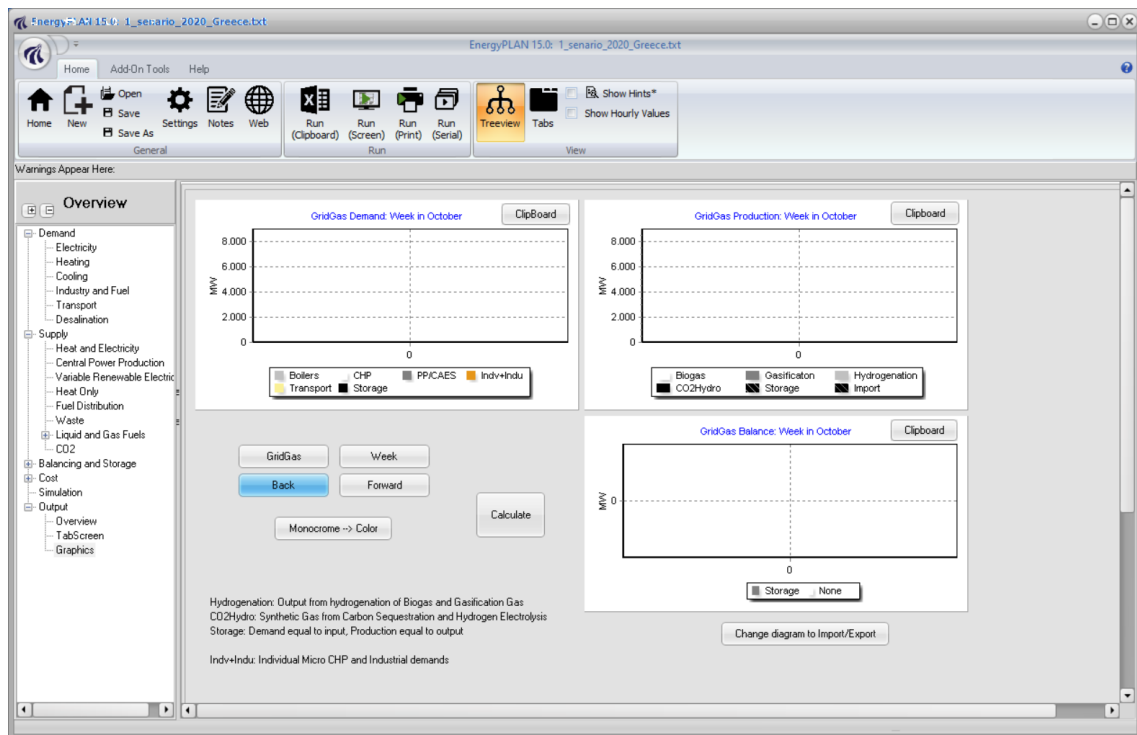
Σχήμα 3.27: Καρτέλα με τα στοιχεία της οικονομικής προσομοίωσης

3.9 Έξοδοι

Στην καρτέλα έξοδοι είναι η καρτέλα στην οποία μπορούμε να τρέξουμε διάφορες υποπεριπτώσεις ταυτόχρονα. Είναι η καρτέλα επισκόπηση όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.28. Επισκόπηση όσων αναφορά τα γραφήματα τα οποία μπορούμε να λάβουμε από το EnergyPLAN απεικονίζονται στο Σχήμα 3.29.



Σχήμα 3.28: Καρτέλα με τα στοιχεία της επισκόπησης



Σχήμα 3.29: Γραφήματα διαφορετικών ειδών μέσω του EnergyPLAN

Κεφάλαιο 4 Αποτελέσματα

4.1 Ανάλυση

Στο κεφάλαιο αυτό μελετάται η επιπλέον διείσδυση αποθήκευσης στο ενεργειακό σύστημα της Ελλάδος δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στους δείκτες εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, στην παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας, στην ενσωμάτωση ΑΠΕ και στο συνολικό κόστος. Για πιο αποτελεσματική μελέτη δημιουργήθηκαν 13+1 ξεχωριστά αρχεία με τίτλο 2020_Greece_scenario_0. Το αρχείο 1 περιγράφει το ελληνικό σύστημα της σημερινής μέρας, τα αρχεία 2-4 δείχνουν το ελληνικό σύστημα με την ενσωμάτωση αποθήκευσης και πιο συγκεκριμένα καταδεικνύουν την ποσότητα η οποία αναφέρεται από την ΡΑΕ για το δεκαετές πρόγραμμα ανάπτυξης της Ελλάδας.

Τα δεδομένα που αναφέρονται στον Πίνακα 4.1 θα παραμείνουν σταθερά και για τις 13 υποπεριπτώσεις. Οι 13 υποπεριπτώσεις αναφέρονται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.1: Δεδομένα Ενεργειακού Συστήματος Ελλάδας

Δεδομένα	Ποσότητα
Electricity Demand (T/έτος)	55,68
Power Planet (MW)	8313,5
Hydro Power (MW)	3170,7
Wind (MW)	4049,22
Photo Voltaic (MW)	3064,56

Πίνακας 4.2: Υποπεριπτώσεις

	<i>PUMP STORAGE</i>	<i>ELECTRICITY STORAGE</i>	<i>ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ</i>	<i>TOTAL COST</i>	<i>ELECTRICITY FROM RES</i>	<i>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂ ΜΤ/ΕΤΟΣ</i>
1	699	0	201,53	19037	70,7	40,47
2	1289	0	200,99	19021	71,4	40,209
3	2776	0	199,94	18995	72,2	39,701
4	2776	3582	199,94	19264	72,2	39,701
5	3053,6	3582	199,85	19264	72,9	39,659

6	3331,2	3582	199,85	19270	72,9	39,659
7	3608,8	3582	199,85	19275	72,9	39,659
8	699	3940,2	201,53	19332	70,7	40,47
9	699	4298,4	201,53	19359	70,7	40,47
10	699	4656,6	201,53	19386	70,7	40,47
11	3053,6	3940,2	199,85	19291	72,9	39,659
12	3331,2	4298,4	199,85	19323	72,9	39,659
13	3608,8	4656,6	199,85	19355	72,9	39,659

4.1 Υποπερίπτωση 1^η: Ανάλυση του έτους 2020

Αφού εκκινήσουμε το πρόγραμμα, φορτώνουμε το αρχείο “1_scenario_2020_Greece” Σχήμα 4.1, το οποίο είναι ένα σενάριο που δημιουργήθηκε από εμάς για το έτος 2020. Υπολογίζεται η ετήσια παροχή πρωτογενούς ενέργειας, το συνολικό κόστος και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ.

Input		1_scenario_2020_Greece.txt		The EnergyPLAN model 15.0	
Electricity demand (TWh/year):	Flexible demand 0,00	Capacities	Efficiencies	Regulation Strategy: Technical regulation no. 2	Fuel Price level:
Fixed demand	48,00 Fixed imp/exp. 6,10	Group 2: MW-e MJ/s elec. Ther COP	CEEP regulation 00000000	Minimum Stabilisation share 0,30	Capacities Storage Efficiencies
Electric heating + HP	0,74 Transportation 0,02	CHP 0 0 0,40 0,50	Minimum CHP gr 3 load 1000 MW	Stabilisation share of CHP 0,00	MW-e GWh elec. Ther.
Electric cooling	0,82 Total 55,68	Heat Pump 0 0 3,00	Minimum PP 0 MW	Heat Pump maximum share 0,50	Hydro Pump: 0 0 0,90
District heating (TWh/year)	Gr.1 Gr.2 Gr.3 Sum	Boiler 0 0,90	Heat Pump maximum share 0,50	Maximum import/export 4000 MW	Hydro Turbine: 0 0,90
District heating demand	0,00 0,60 0,00 0,60	Group 3: CHP 568 468 0,40 0,50	Maximum import/export 4000 MW	Distr. Name : GR hour price.txt	Electrol. Gr.2: 0 0 0,80 0,10
Solar Thermal	0,00 0,00 0,00 0,00	Heat Pump 0 0 3,00	Distr. Name : GR hour price.txt	Addition factor 0,00 EUR/MWh	Electrol. Gr.3: 0 0 0,80 0,10
Industrial CHP (CSHP)	0,00 0,00 0,00 0,00	Boiler 85 0,90	Multiplication factor 1,06	Dependency factor 0,00 EUR/MWh pr. MW	Electrol. trans.: 0 0 0,80
Demand after solar and CSHP	0,00 0,60 0,00 0,60	Condensing 1000 0,39	Average Market Price 61 EUR/MWh	Gas Storage 0 GWh	Ely. MicroCHP: 0 0 0,80
Wind	4049 MW 18,97 TWh/year 0,00 Grid	Heats storage: gr.2: 0 GWh gr.3: 0 GWh	Fixed Boiler: gr.2: 0,0 Per cent gr.3: 0,0 Per cent	Syngas capacity 0 MW	CAES fuel ratio: 0,000
Photo Voltaic	3065 MW 4,21 TWh/year 0,00 stabili-	Electricity prod. from CSHP Waste (TWh/year)	Gr.1: 0,00 0,29	Biogas max to grid 0 MW	(TWh/year) Coal Oil Ngas Biomass
Offshore Wind	0 MW 0 TWh/year 0,00 sation	Gr.2: 0,00 0,00	Gr.3: 2,18 0,00	Transport 0,00 63,59 0,18 0,00	Household 0,05 14,21 4,28 9,57
River Hydro	0 MW 0 TWh/year 0,00 share			Industry 0,02 10,87 3,73 1,47	Various 0,01 4,47 1,88 0,49
Hydro Power	3171 MW 10,4 TWh/year				
Geothermal/Nuclear	0 MW 0 TWh/year				

Σχήμα 4.1: Scenario 1: Ανάλυση του έτους 2020

Η πρωτογενής ενέργεια θα βρισκόταν στην τιμή 203,86 (TWh/έτος) όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3: Πρωτογενής ενέργεια της 1^{ης} υποπερίπτωσης

TWh	CHP3	PP	Hydro	Waste	BioCon	VRES	SolarTh	Transp.	Househ	Ind/Var	Total
Coal	0,57	19,81	0	0	0	0	0	0	0,04	0,03	20,45
Oil	1,72	5,97	0	0	0	0	0	63,59	12,81	15,34	99,44

N.Gas	6,9	12,43	0	0	0	0	0	3	3,86	5,41	31,6
Biomass	0,11	0,02	0	0,34	5,21	0	0	0	8,63	1,96	16,27
Renewable	0	0	10,4	0	0	23,19	2,51	0	0	0	36,1
H2 etc.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biofuel	0	0	0	0	-5	0	0	5	0	0	0
Nucl/CCS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	9,31	38,24	10,4	0,34	0,21	23,19	2,51	71,59	25,34	22,74	203,86

Όσον αναφορά το συνολικό κόστος αυτό θα έφτανε στην τιμή 19.037 όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4: Συνολικό κόστος της 1^{ης} υποπερίπτωσης

ANNUAL COSTS (M EUR)	TOTAL	VARIABLE	BREAKDOWN
Fuel ex. Ngas exchange		11983	
Coal			217
FuelOil			995
Gasoil/Diesel			5965
Petrol/JP			4805
Gas handling			0
Biomass			0
Food income			0
Waste			0
Ngas Exchange costs		770	
Marginal operation costs		460	
Electricity exchange		-427	
Import			0
Export			-55
Bottleneck			0
Fixed imp/exp			-372
CO ₂ emission costs		2428	
Variable costs	15214		
Fixed operation costs	1148		
Annual Investment costs	2675		
TOTAL ANNUAL COSTS	19037		

Όσον αναφορά την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από RES θα έφτανε στην τιμή 70,7% ή αλλιώς στην τιμή 33,9 TWh όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 4.5.

Πίνακας 4.5: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από RES της 1^{ης} υποπερίπτωσης

SHARE OF RES (incl. Biomass)		
RES share of PES	25,7	percent
RES share of elec. prod.	70,7	percent
RES electricity prod.	33,95	TWh/year

Όσον αναφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, αυτές έχουν τιμή 40,47 (Μ/έτος), γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τον Πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6: Εκπομπές CO₂ της 1^{ης} υποπερίπτωσης

ANNUAL CO ₂ EMISSIONS (Mt)	
CO ₂ -emission (total)	40,47
CO ₂ -emission (corrected)	40,35

4.1.2 Υποπερίπτωση 2^η: Ανάλυση της αντλησιοταμίευτικής μονάδας στην τιμή 1289 GWh Αφού εκκινηθεί το πρόγραμμα, εισάγεται το αρχείο “2_scenario_2020_Greece” (Σχήμα 4.2), το οποίο είναι ένα σενάριο που δημιουργήθηκε από εμάς για το έτος 2020. Το σενάριο αυτό αντιπροσωπεύει το ελληνικό δίκτυο στα δεδομένα της ΡΑΕ με την ενσωμάτωση ως μονάδας αποθήκευσης τις αντλησιοταμίευτικές μονάδες με συνολική τιμή 1289 GWh.

Input		2_scenario_2020_Greece.txt		The EnergyPLAN model 15.0	
Electricity demand (TWh/year):	Flexible demand	0,00		Group 2:	Capacities
Fixed demand	48,00	Fixed imp/exp.	6,10	CHP	MW-e MJ/s elec. Ther COP
Electric heating + HP	0,74	Transportation	0,02	Heat Pump	0 0 0,40 0,50
Electric cooling	0,82	Total	55,68	Boiler	0 0 0,90
District heating (TWh/year)	Gr.1	Gr.2	Gr.3	Sum	Group 3:
District heating demand	0,00	0,60	0,00	0,60	CHP
Solar Thermal	0,00	0,00	0,00	0,00	Heat Pump
Industrial CHP (CSHP)	0,00	0,00	0,00	0,00	Boiler
Demand after solar and CSHP	0,00	0,60	0,00	0,60	Condensing
Wind	4049 MW	18,97 TWh/year	0,00	Grid	Heatstorage: gr.2: 0 GWh gr.3: 0 GWh
Photo Voltaic	3065 MW	4,21 TWh/year	0,00	stabil-	Fixed Boiler: gr.2: 0,0 Per cent gr.3: 0,0 Per cent
Offshore Wind	0 MW	0 TWh/year	0,00	sation	Electricity prod. from CSHP Waste (TWh/year)
River Hydro	0 MW	0 TWh/year	0,00	share	Gr.1: 0,00 0,29
Hydro Power	3171 MW	10,73 TWh/year			Gr.2: 0,00 0,00
Geothermal/Nuclear	0 MW	0 TWh/year			Gr.3: 2,18 0,00
Regulation Strategy: Technical regulation no. 2					
CEEP regulation 000000000					
Minimum Stabilisation share 0,30					
Stabilisation share of CHP 0,00					
Minimum CHP gr 3 load 1000 MW					
Minimum PP 0 MW					
Heat Pump maximum share 0,50					
Maximum import/export 4000 MW					
Distr. Name : GR hour price.txt					
Addition factor 0,00 EUR/MWh					
Multiplication factor 1,06					
Dependency factor 0,00 EUR/MWh pr. MW					
Average Market Price 61 EUR/MWh					
Gas Storage 0 GWh					
Syngas capacity 0 MW					
Biogas max to grid 0 MW					
Fuel Price level: Basic					
Capacities Storage Efficiencies					
MW-e GWh elec. Ther.					
Hydro Pump: 0 0 0,90					
Hydro Turbine: 0 0 0,90					
Electrol. Gr.2: 0 0 0,80 0,10					
Electrol. Gr.3: 0 0 0,80 0,10					
Electrol. trans.: 0 0 0,80					
Ely. MicroCHP: 0 0 0,80					
CAES fuel ratio: 0,000					
(TWh/year) Coal Oil Ngas Biomass					
Transport 0,00 63,59 0,18 0,00					
Household 0,05 14,21 4,28 9,57					
Industry 0,02 10,87 3,73 1,47					
Various 0,01 4,47 1,68 0,49					

Σχήμα 4.2: Scenario 2: Ανάλυση της αντλησιοταμίευτικής μονάδας στην τιμή 1289 GWh

Η πρωτογενής ενέργεια θα βρισκόταν στην τιμή 203,32 (TWh/έτος) όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 4.7.

Πίνακας 4.7: Πρωτογενής ενέργεια της 2^{ης} υποπερίπτωσης

TWh	CHP3	PP	Hydro	Waste	BioCon	VRES	SolarTh	Transp.	Househ	Ind/Var	Total
Coal	0,58	19,34	0	0	0	0	0	0	0,04	0,03	19,98
Oil	1,73	5,83	0	0	0	0	0	63,59	12,81	15,34	99,3
N.Gas	6,92	12,14	0	0	0	0	0	3	3,86	5,41	31,33
Biomass	0,12	0,02	0	0,34	5,21	0	0	0	8,63	1,96	16,27
Renewable	0	0	10,73	0	0	23,19	2,51	0	0	0	36,43
H2 etc.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biofuel	0	0	0	0	-5	0	0	5	0	0	0
Nucl/CCS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	9,35	37,33	10,73	0,34	0,21	23,19	2,51	71,59	25,34	22,74	203,32

Όσον αναφορά το συνολικό κόστος αυτό θα έφτανε στην τιμή 19021 όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.8.

Πίνακας 4.8: Συνολικό κόστος της 2^{ης} υποπερίπτωσης

ANNUAL COSTS (M EUR)	TOTAL:	VARIABLE:	BREAKDOWN:
Fuel ex. Ngas exchange		11972	
Coal			212
FuelOil			990
Gasoil/Diesel			5965
Petrol/JP			4805
Gas handling			0
Biomass			0
Food income			0
Waste			0
Ngas Exchange costs		763	
Marginal operation costs		466	
Electricity exchange		-427	
Import			0
Export			-55
Bottleneck			0
Fixed imp/exp			-372
CO ₂ emission costs		2413	
Variable costs	15186		
Fixed operation costs	1151		

Annual Investment costs	2683		
TOTAL ANNUAL COSTS	19021		

Όσον αναφορά την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από RES θα έφτανε στην τιμή 71,4 % ή αλλιώς στην τιμή 34,28 TWh όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 4.9.

Πίνακας 4.9: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από RES της 2^{ης} υποπερίπτωσης

SHARE OF RES (incl. Biomass)		
RES share of PES	25,9	percent
RES share of elec. prod.	71,4	percent
RES electricity prod.	34,28	TWh/year

Σχετικά με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, αυτές βρίσκονται στην τιμή 40,21 (Μ/έτος) το οποίο επιβεβαιώνεται και από τον Πίνακα 4.10.

Πίνακας 4.10: Εκπομπές CO₂ της 2^{ης} υποπερίπτωσης

ANNUAL CO ₂ EMISSIONS (Mt)	
CO ₂ -emission (total)	40,209
CO ₂ -emission (corrected)	40,089

4.1.3 Υποπερίπτωση 3^η ανάλυση της αντλησιοταμιευτικής μονάδας στην τιμή 2776

Αφού εκκινήσουμε το πρόγραμμα, φορτώνουμε το αρχείο “3_scenario_2020_Greece” κατά σειρά, το οποίο είναι ένα από τα σενάρια που δημιουργήθηκαν με βάση τον σχεδιασμό ανάπτυξης που έχει εκδώσει η ΠΑΕ. Το σενάριο αυτό αντιπροσωπεύει τα δεδομένα του ελληνικού δικτύου της επομένης δεκαετίας με τις αντλησιοταμιευτικές μονάδες σε συνολική τιμή 2776 GWh.

Παρατηρώντας τα Σχήματα 4.3 και 4.4 διαπιστώνουμε μια μείωση του δείκτη Total Cost, στις 18995 μονάδες, άλλη μια μείωση στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και αύξηση στη παραγωγή από ΑΠΕ.



Input										3_senario_2020_Greece.txt										The EnergyPLAN model 15.0									
Electricity demand (TWh/year):			Flexible demand 0,00			Capacities			Efficiencies			Regulation Strategy:			Technical regulation no. 2			Fuel Price level: Basic											
Fixed demand 48,00			Fixed impexp. 5,10			MW-e			elec. Ther			CEEP regulation 000000000			Capacities Storage Efficiencies														
Electric heating + HP 0,74			Transportation 0,02			Mj/s			COP			Minimum Stabilisation share 0,30			MW-e GWh elec. Ther.														
Electric cooling 0,82			Total 55,68			Group 2:			Group 3:			Stabilisation share of CHP 0,00			Hydro Pump: 0 0 0,90														
District heating (TWh/year)			Gr.1 Gr.2 Gr.3 Sum			CHP 0 0 0,40 0,50			CHP 568 468 0,40 0,50			Minimum CHP gr 3 load 1000 MW			Hydro Turbine: 0 0 0,90														
District heating demand 0,00 0,60 0,00 0,60			Solar Thermal 0,00 0,00 0,00 0,00			Heat Pump 0 0 3,00			Heat Pump 0 0 3,00			Minimum PP 0 MW			Electrol. Gr.2: 0 0 0,80 0,10														
Industrial CHP (CSHP) 0,00 0,00 0,00 0,00			Demand after solar and CSHP 0,00 0,60 0,00 0,60			Boiler 0 0 0,90			Boiler 85 0,90			Heat Pump maximum share 0,50			Electrol. Gr.3: 0 0 0,80 0,10														
Wind 4049 MW 18,97 TWh/year 0,00 Grid stabl-			Photo Voltaic 3055 MW 4,21 TWh/year 0,00 sation			Group 3: CHP 568 468 0,40 0,50			Heat Pump 0 0 3,00			Maximum import/export 4000 MW			Electrol. trans.: 0 0 0,80														
Offshore Wind 0 MW 0 TWh/year 0,00 share			River Hydro 0 MW 0 TWh/year 0,00 share			Condensing 1000 0,39			Distr. Name : GR hour price.bt			CAES fuel ratio: 0,000			Ely. MicroCHP: 0 0 0,80														
Hydro Power 3171 MW 11,42 TWh/year			Geothermal/Nuclear 0 MW 0 TWh/year			Heatsstorage: gr.2: 0 GWh gr.3: 0 GWh			Addition factor 0,00 EUR/MWh			(TWh/year) Coal Oil Ngas Biomass			Transport 0,00 63,59 0,18 0,00														
						Fixed Boiler: gr.2: 0,0 Per cent gr.3: 0,0 Per cent			Multiplication factor 1,06			Household 0,05 14,21 4,28 9,57			Industry 0,02 10,87 3,73 1,47														
						Electricity prod. from CSHP Waste (TWh/year)			Dependency factor 0,00 EUR/MWh pr. MW			Various 0,01 4,47 1,68 0,49																	
						Gr.1: 0,00 0,29			Average Market Price 61 EUR/MWh																				
						Gr.2: 0,00 0,00			Gas Storage 0 GWh																				
						Gr.3: 2,18 0,00			Syngas capacity 0 MW																				
									Biogas max to grid 0 MW																				

Output										District Heating										Electricity										Exchange	
Demand		Production								Bal-	Consumption					Production					Balance					Payment Imp Exp					
Distr. heating MW	Solar MW	Waste+ CSHP MW	DHP MW	CHP MW	HP MW	ELT MW	Boiler MW	EH MW	Elec. demand MW		Flex.& Transp. MW	HP MW	Electrolyser MW	EH MW	Hydro Pump MW	Tur-bine MW	RES MW	Hy-dro MW	Geo-thermal MW	Waste+ CSHP MW	CHP MW	PP MW	Stab-Load %	Imp MW	Exp MW		CEEP MW	EEP MW	Million EUR		
January	116	0	31	0	468	0	0	0	-352	6568	2	48	0	82	0	0	2559	1426	0	281	569	2918	210	0	0	0	0	0	0		
February	110	0	31	0	503	0	0	0	-393	6086	2	48	0	79	0	0	2768	1290	0	281	610	2123	188	0	63	0	63	0	3		
March	95	0	31	0	551	0	0	0	-457	5491	2	40	0	63	0	0	2806	1282	0	281	669	1242	170	0	162	0	162	0	7		
April	71	0	31	0	556	0	0	0	-485	4809	2	30	0	44	0	0	2729	1251	0	281	675	1046	168	0	165	0	165	0	7		
May	46	0	31	0	550	0	0	0	-504	4759	2	22	0	33	0	0	2386	1251	0	281	668	1092	177	0	116	0	116	0	5		
June	34	0	31	0	503	0	0	0	-469	5366	2	9	0	14	0	0	2450	1355	0	281	611	1530	188	0	61	0	61	0	3		
July	27	0	31	0	473	0	0	0	-445	6677	2	8	0	14	0	0	3137	1417	0	281	574	2442	188	0	12	0	12	0	1		
August	28	0	31	0	493	0	0	0	-464	6335	2	9	0	14	0	0	2778	1383	0	281	598	1920	187	0	59	0	59	0	3		
September	40	0	31	0	607	0	0	0	-567	5736	2	15	0	23	0	0	3436	1197	0	281	737	906	143	0	320	0	320	0	14		
October	62	0	31	0	577	0	0	0	-515	4491	2	25	0	39	0	0	1971	1166	0	281	700	935	186	0	179	0	179	0	8		
November	88	0	31	0	533	0	0	0	-445	4976	2	35	0	59	0	0	2240	1261	0	281	647	1153	181	0	65	0	65	0	3		
December	106	0	31	0	513	0	0	0	-407	5392	2	43	0	75	0	0	2437	1316	0	281	623	1509	184	0	36	0	36	0	2		
Average	69	0	31	0	527	0	0	0	-459	5558	2	28	0	45	0	0	2640	1300	0	281	640	1569	181	0	103	0	103	0	55		
Maximum	122	0	31	0	824	0	0	0	-346	9643	4	86	0	160	0	0	6375	1436	0	281	1000	6925	319	0	3642	0	3642	0	Average price (EUR/MWh)		
Minimum	25	0	31	0	468	0	0	0	-799	3077	0	0	0	0	0	0	11	56	0	281	568	0	100	0	0	0	0	0	61		
TWh/year	0,60	0,00	0,27	0,00	4,63	0,00	0,00	0,00	-4,03	48,82	0,02	0,24	0,00	0,39	0,00	0,00	23,19	11,42	0,00	2,47	5,62	13,79	0,00	0,90	0,00	0,90	0	55			

FUEL BALANCE (TWh/year):										CAES BioCon- Electro- Wind PV and Wind off										Industry										Imp/Exp Corrected		CO2 emission (Mt):	
DHP	CHP2	CHP3	Boiler2	Boiler3	PP	Geo/Nu.	Hydro	Waste	Waste	Elc./y.	version	Fuel	Wind	CSP	Wave	Hydro	Solar.Th	Transp.	househ.	Various	Total	Imp/Exp	Corrected	Total	Net								
Coal	-	-	0,57	-	-	18,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,03	19,12	-1,21	17,92	6,97	6,53							
Oil	-	-	1,72	-	-	5,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63,59	12,81	15,34	99,03	-0,36	98,67	26,42	26,32						
N.Gas	-	-	6,86	-	-	11,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,00	3,86	5,41	30,73	-0,76	29,97	6,28	6,69						
Biomass	-	-	0,11	-	-	0,02	-	0,34	-	5,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,63	1,96	16,27	0,00	16,26	0,04	0,04						
Renewable	-	-	-	-	-	11,42	-	-	-	-	-	18,97	4,21	-	-	11,42	2,51	-	-	-	-	37,12	0,00	37,12	0,00	0,00							
H2 etc.	-	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
Biofuel	-	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-5,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
Nuclear/CCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
Total	-	-	9,26	-	-	35,67	-	11,42	0,34	-	0,21	-	18,97	4,21	-	11,42	2,51	71,59	25,34	22,74	202,27	-2,33	199,94	39,70	39,58								

02-Σεπτέμβριος-2021 [11:44]

Σχήμα 4.3: Scenario 3_1: Ανάλυση της αντλησιοταμίευτικής μονάδας στην τιμή 2776 GWh

ακόλουθο Πίνακα 4.11. Είναι περιττό να αυξάνουμε την αντλησοταμίευση χωρίς οικονομικό όφελος.

Πίνακας 4.11: Αντλησοταμίευση

	<i>PUMP STORAGE</i>	<i>ELECTRICITY STORAGE</i>	<i>ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ</i>	<i>TOTAL COST</i>	<i>ELECTRICITY FROM RES</i>	<i>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂ ΜΤ/ΕΤΟΣ</i>
5	3053,6	3582	199,85	19264	72,9	39,659
6	3331,2	3582	199,85	19270	72,9	39,659
7	3608,8	3582	199,85	19275	72,9	39,659

4.3 Ελληνικό ενεργειακό δίκτυο με αυξημένη ενσωμάτωση των Electricity Storage

Αυτό που παρατηρούμε στις περιπτώσεις 8-10 στις οποίες αυξάνουμε την ηλεκτρική αποθήκευση,

- +10% στην περίπτωση 8
- +20% στην περίπτωση 9
- +30% στην περίπτωση 10

Είναι ότι το ελληνικό σύστημα δεν έχει ανάγκη την περαιτέρω αύξηση των μονάδων αποθήκευσης μπαταριών με τα τωρινά δεδομένα όπως φαίνεται και από τον ακόλουθο Πίνακα 4.12. Διαπιστώνουμε πως είναι περιττό να αυξάνουμε την ηλεκτρική αποθήκευση χωρίς κανένα περιαιτολογικό και οικονομικό όφελος.

Πίνακας 4.12: Ανάλυση των χημικών μονάδων αποθήκευσης

	<i>PUMP STORAGE</i>	<i>ELECTRICITY STORAGE</i>	<i>ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ</i>	<i>TOTAL COST</i>	<i>ELECTRICITY FROM RES</i>	<i>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂ ΜΤ/ΕΤΟΣ</i>
8	699	3940,2	201,53	19332	70,7	40,47
9	699	4298,4	201,53	19359	70,7	40,47
10	699	4656,6	201,53	19386	70,7	40,47

4.4 Ελληνικό ενεργειακό δίκτυο με αυξημένη ενσωμάτωση των Electricity Storage και Pump Storage

Συνεχίζοντας την ανάλυση των περιπτώσεων, στις περιπτώσεις 11-13 στις οποίες αυξάνουμε την ηλεκτρική αποθήκευση και την αντλησιοταμίευση έχουμε,

- +10% στην περίπτωση 11
- +20% στην περίπτωση 12
- +30% στην περίπτωση 13

Αυτό που παρατηρείτε εκ πρώτης όψευς στον (Πίνακα 4.13), είναι το ίδιο φαινόμενο που παρατηρήθηκε και στις περιπτώσεις 5-10, είναι περιττό να αυξάνουμε την αποθήκευση όταν το μοναδικό που επιτυγχάνουμε είναι η αύξηση του συνολικού κόστους.

Πίνακας 4.13: Ανάλυση αποθηκευτικών μονάδων

	<i>PUMP STORAGE</i>	<i>ELECTRICITY STORAGE</i>	<i>ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ</i>	<i>TOTAL COST</i>	<i>ELECTRICITY FROM RES</i>	<i>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂ ΜΤ/ΕΤΟΣ</i>
11	3053,6	3940,2	199,85	19291	72,9	39,659
12	3331,2	4298,4	199,85	19323	72,9	39,659
13	3608,8	4656,6	199,85	19355	72,9	39,659

4.5 Έρευνα αποτελεσματικότητας του Electricity storage στο ελληνικό δίκτυο

Μελετώντας τη βιβλιογραφία και τα αποτελέσματα τα οποία παρατηρήθηκαν στα πρώτα 13 σενάρια είναι ξεκάθαρα φανερό πως το ελληνικό σύστημα είναι σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο όσον αναφορά τα περιβαλλοντικά κριτήρια που έχει θέσει η ευρωπαϊκή ένωση. Στο σενάριο 14 μελετάται η αυξημένη διείσδυση φωτοβολταϊκών, αυξανόμενη σταδιακά ανά 1000 MW, ξεκινώντας από 4000 MW μέχρι και τα 14000 MW, όπου διακρίνουμε δυο περιπτώσεις :

1. NO E
2. 36 Gwh E

Στον Πίνακα 4.14 παρατηρούμε στα 4000 MW να μην υπάρχει μείωση στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κάτι το οποίο ήταν γνωστό και από τα παραπάνω αποτελέσματα. Στα 5000 MW παρατηρείται να μια μικρή διαφορά στις εκπομπές, της τάξης του 0,03 τόνων. Αν παρατηρήσουμε στα 14000 MW η διαφορά των 0,03 έχει εκτοξευτεί στην τιμή των 2 τόνων . Είναι φανερό από τα αποτελέσματα ότι για να υπάρξει μείωση του CO₂ από την ενσωμάτωση electricity storage θα πρέπει να αυξήσουμε την φωτοβολταϊκή παραγωγή πάνω από 5000 MW.

Πίνακας 4.14: Ανάλυση της επιδράσεις των αποθηκευτικών μονάδων στις εκπομπές CO₂

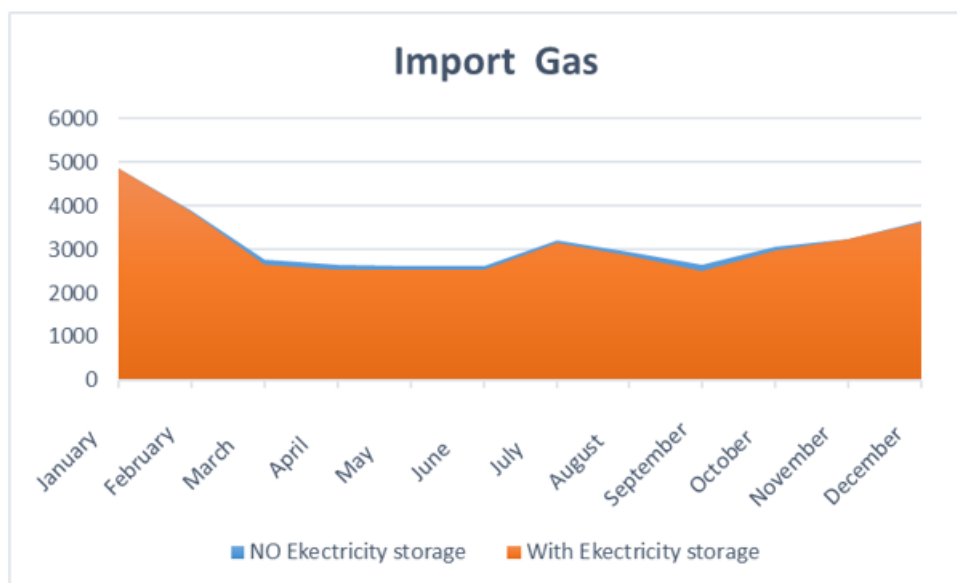
MW Photo Voltaic	CO ₂ with NO E	CO ₂ with 36 Gwh E
4000	39,91	39,91
5000	39,5	39,47
6000	39,27	39,15
7000	39,19	38,9
8000	39,24	38,71
9000	39,37	38,57
10000	39,56	38,47
11000	39,79	38,41
12000	40,06	38,43
13000	40,35	38,53
14000	40,66	38,66

Στον Πίνακα 4.15 παρατηρείται ολοφάνερα από την ερευνά μας πως η ηλεκτρική αποθήκευση μειώνει αισθητά την κατανάλωση καυσίμου κάτι το οποίο θα σημαίνει την απεξάρτηση της Ελλάδας από τρίτους, αναφερόμαστε στην τιμή του φυσικού αερίου, παρατηρείται στο Σχήμα 4.7.

Πίνακας 4.15: Ανάλυση της επίδρασης των αποθηκευτικών μονάδων στην εξάρτηση μας από τα καύσιμα

MW Photo Voltaic	Fuel with NO E	Fuel with 36 Gwh E
4000	203,29	203,28
5000	203,34	203,24
6000	203,98	203,59
7000	205,16	204,18
8000	206,74	204,96
9000	208,59	205,89
10000	210,65	206,97
11000	212,85	208,17
12000	215,14	209,63

13000	217,53	211,36
14000	219,97	213,23



Σχήμα 4.7: Εισαγωγή φυσικού αερίου

Στον Πίνακα 4.16 παρατηρείται μια διαφοροποίηση :

- όσον αναφορά το κόστος χωρίς ενσωματωμένη ηλεκτρική αποθήκευση είναι φανερό πως το ελληνικό δίκτυο εάν προχωρήσει σε αύξηση των Φ/Β (πάρκων η σπιτιών) έως και τα 6000 MW θα επιφέρει μείωση στο συνολικό κόστος στις εγκαταστάσεις , με τελική τιμή 18944.
- όσον αναφορά όμως το κόστος με εγκαταστημένη ηλεκτρική αποθήκευση παρατηρούμε πως το ελάχιστο κόστος το οποίο είναι 19191 το εντοπίζουμε στην τιμή των 8000 MW .

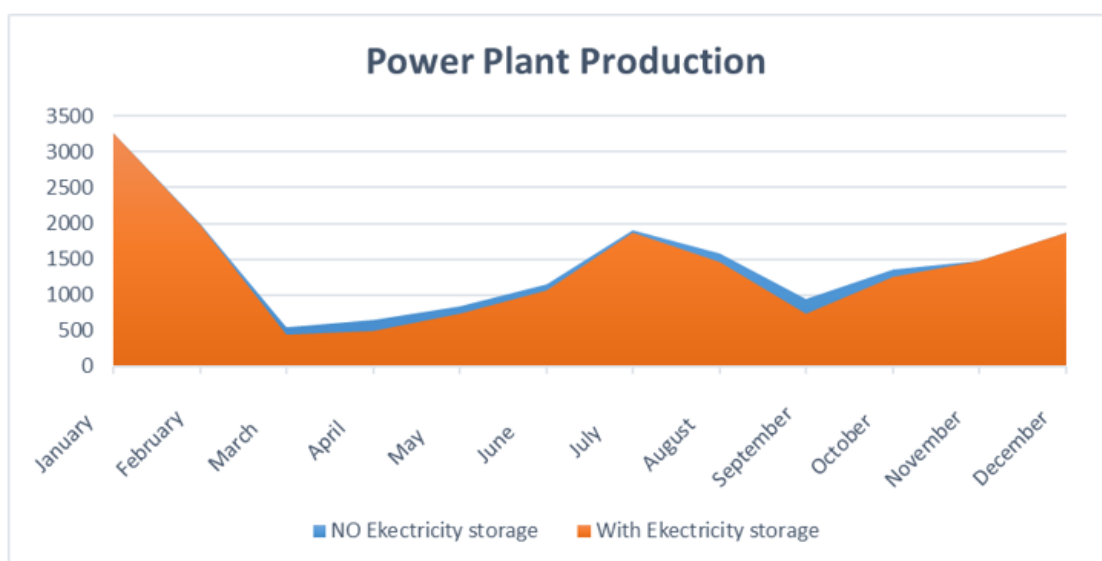
Πίνακας 4.16: Επίδραση των αποθηκευτικών μονάδων στο συνολικό κόστος

MW Photo Voltaic	Total Cost with NO E	Total Cost with 36 Gwh E
4000	18993	19288
5000	18960	19251
6000	18944	19223
7000	18946	19201
8000	18968	19191
9000	19008	19194
10000	19065	19211
11000	19135	19240
12000	19215	19286

13000	19303	19348
14000	19399	19420

Αναλύοντας το ηλεκτρολογικό δίκτυο την στιγμή που τα φωτοβολταϊκά θα είναι στις 8000 MW, ανάμεσα στις δυο αυτές περιπτώσεις, εκτός από τις ήδη αναλυμένες παραμέτρους παρατηρούμε ότι η RES share of elec. prod. από τις 83,4 TWh φτάνει στις 84,9 TWh με την ενσωμάτωση της ηλεκτρικής αποθήκευσης .

Στο Σχήμα 4.8, παρατηρούμε τη μείωση των λιγνιτών μονάδων του συστήματος στους μήνες κατά τους οποίους η ηλιακή και αιολική ενέργεια έχουν την μέγιστη απόδοσή τους. Τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο η μείωση με την ενσωμάτωση της αποθήκευσης είναι σχεδόν μηδενική και αυτό αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία το οποίο θα πρέπει να μελετηθεί ξεχωριστά και να ερευνηθεί στο μέλλον.

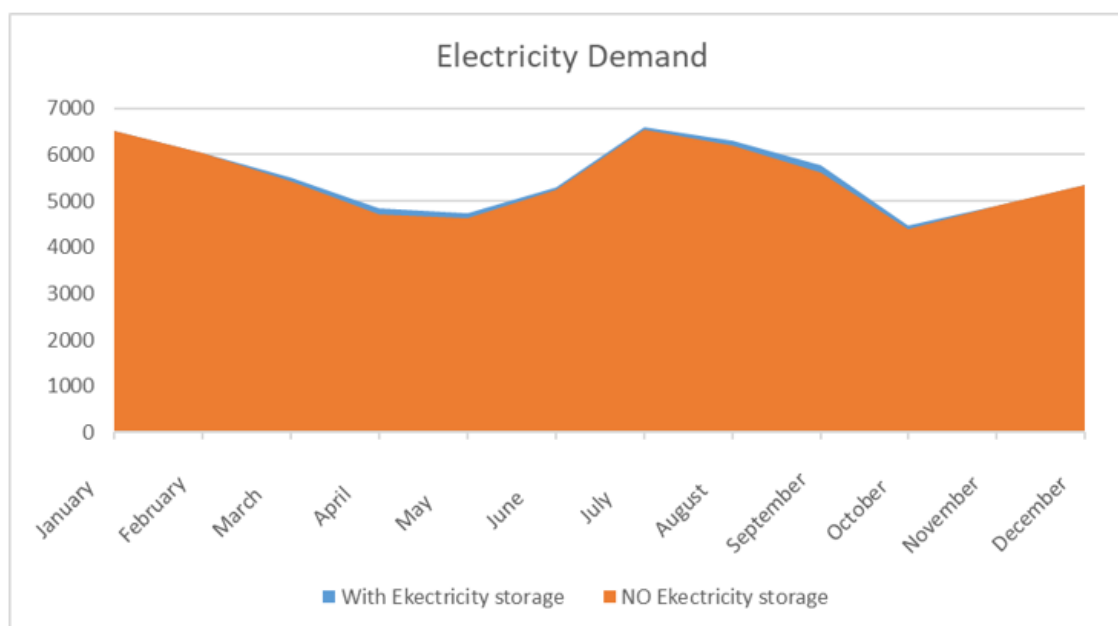


Σχήμα 4.8: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια

Όπως πρωτοαναφέραμε και στη θεωρία προηγουμένως η ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια με την είσοδο των ηλεκτρικών μονάδων αποθήκευσης θα έχει ως επίπτωση στο δίκτυό μας μια μικρή αύξηση από την πλευρά της ζητούμενης ηλεκτρικής ενέργειας όπως παρατηρείται και στον Πίνακα 4.17 και Σχήμα 4.9.

Πίνακας 4.17: Επιδράσεις των αποθηκευτικών μονάδων στην ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια

	NO Electricity storage	With Electricity storage	Διαφορά
January	6517	6518	1
February	6030	6047	17
March	5420	5520	100
April	4717	4842	125
May	4643	4734	91
June	5241	5305	64
July	6546	6587	41
August	6206	6298	92
September	5617	5786	169
October	4394	4469	75
November	4902	4906	4
December	5336	5337	1

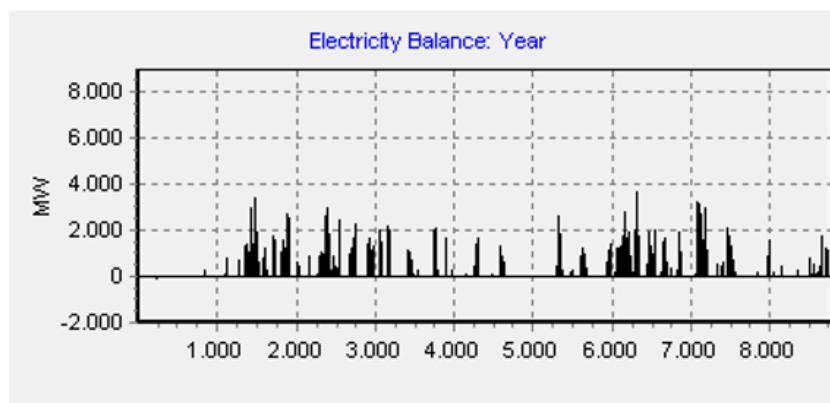


Σχήμα 4.9: Επίδραση των αποθηκευτικών μονάδων στην ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια

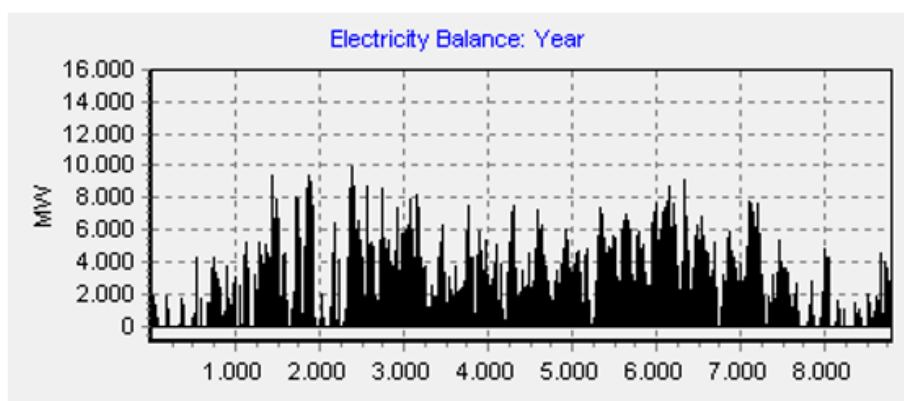
4.6 Ανάλυση ισορροπίας του δικτύου

Όπως αρχικά αναφέρθηκε, το λογισμικό EnergyPLAN έχει την δυνατότητα να εμφανίζει και γραφικές παραστάσεις. Μέσα από την καρτέλα γραφικές παραστάσεις έχουμε τη δυνατότητα να παρατηρήσουμε την ισορροπία του δικτύου στην 1^η υποπερίπτωση με το Σχήμα 4.10, σενάριο 14.1 με Σχήμα 4.11 και σενάριο 14.2 με Σχήμα 4.12. Να

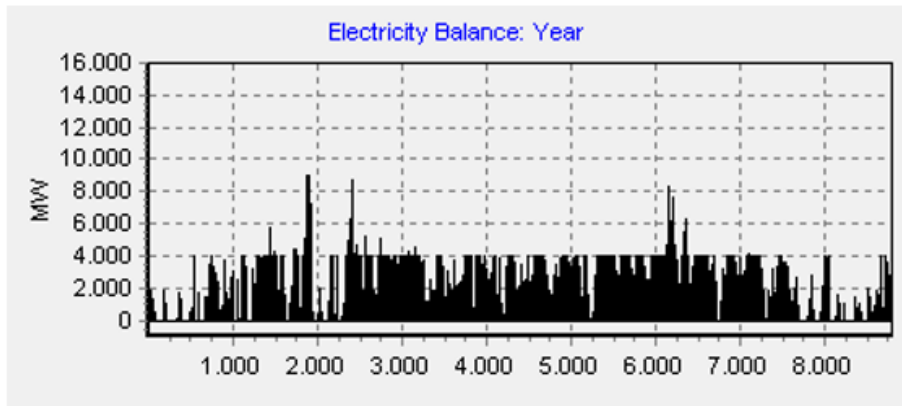
υπενθυμίσουμε ως 1^η υποπερίπτωση είναι το ελληνικό σύστημα της Ελλάδας σήμερα. Στο σενάριο 14.1 αναφέρουμε την απλή διεύθυνση των φωτοβολταϊκών χωρίς την ηλεκτρική αποθήκευση η οποία ηλεκτρική αποθήκευση υπάρχει στο σενάριο 14.2 στην τιμή των 36 GWh. Όπως έχουμε πρωτοαναφέρει η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας θα έχει πολλά οφέλη για το περιβάλλον. Αυτό που παρατηρείται σε αυτό το σημείο είναι ότι στην 1^η υποπερίπτωση και 14.1 λόγω της μη ύπαρξης ηλεκτρικής αποθήκευσης παρατηρούνται πολλές διακυμάνσεις κάτι για το οποίο στο σενάριο 14.2 θα μπορούσαμε να πούμε πως έχουμε μια εξομάλυνση κατά 90% το οποίο είναι ένα από τα ζητούμενα στοιχεία από την χρήση της τεχνολογίας ηλεκτρικής αποθήκευσης. Να επισημάνουμε επίσης ότι υπάρχουν 3 σημεία στο Σχήμα 4.12 που απεικονίζουν μια υπεραύξηση. Τα δεδομένα ελέγχθηκαν ξανά σε αυτά τα τρία σημεία και αυτό που παρατηρήθηκε είναι πως υπάρχει μια μεγάλη παραγωγή από αιολική ενέργεια λόγω των δυνατών ανέμων της άνοιξης και του φθινόπωρου. Αυτές οι τιμές στις οποίες έχουμε το πρόβλημα είναι περίπου στις ώρες 18:00, 22:00, 6200 .



Σχήμα 4.10: Scenario 1_2020_Greece



Σχήμα 4.11: Scenario 14.1_2020_Greece



Σχήμα 4.12: Scenario 14.2_2020_Greece

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπεράσματα

Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι η αποθήκευση θα επιτύχει μόνο με υψηλά επίπεδα διείσδυσης εάν μπορεί να ανταγωνιστεί την παροχή υπηρεσιών στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Οι αγορές έχουν δημιουργηθεί για να εκτιμούν την ηλεκτρική ικανότητα και την παραγωγή που παρέχουν οι παραδοσιακοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, αλλά δεν το κάνουν γενικά, ένα σημείο στο οποίο μπορεί να προσφέρει αξία το υψηλό επίπεδο αποθήκευσης και ευελιξίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι ρυθμιστικές αποφάσεις θα εμποδίσουν τα συστήματα αποθήκευσης να συμμετέχουν στην αγορά βοηθητικών υπηρεσιών. Ένας τρόπος για να φτιάξετε ένα οικονομικά κερδοφόρο σύστημα αποθήκευσης με ηλεκτρική ενέργεια είναι μέσω arbitrage, Ωστόσο, είναι δύσκολο να προβλεφθεί πότε ακριβώς να αγοραστούν η ποσότητες αυτές της ηλεκτρικής ενέργειας και ποτέ ακριβώς να πουληθούν, από την ερευνά και την μελέτη των σεναρίων της παρούσας διπλωματικής ερευνάς παρατηρείτε ότι η αποθήκευση της ενέργειας η οποία παράγεται από της ΑΠΕ θα ήταν ποιο κερδοφόρο και για τον καταναλωτή και για το περιβάλλον με της μειώσεις τον εκπομπών του CO₂.

Όσον αναφορά στην ηπειρωτική χώρα της Ελλάδας θα λέγαμε με αρκετή σιγουριά ότι το ενεργειακό μας δίκτυο θα πρέπει να στοχεύσει πρώτα σε μια σημαντική αύξηση της παραγωγής από αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα και στην συνέχεια να προχωρήσει σε μια αύξηση των ηλεκτρικών μονάδων αποθήκευσης όπως παρατηρήθηκε και από την ερευνά μας στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ελλάδας. Το ενεργειακό ισοζύγιο της Ελλάδας δεν έχει την απαίτηση για διείσδυση των αποθηκευτικών μονάδων σε αυτή την χρονική περίοδο. Να επισημάνουμε και πάλι πως τα νησιά δεν έχουν μελετηθεί λόγω του ότι κάθε νησί θα πρέπει να μελετηθεί και να ερευνηθεί με τον δικό του τρόπο φτιάχνοντας αρχικά ένα προφίλ φορτίου για όλο το χρόνο και στη συνέχεια παρατηρώντας την ανάπτυξη των ΑΠΕ χωρίς να επηρεάσουν την μορφολογία του νησιού και του περιουτολογικού και ανθρωπίνου κώδικα ηθικής. Από τη βιβλιογραφία γίνεται ξεκάθαρο πως στα νησιά οι ηλεκτρικές μονάδες αποθήκευσης θα έχουν το πλεονέκτημα και την προσοχή μας για το μέλλον.

Το μεγάλο κόστος των μονάδων αποθήκευσης θα πρέπει να μας προβληματίζει για το πόσο ανάγκη έχουμε μια μονάδα αποθήκευσης στο παρόν. Μια έρευνα η οποία είναι εν εξελίξει

αυτή τη χρονική περίοδο αφορά στην αποθήκευση ενέργειας στις μπαταρίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Είναι θα λέγαμε σχεδόν ξεκάθαρο πως η ηλεκτροκίνηση θα μας απασχολήσει στο πολύ άμεσο μέλλον όλους μας. Ενσωματώνοντας το μοντέλο arbitrage στην ηλεκτροκίνηση θα έχουμε ένα μεγάλο οικονομικό όφελος. Είναι γνωστό σε όλους μας ότι μια επιχείρηση η οποία δεν έχει οικονομικό όφελος δεν θα μπορέσει ποτέ να εδραιώσει την ύπαρξη της. Ακριβώς με τον ίδιο τρόπο θα πρέπει να αξιολογούμε και τις αποθηκευτικές μονάδες. Οι περιαιτολογικοί παράγοντες είναι ένα καλό σημείο που προτείνουμε για την ανάπτυξη των αποθηκευτικών μονάδων, αλλά είναι ξεκάθαρο από την τελευταία δεκαετία πως αν οι αποθηκευτικές μονάδες γινόντουσαν πιο κερδοφόρες θα αναπτυσσόταν με ταχύτερους ρυθμούς .

Αποδεικνύεται ότι η αποθήκευση θα είναι πιο πολύτιμη για την εξοικονόμηση ενέργειας εάν η μεταβλητή ισχύς των ανανεώσιμων πηγών είναι κατά μέσο όρο μεγαλύτερη από την ισχύ των ευέλικτων πηγών ενέργειας, όπως οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με αέριο στο δίκτυο. Όταν η μεταβλητή ανανεώσιμη ικανότητα είναι μεγάλη σε σχέση με την ευέλικτη ικανότητα εφοδιασμού, υπάρχει έλλειψη ευελιξίας από την πλευρά της προσφοράς, πράγμα που σημαίνει ότι ένα σύστημα είναι ικανό να συντονίζει κεντρικά περισσότερους πόρους αποθήκευσης από την πλευρά της ζήτησης με αποτέλεσμα να είναι πιο προσοδοφόρο για τους καταναλωτές από την τεχνολογία αποθήκευσής τους.

Η προσωπική εξοικονόμηση που μπορούν να έχουν οι καταναλωτές από τις συσκευές αποθήκευσης εξαρτώνται από την εξέλιξη των συστημάτων ισχύος. Οι καταναλωτές που σκέφτονται να επενδύσουν σε EES πρέπει να γνωρίζουν όχι μόνο την ποσότητα της χωρητικότητας αποθήκευσης που αναπτύσσεται στα συστήματα ισχύος τους, αλλά και το επίπεδο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που μπορεί να καλύπτει αυτή η συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης. Αυτές οι πληροφορίες είναι σημαντικές επειδή επηρεάζουν τη λειτουργική εξοικονόμηση από την αποθήκευση των καταναλωτών και, ως εκ τούτου, τη δυνατότητα για επενδύσεις στην τεχνολογία. Αυτό μπορεί επίσης να είναι ένας λόγος για την πολυπλοκότητα των υπολογισμών κόστους-οφέλους από τους καταναλωτές και, κατά συνέπεια, για την τρέχουσα έλλειψη EES που επικρατεί στους οικιακούς χρήστες.

Βιβλιογραφία

- [1] Neshat, N., M.R. Amin-Naseri, and F. Danesh, Energy models: Methods and characteristics. *Journal of Energy in Southern Africa*, 2014. 25(4): p. 101-111.
- [2] Reuter, A., R. Kuehner, and N. Wohlgemuth. *Energy models: methods and trends*. 1996. Croatia.
- [3] Muqet, H.A., et al., Optimal Operation of Energy Storage System for a Prosumer Microgrid Considering Economical and Environmental Effects. 2019 International Symposium on Recent Advances in Electrical Engineering (RAEE), 2019. 4: p. 1-6.
- [4] https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/national-energy-climate-plans_en#:~:text=To%20meet%20the%20EU%E2%80%99s%20energy%20and%20climate%20targets.
- [5] Østergaard, P.A., Reviewing EnergyPLAN simulations and performance indicator applications in EnergyPLAN simulations. *Applied Energy*, 2015. 154: p. 921-933.
- [6] Saboori, H., et al., Energy storage planning in electric power distribution networks – A state-of-the-art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. 79: p. 1108-1121.
- [7] References and W.n.d.C.a.m.t.I.O.R.S. irena.org, 2021, from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017_Summary.pdf?la=en%26hash=2FDC44939920F8D2BA29CB762C607BC9E882D4E9.
- [8] https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/GRIDEE_4NT_364174_000_01_TOTALDOC%20-%2018-1-2016.pdf
- [9] Ringkjøb, H.-K., P.M. Haugan, and I.M. Solbrekke, A review of modelling tools for energy and electricity systems with large shares of variable renewables. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018. 96: p. 440-459.
- [10] Simoglou, C.K. and P.N. Biskas, Assessment of the impact of the National Energy and Climate Plan on the Greek power system resource adequacy and operation. *Electric Power Systems Research*, 2021. 194: p. 107113.
- [11] Lund, H. Hvelplund, F. Mathiesen, B. Østergaard, P. A .Christensen, P. Connolly, D. Schaltz, E. Pillay, Jayakrishnan R. Nielsen, M. Felby, C. Bentsen, N. Meyer, N. Tonini, D.

Astrup, T. Heussen, K. Morthorst, P. Andersen, F. M. Münster, M. Hansen, Lise-Lotte Pade Wenzel, H. Hamelin, L. Munksgaard, J. Karnøe, Peter Lind, M. 2011. Coherent Energy and Environmental System Analysis.

- [12] Anuta, O.H., et al., An international review of the implications of regulatory and electricity market structures on the emergence of grid scale electricity storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014. 38: p. 489-508.
- [13] Beuse, M., et al., Comparing CO₂ emissions impacts of electricity storage across applications and energy systems. *Joule*, 2021. 5(6): p. 1501-1520.
- [14] Eitan, A. and I. Fischhendler, The social dimension of renewable energy storage in electricity markets: The role of partnerships. *Energy Research & Social Science*, 2021. 76: p. 102072.
- [15] Zakeri, B., et al., Centralized vs. distributed energy storage – Benefits for residential users. *Energy*, 2021. 236: p. 121443.
- [16] Argyrou, M.C., P. Christodoulides, and S.A. Kalogirou, Energy storage for electricity generation and related processes: Technologies appraisal and grid scale applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018. 94: p. 804-821.
- [17] Elshurafa, A.M., The value of storage in electricity generation: A qualitative and quantitative review. *Journal of Energy Storage*, 2020. 32: p. 101872.
- [18] <https://www.irena.org/publications/2017/Oct/Electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets>.
- [19] Pierpoint, L.M., Harnessing electricity storage for systems with intermittent sources of power: Policy and R&D needs. *Energy Policy*, 2016. 96: p. 751-757.
- [20] Kyriakopoulos, G.L. and G. Arabatzis, Electrical energy storage systems in electricity generation: Energy policies, innovative technologies, and regulatory regimes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016. 56: p. 1044-1067.
- [21] Tahir, M.F., et al., Optimizing Size of Variable Renewable Energy Sources by Incorporating Energy Storage and Demand Response. *IEEE Access*, 2019. 7: p. 103115-103126.
- [22] Wong, L.A., et al., Review on the optimal placement, sizing and control of an energy storage system in the distribution network. *Journal of Energy Storage*, 2019. 21: p. 489-504.

- [23] Λάγγαρης, Π., Βέλτιστη σχεδίαση συστήματος αποθήκευσης με στοχαστική παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: 2018.
- [24] Alagioglou, Technical Optimisation of the Greek Interconnected Energy System of 2020 using EnergyPLAN mode.