



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**«ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΧΗΜΑΤΩΝ  
ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥΣ  
ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ»**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΥΠΟ**

**ΜΠΟΥΝΤΟΥΛΗ Κ. ΧΡΗΣΤΟ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:**

**ΔΡ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΖΑΦΕΙΡΑΚΗΣ**

**ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑ.Δ.Α.**

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2022



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## «ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥΣ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΟ

ΜΠΟΥΝΤΟΥΛΗ Κ. ΧΡΗΣΤΟ

**Επιβλέπων:** Δρ Δημήτριος Ζαφειράκης

Καθηγητής.....

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική Επιτροπή την 4<sup>η</sup> Μαρτίου 2022

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....

.....

.....

Δημήτριος Ζαφειράκης

Γεώργιος Σπυρόπουλος

Κωνσταντίνος Μουστρής

Επικ. Καθηγητής Πα.Δ.Α.

ΕΔΙΠ Πα.Δ.Α.

Αναπλ. Καθηγητής Πα.Δ.Α.

Αθήνα, Μάρτιος 2022

Copyright © - Μπουντούλης Κ. Χρήστος, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

(Υπογραφή)



.....  
**Μπουντούλης Κ. Χρήστος**

# Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα εξεταστούν αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις αυτοπαραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας, στη βάση προσομοίωσης της λειτουργίας υβριδικών συνδυασμών μικρών ανεμογεννητριών και συσσωρευτών σε περιοχές αιολικού δυναμικού, στοχεύοντας στην παραγωγή βέλτιστων λύσεων οι οποίες θα εξισορροπούν το ισοζύγιο ιδιοκατανάλωσης και εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο. Στο πλαίσιο αυτό, θα αναπτυχθούν κατάλληλες στρατηγικές εμπορίας ενέργειας οι οποίες θα εφαρμοστούν σε πλήθος υβριδικών συνδυασμών, εξετάζοντας την δυνατότητα ελαχιστοποίησης του κόστους παραγωγής / κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με το συμβατικό σενάριο της αποκλειστικής κάλυψης των αναγκών του τελικού καταναλωτή ενέργειας – μέσω προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας από το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο – και με το εναλλακτικό σενάριο της πλήρους αυτονομίας.

## **Λέξεις Κλειδιά**

Αυτοπαραγωγός, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Αποθήκευση Ενέργειας

## Abstract

In this dissertation we will examine representative cases of self-generating electricity, based on the simulation of the operation of hybrid combinations of small wind turbines and accumulators in wind potential areas, aiming at the production of optimal solutions that will balance the equilibrium with electricity and electricity balance. In this context, appropriate energy trading strategies will be developed which will be implemented in a number of hybrid combinations, considering the possibility of minimizing the cost of electricity generation / consumption compared to the conventional scenario of exclusive coverage of the needs of the final energy consumer - through electricity supply. from the mains - and with the alternative scenario of full autonomy.

### **Keywords**

Prosumer, Renewable Energy Sources, Energy Storage

*Αφιερωμένη σε έναν λαμπρό άνθρωπο και καθηγητή,  
τον Κύριο Κωνσταντίνο Γιαννακόπουλο.*

## Ευχαριστίες

*Με αφορμή τη τελευταία μου εργασία και το κλείσιμο ενός κύκλου στα κτίρια της Θηβών, θα ήθελα να την αφιερώσω στους δικούς μου ανθρώπους και να τους ευχαριστήσω που στάθηκαν δίπλα μου όλα αυτά χρόνια. Στους γονείς μου για την απεριόριστη στήριξη, την Σωτηρία που υπήρξε στήριγμα μου όλα αυτά τα χρόνια, την Ιωάννα, την αγαπημένη μου γιαγιά και όλο μου το στενό περιβάλλον.*

*Ένα ευχαριστώ στους φίλους και συνοδοιπόρους Κώστα και Παναγιώτη που από την έναρξη του κύκλου αυτού πορευτήκαμε μαζί.*

*Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κύριο Δημήτρη Ζαφειράκη για την υπομονή και πολύτιμη βοήθεια που προσέφερε απλόχερα για την ολοκλήρωση της εργασίας.*

# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	4
Abstract.....	5
Ευχαριστίες .....	7
Περιεχόμενα .....	8
Ευρετήριο σχημάτων .....	10
Ευρετήριο πινάκων .....	12
1. Εισαγωγή .....	13
2. Ηλεκτρική ενέργεια .....	15
2.1. Εισαγωγή .....	15
2.2. Παραγωγή .....	15
2.3. Μεταφορά.....	16
2.4. Διαμόρφωση τιμής.....	18
2.5. Κόστη λιανικής σε Ελλάδα και Ευρώπη .....	19
3. Οικιακά υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας .....	26
3.5.4. Συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας .....	39
3.5.5. Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας .....	42
3.5.6. Περιφερειακά συστήματα υβριδικών συστημάτων.....	48
3.5.7. Πλεονεκτήματα υβριδικών συστημάτων.....	48
4. Νομικό και κανονιστικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ στην Ελλάδα και την ΕΕ .....	50
4.1. Γενικά .....	50
4.2. Ευρωπαϊκό Κανονιστικό Πλαίσιο .....	50
4.2.1. Περιβαλλοντικοί Στόχοι .....	50
4.2.2. Χρηματοδοτικά Προγράμματα.....	51
4.2.3. Περιορισμοί – Προκλήσεις.....	52
4.3. Ελληνικό Νομοθετικό Πλαίσιο.....	53
4.4. Εθνικό Νομοθετικό Πλαίσιο για την Αυτοπαραγωγή .....	55
5. Μεθοδολογία - σχήματα αυτοπαραγωγής.....	58
5.1. Εισαγωγή .....	58
5.2. Αυτοπαραγωγός.....	58



5.2.1.	Προμήθεια ηλεκτρικού ρεύματος.....	59
5.2.2.	Οικονομικά θέματα .....	59
5.2.3.	Οριακή τιμή συστήματος (spot price) .....	60
5.2.4.	Σχήματα αυτοπαραγωγού .....	61
5.3.	Ιδιοπαραγωγός.....	62
5.4.	Περιγραφή προσομοίωσης.....	63
5.4.1.	Δομή Υβριδικού Συστήματος.....	64
5.4.2.	Δεδομένα Εισόδου.....	64
6.	Προκαταρκτικά Αποτελέσματα Εφαρμογής.....	69
7.	Συμπεράσματα .....	82
8.	Βιβλιογραφία.....	84

## Ευρετήριο σχημάτων

<b>Εικόνα 2.5.1:</b> Εξέλιξη των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας για τους οικιακούς καταναλωτές, ΕΕ-28 και ευρωζώνη, 2008-2019 (EUR ανά kWh). .....	24
<b>Εικόνα 2.5.2:</b> Μεριδίο των φόρων και εισφορών που πληρώθηκαν από τους οικιακούς καταναλωτές - πρώτο μισό του 2019(%). Πηγή: Eurostat .....	25
<b>Εικόνα 3.1:</b> Συνολική συμμετοχή των ΑΠΕ στο δίκτυο της Ελλάδας ανά έτος (MW/Per Year). .....	28
<b>Εικόνα 3.2:</b> Απεικόνιση εσωτερικού του θαλάμου των μηχανισμών. ....	31
<b>Εικόνα 3.3:</b> Απεικόνιση ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για μια οικία.....	32
<b>Εικόνα 3.4:</b> Αναπαράσταση οριζοντίου άξονα.....	34
<b>Εικόνα 3.5:</b> Απεικόνιση ντιζελογεννήτριας.....	35
<b>Εικόνα 3.6:</b> Καμπύλη κατανάλωσης γεννήτριας με καύσιμο ντίζελ.....	37
<b>Εικόνα 3.7:</b> Κύκλωμα υβριδικής εγκατάστασης, με χρήση οικιακό σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας (αριστερά) και κοινοτικό σύστημα αποθήκευσης (δεξιά). ....	41
<b>Εικόνα 3.8:</b> Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με βάση μπαταρία στο ηλεκτρικό δίκτυο. ....	44
<b>Εικόνα 3.9:</b> Τυπική εξάρτηση της χωρητικότητας ενός συσσωρευτή Pb/H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , ως ποσοστό της ονομαστικής τιμής της, εκπεφρασμένο σε κύκλους λειτουργίας.....	47
<b>Εικόνα 5.1:</b> Απεικόνιση σεναρίου ενός αυτοπαραγωγού με χρήση ηλεκτρογεννήτριας. ..	61
<b>Εικόνα 5.2:</b> Απεικόνιση σεναρίου ενός αυτοπαραγωγού χωρίς χρήση ηλεκτρογεννήτριας. ....	62
<b>Εικόνα 5.3:</b> Απεικόνιση 1ου σεναρίου ενός ιδιοπαραγωγού.....	63
<b>Εικόνα 5.4:</b> Απεικόνιση 2ου σεναρίου ενός ιδιοπαραγωγού.....	63
<b>Εικόνα 5.5:</b> Ωριαίες Μετρήσεις Ταχύτητας Ανέμου .....	65
<b>Εικόνα 5.6:</b> Καμπύλη Ισχύος Α/Γ.....	66
<b>Εικόνα 5.7:</b> Ωριαίο φορτίο ζήτησης ενός έτους (σε kW). ....	66
<b>Εικόνα 5.8:</b> Σύγκριση Ταχύτητας Ανέμου με το Φορτίο Ζήτησης ανά ώρα του έτους. ....	67
<b>Εικόνα 6.1:</b> Συντελεστής Κάλυψης Φορτίου (%) για περιοχές ισχύος Α/Γ $N_w = 0-30\text{Kw}$ και συσσωρευτή με χωρητικότητα $Ess = 0-300\text{kWh}$ . ....	69
<b>Εικόνα 6.2:</b> Ώρες Απόρριψης Φορτίου για περιοχές ισχύος Α/Γ $N_w = 0-30\text{kW}$ και συσσωρευτή με χωρητικότητα $Ess = 0-300\text{kWh}$ .....	70
<b>Εικόνα 6.3:</b> Αρχικό Κόστος Επένδυσης (€) για περιοχές ισχύος Α/Γ $N_w = 0-30\text{kW}$ και συσσωρευτή με χωρητικότητα $Ess = 0-300\text{kWh}$ .....	71
<b>Εικόνα 6.4:</b> Κόστος καυσίμου που απαιτείται για την κάλυψη του φορτίου από Η/Γ (€) για περιοχές ισχύος Α/Γ $N_w = 0-30\text{kW}$ και συσσωρευτή με χωρητικότητα $Ess = 0-300\text{kWh}$ . ....	72
<b>Εικόνα 6.5:</b> Αναπαράσταση των εξόδων που περιλαμβάνει το LCOE .....	73
<b>Εικόνα 6.6:</b> Σταθμισμένο Κόστος Παραγωγής Ενέργειας για περιοχές ισχύος Α/Γ $N_w = 0-30\text{kW}$ και συσσωρευτή με χωρητικότητα $Ess = 0-300\text{kWh}$ . ....	74

<b>Εικόνα 6.7:</b> Παγκόσμιος μέσος όρος LCOE από πρόσφατα παραγελθείσες τεχνολογίες ηλιακής και αιολικής ενέργειας σε κλίμακα κοινής ωφελείας, 2019-2020 [Πηγή: IRENA]	75
<b>Εικόνα 6.8:</b> Σύγκριση του σταθμισμένου κόστους – περίπτωση 1	77
<b>Εικόνα 6.9:</b> Σύγκριση του σταθμισμένου κόστους – περίπτωση 2	78
<b>Εικόνα 6.10:</b> Σύγκριση του σταθμισμένου κόστους – περίπτωση 3	79
<b>Εικόνα 6.11:</b> Σύγκριση του σταθμισμένου κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας ανά χωρητικότητα συσσωρευτή για α)N= 0 kW, β)N= 15 kW και γ)N= 30 Kw	79
<b>Εικόνα 6.12:</b> Σύγκριση του σταθμισμένου κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας ανά χωρητικότητα συσσωρευτή για α)N= 0 kW, β)N= 15 kW και γ)N= 30 kW	80
<b>Εικόνα 6.13:</b> Σύγκριση του σταθμισμένου κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας ανά χωρητικότητα συσσωρευτή για α)N= 0 kW, β)N= 15 kW και γ)N= 30 kW	81

## Ευρετήριο πινάκων

<b>Πίνακας 1:</b> Χρεώσεις (Μοναδιαίες Χρεώσεις Χρήσης) για Πελάτες Συστήματος και Πελάτες Μέσης και Χαμηλής Τάσης του Διασυνδεδεμένου Δικτύου, βάσει του Απαιτούμενου Εσόδου (Πηγή: ΥΠΕ, 2021) .....	20
<b>Πίνακας 2:</b> Τιμές ηλεκτρικής ενέργειας για το 2020 (EUR ανά kWh) συμπεριλαμβάνονται όλοι οι φόροι. ....	22
<b>Πίνακας 3:</b> Συντελεστές καμπύλης κατανάλωσης καυσίμου.....	36
<b>Πίνακας 4:</b> Ισχύς και διάρκειας ζωής ορισμένων τύπων γεννητριών. ....	38

# 1.Εισαγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ζωτικής σημασίας αγαθό για την καθημερινή ζωή των ανθρώπων, την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη κατά τη διάρκεια των αιώνων. Με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, το ποσοστό ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται. Κρίνεται λοιπόν αναγκαίο να αναπτυχθούν εναλλακτικές πηγές ενέργειας που είναι φιλικές προς το περιβάλλον για την κάλυψη αυτής της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης της ενέργειας.

Η μείωση των συμβατικών πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με την αυξανόμενη υπερθέρμανση του πλανήτη έχουν επιταχύνει την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) όπως η ηλιακή και η αιολική. Οι ΑΠΕ μπορούν να αξιοποιηθούν τόσο για σύνδεση στο δίκτυο όσο και για εκτός δικτύου εφαρμογές, ειδικά σε αγροτικές περιοχές με περιορισμένη σύνδεση στο δίκτυο. Αυτό θα μειώσει την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, τις επιβλαβείς εκπομπές και το κόστος κατανάλωσης.

Παρά τα οφέλη τους, η διάδοση των ΑΠΕ είναι ακόμα περιορισμένη εξαιτίας της μεταβλητής, μη ελεγχόμενης παραγωγής τους η οποία επηρεάζει καθοριστικά τη λειτουργία παρόμοιων συστημάτων. Στο πλαίσιο αυτό, η συνεργασία δύο ή περισσότερων ΑΠΕ θεωρείται απαραίτητη για την επάρκεια σε ενεργειακή τροφοδοσία μη διασυνδεδεμένων καταναλωτών. Ομοίως, η ενσωμάτωση γεννητριών ντίζελ σε συστήματα ΑΠΕ μπορεί να διασφαλίσει την ποιότητα και την αξιοπιστία των υπηρεσιών και να έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη φθορά των συσσωρευτών καθώς και εξορθολογισμό των διαστάσεων των συνιστωσών ΑΠΕ. Επομένως, είναι απαραίτητο να βελτιστοποιηθεί η εγκατάσταση ενός υβριδικού συστήματος για να ελαχιστοποιηθεί τόσο το κόστος εγκατάστασης όσο και το κόστος συντήρησης.

Στη χώρα μας το ενδιαφέρον για τέτοιους συνδυασμούς παραγωγικών σχημάτων εντοπίζεται κυρίως στις αποκεντρωμένες περιοχές και τα νησιά. Η Ελλάδα είναι μια μεσογειακή χώρα με το μοναδικό χαρακτηριστικό ότι διαθέτει περίπου 6000 νησιά, από τα οποία μόνο μερικές εκατοντάδες κατοικούνται. Τα ελληνικά νησιά έχουν ικανό δυναμικό ΑΠΕ. Ωστόσο, μόνο ένα μικρό ποσοστό της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ απαντάται στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Επιπλέον, τα μη διασυνδεδεμένα νησιά

βασίζονται κυρίως σε αυτόνομους πετρελαϊκούς σταθμούς εξαιτίας των οποίων το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλό [1]. Η διασύνδεση όλων των ελληνικών νησιών με το ηπειρωτικό δίκτυο είναι ένα δαπανηρό έργο, αλλά παραμένει θέμα υψηλής προτεραιότητας για την εγχώρια ενεργειακή πολιτική, ενώ ως εναλλακτική λύση μελετάται και η δημιουργία υβριδικών συστημάτων ΑΠΕ.

Κατά συνέπεια το ενδιαφέρον της Ελλάδας για σχήματα υβριδικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλή αποδοτικότητα και χαμηλό κόστος συντήρησης είναι ή θα έπρεπε να είναι μεγάλο.

## 2. Ηλεκτρική ενέργεια

### 2.1. Εισαγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της οικονομίας μιας χώρας, ένα αναγκαίο αγαθό για κάθε άνθρωπο, για το οποίο οποιαδήποτε μεταβολή στην παραγωγή ή στην τιμή προξενεί άμεσο αντίκτυπο στην κοινωνία και σε εθνικό επίπεδο.

Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζεται από πολλούς παράγοντες και μεταβάλλεται από ακόμη περισσότερους. Κυρίαρχο ρόλο στην διαμόρφωση αυτής διαδραματίζει η παραγωγή, με πολύ σημαντικό συντελεστή τα ενεργειακά αποθέματα της εκάστοτε χώρας, την ενεργειακή πολιτική της χώρας, τις γεωλογικές, γεωφυσικές και κλιματολογικές ιδιαιτερότητες αυτής. Στη συνέχεια αναλύεται το κόστος της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας και η δομή της τοπικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ευρύτερα.

### 2.2. Παραγωγή

Η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές δραστηριότητες που πραγματοποιεί η ανθρωπότητα, ήδη από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Η ηλεκτρική ενέργεια έχει καθολική ζήτηση σε όλο τον πλανήτη, λόγω της εξάρτησης των ανθρώπων από αυτή για την εκτέλεση καθημερινών εργασιών, οικονομικών δραστηριοτήτων, προστασίας, υγείας, παιδείας, κ.λπ.. Πρόκειται για μία από τις βασικές ανθρώπινες ανάγκες, και συμπεριλαμβάνεται στα Βασικά Ανθρώπινα Δικαιώματα, των συνθηκών του ΟΗΕ [2,3].

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται με βάση την Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας, δηλαδή της φυσικής διεργασίας μετατροπής μίας μορφής ενέργειας σε μία άλλη. Τις κύριες πηγές ηλεκτρισμού αποτελούν [4]:

- Τα ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, ο λιγνίτης, ο άνθρακας κ.λπ.
- Οι ΑΠΕ, όπως η ηλιακή, η αιολική, η θαλάσσια, η υδροηλεκτρική κ.λπ..

- Δευτερογενείς πηγές (μέσα) που αναφέρονται σε τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες ιόντων λιθίου όπου η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεταγενέστερα στο χρόνο.

Η πλέον κοινή μορφή παραγωγής ενέργειας σε βιομηχανικό επίπεδο είναι η μετατροπή της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε ηλεκτρική, μέσω της χρήσης ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους ή ηλεκτρικής γεννήτριας. Πρόκειται για την πλέον παραδοσιακή διαδικασία παραγωγής ενέργειας, όμως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί και μέσω αξιοποίησης άλλων μορφών ενέργειας όπως η αιολική και η ηλιακή με χρήση των αντίστοιχων τεχνολογιών [5,6].

Παράλληλα, ωστόσο, η παραδοσιακή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί σημαντικό παράγοντα ρύπανσης και κλιματικής επιβάρυνσης, με πολλές χώρες και διεθνείς οργανισμούς, να πραγματοποιούν έντονες προσπάθειες περιορισμού της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές πηγές (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακα κ.λπ.) και να επενδύουν στις ΑΠΕ. Ο λόγος είναι η ολοένα και πιο αυξανόμενη απειλή της κλιματικής αλλαγής, η οποία έχει αρχίσει να επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες, οδηγώντας σταδιακά σε αυξημένες οικονομικές και κοινωνικές κρίσεις [7].

Στην Ελλάδα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στο μεγαλύτερο ποσοστό στα συμβατικά καύσιμα, καθώς η χώρα δεν έχει εκμεταλλευτεί επαρκώς τα μεγάλα αποθέματα και τις δυνατότητές της για παραγωγή από ΑΠΕ. Οι λόγοι για αυτό είναι ποικίλοι και καθιστούν δύσκολη την εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου σχεδίου ανάπτυξης των υποδομών για τη δημιουργία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ [8].

Κύριος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα θεωρείται ακόμη και σήμερα η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), η οποία επίσης αποτελεί τον κύριο πάροχο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ιδιώτες παραγωγούς.

### 2.3. Μεταφορά

Η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας αποτέλεσε πρωταρχική πρόκληση που προέκυψε στον τομέα κατά τη διάδοση του ηλεκτρισμού και την εμπορευματοποίησή του. Ουσιαστικά η



συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για αγωγούς μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, και η συμβολή αυτών στις απώλειες ενέργειας, έθεσαν τα θεμέλια για τη σύγχρονη βιομηχανία έρευνας και ανάπτυξης, ενώ μετέπειτα βοήθησαν στην ανάπτυξη ηλεκτρονικών συστημάτων, τα οποία επίσης στην σύγχρονη εποχή αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του ευρύτερου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας [9].

Η διαδικασία μεταφοράς ενέργειας ενέχει ακόμα περισσότερες προκλήσεις για χώρες όπως η Ελλάδα, η οποία διαθέτει περισσότερα από 200 κατοικημένα νησιά. Στην παρούσα περίπτωση, η Πολιτεία διαθέτει δύο επιλογές: την αποκέντρωση της παραγωγής και την κατ' επέκταση εγκατάσταση μονάδων μεσαίας έως υψηλής παραγωγικής δυνατότητας απευθείας στα νησιά (κάτι που η χώρα εφαρμόζει από τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα), και την ανάπτυξη ενός υποθαλάσσιου δικτύου μεταφοράς ενέργειας, το οποίο θα λαμβάνει την παραγόμενη ενέργεια από τις βασικές μονάδες της ενδοχώρας και θα την διοχετεύει στα νησιά.

Στη δεύτερη περίπτωση μειώνεται σημαντικά ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος, ωστόσο αυξάνεται σημαντικά το κόστος συντήρησης, δεδομένου πως το θαλάσσιο περιβάλλον, προκαλεί μηχανικά και υλικά προβλήματα στους αγωγούς. Ωστόσο η δράση αυτή βοηθά στη διαμόρφωση ενός αποδοτικού δικτύου, το οποίο θα είναι πιο περιβαλλοντικά φιλικό, καθώς μειώνει σημαντικά τον αριθμό των ρυπογόνων παραγωγικών μονάδων, και δίνει την ευκαιρία για την ανάπτυξη τεχνολογιών, όπως η παραγωγή ενέργειας από τα υποθαλάσσια ρεύματα και την παλίρροια, ή την ανάπτυξη υπεράκτιων εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ [10].

Σε συνέχεια των παραπάνω, τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα την αναλαμβάνει αποκλειστικά ο Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ). Πρόκειται για το φορέα, ο οποίος είναι εξ ολοκλήρου υπεύθυνος για την κατασκευή, επισκευή, συντήρηση, ανάπτυξη και λειτουργία του δικτύου διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, ανεξαρτήτως του παραγωγού ή του παρόχου.

Η ίδρυση του ΔΕΔΔΗΕ ως ανεξάρτητη δημόσια εταιρεία, πραγματοποιήθηκε το 2010, όταν για πρώτη φορά στην Ελλάδα «απελευθερώθηκε» η τοπική αγορά, δηλαδή καταργήθηκε το μονοπώλιο στον τομέα της παραγωγής ενέργειας. Λόγω της ύπαρξης κρίσιμων υποδομών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες αποτελούσαν ιδιοκτησία της ΔΕΗ, τα στοιχεία αυτά μεταφέρθηκαν στην ιδιοκτησία του ΔΕΔΔΗΕ, προκειμένου να καταστεί δυνατός ο διαχωρισμός μεταξύ της διαδικασίας «παραγωγής», όπου πλέον συμμετέχουν και ιδιωτικές

εταιρείες, και της «μεταφοράς / διανομής» όπου το κράτος διατηρεί την ευθύνη για την αποκλειστική λειτουργία και συντήρηση των κρίσιμων αυτών υποδομών [11].

## 2.4. Διαμόρφωση τιμής

Ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαρακτηριστικός του συνόλου των λοιπών οικονομικών τομέων. Οι εμπλεκόμενοι φορείς συμβάλλουν για το σύνολο των διεργασιών από τη διαδικασία της παραγωγής μέχρι και την τελική κατανάλωση, ενώ η δράση των φορέων, καθώς και παραγόντων της παγκόσμιας αγοράς, προκαλούν τη διακύμανση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαμόρφωση της τελικής τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, πραγματοποιείται μέσω τριών κύριων φορέων [12]:

- Παραγωγός (δηλαδή οι ιδιωτικές εταιρείες παραγωγής ενέργειας)
- Μεταφορέας / Διανομέας (δηλαδή ο ΑΔΜΗΕ και ο ΔΕΔΔΗΕ)
- Πάροχος (δηλαδή η εταιρεία πώλησης ή μεταπώλησης, η οποία ταυτίζεται ή όχι με την εταιρεία παραγωγής).
- Καταναλωτές.

Υπό κανονικές συνθήκες, η τιμή λιανικής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, θα διαμορφωνόταν με βάση τη δράση των παραπάνω παραγόντων, ωστόσο λόγω του χαρακτήρα της ηλεκτρικής ενέργειας ως βασικό κοινωνικό αγαθό, η τιμή διαμορφώνεται και με βάση κοινωνικές πολιτικές. Στην ΕΕ, τα κράτη διαμορφώνουν τις τιμές πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας για τους καταναλωτές, με βάση τόσο τις ανάγκες των εμπλεκόμενων φορέων, όσο και τις αγοραστικές δυνατότητες του καταναλωτικού κοινού, ενώ πολλά κράτη όπως η Ελλάδα, έχουν σε ισχύ μέτρα περαιτέρω μείωσης του κόστους προς τους καταναλωτές, με βάση διάφορα κοινωνικά κριτήρια, προκειμένου να υπάρχει η κατά το δυνατόν μέγιστη κάλυψη του πληθυσμού. Αντίθετα σε κράτη όπως οι ΗΠΑ, όπου το πλαίσιο διαμορφώνεται με βάση τις νομοθετικές ρυθμίσεις των τοπικών κυβερνήσεων, η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας δεν παρουσιάζει ομοιογένεια, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η δυνατότητα του κεντρικού κράτους να παρέχει στο σύνολο των πολιτών το βασικό αυτό αγαθό [13].

Ωστόσο, παρά την εφαρμοζόμενη πολιτική για τη διαμόρφωση της τιμής της λιανικής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, οι καταναλωτές επιβαρύνονται με επιπλέον χρεώσεις όπως φόροι, δημοτικά τέλη, τέλη σύνδεσης και συντήρησης δικτύου, και λοιπές χρεώσεις. Ως αποτέλεσμα δημιουργείται η λανθασμένη εντύπωση της «ακριβής» ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία ωστόσο αφορά τις επιπλέον χρεώσεις και όχι την ίδια την ηλεκτρική ενέργεια [11].

Στο πλαίσιο αυτό, και παρόλο που υπήρξε μια σταθερότητα στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας, όπως αποτυπώνεται και παρακάτω στην ενότητα 2.6, το 2<sup>ο</sup> εξάμηνο του 2021 σημειώθηκε σημαντική αύξηση. Κύρια αιτία της τάσης αυτής είναι η αύξηση της τιμής του φυσικού αερίου και η μείωση παροχής του καυσίμου προς τις ευρωπαϊκές χώρες, γεγονός που αναδεικνύει την έκθεση του μίγματος ηλεκτροπαραγωγής στις διακυμάνσεις του φυσικού αερίου.

## 2.5. Κόστη λιανικής σε Ελλάδα και Ευρώπη

Όπως προαναφέρθηκε το κόστος λιανικής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, καθορίζεται με βάση την παράλληλη δράση του συνόλου των συντελεστών παροχής της ενέργειας, αλλά και τη νοοτροπία πως η ενέργεια αποτελεί κοινωνικό αγαθό. Υπεύθυνοι για τη διαμόρφωση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας είναι το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας και η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας σύμφωνα με το νόμο 4001/11, ο οποίος καθορίζει τις αρμοδιότητες των παραπάνω υπηρεσιών ως προς τη διαμόρφωση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας σε μία αγορά η οποία έχει απελευθερωθεί στην Ελλάδα [14].

Οι υφιστάμενες χρεώσεις ηλεκτρικής ενέργειας διαμορφώνονται ανά κατηγορία πελατών, καθώς για διαφορετικές κοινωνικές ομάδες και οικονομικούς τομείς, η τιμή της ενέργειας καθορίζεται με ανάλογο τρόπο (Πίνακας 1) [14].

Εκτός των τιμών του Πίνακα 1, το κόστος περιλαμβάνει και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας του δικτύου μέσης και υψηλής τάσης, καθώς επίσης και χρεώσεις ανάληψης υπηρεσιών κοινωνικής ωφέλειας, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την αποζημίωση των παραγωγών σε περιπτώσεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε καταναλωτές που ανήκουν σε κατηγορίες που χρίζουν μειωμένων χρεώσεων παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Σημείο προβληματισμού κατά τη διαδικασία απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας αποτέλεσε η

κριτική πως η απελευθέρωση θα διακόψει τον κοινωνικό χαρακτήρα της ηλεκτρικής ενέργειας, ωστόσο με μέτρα όπως τα παραπάνω, το ζήτημα αυτό αντιμετωπίστηκε προτού δημιουργηθεί [15].

Το σύνολο των κρατών – μελών της ΕΕ, διαθέτει παρόμοια προγράμματα για τη διασφάλιση της παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές. Συγκεκριμένα, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζεται με βάση το μοντέλο υπολογισμού και ισοστάθμισης των δαπανών της παραγωγής και μεταφοράς, και των αναγκών της κοινωνίας, ενώ σε πολλές περιπτώσεις εφαρμόζονται και μέτρα κοινωνικής πολιτικής που αποσκοπούν στην μείωση του τελικού κόστους λιανικής πώλησης [15].

**Πίνακας 1:** Χρεώσεις (Μοναδιαίες Χρεώσεις Χρήσης) για Πελάτες Συστήματος και Πελάτες Μέσης και Χαμηλής Τάσης του Διασυνδεδεμένου Δικτύου, βάσει του Απαιτούμενου Εσόδου (Πηγή: ΥΠΕ, 2021) <sup>1</sup>

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΧΡΕΩΣΗ ΙΣΧΥΟΣ	ΧΡΕΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΛΕΠΤΑ €/kWh)
Πελάτες ΥΤ	24062 €/MW Ισχύος Χρέωσης ανά έτος	-
Πελάτες ΜΤ	1197 €/MW Μεγίστης Μηνιαίας τιμής της Μέσης Ωριαίας Ζήτησης τις Ώρες Αιχμής (11πμ-2μμ) ανά μήνα	-
Πελάτες ΧΤ- Οικιακοί (πλην ΥΚΩ)	0.13 €/kVA Συμφωνημένης Ισχύος Παροχής ανά έτος	0.542
Πελάτες ΧΤ- Οικιακοί ΥΚΩ και δικαιούχοι Κοινωνικού Οικιακού Τιμολογίου)	-	0.602
Λοιποί Πελάτες ΧΤ (συμπεριλαμβανομένων των ΦΟΠ)	0.52 €/kVA Συμφωνημένης Ισχύος Παροχής ανά έτος	0.488

<sup>1</sup> Σημειώνεται ότι από τις χρεώσεις αυτές απαλλάσσονται οι Πελάτες που εντάσσονται σε αγροτικά τιμολόγια, οι νυχτερινές καταναλώσεις των Πελατών που εντάσσονται στα τιμολόγια Γ1Ν, Γ23 και Γ23Β, οι καταναλώσεις Πελατών χαμηλής τάσης με μετρητή φορτίου ζώνης που καταγράφονται στις προκαθορισμένες για τους μετρητές αυτούς ζώνες χαμηλού φορτίου, καθώς και οι νυχτερινές καταναλώσεις (11μμ-7πμ) των Πελατών χαμηλής τάσης με ωριαίο μετρητή.

## 2.6. Οικιακοί καταναλωτές & τιμολόγια ηλεκτρικής ενέργειας σε Ελλάδα & Ευρώπη

Ένα ουσιαστικό κομμάτι των εξόδων των οικιακών καταναλωτών και των επιχειρήσεων σε Ευρώπη και Ελλάδα είναι η αγορά ενέργειας είτε αυτό προέρχεται από το ηλεκτρικό δίκτυο είτε πρόκειται για αέριο ή προϊόντα διύλισης πετρελαίου. Τα ενεργειακά προϊόντα αποτελούν βασικές εισροές σχεδόν όλων των τελικών αγαθών και υπηρεσιών και ανάλογα με την αλλαγή των τιμών ενέργειας επηρεάζονται και οι γενικοί δείκτες τιμών. Η εξέλιξη των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας των οικιακών τιμολογίων έχει ανοδική πορεία σύμφωνα με τις ετήσιες μελέτες της Ευρωπαϊκής Στατιστικής Υπηρεσίας (Eurostat). Η ανάλυση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας για τα νοικοκυριά βασίζεται στην μεσαία συνήθη ζώνη κατανάλωσης των νοικοκυριών με τη συγκεκριμένη ζώνη να εντοπίζεται μεταξύ 2500 και 5000 kWh ετησίως. Το υψηλότερο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για τους μεσαίους οικιακούς καταναλωτές για το πρώτο εξάμηνο του 2021 παρουσιάζεται στην Γερμανία με 0,3193 €/kWh, ενώ η Ελλάδα κατατάσσεται το 2021 στην 19<sup>η</sup> θέση με 0,1680 €/kWh χαμηλότερο κατά 16,1% από τον μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η χαμηλότερη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας για τους οικιακούς καταναλωτές εντοπίζεται στη Ουκρανία με 0,0485 €/kWh. Στις γειτονικές χώρες το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας κινείται εξίσου χαμηλά με Αλβανία, Βουλγαρία, Σκόπια και Τουρκία να κυμαίνονται μεταξύ των 0,080 με 0,1024 €/kWh.

*Πίνακας 2: Τιμές ηλεκτρικής ενέργειας για το 2020 (EUR ανά kWh) συμπεριλαμβάνονται όλοι οι φόροι.*

<i>ΧΩΡΑ / ΓΕΩΓΡ. ΠΕΡΙΟΧΗ</i>	<i>2<sup>ο</sup> ΕΞΑΜΗΝΟ 2020</i> <i>(EUR ανά kWh)</i>	<i>1<sup>ο</sup> ΕΞΑΜΗΝΟ 2021</i> <i>(EUR ανά kWh)</i>
<i>Germany</i>	0,3006	0,3193
<i>Denmark</i>	0,2819	0,2900
<i>Belgium</i>	0,2702	0,2702
<i>Ireland</i>	0,2616	0,2555
<i>Spain</i>	0,2298	0,2323
<i>Euro area</i>	0,2272	0,2322
<i>Italy</i>	0,2153	0,2259
<i>Austria</i>	0,2167	0,2216
<i>European Union(27)</i>	0,2134	0,2192
<i>Portugal</i>	0,2133	0,2089
<i>Liechtenstein</i>	0,2078	0,2071
<i>Luxembourg</i>	0,1985	0,1988
<i>Cyprus</i>	0,1698	0,1976
<i>France</i>	0,1958	0,1933
<i>Norway</i>	0,1322	0,1826
<i>Czechia</i>	0,1795	0,1802
<i>Sweden</i>	0,1718	0,1791
<i>Finland</i>	0,1773	0,1767
<i>Greece</i>	0,1641	0,1680
<i>Slovakia</i>	0,1724	0,1668
<i>Slovenia</i>	0,1694	0,1662
<i>Poland</i>	0,1510	0,1548
<i>Romania</i>	0,1449	0,1536
<i>Latvia</i>	0,1432	0,1403
<i>Iceland</i>	0,1248	0,1356
<i>Lithuania</i>	0,1321	0,1348
<i>Estonia</i>	0,1291	0,1324

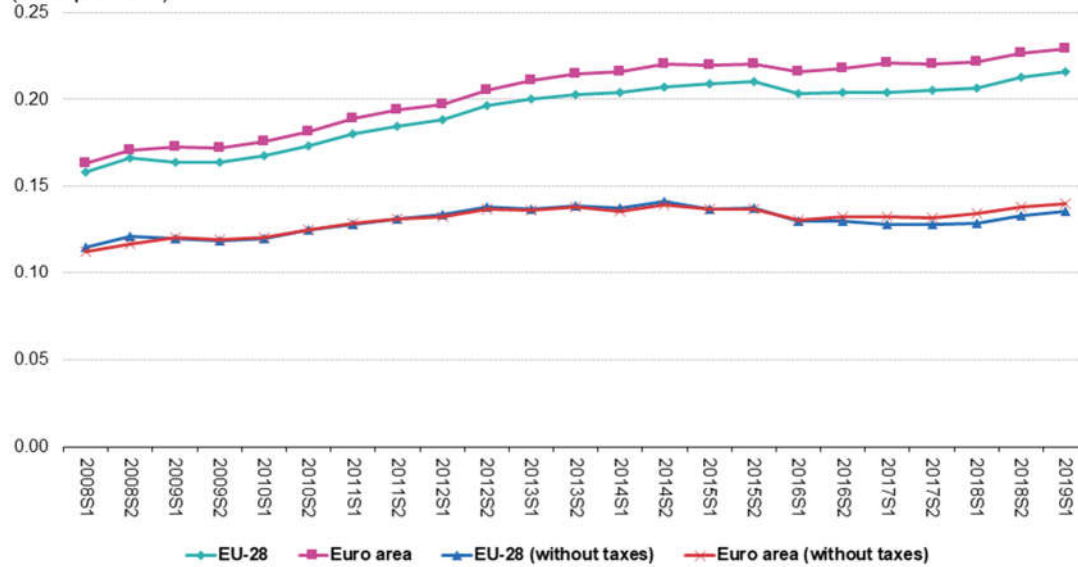
<i>Croatia</i>	0,1307	0,1291
<i>Netherlands</i>	0,1361	0,1281
<i>Malta</i>	0,1301	0,1279
<i>Bulgaria</i>	0,0982	0,1024
<i>Hungary</i>	0,1009	0,1003
<i>Montenegro</i>	0,0999	0,0980
<i>Bosnia and Herzegovina</i>	0,0901	0,0875
<i>Moldova</i>	0,0993	0,0851
<i>North Macedonia</i>	0,0833	0,0841
<i>Turkey</i>	0,0822	0,0834
<i>Serbia</i>	0,0737	0,0791
<i>Georgia</i>	0,0568	0,0631
<i>Kosovo</i>	0,0608	0,0605
<i>Ukraine</i>	0,0396	0,0485
<i>United Kingdom</i>	:	:
<i>Albania</i>	:	:

Η μέση τιμή στην ΕΕ-27 και τα δυο εξάμηνα του 2020 με τη βάση τα πιο πρόσφατα στοιχεία για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τα νοικοκυριά ήταν 0,2130 €/kWh.

Η εξέλιξη των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας για τους οικιακούς καταναλωτές στην ΕΕ-27 και στην ευρωζώνη από το πρώτο μισό του 2008 παρουσιάζεται παρακάτω στο σχήμα. Η τιμή της ενέργειας, της προμήθειας και του δικτύου (τιμές χωρίς φόρους) παρέμεινε σταθερή κατά την τελευταία δεκαετία. Αυξήθηκε από 0,1149 €/kWh το πρώτο μισό του 2008 σε 0,1411 €/kWh το δεύτερο μισό του 2014 και τώρα ανέρχεται σε 0,1356 €/kWh. Ωστόσο, το ύψος των φόρων αυξήθηκε σταθερά από 27 % το 2008 σε 37 % το 2019.

**Development of electricity prices for household consumers, EU-28 and EA, 2008-2019**

(EUR per kWh)



Source: Eurostat (online data codes: nrg\_pc\_204)

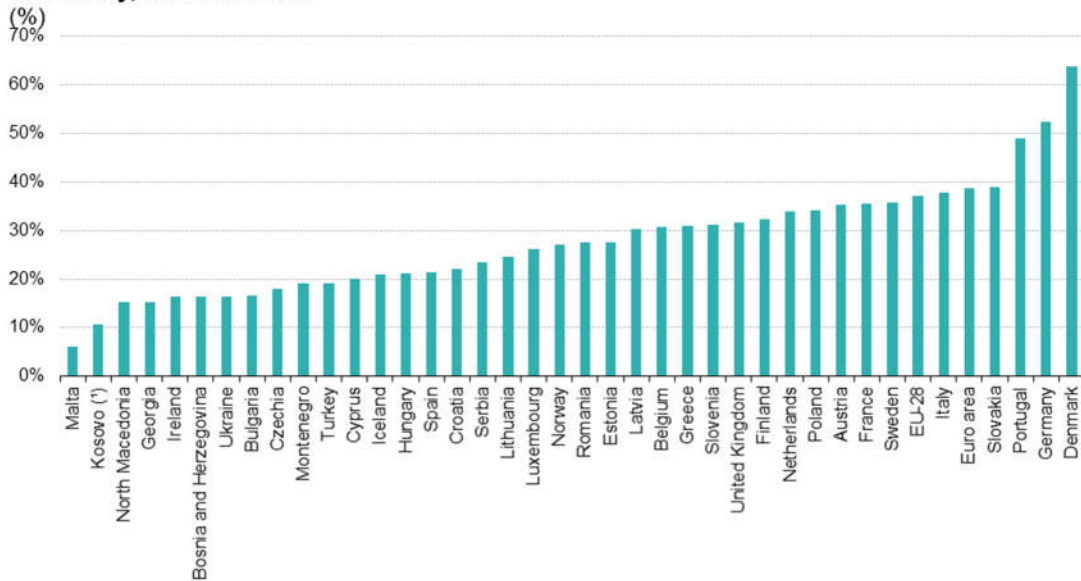
eurostat

**Εικόνα 2.5.1:** Εξέλιξη των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας για τους οικιακούς καταναλωτές, ΕΕ-28 και ευρωζώνη, 2008-2019 (EUR ανά kWh).

Το ύψος των φόρων και εισφορών διαφέρει σε μεγάλο βαθμό μεταξύ των κρατών μελών. Το ποσοστό των φόρων και εισφορών στη συνολική τιμή λιανικής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας για τους οικιακούς καταναλωτές παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.5.2. Το σχετικό ποσό του φόρου το πρώτο μισό του 2019 στην ΕΕ ήταν μικρότερο στη Μάλτα (5,9 %), όπου εφαρμόζεται χαμηλός συντελεστής ΦΠΑ στη βασική τιμή και δεν επιβάλλονται άλλοι φόροι στους οικιακούς καταναλωτές. Οι υψηλότεροι φόροι σημειώθηκαν στη Δανία, όπου το 63,7 % της τελικής τιμής ήταν φόροι και εισφορές.



**Share of taxes and levies paid by household consumers for the electricity, first half 2019**



(\*) This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo Declaration of Independence.  
Source: Eurostat (online data codes: nrg\_pc\_204)

eurostat

**Εικόνα 2.5.2:** Μερίδιο των φόρων και εισφορών που πληρώθηκαν από τους οικιακούς καταναλωτές - πρώτο μισό του 2019(%). Πηγή: Eurostat

Οι συνέχεις διακυμάνσεις στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας για πολιτικούς ή οικονομικούς λόγους καθιστά αναγκαία την προστασία του καταναλωτή. Μέτρα για την προστασία του καταναλωτή θα μπορούσαν αρχικά να παρθούν από την Πολιτεία, μειώνοντας τους φόρους που φτάνουν στον λογαριασμό του καταναλωτή ή βάζοντας πλαφόν στις τιμές πώλησης της ενέργειας .

Υπάρχουν όμως και μέτρα που θα μπορούσε να πάρει ο ίδιος ο καταναλωτής, μεταξύ των οποίων και η δημιουργία πλαισίου αυτονόμησης σε σχέση με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Με την τεχνολογία να προοδεύει σημαντικά στον εν λόγω τομέα τα τελευταία χρόνια, ο σχεδιασμός σχημάτων αυτοπαραγωγής με τη χρήση υβριδικών συνδυασμών είναι πλέον ρεαλιστικός και υπό συνθήκες οικονομικά ενδιαφέρων, επιτρέποντας πλέον τη διερεύνηση παρόμοιων σχημάτων για την εξυπηρέτηση και οικιακών καταναλωτών.

## 3. Οικιακά υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας

### 3.1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ως ΑΠΕ καλούμε τις μορφές πηγών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας, προέρχονται από την φύση και θεωρούνται ανεξάντλητες. Οι τεχνολογίες που υπάρχουν αυτή τη στιγμή αξιοποιούν φυσικές ροές ενέργειας, όπως το ηλιακό φως, τον άνεμο, τα κύματα, την ροή νερού και τις βιολογικές διεργασίες, όπως η αναερόβια χώνευση βιομάζας, η βιολογική παραγωγή υδρογόνου (Βιοϋδρογόνο) και η γεωθερμική ενέργεια. Πέρα από το γεγονός ότι είναι πρακτικά ανεξάντλητες, πολύ σημαντικό προτέρημα είναι ότι δεν απαιτείται παρέμβαση στο περιβάλλον καθώς δεν συμβαίνει εξόρυξη ή άντληση όπως συμβαίνει με τα ορυκτά καύσιμα. Επίσης θεωρούνται πιο «φιλικές» συνολικά προς το περιβάλλον και προς την ατμόσφαιρα καθώς δεν υπάρχουν παράγωγα καύσης όπως συναντάμε για παράδειγμα με την καύση του λιγνίτη.

Μεταξύ των ΑΠΕ, έχει σημειωθεί σημαντική τεχνολογική ανάπτυξη για την αξιοποίηση της ενέργειας από τον άνεμο. Ο άνεμος είναι κίνηση μαζών αέρα, δημιουργούμενη από την ανισοκατανομή στη θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο. Εξαιτίας αυτής, δημιουργούνται δυνάμεις που ωθούν τις μάζες του αέρα προς εξισορρόπηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας ή, σε πολύ μικρότερη κλίμακα, της θερμοκρασίας μεταξύ ξηράς και θάλασσας.

Η αιολική ενέργεια δεν είναι μια σταθερή πηγή ενέργειας. Μεταβάλλεται συνεχώς και με έντονο τρόπο, δημιουργώντας ανάλογες διακυμάνσεις ισχύος στην έξοδο μιας αιολικής μηχανής. .

Η μεταβολή της έντασης του ανέμου θεωρείται λοιπόν στοχαστική και επομένως δεν δύναται να εγγηθεί σταθερή ισχύ σε συνεχή βάση. Για το λόγο αυτό, αξιοποιείται καλύτερα στο πλαίσιο ενός συστήματος με ικανή αποθηκευτική ικανότητα ή/και δευτερογενείς, ευέλικτες καταναλώσεις, όπως μια μονάδα αφαλάτωσης, ώστε να επιτυγχάνεται ο μέγιστος δυνατός βαθμός συμφωνίας μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης.

Η αιολική ενέργεια είναι από τις πλέον διαδεδομένες ήπιες μορφές ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η αιολική ενέργεια άρχισε να αξιοποιείται το 1930, με την

βοήθεια των ανεμογεννητριών. Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει ως αποτέλεσμα την τεράστια βελτίωση των τεχνικών χαρακτηριστικών των ανεμογεννητριών που σε συνδυασμό με το χαμηλό πλέον κόστος, ένεκα της διάδοσης τους, έχουν φέρει την αιολική ενέργεια στο επίκεντρο των επενδύσεων, με υψηλό πλέον ποσοστό συμμετοχής στο ενεργειακό μίγμα πολυάριθμων χωρών.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω όμως η αιολική ενέργεια δεν είναι μια σταθερή πηγή ενέργειας, γεγονός που μας αναγκάζει να κατασκευάζουμε μεγάλες εγκαταστάσεις. Παρόλα αυτά πολλοί επιστήμονες υποστηρίζουν πως οι χώρες πρέπει να επικεντρωθούν στην αιολική ενέργεια καθώς θεωρούν πως με την κατάλληλη αξιοποίηση της, θα μπορούσε να λύσει το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της άποψης είναι η Δανία. Η Δανία ηγείται σε ολόκληρο το κόσμο στο ποσοστό ενέργειας που αντλεί από τον άνεμο. Αξίζει δε να σημειωθεί πως τα τελευταία χρόνια, ένα μεγάλο ποσοστό προήλθε από υπεράκτια αιολικά πάρκα, και τώρα η τοπική κυβέρνηση ανακοίνωσε την πρόθεσή της να προχωρήσει περαιτέρω, κατασκευάζοντας ένα τεχνητό νησί 120.000 τετραγωνικών μέτρων. Μαζί με έναν μικρότερο κόμβο που πρόκειται να κατασκευαστεί στα ανατολικά της Δανίας, το νησί αναμένεται να αποδίδει αιολική ισχύ 5 GW.

Σε συνδυασμό με τα υφιστάμενα αιολικά πάρκα, τόσο στη στεριά όσο και στη θάλασσα, το έργο θα μετατρέψει τη Δανία σε καθαρό εξαγωγέα καθαρής ενέργειας στους γείτονές της.

Αν και το παράδειγμα της Δανίας φαντάζει ιδιαίτερα προηγμένο, είναι ευρύτερα αποδεκτό πως οι ΑΠΕ αποτελούν μια οικονομικά ενδιαφέρουσα πηγή ενέργειας και εσόδων, η οποία θα μπορούσε να αξιοποιηθεί και στην περίπτωση της Ελλάδας.

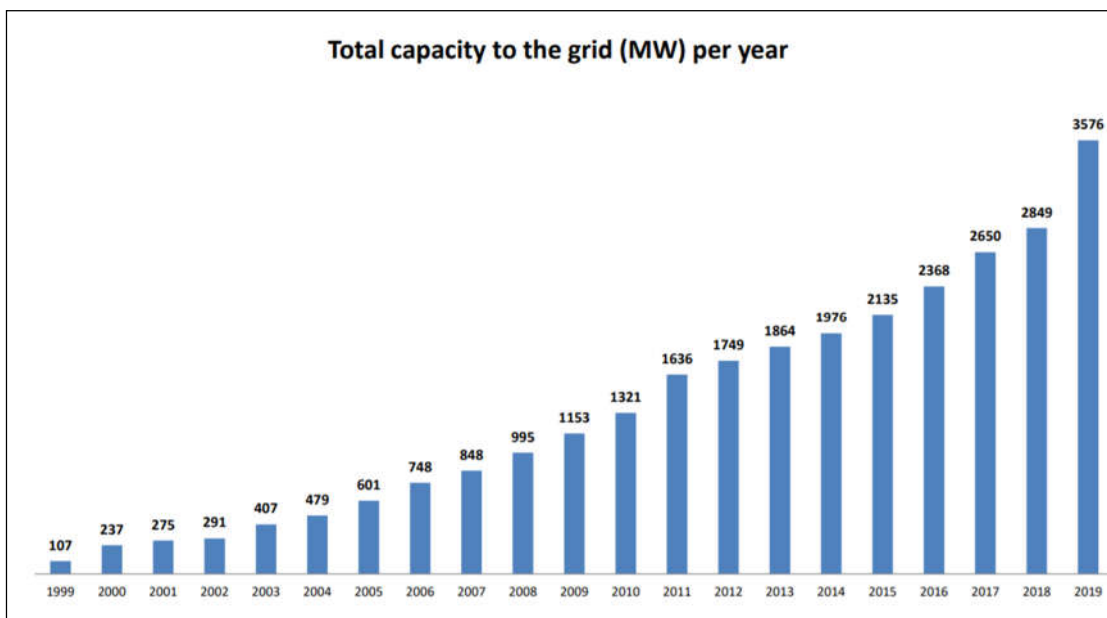
### 3.2. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε Ελλάδα και Ευρώπη

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, ο στόχος της ΕΕ είναι να αποτελέσει την πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρο στον κόσμο μέχρι το 2050, εξαγγέλλοντας μία αρκετά φιλόδοξη δέσμη μέτρων, που εφόσον υλοποιηθεί αναμένεται να δώσει στους Ευρωπαίους πολίτες και τις επιχειρήσεις τη δυνατότητα να επωφεληθούν από τη βιώσιμη πράσινη μετάβαση.

Εν τω μεταξύ, η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ αυξάνει με σταθερό ρυθμό και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά το κόστος της. Το διάστημα μεταξύ 2005 και 2017, το μερίδιο των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή διπλασιάστηκε στην ΕΕ, από περίπου 15% σε σχεδόν 31%. Κύρια αιτία της ανόδου αυτής ήταν η αύξηση της παραγωγής αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Καθοριστικός παράγοντας για την πρόοδο των ΑΠΕ ήταν η ίδια η πολιτική της ΕΕ και στη συνέχεια η στήριξη η οποία παρείχε στα κράτη μέλη. Το 2017, αρκετά κράτη μέλη είχαν ήδη πέτυχει τους στόχους τους για το 2020. Η Ελλάδα σημείωσε σημαντικές επιδόσεις για το 2019, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από πρόσφατα στοιχεία της ΕΛΕΤΑΕΝ, τα οποία συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Σύνδεση νέων αιολικών πάρκων μεγέθους 727,5MW
- Σύνδεση του μεγαλύτερου ενιαίου αιολικού πάρκου 154,1 MW
- Τοποθετήθηκαν ανεμογεννήτριες με τη μεγαλύτερη διάμετρο ρότορα (136 μέτρα)
- Τέθηκε σε εμπορική λειτουργία ο πρώτος Υβριδικός Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα με αιολική ενέργεια και αποθήκευση σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές στην Τήλο

Το σύνολο των αιολικών πάρκων το 2019, είχαν ισχύ 3.576,4 MW, αυξημένη δηλαδή κατά 25,4% σε σχέση με το 2018.



*Εικόνα 3.1: Συνολική συμμετοχή των ΑΠΕ στο δίκτυο της Ελλάδας ανά έτος (MW/Per Year).*

Αξίζει δε να σημειωθεί πως σύμφωνα με τα διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία η μέση εγκατεστημένη ισχύς την τελευταία εικοσαετία κυμαίνεται στα 140 MW. Ξεχωρίζουν ως

χρονιές ρεκόρ οι 2010-2011 και 2018, όπου στην πρώτη περίπτωση είχαμε το ιστορικό υψηλό των 315 MW και στη δεύτερη περίπτωση 282 MW. Πλέον, και σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία από την ΕΛΕΤΑΕΝ, υπολογίζεται πως το 1<sup>ο</sup> εξάμηνο του 2021 η ισχύς ξεπέρασε τα 4,3 GW, με τη Στερεά Ελλάδα να συγκεντρώνει σχεδόν το μισό της συνολικής ισχύος.

### *Λίγα λόγια για την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία*

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία παρέχει ένα σχέδιο δράσης για:

- την ενίσχυση της αποδοτικής χρήσης των πόρων με τη μετάβαση σε μια καθαρή, κυκλική οικονομία
- την αποκατάσταση της βιοποικιλότητας και τη μείωση της ρύπανσης.

Το σχέδιο περιγράφει τις απαιτούμενες επενδύσεις και τα διαθέσιμα χρηματοδοτικά μέσα. Εξηγεί τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να διασφαλιστεί μια δίκαιη και χωρίς αποκλεισμούς μετάβαση. Η ΕΕ σκοπεύει να είναι κλιματικά ουδέτερη το 2050. Προτάθηκε ένας ευρωπαϊκός νόμος για το κλίμα, ο οποίος θα μετατρέψει αυτή την πολιτική δέσμευση σε νομική υποχρέωση.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου θα απαιτηθεί η ανάληψη δράσης σε όλους τους τομείς της οικονομίας, όπως:

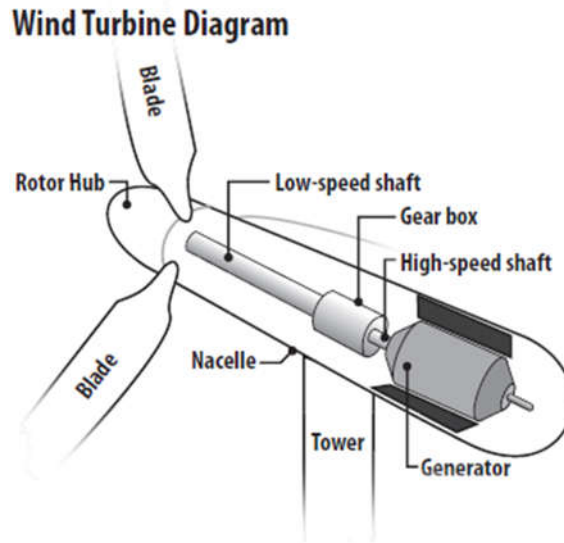
- επενδύσεις σε φιλοπεριβαλλοντικές τεχνολογίες
- στήριξη της καινοτομίας στον βιομηχανικό τομέα
- ανάπτυξη καθαρότερων και οικονομικότερων μορφών ιδιωτικής και δημόσιας μεταφοράς
- απαλλαγή του ενεργειακού τομέα από τις εκπομπές άνθρακα
- διασφάλιση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων
- συνεργασία με διεθνείς εταίρους για τη βελτίωση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προτύπων

Η ΕΕ θα παράσχει επίσης χρηματοδοτική στήριξη και τεχνική βοήθεια σε όσους θίγονται περισσότερο από τη μετάβαση στην πράσινη οικονομία. Πρόκειται για τον λεγόμενο Μηχανισμό Δίκαιης Μετάβασης. Η δράση αυτή θα συμβάλει στην κινητοποίηση τουλάχιστον 100 δισ. ευρώ για την περίοδο 2021-2027 στις περιοχές που πλήττονται περισσότερο. Το διάστημα μεταξύ 1990 και 2017, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ αυξήθηκε με μέσο όρο 1% ετησίως ενώ για το επόμενο διάστημα, η κατανάλωση προβλέπεται να αυξηθεί κατά 0,3% ετησίως αν ληφθούν ειδικά μέτρα ενεργειακής απόδοσης και κατά 0,7% ανά έτος αν δεν τεθούν σε εφαρμογή νέες πολιτικές για την ενεργειακή απόδοση για την περίοδο 2020-2050.

### 3.3. Αιολική ενέργεια

Ο άνεμος μεταφέρει ενέργεια. Αιολικοί πόροι μπορούν να βρεθούν σε ολόκληρη τη χώρα, ενώ πλέον η επιστήμη και η τεχνολογία παρέχουν περισσότερα εργαλεία για την ακριβή πρόβλεψη των ανεμολογικών δεδομένων. Αυτές οι πληροφορίες μας επιτρέπουν να χρησιμοποιούμε την αιολική ενέργεια σε διαφορετικές εφαρμογές και κλίμακες. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο επιτυγχάνεται με αξιοποίηση αιολικών μηχανών, ή αλλιώς ανεμογεννητριών (Α/Γ). Όταν φυσά ο άνεμος, δύναται να περιστρέψει τα πτερύγια μιας Α/Γ. Τα τελευταία, τροφοδοτούν μέσω αξόνων μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περισσότερες Α/Γ έχουν τα ίδια βασικά μέρη: πτερύγια, άξονα και κιβώτιο ταχυτήτων. Αυτά τα μέρη συνεργάζονται για να μετατρέψουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια.

1. Ο άνεμος φυσά και περιστρέφει τα πτερύγια τα οποία αιχμαλωτίζουν τον άνεμο και περιστρέφουν τον ρότορα.
2. Ο ρότορας συνδέεται σε άξονα χαμηλής ταχύτητας. Όταν ο ρότορας περιστρέφεται, ο άξονας γυρίζει. Ο άξονας συνδέεται με κιβώτιο ταχυτήτων. Τα γρανάζια στο κιβώτιο ταχυτήτων αυξάνουν την ταχύτητα της κίνησης περιστροφής σε έναν άξονα υψηλής ταχύτητας.
3. Ο άξονας υψηλής ταχύτητας συνδέεται με τη γεννήτρια. Καθώς ο άξονας περιστρέφεται μέσα στη γεννήτρια, παράγει ηλεκτρική ενέργεια.
4. Η ηλεκτρική ενέργεια αποστέλλεται μέσω καλωδίου κάτω από τον πύργο του στροβίλου σε μετασχηματιστή και στη συνέχεια στο ηλεκτρικό δίκτυο.



*Εικόνα 3.2: Απεικόνιση εσωτερικού του θαλάμου των μηχανισμών.*

Η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει μια Α/Γ εξαρτάται από το μέγεθος της μηχανής και την ταχύτητα του ανέμου. Οι Α/Γ διατίθενται σε πολλά διαφορετικά μεγέθη. Μια μικρή Α/Γ μπορεί να βοηθήσει στην τροφοδοσία ενός σπιτιού. Πολύ μεγάλες Α/Γ μπορούν να παράγουν αρκετή ηλεκτρική ενέργεια για την τροφοδοσία έως και 1.000 σπιτιών. Οι μεγάλες Α/Γ ομαδοποιούνται μερικές φορές για να παρέχουν ισχύ στο ηλεκτρικό δίκτυο υπό τη μορφή αιολικών πάρκων.

### 3.4. Η έννοια υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας

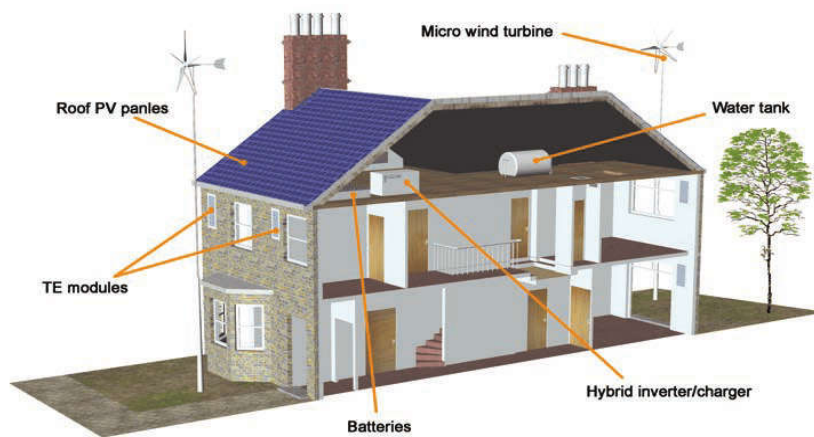
Με τον όρο Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας εννοούμε ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο συνδυάζει διαφορετικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με έμφαση στις ΑΠΕ. Τα υβριδικά συστήματα είναι ικανά να λειτουργούν αποδοτικά σε απομακρυσμένα νησιά ή ακριτικές περιοχές, οπότε και σε αυτές τις περιπτώσεις η συμβατική ενέργεια χρησιμοποιείται εφεδρικά για τη διασφάλιση των αναγκών μαζί με τη χρήση συστημάτων αποθήκευσης, όταν οι ανανεώσιμοι πόροι δεν είναι επαρκείς.

Ένα χαρακτηριστικό πλεονέκτημα των υβριδικών συστημάτων είναι πως η περίσσεια παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ μπορεί να απορροφηθεί από τα συστήματα αποθήκευσης ώστε να καταναλωθεί αργότερα. Αυτό το πλεονέκτημα καθιστά τα υβριδικά συστήματα περισσότερο αξιόπιστα συγκριτικά με τα αμιγή συστήματα ΑΠΕ σε αυτόνομη λειτουργία.

Ένα επιπλέον βασικό γνώρισμα των υβριδικών συστημάτων είναι η δυνατότητα τους να συνδυάζουν πολλές τεχνολογίες παράλληλα, γεγονός που προσθέτει σε όρους συνθετότητας αλλά αυξάνει επίσης την αξιοπιστία του συστήματος σε όρους ενεργειακής ασφάλειας.

Ένα Υβριδικό Σύστημα Παραγωγής Ενέργειας αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη:

- Τις μονάδες παραγωγής ενέργειας,
- τις μονάδες αποθήκευσης
- και το κέντρο ελέγχου / διαχείρισης όλων των συστημάτων.



*Εικόνα 3.3: Απεικόνιση ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για μια οικία.*

## 3.5. Δομή υβριδικού συστήματος

### 3.5.1. Αιολικές Μηχανές

Στην παρούσα εργασία μας ενδιαφέρουν οι μικρές ανεμογεννήτριες, ανεμογεννήτριες δηλαδή που μπορούν υποστηρίξουν από μια κατοικία έως και έναν μικρό οικισμό. Οι μικρές ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται σε οικιακές εφαρμογές έχουν συνήθως εγκατεστημένη ισχύ από 400 W έως 20 kW. Μια τυπική κατοικία καταναλώνει περίπου 3750 kWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως. Ανάλογα με τη μέση ταχύτητα του ανέμου στην τοποθεσία της κατοικίας, θα χρειαστεί μια ανεμογεννήτρια μεγέθους 1-10 kW για να συμβάλει σημαντικά στη ζήτηση.



### 3.5.2. Βασικά μέρη ανεμογεννητριών

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί στις προσομοιώσεις μία τυπική Α/Γ οριζοντίου άξονα, τριών πτερυγίων. Τα βασικά μέρη μιας τέτοιας α/γ είναι (α) ο δρομέας, (β) ο άξονας, (γ) το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, (δ) την υπερκατασκευή και (ε) τον πυλώνα.

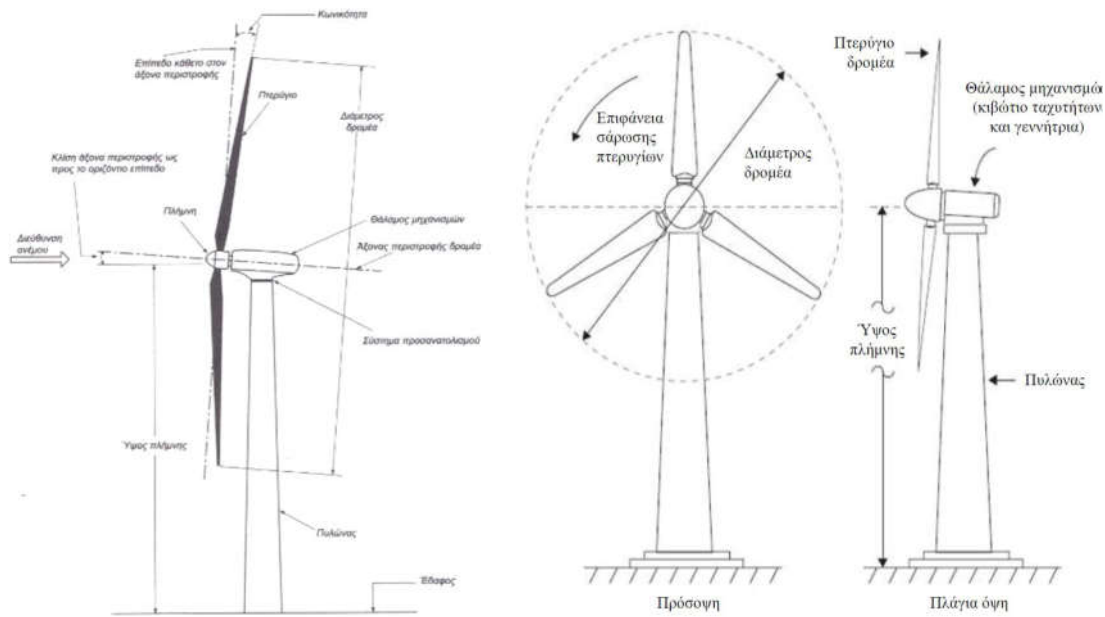
**A.** Ο *δρομέας* της Α/Γ αποτελείται από τα πτερύγια, τα οποία είναι κατασκευασμένα κατά κόρον από ελαφρά κράματα μετάλλων. Συνηθίζεται να χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός χάλυβα και πλαστικού με στόχο ο χάλυβας να απορροφά τα καμπτικά και στρεπτικά φορτία και το πλαστικό να προσδίδει αεροδυναμική μορφή στα πτερύγια.

**B.** Ο *άξονας* περιστροφής είναι εκείνος που δέχεται τις πιο ισχυρές καταπονήσεις, γι' αυτό και λοιπόν κατασκευάζεται από ενισχυμένο χάλυβα ικανό να αντέχει τις μη μόνιμες στρεπτικές και καμπτικές ροπές.

**Γ.** Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης πραγματοποιεί τον μετασχηματισμό της χαμηλής ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής που απαιτούνται για την λειτουργία της ηλεκτρογεννήτριας. Το σύστημα μετάδοσης κίνησης περιέχει επίσης και το σύστημα πέδης, το οποίο είναι υπεύθυνο για την ρύθμιση της ταχύτητας με στόχο την ασφάλεια και τη σωστή λειτουργία της μηχανής.

**Δ.** Η υπερκατασκευή της Α/Γ φέρει πάνω της όλους τους μηχανισμούς που αναφέρθηκαν παραπάνω, πέρα όμως από αυτό μπορεί να περιστρέφει με την βοήθεια αυτοματισμών την κατασκευή ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου για την καλύτερη δυνατή απόδοση.

**Ε.** Τα ανωτέρω τμήματα στηρίζονται πάνω στον πυλώνα της ανεμογεννήτριας. Κατά κανόνα το ύψος του πυλώνα είναι τουλάχιστον μεγαλύτερο ίσο με τη διάμετρο της πτερωτής.



Εικόνα 3.4: Αναπαράσταση οριζοντίου άξονα.

### 3.5.3. Γεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Γεννήτρια καλείται η συσκευή εκείνη η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια, για την οποία και απαιτείται κατανάλωση καυσίμου. Το σημαντικότερο προτέρημα της γεννήτριας είναι ότι μπορεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια ανάλογα με τη ζήτηση, που σε συνδυασμό με τη γρήγορη απόκριση, δύναται να συνεισφέρει σημαντικά σε ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως γίνεται κατανοητό η γεννήτρια θα ενεργοποιείται όταν η παραγωγή των ΑΠΕ δεν επαρκεί για την κάλυψη της ζήτησης.

Στις **γεννήτριες** συμπεριλαμβάνονται:

- Οι μηχανές εσωτερικής καύσης,
- οι κυψέλες καυσίμου,
- και οι μικρογεννήτριες.

Οι γεννήτριες έχουν μεγάλη ποικιλία καυσίμων που μπορεί να χρησιμοποιηθούν, και περιλαμβάνουν το πετρέλαιο (ντίζελ), τη βενζίνη, το φυσικό αέριο, το υδρογόνο, τη μεθανόλη, την αιθανόλη, το προπάνιο, το βιοντίζελ, και το βιοαέριο.



*Εικόνα 3.5: Απεικόνιση ντιζελογεννήτριας.*

Η ντιζελογεννήτρια, αποτελείται από μια ηλεκτρική γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος, βασίζεται σε μια παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης που ακολουθεί τον κύκλο του Diesel. Τα μεγέθη των γεννητριών αυτών ποικίλουν και τα συναντάμε από λίγα kW έως και 1 MW. Για πολύ μικρά μεγέθη ντιζελογεννητριών κάτω δηλαδή από τα 25 kW, την πιο διαδεδομένη λύση αποτελούν οι μηχανές εσωτερικής καύσης με καύσιμο τη βενζίνη ή το προπάνιο. Οι μικρές αυτές γεννήτριες κυμαίνονται σε μεγέθη, ανάμεσα στα 25 kW και τα 250 kW.

Οι κυψέλες καυσίμου αποτελούν μια εντελώς διαφορετική τεχνολογία που μετατρέπει απευθείας τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρική, και πρόκειται για μια τεχνολογία που αναμένεται να αναπτυχθεί και διαδοθεί ευρέως τα επόμενα χρόνια.[28]

Τα σημαντικότερα **χαρακτηριστικά** που καθορίζουν τα μοντέλα σε μια γεννήτρια είναι:

- οι τιμές της μέγιστης και ελάχιστης παραγόμενης ισχύος,
- ο τύπος καυσίμου που απαιτείται
- η καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου, που περιγράφει την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται από τη γεννήτρια ανάλογα με τη φόρτισή της.

Ειδικότερα, η κατανάλωση καυσίμου μιας γεννήτριας απαρτίζεται από δύο συνιστώσες: (α) την πάγια κατανάλωση καυσίμου που καταναλώνεται σε συνθήκες μηδενικού φορτίου, και (β) την οριακή κατανάλωση, που εξαρτάται από την παραγόμενη ισχύ της γεννήτριας.

Στην περίπτωση των ντιζελογεννητριών και των κυψελών καυσίμου, μπορεί να θεωρηθεί χωρίς σημαντικό σφάλμα ότι η καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου είναι μια γραμμική συνάρτηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Η ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται

ανά πάσα στιγμή σε μονάδες/hr, (όπου οι μονάδες είναι σε kg, L ή m<sup>3</sup> αναλόγως της κατάστασης του καυσίμου) δίδεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$F = F_0 * P_{genmax} + F_1 * P_{gen}$$

Όπου:

- $F_0$  είναι ο συντελεστής κατανάλωσης καυσίμου της ονομαστικής ισχύς της γεννήτριας σε μονάδες (kg, L, m<sup>3</sup>)/hr/kW,
- $P_{genmax}$  η ονομαστική ισχύς της γεννήτριας σε kW,
- $F_1$  η κλίση της καμπύλης καυσίμου σε μονάδες/hr/kW και
- $P_{gen}$  η παραγόμενη ισχύς της γεννήτριας σε kW.

Στην παραπάνω σχέση ο πρώτος όρος του αθροίσματος αντιπροσωπεύει την πάγια κατανάλωση καυσίμου, και ο δεύτερος την οριακή κατανάλωση καυσίμου. Ενδεικτικές τιμές των συντελεστών  $F_0$  και  $F_1$ , ανάλογα με το είδος καυσίμου, δίδονται στον Πίνακα 3 που ακολουθεί.

**Πίνακας 3:** Συντελεστές καμπύλης κατανάλωσης καυσίμου

	$F_0$	$F_1$
<b>Βιοαέριο</b>	0.8	1.9
<b>Ντιζέλ</b>	0.08	0.25
<b>Φυσικό αέριο</b>	0	0.25
<b>Βενζίνη</b>	0.13	0.32
<b>Υδρογόνο</b>	0	0.06

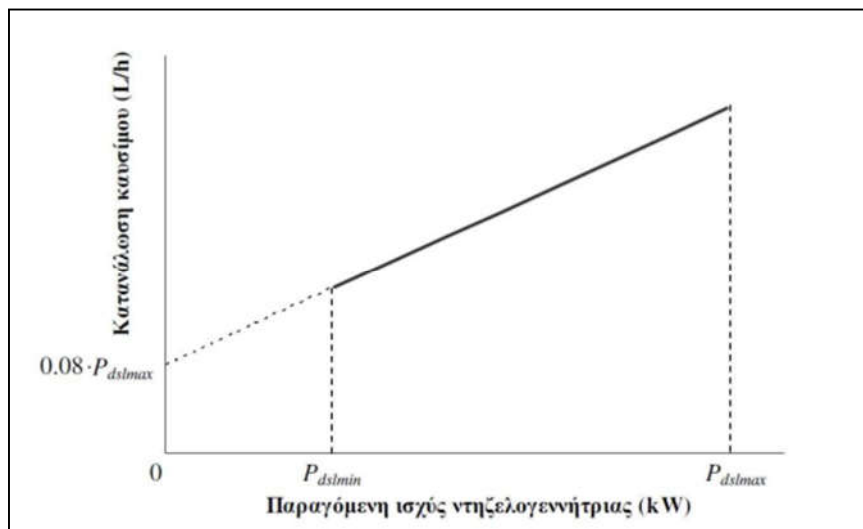
### **Ντιζελογεννήτριες**

Το σωστό μέγεθος των ντιζελογεννητριών είναι ζωτικής σημασίας για την αποφυγή συνθηκών αντιμετώπισης χαμηλού φορτίου ή έλλειψης ισχύος. Για τη μοντελοποίηση των ντιζελογεννητριών χρησιμοποιείται συνήθως η παραδοχή ότι η κατανάλωση καυσίμου πρόκειται για μία γραμμική συνάρτηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Παράλληλα, για να αποφύγουμε τη ξαφνική φθορά του κινητήρα η ελάχιστη παραγόμενη ισχύς μιας ντιζελογεννήτριας  $P_{dslmin}$  πρέπει να ρυθμιστεί περίπου στο 30% της μέγιστης ισχύος της

$P_{dslmax}$ . Η κατανάλωση καυσίμου μιας ντιζελογεννήτριας  $F_{dsl}$  (σε L/h) σύμφωνα με τον Πίνακα 3 και τη παραπάνω γενική εξίσωση δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$F_{dsl} = 0,08 * P_{dslmax} + 0,25 * P_{dsl} \text{ για } P_{dslmin} \leq P_{dsl} \leq P_{dslmax}$$

όπου  $P_{dsl}$  είναι η ισχύς της ντιζελογεννήτριας (σε kW). Το σχήμα παρακάτω αναπαριστά γραφικά τη καμπύλη κατανάλωσης μιας ντιζελογεννήτριας.



Εικόνα 3.6: Καμπύλη κατανάλωσης γεννήτριας με καύσιμο ντίζελ.

Η διάρκεια ζωής μιας γεννήτριας, σε αντίθεση με τα άλλα τμήματα ενός υβριδικού συστήματος, δεν προσδιορίζεται σε χρόνια αλλά σε ώρες λειτουργίας. Αυτό προκύπτει επειδή η διάρκεια ζωής μιας γεννήτριας εναπόκειται σε μεγάλο βαθμό από τις ώρες λειτουργίας και όχι τόσο από την ηλικία της. Ο χρόνος ζωής μιας γεννήτριας εξαρτάται κυρίως από τις συνθήκες λειτουργίας, τη συχνότητα συντήρησης, την ποιότητα των καυσίμων, και άλλους παράγοντες οπότε είναι αρκετά δύσκολο να εκτιμηθεί. Είναι δυνατόν όμως να εκτιμηθεί με βάση τον τύπο του κινητήρα.

Ο πιο κοινός τύπος κινητήρα είναι οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης. Οι κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση διαρκούν περισσότερο από τους κινητήρες ανάφλεξης με σπινθήρα. Επίσης σημαντικό παράγοντα για τη διάρκεια ζωής του κινητήρα αποτελεί η ταχύτητα στην οποία λειτουργεί.

Για παράδειγμα κινητήρας χαμηλής ταχύτητας (1800 RPM) διαρκεί παραπάνω από αντίστοιχο υψηλής ταχύτητας (3600 RPM).[16]

*Πίνακας 4: Ισχύς και διάρκειας ζωής ορισμένων τύπων γεννητριών.*

Τύπος γεννήτριας	Ισχύς (kW)	Διάρκεια ζωής (hrs)
Υψηλής ταχύτητας (3600 RPM), αερόψυκτη, βενζίνης, φυσικού αερίου ή προπάνιου	1 - 10	250 - 1,000
Υψηλής ταχύτητας (3600 RPM), αερόψυκτη, ντίζελ	4 - 20	6,000 - 10,000
Χαμηλής ταχύτητας (1800 RPM), υδρόψυκτη, φυσικού αερίου ή προπάνιου	15 - 50	6,000 - 10,000
Υψηλής ισχύος, υδρόψυκτη, ντίζελ	7 - 10,000	20,000 - 80,000
Μικροτουρμπίνα φυσικού αερίου	25 - 500	50,000 - 80,000

Ο υπολογισμός των ετών λειτουργίας  $L_{gen}$  μιας γεννήτριας, είτε πρόκειται για ντιζελογεννήτρια είτε για κυψέλη καυσίμου, προσδιορίζεται βάσει των ωρών λειτουργίας της ως εξής:

$$L_{gen} = \frac{L_{gen,h}}{N_{gen}}$$

όπου  $L_{gen,h}$  η διάρκεια ζωής της γεννήτριας σε ώρες και  $N_{gen}$  οι ώρες λειτουργίας της κατά τη διάρκεια ενός έτους. Στόχος του υπολογισμού αυτού είναι η ανάγκη να γνωρίζουμε πότε και αν πρέπει να αντικατασταθεί η γεννήτρια.[16]

#### 3.5.4. Συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας έχει αυξηθεί σημαντικά σε όλους τους τομείς [17]. Στον οικιακό τομέα, η ηλεκτροδότηση συμβάλλει σημαντικά στην αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας [18]. Ταυτόχρονα, η ευρωπαϊκή πολιτική υπαγορεύει ότι πρέπει να καταβληθούν προσπάθειες για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και την αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. [19,20]. Αυτό οδήγησε στην ταχεία ανάπτυξη και εφαρμογή των τεχνολογιών ΑΠΕ. Στον οικιακό τομέα, αυτή η τάση εκδηλώθηκε με την απότομη αύξηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων (φωτοβολταϊκών) σε στέγες κατοικιών.

Η διαλείπουσα φύση των αποκεντρωμένων ενεργειακών πόρων, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας προκαλεί δυσκολίες στον διαχειριστή δικτύου να διατηρήσει την αξιοπιστία και τη σταθερότητα του δικτύου. Η μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζεται συνήθως σε διαφορετικό διάστημα από την αιχμή προσφοράς που παρέχουν οι αποκεντρωμένοι ενεργειακοί πόροι, δημιουργώντας μια αναντιστοιχία μεταξύ των προφίλ παραγωγής ανανεώσιμων πηγών και των προφίλ ζήτησης [21].

Το σύστημα διαχείρισης της ζήτησης είναι μία από τις έννοιες που χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση της κατάστασης μεταξύ τροφοδοσίας και ζήτησης. Το σύστημα αυτό ορίζεται ως «οι ενέργειες που επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο οι καταναλωτές χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια προκειμένου να επιτύχουν εξοικονόμηση και υψηλότερη απόδοση στη χρήση της ενέργειας» [22]. Το σύστημα διαχείρισης της ζήτησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση των επιπέδων αυτοκατανάλωσης των αποκεντρωμένων ενεργειακών πόρων, μειώνοντας έτσι την ανάγκη μεταφοράς ενέργειας μέσω του δικτύου. Το σύστημα διαχείρισης της ζήτησης είναι πολύ ελπιδοφόρο για ένα ελεγχόμενο και μετακινούμενο φορτίο, όπως για παράδειγμα ένα υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (PHEV) και άλλες ευέλικτες συσκευές, οι οποίες μπορούν να λειτουργούν με αντίστοιχα ευέλικτα χρονοδιαγράμματα στο πλαίσιο μίας ημέρας [21].

Ωστόσο, δεν είναι όλο το φορτίο του νοικοκυριού κατάλληλο για σύστημα διαχείρισης της ζήτησης. Ορισμένες συσκευές είτε δεσμεύονται σε έναν συγκεκριμένο χρόνο χρήσης (π.χ. μαγείρεμα) είτε παρέχουν χαμηλές δυνατότητες αλλαγής της κατανάλωσης ισχύος για σχετικά μεγάλες χρονικές περιόδους (π.χ. ψυχρές συσκευές). Άλλες συσκευές δεν χρησιμοποιούν σημαντικές ποσότητες ενέργειας για να είναι κατάλληλες για σύστημα

διαχείρισης της ζήτησης (π.χ. ηλεκτρονικά). Επομένως, είναι σχεδόν αδύνατο να αντιστοιχιστεί η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε όλα τα νοικοκυριά με τη διαθέσιμη τροφοδοσία σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (ESS) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συμπληρωματική λύση για τη βελτίωση της ιδιοκατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από αποκεντρωμένους ενεργειακούς πόρους [23,24]. Η πλεονάζουσα ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί προσωρινά σε μια οικιακή συσκευή αποθήκευσης ενέργειας για να χρησιμοποιηθεί αργότερα ως πηγή εφοδιασμού για την οικιακή ζήτηση [25]. Η μπαταρία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να αντιδράσει σε σήματα τιμών [26]. Όταν η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος είναι χαμηλή, η μπαταρία μπορεί να φορτιστεί. Όταν η τιμή είναι υψηλή, η μπαταρία μπορεί να αποφορτιστεί και να αποκομίσει κέρδος με την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας πίσω στο δίκτυο. Ωστόσο, το κόστος των ESS έχει αναγνωριστεί ως πιθανό μειονέκτημα για τις οικιακές μπαταρίες [27,28].

Πέρα από τις Κάτω Χώρες (Ολλανδία, Βέλγιο), που το τιμολόγιο τροφοδοσίας για την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από αποκεντρωμένους ενεργειακούς πόρους είναι όμοιο με την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος και επομένως δεν υπάρχει κίνητρο για τα νοικοκυριά να επενδύσουν στα οικιακά συστήματα αποθήκευσης στην υπόλοιπη Ευρώπη η ιδιοκατανάλωση παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον [29].

Η ιδιοκατανάλωση γίνεται πιο ελκυστική για τα νοικοκυριά προκειμένου να βελτιωθεί η «οικονομική χρήση» των ΑΠΕ, καθώς όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο για την πράσινη συμφωνία της ΕΕ, θα υπάρχει στήριξη στις πράσινες επενδύσεις. Αυξάνοντας λοιπόν, την ιδιοκατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΦΒ ή Α/Γ, αποφεύγεται το κόστος απορρόφησης ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο. Η ενσωμάτωση ενός συνδυασμού του συστήματος διαχείρισης της ζήτησης και ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας (ESS) για τη βελτίωση της ιδιοκατανάλωσης έχει αρκετά μεγάλο ενδιαφέρον με πολλούς ερευνητές να έχουν στρέψει την προσοχή τους εκεί.

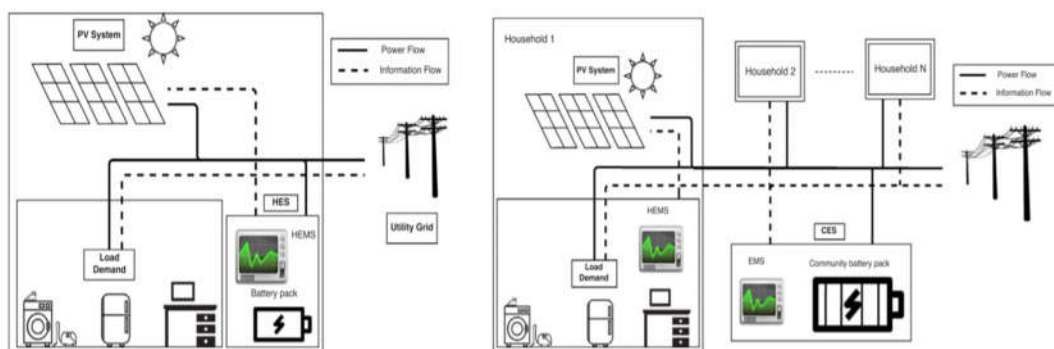
Η κοινοτική αποθήκευση ενέργειας είναι μια άλλη εφαρμογή του συστήματος αποθήκευσης η οποία θεωρείται ως πολλά υποσχόμενη επιλογή για τη διαχείριση της ζήτησης ενέργειας και της προσφοράς των αποκεντρωμένων ενεργειακών πόρων. Το κοινοτικό αυτό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας αναφέρεται ως «Σύστημα αποθήκευσης που βρίσκεται στο επίπεδο κατανάλωσης με δυνατότητα εκτέλεσης πολλαπλών εφαρμογών με θετικό αντίκτυπο τόσο



για τον καταναλωτή όσο και τον διαχειριστή του συστήματος διανομής». Έρευνα έχει δείξει ότι οι μονάδες κοινοτικής αποθήκευσης ενέργειας ενδέχεται να προσφέρουν πρόσθετα οφέλη σε σύγκριση με τα οικιακά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας όπως φθηνότερες ατομικά επενδύσεις, εμπορία ενέργειας και βελτιωμένες δυνατότητες εξισορρόπησης δικτύου [30,31].

Μια ακόμη «έξυπνη» συσκευή που μπορεί να προστεθεί στο κοινοτικό σύστημα αποθήκευσης είναι ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης της ενέργειας. Το σύστημα διαχείρισης της ενέργειας διαχειρίζεται το κοινοτικό σύστημα αποθήκευσης και ελέγχει την κατανομή της διαθέσιμης ενέργειας στη μονάδα αποθήκευσης στα νοικοκυριά. Σε αυτό το σύστημα, πολλά νοικοκυριά, με αποκεντρωμένους ενεργειακούς πόρους, μοιράζονται ένα μόνο σύστημα κοινοτικό σύστημα αποθήκευσης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι με τη χρήση αυτού του συστήματος, η ιδιοκατανάλωση και η εξοικονόμηση κόστους μπορούν να αυξηθούν σημαντικά. Επιπλέον ένας προγνωστικός μηχανισμός έξυπνης φόρτισης του κοινοτικού συστήματος αποθήκευσης της ενέργειας έχει προταθεί [32]. Η μελέτη δείχνει ότι το κοινοτικό σύστημα αποθήκευσης μπορεί να επιτύχει υψηλότερα επίπεδα εξοικονόμησης κόστους και ιδιοκατανάλωσης.

Όλα λοιπόν τα παραπάνω στοιχεία δείχνουν ότι μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση κόστους και υψηλότερα επίπεδα ιδιοκατανάλωσης όταν χρησιμοποιηθούν τα ESS. Ωστόσο, εξακολουθεί να λείπει μια λεπτομερής οικονομική ανάλυση που συγκρίνει τόσο τα οικιακά συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας όσο και τα κοινοτικά συστήματα αποθήκευσης χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα.



**Εικόνα 3.7:** Κύκλωμα υβριδικής εγκατάστασης, με χρήση οικιακό σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας (αριστερά) και κοινοτικό σύστημα αποθήκευσης (δεξιά).

Στην παρούσα εργασία όμως θα μας απασχολήσει το πρώτο σενάριο που αποτυπώθηκε παραπάνω, αυτό δηλαδή με ένα οικιακό σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας.

### **3.5.5. Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας**

Όπως αναλύθηκε εκτενώς παραπάνω, μια από τις σημαντικότερες μονάδες ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι το σύστημα αποθήκευσης αυτής, καθώς κατά κύριο λόγο η παραγόμενη ενέργεια προέρχεται από ΑΠΕ. Ένα ζήτημα το οποίο καθιστά αναγκαία την ύπαρξη συστήματος αποθήκευσης είναι η αδυναμία κάλυψης της στιγμιαίας ζήτησης. Στόχος λοιπόν του αποθηκευτικού συστήματος είναι να μπορούν να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες του υβριδικού συστήματος σε περιόδους που μπορεί να υπάρχει άπνοια η μερική ή ολική συννεφιά. Πέρα όμως από αυτό, στόχος είναι και η εξομάλυνση της ισχύος εξόδου των συστημάτων ΑΠΕ. Η χρήση όμως των συστημάτων αυτών αυξάνουν σημαντικά το κόστος της εγκατάστασης, παρόλα αυτά όμως τα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας βελτιώνουν σημαντικά τη λειτουργία της εγκατάστασης αυτής. Οι λόγοι είναι οι εξής:

1. Παρέχουν σταθερή λειτουργία, παρά το γεγονός ότι η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μεταβάλλεται σε σημαντικό βαθμό και με γρήγορους ρυθμούς.
2. Επιπλέον προσφέρουν ενέργεια τις περιόδους που κάποια μονάδα δεν είναι διαθέσιμη λόγω συντήρησης ή επισκευής.
3. Δίνουν τη δυνατότητα σε μονάδες ΑΠΕ να προσφέρουν ηλεκτρική ενέργεια ανάλογα με τη ζήτηση, καθώς η ισχύς που αυτές παράγουν σε κάθε χρονική στιγμή μπορεί πλέον να διαφέρει από την ισχύ που διατίθεται στον καταναλωτή.
4. Σε συνδυασμό με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής μπορούν να βελτιώσουν και τη συνολική ποιότητα ισχύος αλλά και την αξιοπιστία αυτών, δύο ζητήματα που αφορούν την ομαλή λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.
5. Τέλος, χάρη στην προσθήκη συστημάτων αποθήκευσης είναι δυνατό να μειωθούν οι εκπομπές που επιβαρύνουν το περιβάλλον, αφού βοηθούν στη μετάβαση στις νέες, καθαρότερες τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Υπάρχουν πολλές πιθανές τεχνικές αποθήκευσης ενέργειας, που απαντούν σε διαφορετικές μορφές ενέργειας: μηχανικές, χημικές και θερμικές. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης που ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένα τεχνικά και οικονομικά κριτήρια, οι οποίες ποικίλουν

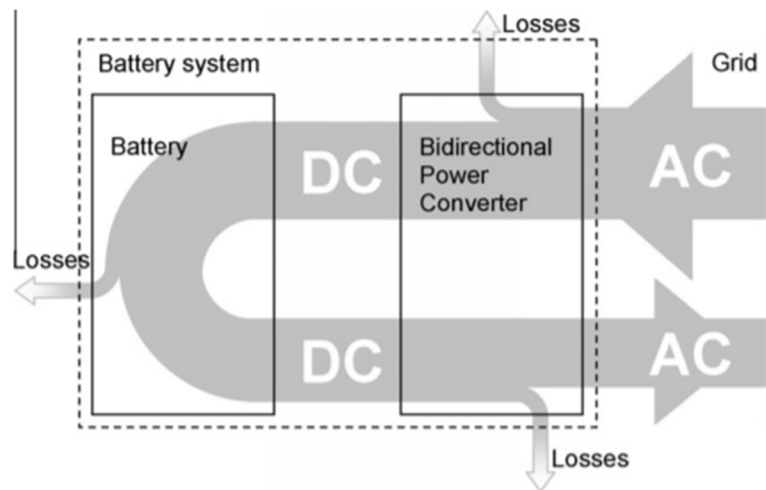
σημαντικά ανάλογα με τις εφαρμογές και τις ανάγκες, είναι πολλές και προφανώς έχουν πολλούς διαφορετικούς τύπους. Οι τεχνολογίες είναι πολλές, αλλά μια συγκριτική μελέτη καθίσταται δύσκολη από το γεγονός ότι, μεταξύ άλλων, τα επίπεδα ανάπτυξής τους ποικίλουν σημαντικά [33]. Οι τεχνικές αποθήκευσης μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με τις εφαρμογές τους:

1. Εφαρμογή χαμηλής ισχύος σε απομονωμένες περιοχές, κυρίως για τροφοδοσία μετατροπέων και τερματικών έκτακτης ανάγκης
2. Εφαρμογή μέσης ισχύος σε απομονωμένες περιοχές (μεμονωμένα ηλεκτρικά συστήματα, παροχή πόλεων).
3. Εφαρμογή σύνδεσης δικτύου για εξάλειψη αιχμών.
4. Εφαρμογές ελέγχου ποιότητας ισχύος.

### **Συσσωρευτές**

Εστιάζοντας το ενδιαφέρον μας σε οικιακές εφαρμογές, το πιο υποσχόμενο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας για εξομάλυνση της ζήτησης ενός νοικοκυριού θεωρούνται οι μπαταρίες. Άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης σε επίπεδο διανομής-δικτύου, όπως σφόνδυλοι και υπερπυκνωτές έχουν σχεδιαστεί κυρίως για παροχή / αποθήκευση ισχύος αιχμής [34]. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με βάση το υδρογόνο θα μπορούσαν επίσης να είναι μια εναλλακτική λύση για τις μπαταρίες, αλλά, λόγω του σχετικά υψηλού κόστους και της χαμηλής απόδοσης αποθήκευσης ενέργειας σε σύγκριση με τις μπαταρίες, δε θεωρούνται αρκετά ώριμα τη δεδομένη στιγμή [34]. Επιπλέον, οι μπαταρίες είναι συμβατικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται ευρέως σε εμπορικές εφαρμογές.

Το σύστημα μπαταρίας αποτελείται από την ίδια την μπαταρία και έναν αμφίδρομο μετατροπέα ηλεκτρικής ισχύος (Εικόνα 3.8). Όταν η μπαταρία λειτουργεί σε κατάσταση αποθήκευσης ενέργειας, ένας μετατροπέας ισχύος μετατρέπει την ισχύ δικτύου από εναλλασσόμενο (AC) σε κατάλληλη μορφή δηλαδή συνεχές ρεύμα (DC). Όταν η μπαταρία λειτουργεί σε κατάσταση παραγωγής, η έξοδος μπαταρίας έχει συνεχές ρεύμα (DC) και μετατρέπεται ξανά στην τροφοδοσία δικτύου δηλαδή σε εναλλασσόμενο AC.



*Εικόνα 3.8: Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με βάση μπαταρία στο ηλεκτρικό δίκτυο.*

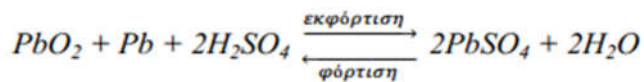
Οι συσσωρευτές αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια και τη μετασχηματίζουν σε χημική. Αποτελούνται από ηλεκτρόδια ανόδου και καθόδου όπου αναμεσά τους υπάρχει ένας ηλεκτρολύτης. Τα ολοκληρωμένα συστήματα συσσωρευτών έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλων ποσών ενέργειας και είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε η φόρτιση και η εκφορτίσή τους να πραγματοποιείται χιλιάδες φορές, ανάλογα με τον τύπο τους και την εφαρμογή στην οποία χρησιμοποιούνται. Ωστόσο βαθύτατες εκφορτίσεις μειώνουν το χρόνο ζωής τους. Οι συσσωρευτές όμως θεωρούνται κατάλληλοι και για αποθήκευση σχετικά μικρών ποσοτήτων ενέργειας, για μικρούς οικισμούς και μεμονωμένες κατοικίες.[16]

Το μέγεθος και η συνδεσμολογία των συσσωρευτών εξαρτάται από την απαιτούμενη επάρκεια ενέργειας και το είδος των καταναλώσεων. Το κόστος των συσσωρευτών είναι αρκετά υψηλό, και ειδικότερα για συσσωρευτές μεγάλου επιτρεπόμενου αριθμού φορτίσεων-εκφορτίσεων απαιτείται και ιδιαίτερα προσεκτική συντήρηση της εγκατάστασης. Σε καταναλώσεις εναλλασσόμενου ρεύματος είναι απαραίτητη η ύπαρξη ανορθωτών, μετατροπέων συχνότητας και σταθεροποιητών τάσης και συχνότητας.[16]

Οι συσσωρευτές λειτουργούν με συνεχές ρεύμα έχοντας την ίδια αρχή λειτουργίας με τις κυψέλες καυσίμου, με τη διαφορά ότι η κυψέλη καυσίμου είναι μια συσκευή συνεχούς μετατροπής ενέργειας όσο διάστημα τροφοδοτείται με καύσιμο, ενώ ο συσσωρευτής είναι μια συσκευή αποθήκευσης ενέργειας και επομένως περιορισμένης χρήσης. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι συσσωρευτών, είναι οι εξής:[16]

- A. Μόλυβδου – Θειϊκού οξέος (Pb/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- B. Νικελίου – Καδμίου (NiCd)
- C. Νικελίου - μεταλλικού υδριδίου
- D. Λιθίου – Ιόντος
- E. Ψευδάργυρου – αέρα

Από τους τύπους συσσωρευτών που αναφέρονται παραπάνω, οι συσσωρευτές μόλυβδου-οξέος παραμένουν ως η επικρατέστερη λύση για χρήση σε ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας. Αν και υπάρχουν και άλλοι τύποι συσσωρευτών που παρουσιάζουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά σε σχέση με εκείνους των μόλυβδου-οξέος σε ένα ή και περισσότερα χαρακτηριστικά, το μικρότερο όμως κόστος ανά μονάδα χωρητικότητας κάνει τους συσσωρευτές μόλυβδου-οξέος τη πιο ωφέλιμη επιλογή αυτή τη στιγμή. Η βασική δομική μονάδα των συσσωρευτών είναι η κυψέλη, η οποία αποτελείται από την κάθοδο (μια πλάκα εμπλουτισμένη με μόλυβδο **Pb**), την άνοδο (μια πλάκα εμπλουτισμένη με οξείδιο του μόλυβδου **PbO<sub>2</sub>**), και τον ηλεκτρολύτη (ένα διάλυμα θειϊκού οξέος **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**). Η λειτουργία ενός συσσωρευτή μόλυβδου-οξέος περιγράφεται από την ακόλουθη αμφίδρομη αντίδραση:



Η κατεύθυνση προς τα δεξιά αντιστοιχεί στη διαδικασία της εκφόρτισης, ενώ η αντίθετη, στη φόρτιση του συσσωρευτή. Οι τέσσερις πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επίδοση ενός συσσωρευτή είναι 1) η χωρητικότητα, 2) η απόδοση, 3) ο ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης, και 4) η διάρκεια ζωής.

Η χωρητικότητα  $C_{bat}$  μετράται σε αμπερώρια  $Ah$  και δείχνει το ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να αποθηκεύσει ο συσσωρευτής. Επειδή όμως η τάση του συσσωρευτή  $V_{bat}$  έχει σχεδόν σταθερή τιμή κατά τη λειτουργία του, είναι πιο χρήσιμο αντί της χωρητικότητας  $C_{bat}$  να υπολογίζεται η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί στο συσσωρευτή  $E_{bat}$  (σε Wh), σύμφωνα με την εξίσωση:

$$E_{bat} = \frac{C_{bat} * V_{bat}}{1000}$$

Η απόδοση δίνει το κλάσμα της ενέργειας που αρχικά αποθηκεύεται στο συσσωρευτή και στη συνέχεια μπορεί να ανακτηθεί. Τυπική τιμή απόδοσης για τους συσσωρευτές μόλυβδου-

οξέος είναι η  $n_{bat} = 80\%$ . Ο ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης αποτελεί ένα μέτρο του πόσο γρήγορα μπορεί να απορροφήσει και να απελευθερώσει ενέργεια ο συσσωρευτής. Στη μοντελοποίηση των συσσωρευτών χρειάζεται να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν επιτρέπεται να εκφορτιστούν κάτω από μια συγκεκριμένη κατάσταση φόρτισης. Για τους συσσωρευτές μόλυβδου - οξέος, το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης ορίζεται στο 80% της χωρητικότητάς τους.

Ο περιορισμός του μέγιστου βάθους εκφόρτισης μειώνει την αξιοποιήσιμη χωρητικότητα  $C_{bat}$  (σε Ah) και την αξιοποιήσιμη ενέργεια  $E_{bat}$  (σε Wh). Για τον υπολογισμό της διάρκειας ζωής του συσσωρευτή λαμβάνονται υπόψη δύο παράμετροι: ο αριθμός κύκλων λειτουργίας και το βάθος εκφόρτισης που αντιστοιχεί σε καθέναν από αυτούς. Κάθε κύκλος λειτουργίας περιλαμβάνει τη διαδοχική διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης του συσσωρευτή. Η χωρητικότητα,  $C_{bat}$ , του συσσωρευτή δεν παραμένει σταθερή. Μειώνεται όσο αυξάνουν οι κύκλοι λειτουργίας. Ενδεικτικά περιοδική εκφόρτιση - φόρτιση ενός, καλής ποιότητας συσσωρευτή  $Pb/H_2SO_4$ , σε ποσοστό 20% κάτω από την ονομαστική χωρητικότητά του αντιστοιχεί σε 4500 κύκλους λειτουργίας. Αν το βάθος εκφόρτισης αυξηθεί σε 40%, οι κύκλοι λειτουργίας ελαττώνονται κάτω από τους μισούς.

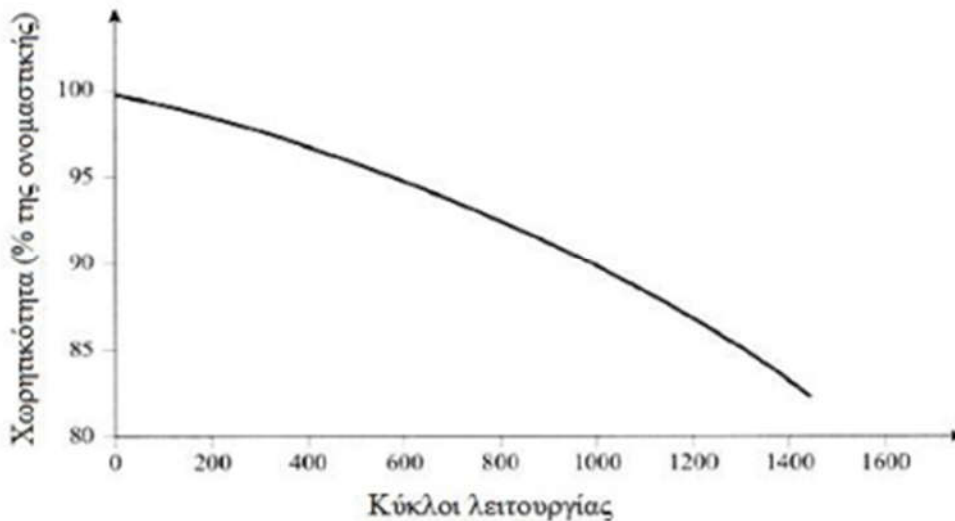
Μια καλή προσέγγιση της πραγματικής συμπεριφοράς των συσσωρευτών, που ουσιαστικά περιγράφει το χρόνο ζωής τους, είναι ότι το γινόμενο του βάθους εκφόρτισης  $\beta_{εκφ}$  και του αριθμού των κύκλων λειτουργίας  $N_k$  παραμένει σταθερό:

$$\beta_{εκφ} * N_k = \text{Σταθερό}$$

όπου  $N_k$ , το πλήθος των κύκλων λειτουργίας του συσσωρευτή. Σύμφωνα με τη θεώρηση αυτή αντιστοιχεί σε κάθε συσσωρευτή μια δεδομένη ποσότητα ενέργειας  $E_{batlife}$  (σε kWh), η οποία μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί πριν ο συσσωρευτής χρειαστεί να αντικατασταθεί. Ένας εμπειρικός κανόνας είναι ότι για τους συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης (φωτοβολταϊκούς συσσωρευτές), το γινόμενο αυτό έχει την τιμή 1200, ενώ για κοινούς συσσωρευτές περιορίζεται στο 120.

Στο σχήμα 3.9, αποτυπώνεται η τυπική εξάρτηση της χωρητικότητας ενός συσσωρευτή όσο αυξάνει το χρόνο ζωής του, μετρούμενος σε κύκλους λειτουργίας, με δεδομένο βάθος εκφόρτισης. Όπως παρατηρούμε, η χωρητικότητα του ελαττώνεται και μάλιστα, όσο αυξάνονται οι κύκλοι λειτουργίας ο ρυθμός ελάττωσης αυξάνει. Η ελάττωση της

χωρητικότητας κατά τη διάρκεια των κύκλων λειτουργίας του, οφείλεται στη σταδιακή μείωση των ενεργών υλικών των ηλεκτροδίων.



*Εικόνα 3.9: Τυπική εξάρτηση της χωρητικότητας ενός συσσωρευτή Pb/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ως ποσοστό της ονομαστικής τιμής της, εκπεφρασμένο σε κύκλους λειτουργίας.*

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός συσσωρευτή είναι η θερμοκρασία, η αυτοεκφόρτιση και η γήρανση του. Υψηλές θερμοκρασίες όπως πάνω από 20°C μειώνουν τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή, ενώ χαμηλές θερμοκρασίες κάτω από 10°C μειώνουν την ειδική ενέργεια και την ειδική ισχύ του συσσωρευτή. Επίσης, σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες θα υπάρξει και ο κίνδυνος στερεοποίησης του ηλεκτρολύτη.

Η επίδραση της θερμοκρασίας μπορεί να εξαλειφθεί με την τοποθέτηση των συσσωρευτών σε μέρη που προφυλάσσονται από υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες. Κατά την αυτοεκφόρτιση, ένας φορτισμένος συσσωρευτής εκφορτίζεται ακόμα και αν δεν είναι συνδεδεμένος σε εξωτερικό φορτίο.

Παρόλα αυτά, ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης είναι συνήθως μικρός σε σχέση με τους τυπικούς ρυθμούς εκφόρτισης που παρατηρούνται σε συσσωρευτές συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, και για το λόγο αυτό δεν λαμβάνεται υπόψη. Όσον αφορά τη γήρανση, παρατηρείται ελάττωση της αρχικής χωρητικότητας του συσσωρευτή με την αύξηση του αριθμού των κύκλων λειτουργίας του. Συγκεκριμένα η τιμή-όριο του συντελεστή γήρανσης είναι περίπου 0,8, για όλη τη ζωή του συσσωρευτή (το οποίο αντιστοιχεί σε μείωση της χωρητικότητας, στο τέλος της ζωής του συσσωρευτή, στο 80% της αρχικής του τιμής).

### 3.5.6. Περιφερειακά συστήματα υβριδικών συστημάτων

Τα περιφερειακά συστήματα ενός υβριδικού συστήματος αναφέρονται κατά κύριο λόγο στη διαχείριση της ενέργειας. Ένα σύστημα μετατροπής και διαχείρισης ενέργειας χρησιμοποιεί ηλεκτρονικά ισχύος, τα οποία αποτελούνται από μετατροπείς ισχύος (μετατροπέας και ανορθωτή), για τη μετατροπή των επιπέδων ενέργειας (από DC σε AC ή AC σε DC αντίστοιχα).

### 3.5.7. Πλεονεκτήματα υβριδικών συστημάτων

- Το βασικότερο πλεονέκτημα των υβριδικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας είναι η ικανότητα να εκμεταλλεύονται τα καλύτερα χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας και να παρέχουν την απαιτούμενη ενέργεια, σε κλίμακα από 1 kW μέχρι πολλές εκατοντάδες kW.
- Τα υβριδικά συστήματα, παρότι θεωρούνται καταλληλότερα για περιοχές όπου η σύνδεσή τους με το ηλεκτρικό δίκτυο αλλά και η μεταφορά του καυσίμου θεωρούνται αντιοικονομικές επιλογές, πλέον βρίσκουν εφαρμογή και σε διασυνδεδεμένα ηλεκτρικά συστήματα.
- Επιπλέον, λόγω της υψηλής αποδοτικότητας τους και της αξιοπιστίας τους, τέτοιου τύπου συστήματα μπορούν να φανούν χρήσιμα σαν μια αποτελεσματική λύση παροχής ισχύος σε περιπτώσεις διακοπών ή ακόμη και σε εξειδικευμένους καταναλωτές, όπως οι τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί και οι νοσοκομειακές μονάδες.
- Όπως αναφέρθηκε, ένα τυπικό υβριδικό σύστημα συνδυάζει δύο ή και περισσότερες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας.
- Τα υβριδικά συστήματα που περιέχουν τεχνολογία με καύσιμο λειτουργούν με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση, επειδή προβλέπεται παραγωγή ενέργειας από αυτό μόνο σε περιόδους υψηλής ζήτησης φορτίου η χαμηλού ανανεώσιμου δυναμικού.
- Τα υβριδικά συστήματα συνήθως εφαρμόζονται σε αγροτικές περιοχές αποκομμένες από το δίκτυο. Επειδή οι περιοχές αυτές δεν παρουσιάζουν μεγάλο φορτίο και συνήθως βρίσκονται μακριά από το υπάρχον δίκτυο καθίσταται αντιοικονομική η δημιουργία δικτύου για την ηλεκτροδότηση τέτοιων κοινοτήτων ή ακόμη και



κατοικιών. Έτσι η παροχή ενέργειας από υβριδικά συστήματα βασισμένα σε ΑΠΕ είναι πιο οικονομική σε αυτές τις περιπτώσεις και φιλική προς το περιβάλλον.

Η αύξηση της αξιοπιστίας αυτών των συστημάτων, οι ασήμαντες απώλειες μεταφοράς και η χρήση αειφόρων πηγών ενέργειας παίζουν σημαντικό ρόλο για να αποτελέσουν τα υβριδικά συστήματα την καλύτερη αποκεντρωμένη λύση.

Τα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο υβριδικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να εγκαθίστανται είτε αποκλειστικά για την παραγωγή ενέργειας είτε ως συστήματα υποστήριξης σε περιπτώσεις διακοπής του ηλεκτρικού δικτύου, είτε μπαίνουν σε λειτουργία τις ώρες αιχμής όταν η τιμή της kWh είναι υψηλή. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν μονάδες ΑΠΕ οι οποίες είτε διασυνδέονται κατευθείαν στο δίκτυο, είτε αποθηκεύουν την ενέργεια τους σε μέσα αποθήκευσης ώστε αυτή να χρησιμοποιηθεί όταν είναι απαραίτητο. Συνήθως οι παράγοντες που επηρεάζουν ο πρόβλημα είναι η τιμή της παραγόμενης kWh από κάθε μορφή ΑΠΕ καθώς και το φορτίο που πρέπει να καλυφθεί όταν αυτό κριθεί απαραίτητο.

Τέτοια μικρής κλίμακας συστήματα χρησιμοποιούνται σήμερα ευρύτατα στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η ταχεία αύξηση της ζήτησης προκαλεί συχνά προβλήματα αστάθειας δικτύου που μπορούν να οδηγήσουν μέχρι και στην κατάρρευση του. Ακόμη η χρησιμοποίηση συμβατικών πηγών ενέργειας επιβαρύνει το περιβάλλον κοντά σε κατοικημένες περιοχές.

## 4. Νομικό και κανονιστικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ στην Ελλάδα και την ΕΕ

### 4.1. Γενικά

Η συνεχής και ραγδαία αύξηση του κινδύνου που επιφέρει η κλιματική αλλαγή, έχει οδηγήσει πολλούς διεθνείς οργανισμούς και χώρες στο συμπέρασμα πως θα πρέπει να ληφθούν ισχυρά μέτρα για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της ανθρώπινης δραστηριότητας στο περιβάλλον. Η Ευρωπαϊκή Ένωση φιλοδοξεί να γίνει η πρώτη παγκοσμίως με μηδενικές εκπομπές ρύπων, για το σύνολο των δραστηριοτήτων της, ένας στόχος για τον οποίο έχει διατεθεί μεγάλο μέρος των πόρων των κρατών μελών.

Η επίτευξη του παραπάνω στόχου διαθέτει δύο βασικές προϋποθέσεις οι οποίες και είναι άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους. Την πρώτη αποτελεί η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη του συνόλου των μεταφορικών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων, και τη δεύτερη αποτελεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποκλειστικά με ΑΠΕ. Οι στόχοι αυτοί είναι ιδιαίτερα δύσκολο να επιτευχθούν, ωστόσο η ΕΕ φιλοδοξεί μέχρι το 2100, τον εκμηδενισμό των ρύπων και την κατάργηση των μηχανών εσωτερικής καύσης (τουλάχιστον για τις επίγειες μεταφορές).

### 4.2. Ευρωπαϊκό Κανονιστικό Πλαίσιο

#### 4.2.1. Περιβαλλοντικοί Στόχοι

Όπως προαναφέρθηκε η ΕΕ, από το 2000 έχει θέσει μία σειρά περιβαλλοντικών στόχων οι οποίοι αποσκοπούν στην προστασία του περιβάλλοντος, την τήρηση των δεσμεύσεων της Ένωσης στις συμφωνίες του Παρισιού και του Κιότο, και την ενεργειακή αυτονομία των κρατών – μελών από τρίτες χώρες. Οι στόχοι καθορίζονται με βάση έναν χρονικό ορίζοντα, όπου εξετάζεται η επίτευξή τους και ο καθορισμός των νέων στόχων για το επόμενο στάδιο [35]. Συγκεκριμένα οι στόχοι που θεσπίστηκαν το 2009, με βάθος χρόνου το 2020, λαμβάνουν υπόψη [36]:

- 20% μείωση της παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου.
- 20% παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.

- 20% βελτίωση της αποδοτικότητας των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Για το 2030 οι στόχοι αναφέρονται σε:

- 40% μείωση της παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου.
- 32% παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.
- 32.5% αύξηση της αποδοτικότητας των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ενώ για το 2050 οι στόχοι είναι:

- Η πλήρης κλιματική ουδετερότητα του συνόλου των οικονομικών δραστηριοτήτων, μέσω της ανάπτυξης τεχνολογιών μείωσης ή πλήρους εξάλειψης των αερίων ρύπων ή την παραγωγή με τη χρήση ΑΠΕ.

Τα κράτη – μέλη οφείλουν να λάβουν τα απαραίτητα μέτρα αξιοποιώντας παράλληλα τους ευρωπαϊκούς πόρους για την εκπλήρωση των παραπάνω στόχων, στα προβλεπόμενα χρονικά πλαίσια. Οι περιβαλλοντικοί στόχοι της ΕΕ, καθορίστηκαν το 2009, από το πλαίσιο 2009/28/ΕΚ, σύμφωνα με το οποίο θεσπίζονται για πρώτη φορά οι στόχοι, όπως αυτοί ορίζονται από τις απαιτήσεις του συμφώνου του Παρισιού [36]. Η προσπάθεια από πλευράς ΕΕ πραγματοποιείται με βάση την πρόβλεψη, πως τα κράτη – μέλη, σε εθνικό επίπεδο, δεν διαθέτουν τους απαραίτητους πόρους για την επίτευξη των συγκεκριμένων στόχων, και ως αποτέλεσμα η διαμόρφωση του πλαισίου προσφέρει τις βασικές υποδομές για την ανάπτυξη των εθνικών σχεδίων προστασίας και διασφάλισης του περιβάλλοντος, και την ανάπτυξη μίας πιο αποδοτικής κλιματικής και ενεργειακής πολιτικής. Κατά τον τρόπο αυτό τα κράτη – μέλη έχουν πρόσβαση σε τεχνογνωσία και πόρους, ενώ παράλληλα αναπτύσσονται και διμερείς συμφωνίες ενεργειακής συνεργασίας (π.χ. Ελλάδα – Βουλγαρία, Κύπρος – Ελλάδα – Ιταλία, κ.λπ.). Παράλληλα η πολιτική αυτή ενισχύει την διαπραγματευτική ισχύ της ΕΕ, ως μπλοκ, το οποίο είναι σε θέση να συνάψει ενεργειακές συμφωνίες με τρίτες χώρες [33].

#### **4.2.2. Χρηματοδοτικά Προγράμματα**

Όπως προαναφέρθηκε, η ΕΕ παρέχει στα κράτη – μέλη τους απαραίτητους πόρους για την διαμόρφωση και εφαρμογή των ενεργειακών πολιτικών τους, εντός των πλαισίων των θεσπισμένων περιβαλλοντικών στόχων. Κύριο χρηματοδοτικό εργαλείο της ΕΕ, αποτελεί το ΕΔΕΤ (Ευρωπαϊκό Διαρθρωτικό και Επενδυτικό Ταμείο) στο οποίο μπορούν να αιτηθούν

το σύνολο των κρατών και των ιδιωτών πολιτών της ΕΕ, για χρηματοδότηση οικονομικών και άλλων προγραμμάτων. Βασική προϋπόθεση συμμετοχής αποτελεί η τήρηση των κανονισμών που έχουν θεσπιστεί από την ΕΕ, σύμφωνα και με την κείμενη νομοθεσία της ΕΕ, καθώς επίσης και η πλήρης νομιμότητα και διαφάνεια της δραστηριότητας [37].

Το ΕΔΕΤ αποτελεί το μεγαλύτερο σε έκταση χρηματοδοτικό πρόγραμμα στον κόσμο, και καλύπτει το σύνολο των δραστηριοτήτων της οικονομίας, ενώ παράλληλα περιλαμβάνει και προβλέψεις για χρηματοδότηση επενδυτικών προγραμμάτων, τα οποία σχετίζονται με παρεμβάσεις και ιδιωτικές δραστηριότητες. Συγκεκριμένα, μεγάλο ποσοστό των πόρων του ΕΔΕΤ διατίθεται σε προγράμματα αναβάθμισης βασικών υποδομών, βελτίωσης κρατικών δραστηριοτήτων, χρηματοδότηση προγραμμάτων περιβαλλοντικών παρεμβάσεων, και την υλοποίηση προγραμμάτων έρευνας και ανάπτυξης σε όλους τους τομείς [38].

Τα ΕΔΕΤ (ένα εκ των οποίων αποτελεί και το ΕΣΠΑ), αποτελούν «εργαλεία» για την αναδιανομή των πόρων στους εταίρους της ΕΕ, με ιδιαίτερη βαρύτητα να δίνεται σε περιβαλλοντικά προγράμματα. Το ΕΣΠΑ για παράδειγμα, διαθέτει το 80% των κονδυλίων, σε προγράμματα που σχετίζονται με την περιβαλλοντική προστασία, και την ανάπτυξη της βιώσιμης οικονομίας, ενώ το υπόλοιπο 20% χρησιμοποιείται για προγράμματα συντήρησης και βελτίωσης υφιστάμενων υποδομών. Η χρηματοδότηση προγραμμάτων περιβαλλοντικής ανάπτυξης αποτελεί βασική προϋπόθεση για την επίτευξη των στόχων της ΕΕ, καθώς δίνει τα κατάλληλα κίνητρα στους επενδυτές να διαθέσουν κεφάλαιο στις ΑΠΕ, την κυκλική οικονομία και τη βιώσιμη ανάπτυξη, ενώ παράλληλα βελτιώνει τις διακρατικές σχέσεις μεταξύ των κρατών – μελών, μέσω των προγραμμάτων συγχρηματοδότησης [26].

#### **4.2.3. Περιορισμοί – Προκλήσεις.**

Όπως προαναφέρθηκε η επίτευξη των στόχων που έχουν θεσπιστεί από την ΕΕ, αποτελεί μία δύσκολη και περίπλοκη διαδικασία, η οποία απαιτεί συνεχείς συμβιβασμούς για την διαμόρφωση του κατάλληλου επενδυτικού περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα εντός της ΕΕ, ορισμένες δραστηριότητες περιορίζονται σημαντικά, λόγω των υψηλών δεικτών ρύπανσής τους [39].

Το πλαίσιο αυτό δημιουργεί προκλήσεις στα κράτη – μέλη, και ιδιαίτερα σε αυτά που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στα ορυκτά καύσιμα για την ανάπτυξη της οικονομίας τους (π.χ. Πολωνία), τα οποία οφείλουν να επενδύσουν πόρους για την ανάπτυξη των ΑΠΕ, περιορίζοντας παράλληλα τη χρήση των ορυκτών καυσίμων, κάτι που δημιουργεί αρνητικό

επενδυτικό περιβάλλον, και έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της οικονομίας και του ΑΕΠ. Ως αποτέλεσμα, η σύναψη συμφωνιών καθίσταται δύσκολη εντός της ΕΕ, καθώς όπως είναι λογικό τα κράτη – μέλη προσπαθούν να διασφαλίσουν τα συμφέροντά τους, και παράλληλα να παραμείνουν πιστά στις ευρωπαϊκές αρχές [33,36].

Η ισορροπία μεταξύ των δύο αποτελεί κρίσιμης σημασίας επίτευγμα για τη διαμόρφωση ενός κατάλληλου περιβαλλοντικού πλαισίου, με την ανάπτυξη προγραμμάτων χρηματοδότησης έρευνας και ανάπτυξης των ΑΠΕ, καθώς επίσης και με την παροχή τεχνογνωσίας στα κράτη – μέλη να αποτελεί την «χρυσή τομή» [15]. Μία ακόμα πρόκληση αποτελεί η διαφορετική οικονομική κατάσταση που χαρακτηρίζει τα διάφορα κράτη-μέλη και συχνά δημιουργεί ένα ιδιαίτερα ανομοιογενές περιβάλλον, το οποίο δεν επιτρέπει τη λήψη άμεσων και αποδοτικών αποφάσεων [8].

#### **4.3. Ελληνικό Νομοθετικό Πλαίσιο.**

Όπως προαναφέρθηκε η αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, αποτελεί ένα τομέα που επιδέχεται κρατική επιρροή λόγω του κοινωνικού χαρακτήρα του ηλεκτρικού ρεύματος και της αναγκαιότητάς του για το σύνολο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Πριν το 2010, το ελληνικό δημόσιο κατείχε τον πλήρη έλεγχο της παραγωγής, διανομής και ρύθμισης της ηλεκτρικής ενέργειας, κάτι που ήταν ενάντια στις αρχές της ΕΕ για ελεύθερη διακίνηση κεφαλαίου και οικονομικών δραστηριοτήτων. Η προσπάθεια από πλευράς ελληνικών κυβερνήσεων κατά την οικονομική κρίση για το «άνοιγμα» της αγοράς ενέργειας πραγματοποιήθηκε με την ψήφιση του νόμου 3851/2010, σύμφωνα με τον οποίο δίνεται η δυνατότητα αδειοδότησης σε ιδιώτες «παρόχους» ηλεκτρικής ενέργειας να αρχίσουν δραστηριότητες στην Ελλάδα [34].

Ωστόσο η κίνηση αυτή δεν αποτελεί το πλήρες πλαίσιο δεδομένου πως οι «πάροχοι» αποτελούσαν μεσάζοντες και όχι παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας, μεταξύ της ΔΕΗ και των καταναλωτών. Η πλήρης απελευθέρωση της αγοράς πραγματοποιήθηκε κατά το επόμενο έτος με την ψήφιση του νόμου 4001/2011, σύμφωνα με τον οποίο [40]:

- Επιτρέπεται η σύσταση εταιρείας και η έναρξη των δραστηριοτήτων εταιρειών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές. Ουσιαστικά το μέτρο αυτό

επέτρεψε σε εταιρείες παραγωγής να πουλήσουν ενέργεια απευθείας στους καταναλωτές μέσω των υποδομών του ΔΕΔΔΗΕ.

- Ιδρύεται η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, η οποία και καθορίζει το ανώτατο κόστος της ενέργειας ανά εκάστοτε μονάδα μέτρησης και είναι υπεύθυνη για τον συντονισμό των ενεργειών μεταξύ του ΔΕΔΔΗΕ και των ιδιωτικών εταιρειών.
- Αίρεται η απαγόρευση της αποκλειστικής σύνδεσης των οικιακών καταναλωτών με την ΔΕΗ.
- Διαμορφώνεται πλαίσιο μεταφοράς του ιδιοκτησιακού καθεστώτος του συνόλου των υποδομών μεταφοράς και διακομιδής ενέργειας από την ΔΕΗ στον ΔΕΔΔΗΕ.

Επιπλέον σύμφωνα με το παραπάνω νομοθετικό πλαίσιο προσδιορίζεται ο όρος του παραγωγού ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος πλέον περιλαμβάνει το σύνολο των νομικών προσώπων που παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ, ανεξαρτήτως πηγής προέλευσης και τελικού καταναλωτή. Ουσιαστικά σύμφωνα με το νομοθετικό πλαίσιο οι ιδιοκτήτες μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, είναι πλέον σε θέση να χρησιμοποιήσουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν για ίδια χρήση, ή να την μεταπωλήσουν σε άλλους καταναλωτές (με την κατάλληλη αδειοδότηση), είτε να την διαθέσουν σε κάποια από τις ιδιωτικές εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [41].

Το ζήτημα αυτό αποτελεί ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ στην Ελλάδα, καθώς μέχρι και το 2011, το σύνολο των παραγωγών υποχρεούταν να πωλούν την παραγόμενη ενέργεια απευθείας στη ΔΕΗ, σε προκαθορισμένες τιμές, ενώ πλέον είναι σε θέση να διαπραγματευτούν με τις ιδιωτικές εταιρείες, δίνοντας κατά αυτό τον τρόπο τα απαραίτητα επενδυτικά κίνητρα για την περαιτέρω ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα. Στο πλαίσιο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί πως κατά την τελευταία δεκαετία (2011-2021) η κατασκευή ηλιακών και αιολικών πάρκων στην Ελλάδα αυξήθηκε για τις μονάδες υψηλής τάσης, ενώ μειώθηκε για τις μικρές μονάδες, λόγω της απουσίας του απαραίτητου επενδυτικού κεφαλαίου [41].

#### **4.4. Εθνικό Νομοθετικό Πλαίσιο για την Αυτοπαραγωγή**

Με νομοσχέδιο τον Μάρτιο του 2019 δόθηκαν για πρώτη φορά αποφασιστικά κίνητρα για την αυτοπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Στο νομοσχέδιο αυτό ενσωματώθηκαν για πρώτη φορά όλες οι τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ καθώς μέχρι τότε δυνατότητα για παραγωγή είχαν οι μονάδες μόνο με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων και μικρών ανεμογεννητριών [42].

Το νομοσχέδιο αυτό εισήγαγε την δυνατότητα συνδυασμού σταθμών ΑΠΕ, ΣΗΘΥΑ (Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης) και συστήματος αποθήκευσης από αυτοπαραγωγούς για την κάλυψη των αναγκών τους, εφαρμόζοντας δηλαδή ενεργειακό συμψηφισμό (Net Metering). [42]

Στις νέες ρυθμίσεις το Υπουργείο Ενέργειας εισήγαγε και ένα νέο όρο, τον εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό που δίνει την δυνατότητα του συμψηφισμού της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με την συνολική καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια, για τους αυτοπαραγωγούς, ανεξάρτητα από το χώρο που αυτή παράγεται και καταναλώνεται [42].

Δικαίωμα ένταξης στην περίπτωση του ενεργειακού συμψηφισμού έχουν φυσικά πρόσωπα (επιτηδευματίες ή μη) ή νομικά πρόσωπα δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου τα οποία είτε έχουν στην κυριότητα τους τον χώρο στον οποίο εγκαθίσταται ο σταθμός παραγωγής είτε έχουν τη νόμιμη χρήση και έχουν διασφαλίσει την έγγραφη συναίνεση του ιδιοκτήτη του χώρου [42].

Στην περίπτωση του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού, δικαίωμα ένταξης στις διατάξεις της παρούσας έχουν νομικά πρόσωπα δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου, που επιδιώκουν κοινωφελείς ή άλλους δημοσίου ενδιαφέροντος σκοπούς γενικής ή τοπικής εμβέλειας, καθώς και οι εγγεγραμμένοι στο Μητρώο Αγροτών και Αγροτικών Εκμεταλλεύσεων, οι οποίοι είτε έχουν στην κυριότητα τους τον χώρο στον οποίο εγκαθίσταται ο σταθμός παραγωγής είτε έχουν τη νόμιμη χρήση αυτού και έχουν διασφαλίσει την έγγραφη συναίνεση του ιδιοκτήτη του χώρου [42].

Το μέτρο αποβλέπει στην ενίσχυση της αυτοπαραγωγής, ως μέσο εξοικονόμησης ενέργειας και μείωσης του ενεργειακού κόστους, με έμφαση στην ενεργό συμμετοχή των καταναλωτών-αυτοπαραγωγών και στην στήριξη της πρωτογενούς παραγωγής. Συγχρόνως,

υποστηρίζονται οι στόχοι του νομοσχεδίου για τις Ενεργειακές Κοινότητες σε σχέση και με το πνεύμα των ευρωπαϊκών κατευθύνσεων για τις ΑΠΕ.

### **Νέα τροποποίηση του πλαισίου Αυτοπαραγωγής (Αύγουστος 2021)**

Τα όρια ισχύος της αυτοπαραγωγής όσον αφορά το διασυνδεδεμένο δίκτυο αυξήθηκαν με νέα τροπολογία (Αύγουστος 2021), που αυξάνει σε 3 MW το ανώτατο όριο ισχύος των σταθμών αυτοπαραγωγής [43].

Όμως, για τους σταθμούς παραγωγής μικρών ανεμογεννητριών ή σταθμούς παραγωγής δύο τεχνολογιών που περιλαμβάνουν μικρές ανεμογεννήτριες, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των μικρών ανεμογεννητριών δεν μπορεί να υπερβαίνει το ανώτατο όριο των 60 kW. Με τις νέες τροποποιήσεις προβλέπεται ότι ειδικά για φωτοβολταϊκούς σταθμούς, σταθμούς μικρών ανεμογεννητριών, βιοαερίου, συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας κ.α, τα οποία εγκαθίστανται στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα ή στην Κρήτη επιτρέπεται η εγκατάστασή τους με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού, με μέγιστη ισχύ παραγωγής των σταθμών ίση με το 100% της συμφωνημένης ισχύος κατανάλωσης [43].

Στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και στην Κρήτη, ισχύουν τα εξής:

-Στην περίπτωση του ενεργειακού συμψηφισμού, η ισχύς κάθε σταθμού παραγωγής που εγκαθίσταται στο πλαίσιο της παρούσας απόφασης μπορεί να ανέρχεται μέχρι και 100% της συμφωνημένης ισχύος κατανάλωσης.

-Στην περίπτωση του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού, η ισχύς κάθε σταθμού παραγωγής που εγκαθίσταται στο πλαίσιο της απόφασης μπορεί να ανέρχεται μέχρι και το 100% του αθροίσματος της συμφωνημένης ισχύος του συνόλου των συμψηφιζόμενων καταναλώσεων.

-Η ισχύς ενός σταθμού παραγωγής που θα εγκατασταθεί στο πλαίσιο της παρούσας απόφασης, στο διασυνδεδεμένο δίκτυο, δεν μπορεί να υπερβαίνει το ανώτατο όριο των 3 MW.

### **Σύνδεση σταθμών ενεργειακού συμψηφισμού στο Δίκτυο**

Μετά την υποβολή του αιτήματος για αυτοπαραγωγή, ο αρμόδιος Διαχειριστής του δικτύου, εξετάζει το αίτημα και αποφαινεται εντός του επόμενου μήνα από την υποβολή της αίτησης, για αιτήματα που αφορούν ενεργειακό συμψηφισμό, ή εντός των επόμενων δύο μηνών για



αιτήματα που αφορούν εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό, σε διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης.

Σε περίπτωση αποδοχής της Προσφοράς Σύνδεσης, η διάρκεια ισχύος ορίζεται σε 12 μήνες από τη χορήγηση της για σταθμούς που συνδέονται στο Δίκτυο, εφόσον δεν απαιτούνται εργασίες σε Υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ. Είκοσι τέσσερις μήνες από τη χορήγηση της για σταθμούς που συνδέονται στο Δίκτυο, εφόσον απαιτούνται εργασίες κατασκευής νέου Υποσταθμού ΥΤ/ΜΤ ή επέκτασης Υποσταθμού ΥΤ/ΜΤ.

Ειδικά για τις περιπτώσεις κατά τις οποίες υφίσταται υποχρέωση διενέργειας διαγωνιστικών διαδικασιών, σύμφωνα με τις διατάξεις για τις δημόσιες συμβάσεις, προκειμένου να υλοποιηθεί το έργο, η διάρκεια ισχύος της Προσφοράς Σύνδεσης παρατείνεται κατά 18 μήνες, με την προϋπόθεση ότι ο φορέας ενημερώνει τον αρμόδιο Διαχειριστή του δικτύου πριν τη λήξη της [43].

## 5. Μεθοδολογία - σχήματα αυτοπαραγωγής

### 5.1. Εισαγωγή

Η ενεργειακή μετάβαση διενεργείται πλέον με ταχείς ρυθμούς που σε πολλές των περιπτώσεων δημιουργούν προβληματισμό, όπως για παράδειγμα με τις διακυμάνσεις των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό η οικιακή αυτοπαραγωγή από ΑΠΕ κερδίζει ολοένα και περισσότερο έδαφος, καθώς πολλά είναι εκείνα τα νοικοκυριά που εγκαθιστούν μικρές ανεμογεννήτριες ή φωτοβολταϊκά συστήματα στην οικία τους, προσπαθώντας να μειώσουν τους λογαριασμούς ρεύματος.

Ενδεικτικά αναφέρουμε πως στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής η οικιακή χρήση των φωτοβολταϊκών άγγιξε τα 740 MW το 3<sup>ο</sup> τρίμηνο του 2020, 14% υψηλότερη σε σχέση με το 2<sup>ο</sup> τρίμηνο σύμφωνα με πρόσφατη έκθεση της Solar Energy Industries Association και της Wood Mackenzie [44].

Παράλληλα εταιρίες ανακοινώνουν την δημιουργία εφαρμογών που θα επιτρέπουν στους ιδιοκτήτες να αξιολογούν και να διαχειρίζονται τις ρυθμίσεις παραγωγής χρήσης και αποθήκευσης ενέργειας του σπιτιού τους μέσω του κινητού τους, νέες τεχνολογίες με μεγαλύτερη αποδοτικότητα και φιλικότερες στη χρήση για τον αυτοπαραγωγό κάνουν πιο εύκολη την μετάβαση αυτή. Το νομοθετικό πλαίσιο επίσης αλλάζει σταδιακά απελευθερώνοντας και παρέχοντας την επιλογή στον καταναλωτή να μετατραπεί σε αυτοπαραγωγό, ιδιοπαραγωγό ή και παράγωγο ηλεκτρικής ενέργειας.

### 5.2. Αυτοπαραγωγός

«Αυτοπαραγωγοί» είναι οι καταναλωτές με την παραδοσιακή έννοια που όμως παράγουν επίσης αγαθά ή υπηρεσίες για πώληση. Θέτοντας το αλλιώς, Αυτοπαραγωγός με όρους ενέργειας είναι ο πολίτης ο οποίος παράγει ο ίδιος την ενέργεια την οποία καταναλώνει ενώ παράλληλα είναι σε σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο. Η ενέργεια η οποία παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ή μια ανεμογεννήτρια επιλέγεται πρώτη για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Εάν οι ενεργειακές απαιτήσεις έχουν υπερβεί το όριο της παραγόμενης ενέργειας ενός Υβριδικού Συστήματος, τότε η επιπλέον ενέργεια που χρειάζεται μπορεί να καλυφθεί από μία γεννήτρια και εάν στο σημείο αυτό το φορτίο που χρειάζεται δεν καλύπτεται η ενέργεια που χρειάζεται αγοράζεται από το δίκτυο. Στην περίπτωση που η απαιτούμενη ενέργεια είναι λιγότερη από αυτή που παράγεται μέσω ΑΠΕ,

τότε η ενεργειακή αυτή διαφορά μεταφέρεται μέσω μετρητικών συστημάτων του δικτύου και έτσι ο πολίτης λαμβάνει μια πίστωση στον λογαριασμό του. Με αυτόν τον τρόπο καλύπτονται όλες οι ενεργειακές ανάγκες ενός κτιρίου επιτυγχάνοντας μηδενική σπατάλη της παραγόμενης ενέργειας μέσω των εγκατεστημένων ΑΠΕ.

Με αλλά λόγια ο αυτοπαραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας παράγει την ενέργεια που χρειάζεται μέσω ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, βιομάζα κλπ.), την καταναλώνει απευθείας στο κτίριό του και όταν δεν του αρκεί αντί συσσωρευτών εισάγει ενέργεια από το δίκτυο. Με το θεσμό της αυτοπαραγωγής γίνεται Ενεργειακός συμψηφισμός σε kWh (σε αντίθεση με τις έως τώρα πρακτικές των ταριφών όπου γίνονταν λογιστικός συμψηφισμός σε €) για 25 χρόνια με σύμβαση. Το σύστημα επιτρέπεται να τοποθετηθεί επί στέγης, δώματος, εδάφους ή οποιασδήποτε άλλης νόμιμης πολεοδομικά κατασκευής.

### **5.2.1. Προμήθεια ηλεκτρικού ρεύματος**

- Αν το ρεύμα περισσεύει, εγχέεται στο δίκτυο και καταγράφεται από μετρητή (εξερχόμενη ενέργεια)
- Αν το ρεύμα δεν επαρκεί, εισάγουμε ρεύμα από το δίκτυο (εισερχόμενη ενέργεια)
- Στο τέλος της τιμολογιακής περιόδου (4μηνο για τους οικιακούς καταναλωτές), συμψηφίζεται η εξερχόμενη με την εισερχόμενη ενέργεια και τιμολογείται η διαφορά.
- Αν η εξερχόμενη ενέργεια είναι περισσότερη από την εισερχόμενη (για το διάστημα των 4 μηνών), η διαφορά πιστώνεται στον επόμενο λογαριασμό. Ο ενεργειακός συμψηφισμός ολοκληρώνεται με την πάροδο ενός χρόνου.

### **5.2.2. Οικονομικά θέματα**

Αυτό αποτελεί ένα τεράστιο πλεονέκτημα για τον αυτοπαραγωγό ο οποίος μπορεί να δει τους λογαριασμούς του σχεδόν να μηδενίζονται. Επίσης ο ετήσιος συμψηφισμός μας δίνει το πλεονέκτημα να έχουμε μεγαλύτερη παραγωγή το καλοκαίρι, αυξάνοντας την εξερχόμενη ενέργεια, την οποία και θα την εκμεταλλευτούμε τον χειμώνα π.χ. για την θέρμανσή μας. Για του επαγγελματίες επίσης αποτελεί μια συμφέρουσα επένδυση διότι μειώνει το κόστος των παραγόμενων προϊόντων ή υπηρεσιών καθιστώντας τους πιο ανταγωνιστικούς. Ωστόσο, ο «αυτοπαραγωγός» είναι περισσότερο χρήσιμος ως ένας γενικός όρος, γιατί ο σύγχρονος καταναλωτής ενέργειας είναι κάτι περισσότερο από ένας απλός παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορεί να παράσχει επίσης υπηρεσίες στο τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο, όπως η αποθήκευση και η ζήτηση-απόκριση σε αγορές χονδρικής και λιανικής πώλησης, κλπ.

Η ιδέα της αυτοπαραγωγής εφαρμόζεται ολοένα και περισσότερο στο πλαίσιο της αγοράς ενέργειας. Δύο καθοριστικά χαρακτηριστικά της αυτοπαραγωγής της ενέργειας είναι η αυτονομία και η συμμετοχή στην αγορά. Οι ενεργειακοί αυτοπαραγωγοί εξασκούν την αυξημένη αυτονομία, δηλαδή αντιλαμβάνονται διαφορετικά την έννοια της διαχείρισης της ενέργειας σε σχέση με τους παραδοσιακούς καταναλωτές, λαμβάνοντας ενεργά μέτρα για να ρυθμίσουν την κατανάλωσή τους και να αυξήσουν αντίστοιχα την ιδιοκατανάλωση. Ωστόσο, αυτές οι συμπεριφορές, συμπληρώνονται από τις δραστηριότητές τους ως συμμετέχοντες στην αγορά. Κάποιοι αυτοπαραγωγοί πουλάνε την πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται επί τόπου στις τοπικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, άλλοι αυτοπαραγωγοί βάζουν σε προσφορά ενεργειακές υπηρεσίες αποθήκευσης σε βοηθητικές αγορές υπηρεσιών, και κάποιοι λαμβάνουν αποζημίωση για τη μείωση της ηλεκτρικής τους ενέργειας, μέσω προγραμμάτων βάσει ζήτησης και ανταπόκρισης.

### **5.2.3. Οριακή τιμή συστήματος (spot price)**

Ως οριακή τιμή συστήματος καλείται η τιμή χονδρικής με την οποία ο πάροχος προμηθεύεται ηλεκτρική ενέργεια και η τιμή πώλησης για την ενέργεια που εγγείει ο παράγωγος. Η τιμή μεταβάλλεται συνεχώς καθώς καθορίζεται από την προσφορά – ζήτηση, την ποσότητα αλλά και το φορτίο ζήτησης των καταναλωτών. Οι αλλαγές αυτές στη τιμή ωστόσο μπορεί υπό συνθήκες να ζημιώσουν το καταναλωτή.

Είναι λοιπόν σημαντικό να αναφερθεί πως ο καταναλωτής από τη μεριά του πρέπει να γνωρίζει και τους όρους της σύμβασης σε περίπτωση που θελήσει να μεταφερθεί σε άλλο πάροχο.

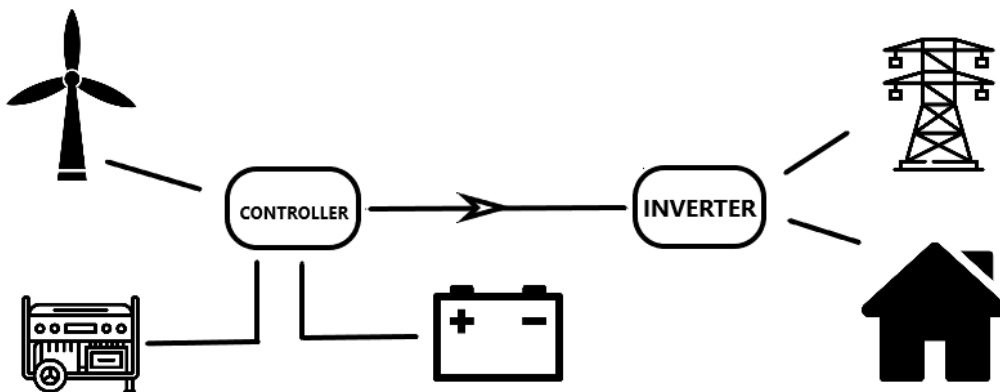
Έχοντας την πληροφορία αυτή ο παράγωγος / καταναλωτής μπορεί να διαχειριστεί καλύτερα την ενέργεια που παράγει καθώς και το σύστημά του προς όφελος του. Λόγου χάρη τις πρώτες πρωινές ώρες η τιμή πώλησης είναι χαμηλή, εξαιτίας της χαμηλής ζήτησης, ενώ τις μεσημεριανές ώρες ή τις βραδινές συναντάμε μεγάλη αύξηση, έτσι ο παράγωγος μπορεί να αποθηκεύει την ενέργεια και να την αποδώσει στο δίκτυο όταν εκείνος θεωρεί ότι απαιτείται. Η δυνατότητα αυτή όμως παρέχεται μέχρι σήμερα μόνο στους παραγωγούς και όχι στους καταναλωτές, καθώς αγοράζουν ηλεκτρική ενέργεια απευθείας από το λιανοπωλητή τους και όχι από την αγορά χονδρικής. Ως προπομπός των δυναμικών σχημάτων τιμολόγησης μπορεί να θεωρηθεί το νυχτερινό τιμολόγιο, το οποίο και

ενθαρρύνει τη χρονική μετατόπιση φορτίων τις νυχτερινές ώρες της ημέρας οπότε και η κατανάλωση είναι μικρότερη.

#### 5.2.4. Σχήματα αυτοπαραγωγού

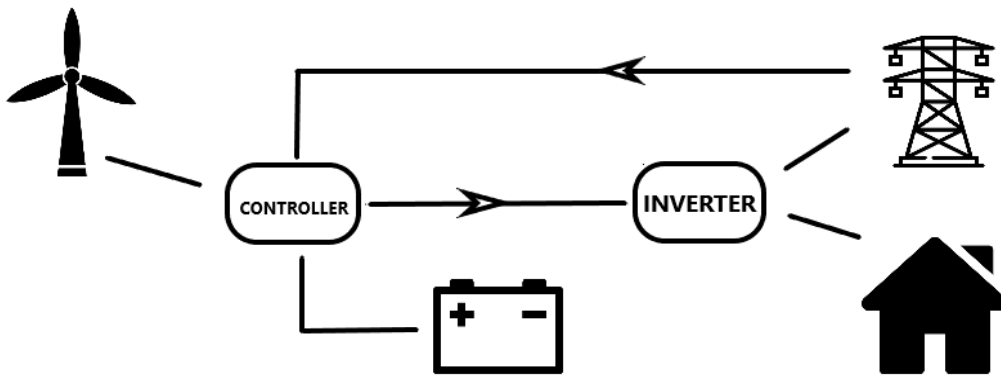
Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται τέσσερα σενάρια ενός αυτοπαραγωγού. Τα δύο πρώτα σενάρια έχουν κοινή δομή, απαρτίζονται δηλαδή και τα δύο από μία ανεμογεννήτρια, μία γεννήτρια, ένα σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας, τη σύνδεση στο δίκτυο και την κατανάλωση. Η διαφοροποίηση αυτών συναντάται στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς στην πρώτη περίπτωση θεωρούμε μια συγκεκριμένη τιμή, ενώ στην δεύτερη υπάρχει διακύμανση της στιγμιαίας τιμής η οποία αλλάζει ανά ώρα.

Ο αυτοπαραγωγός στο υβριδικό του σύστημα έχει την δυνατότητα να καλύψει τις ανάγκες του με τη χρήση ηλεκτρογεννήτριας σε περίπτωση που η παραγωγή των ΑΠΕ δεν επαρκεί για να καλύψει το φορτίο ζήτησης και δεν υπάρχει απόθεμα ενέργειας στο σύστημα αποθήκευσης.



*Εικόνα 5.1: Απεικόνιση σεναρίου ενός αυτοπαραγωγού με χρήση ηλεκτρογεννήτριας.*

Στα επόμενα δυο σενάρια δεν υπάρχει η παρουσία ηλεκτρογεννήτριας πάρα μόνο το σύστημα αποθήκευσης και το δίκτυο ως εναλλακτική πηγή ενέργειας για το απαιτούμενο φορτίο. Όπως τα προηγούμενα έτσι και αυτά διαφοροποιούνται ως προς την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας.



*Εικόνα 5.2: Απεικόνιση σεναρίου ενός αυτοπαραγωγού χωρίς χρήση ηλεκτρογεννήτριας.*

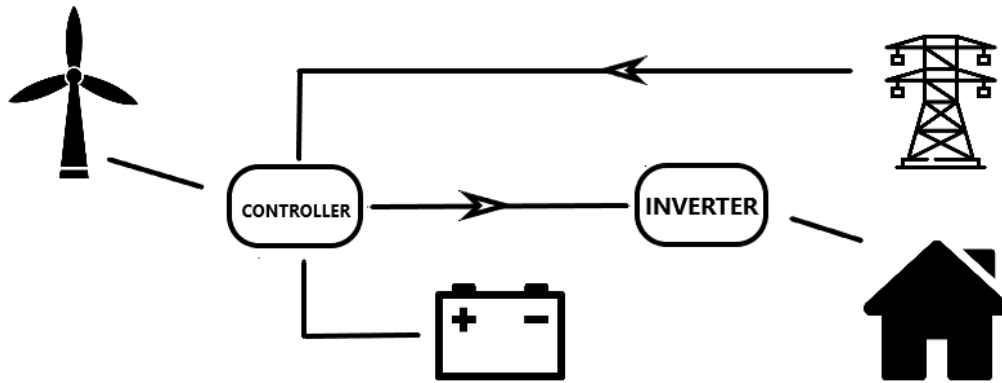
### 5.3. Ιδιοπαραγωγός

Στην περίπτωση του ιδιοπαραγωγού, συναντάμε τρία σενάρια ένα με τη χρήση ηλεκτρογεννήτριας χωρίς όμως τη σύνδεση στο δίκτυο, ένα με σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο χωρίς τη χρήση ηλεκτρογεννήτριας όπου η ζήτηση καλύπτεται αγοράζοντας με σταθερή τιμή και ένα όπου η ενέργεια καταναλώνεται στη βάση της spot τιμής για να καλύψει τις ανάγκες που μπορεί να προκύψουν. Η διαφορά του ιδιοπαραγωγού με τον αυτοπαραγωγό εντοπίζεται στη διαχείριση της ενέργειας. Δηλαδή ο ιδιοπαραγωγός, παράγει για να καταναλώσει χωρίς την δυνατότητα πώλησης της πλεονάζουσας ενέργειας πάρα μόνο αποθήκευσης αυτής.

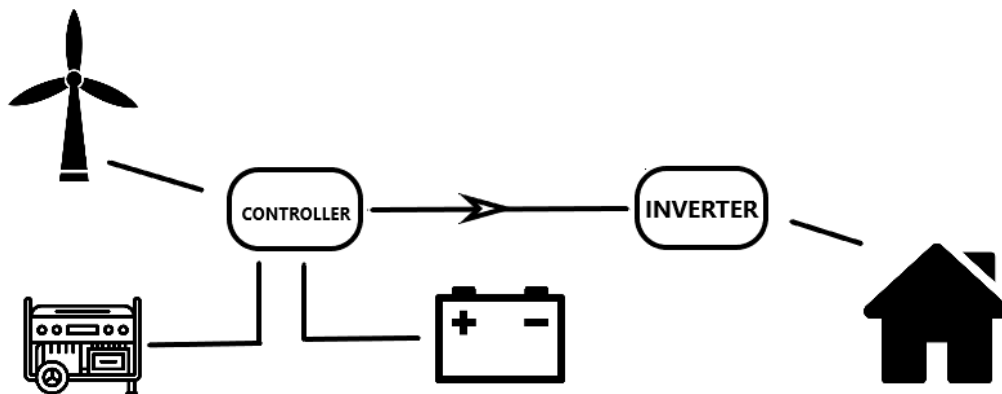
Όπως προαναφέρθηκε, υπό την ιδιότητα του ιδιοπαραγωγού εξετάζονται τρία σενάρια. Το πρώτο αφορά σε υβριδικό σύστημα το οποίο είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, όπως απεικονίζεται και στο σχήμα 5.3. Η στρατηγική η οποία ακολουθείται στο 1<sup>ο</sup> σενάριο έχει ως εξής: η κυρία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από ΑΠΕ (και στην προκείμενη περίπτωση από ανεμογεννήτρια) και στο σύστημα περιλαμβάνεται και σύστημα αποθήκευσης, όπου εκεί αποθηκεύεται η περίσσεια ενέργειας.

Στην περίπτωση νημεμίας ή υψηλής ζήτησης που δεν μπορεί να καλυφθεί από την ανεμογεννήτρια ή από την αποθηκευμένη ενέργεια στους συσσωρευτές ο ιδιοπαραγωγός αναγκάζεται να αγοράσει ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο με σταθερή τιμή. Σε αυτό το σημείο έχουμε και τη διαφοροποίηση με το 2<sup>ο</sup> σενάριο όπου η αγορά ενέργειας δε γίνεται με σταθερή τιμή αλλά με μεταβαλλόμενη ανά ώρα (spot price). Στο 3<sup>ο</sup> σενάριο (σχήμα 5.4)

ακολουθείται η ίδια στρατηγική με τη διαφορά ότι στο τελευταίο βήμα αντί ο ιδιοπαραγωγός να αγοράσει ενέργεια παράγει την απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται από μια ηλεκτρογεννήτρια.



Εικόνα 5.3: Απεικόνιση 1ου σεναρίου ενός ιδιοπαραγωγού.



Εικόνα 5.4: Απεικόνιση 2ου σεναρίου ενός ιδιοπαραγωγού.

#### 5.4. Περιγραφή προσομοίωσης

Στόχος της ενότητας των υπολογισμών είναι η εξέταση αντιπροσωπευτικών περιπτώσεων αυτοπαραγωγών / ιδιοπαραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας, στη βάση προσομοίωσης της λειτουργίας υβριδικών συνδυασμών μικρών ανεμογεννητριών και συσσωρευτών σε περιοχή τυπικού αιολικού δυναμικού, στοχεύοντας έτσι στην παραγωγή βέλτιστων λύσεων οι οποίες θα εξισορροπούν το ισοζύγιο ιδιοκατανάλωσης και εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο. Όπως γίνεται κατανοητό και από τα προαναφερθέντα σενάρια,

στόχος είναι να αναπτυχθούν κατάλληλες στρατηγικές εμπορίας ενέργειας οι οποίες θα εφαρμοστούν σε πλήθος υβριδικών συνδυασμών, εξετάζοντας την δυνατότητα ελαχιστοποίησης του κόστους παραγωγής / κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με το συμβατικό σενάριο της αποκλειστικής κάλυψης των αναγκών του τελικού καταναλωτή ενέργειας – μέσω προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας από το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο.

#### **5.4.1. Δομή Υβριδικού Συστήματος**

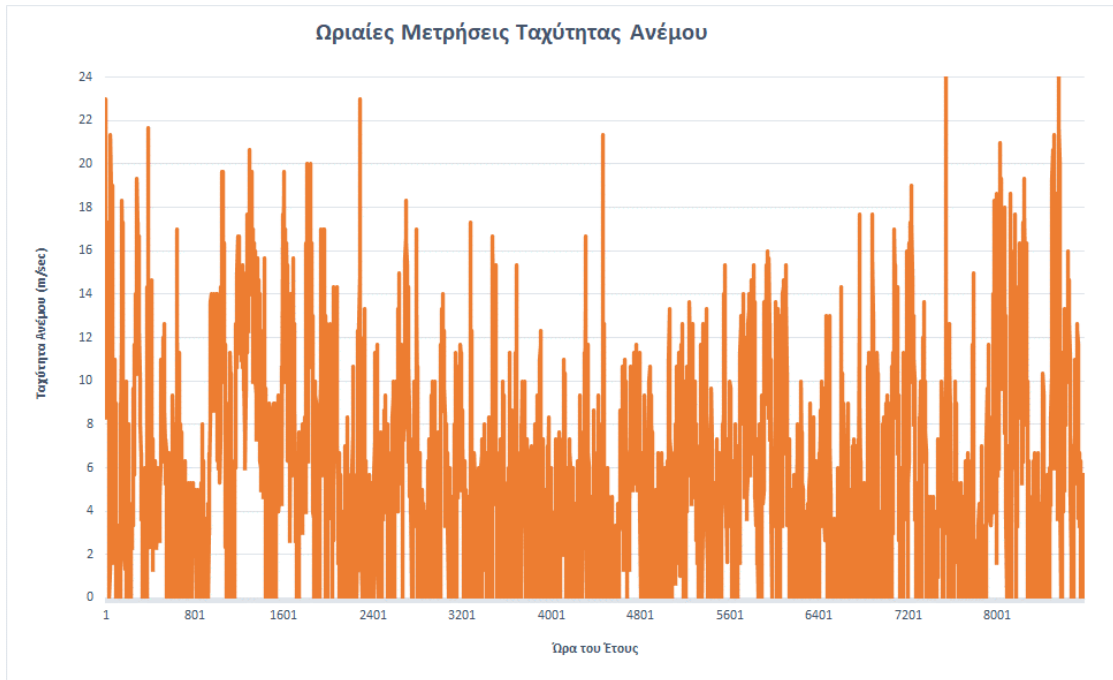
Η βασική δομή του Υβριδικού Συστήματος Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας που εξετάζεται αποτελείται από:

- Μία Ανεμογεννήτρια,
- ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας
- μια ηλεκτρογεννήτρια
- τα περιφερειακά συστήματα (controller, inverter, κλπ) και
- την απαραίτητη συνδεσμολογία με το δίκτυο.

#### **5.4.2. Δεδομένα Εισόδου**

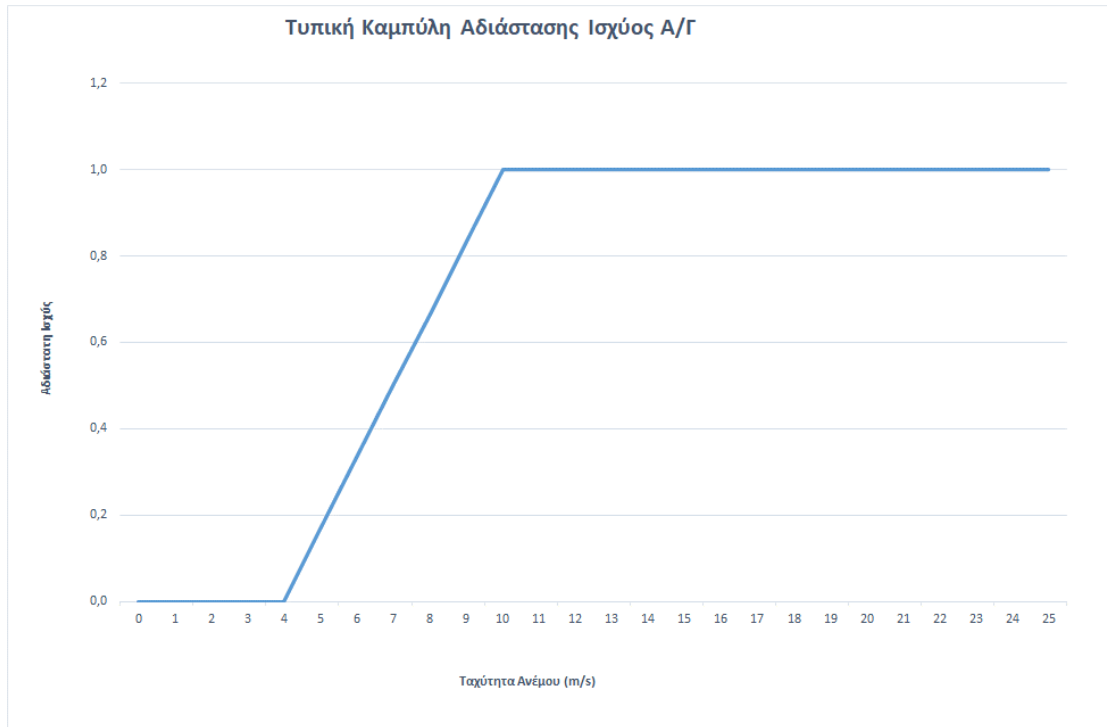
Το αιολικό δυναμικό που επιλέχθηκε για σενάρια των δοκίμων προκύπτει ως μέσος όρος χρονοσειρών αιολικού δυναμικού από διαφορετικές περιοχές της ελληνικής επικράτειας. Παρακάτω (Εικόνα 5.5) αποτυπώνεται η ταχύτητα του ανέμου ανά ώρα ενός έτους.





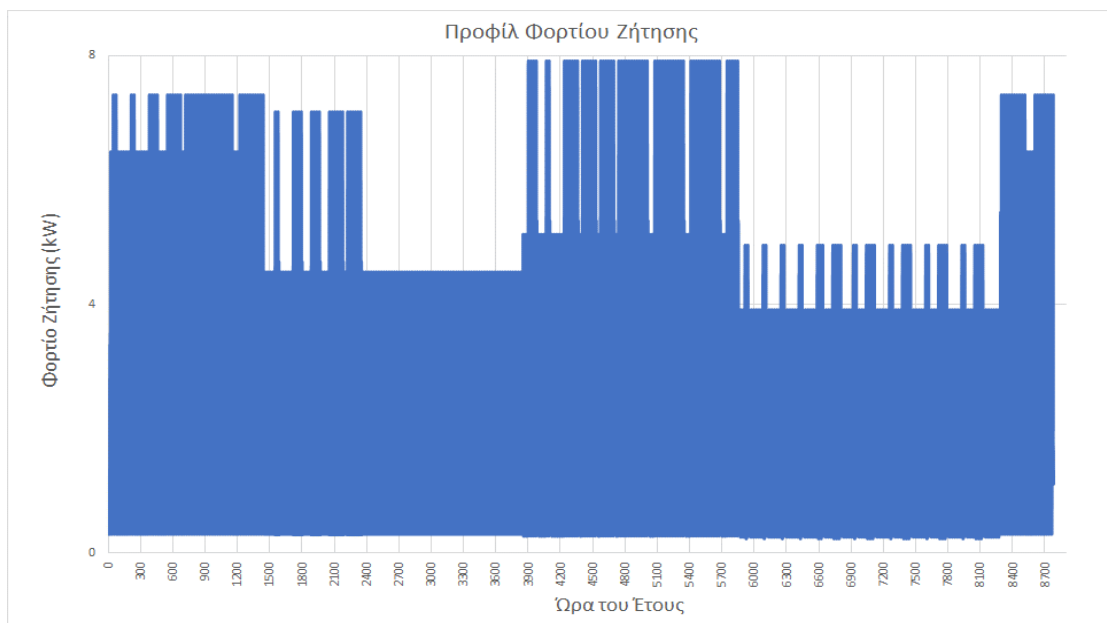
Εικόνα 5.5: Ωριαίες Μετρήσεις Ταχύτητας Ανέμου

Αφού επιλέξαμε «τοποθεσία» για την υβριδική μας εγκατάσταση, σειρά έχει η επιλογή ανεμογεννήτριας. Στην επιλογή αυτή δεν επιλέγουμε συγκριμένης ισχύος  $a/\gamma$  αλλά μια με συγκεκριμένη τυπική καμπύλη ισχύος. Όπου δηλαδή η μηχανή μας έχει ένα φάσμα λειτουργίας και συνεπώς παραγωγής ενέργειας που ξεκινά όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει τα 4 m/s. Η τιμή αυτή ορίζεται ως η ταχύτητα εκκίνησης  $V_{in}$  (m/s) στην οποία αρχίζει να παράγεται ηλεκτρική ισχύς. Για να ολοκληρωθεί η καμπύλη ισχύος υπάρχουν άλλες δυο τιμές ταχύτητας που χαρακτηρίζουν την λειτουργία μιας Α/Γ. Πρόκειται για την ονομαστική ταχύτητα  $V_R$  όπου παράγεται η ονομαστική ισχύς  $P_R$  και την ταχύτητα εξόδου ( $V_{out}$ ) στην οποία η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος σταματά. Όπως αποτυπώνεται και στην εικόνα 5.6 παρακάτω, έχουμε ως δεδομένα  $V_R = 10$  m/s και  $V_{out} = 25$  m/s.



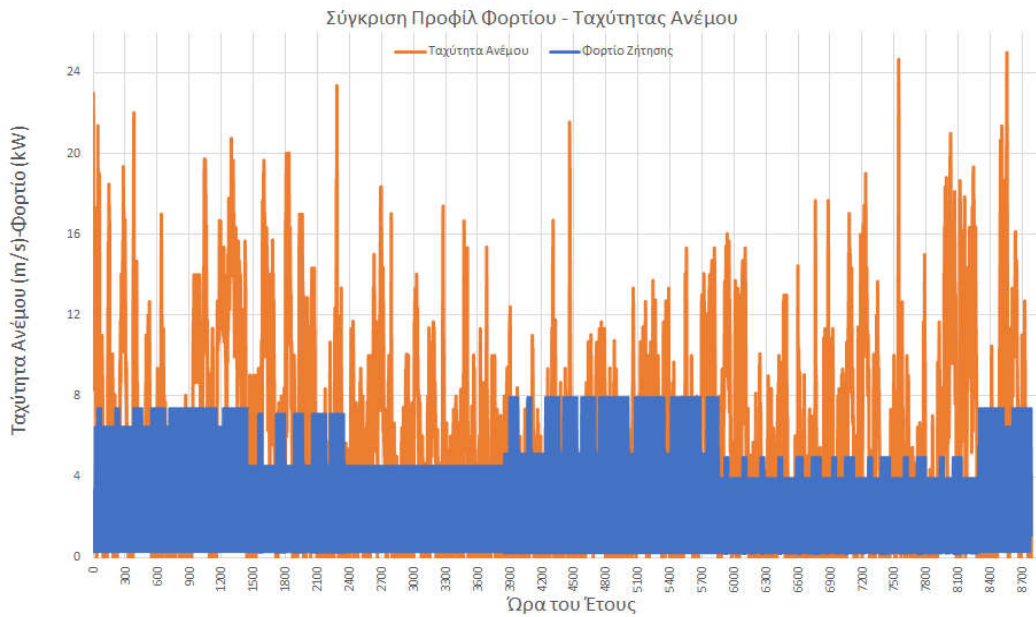
Εικόνα 5.6: Καμπύλη Ισχύος Α/Γ

Για το φορτίο ζήτησης κατασκευάστηκε ετήσιο προφίλ κατανάλωσης ενέργειας  $E_{tot} \sim 15\text{MWh}$ , με αιχμή φορτίου  $N_{peak} \sim 7.9\text{ kW}$ .



Εικόνα 5.7: Ωριαίο φορτίο ζήτησης ενός έτους (σε kW).

Έχοντας το φορτίο ζήτησης και το αιολικό δυναμικό της περιοχής ενός έτους μπορεί να γίνει μια πρώτη σύγκριση των δεδομένων αυτών. Στην εικόνα 5.8 όπου γίνεται η σύγκριση, παρατηρούμε ότι ως προς το σύνολο του έτους το αιολικό δυναμικό υπερκαλύπτει το φορτίο ζήτησης. Κάτι που εκ πρώτης όψεως υποδηλώνει περιορισμένο αριθμό ωρών απόρριψης του φορτίου και πιθανόν ικανά περιθώρια οικονομικής βιωσιμότητας της υβριδικής εγκατάστασης.



Εικόνα 5.8: Σύγκριση Ταχύτητας Ανέμου με το Φορτίο Ζήτησης ανά ώρα του έτους.

Βάσει της πρώτης παρατήρησης θα πρέπει να αντιμετωπισθούν οι περιόδους απόρριψης του φορτίου, δηλαδή οι ώρες που η ανεμογεννήτρια δεν μπορεί να παράξει. Εάν λοιπόν η εγκατάσταση δεν είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο και τα αποθέματα στους συσσωρευτές δεν είναι επαρκή, τα ελλείμματα αυτά θα πρέπει να καλυφθούν από μια ηλεκτρογεννήτρια. Για την ηλεκτρογεννήτρια που επιλέχθηκε τα χαρακτηριστικά του καυσίμου (Diesel) έχουν ως εξής :

- Κόστος Diesel  $c_{oil}$  (€/lt) : 1
- Βαθμός Απόδοσης Diesel  $\eta_{diesel}$  : 30%
- Θερμογόνος Δύναμη Diesel  $H_u$  (kWh/lt) : 11

Για τη δεύτερη παρατήρηση, όπου υπάρχει δηλαδή πλεονάζουσα παραγομένη ισχύς, το σύστημα αποθήκευσης είναι εκείνο που καλείται και πάλι να δώσει τη λύση σε πολλές

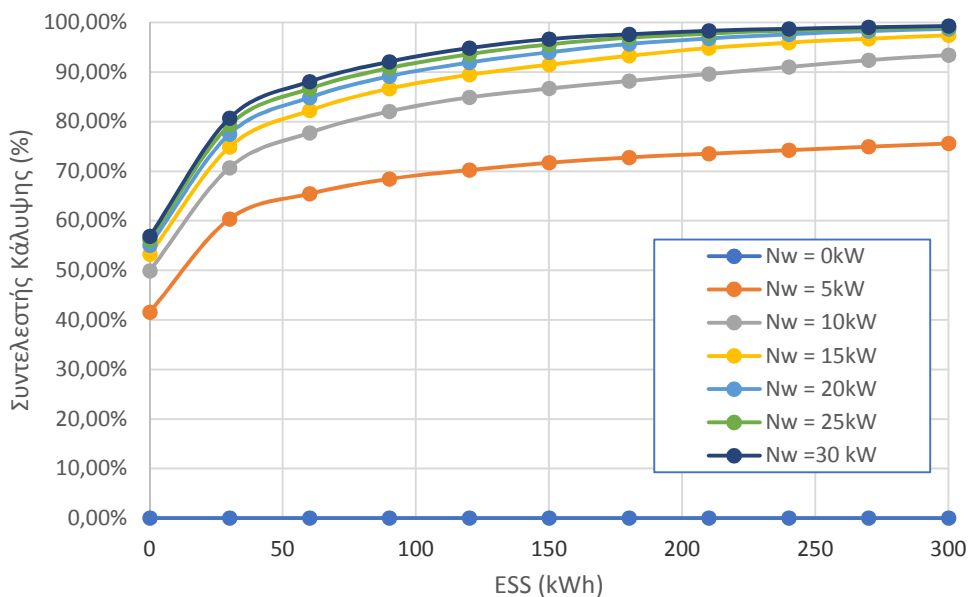
περιπτώσεις σεναρίων. Παραδείγματος χάρη, σε περίπτωση που επιλέγουμε να πουλάμε ενέργεια οι συσσωρευτές προσφέρουν την δυνατότητα η περίσσεια ενέργειας να αποθηκεύεται έως ότου η πώληση της να είναι περισσότερο προσοδοφόρα. Όπως προαναφέρθηκε πρόκειται για μία λύση από τις πολλές που προσφέρει ένα σύστημα αποθήκευσης και που ενδεχομένως καθιστά βιώσιμη μιας τέτοιου είδους επένδυση. Στην παρούσα προσομοίωση επιλέχθηκε σύστημα αποθήκευσης με τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- Μέγιστο βάθος εκφόρτισης – Max Depth Of Discharge (DOD) : 80%
- Βαθμός Απόδοσης φόρτισης  $\eta_{in}$  : 85%
- Βαθμός Απόδοσης εκφόρτισης  $\eta_{out}$  : 85%

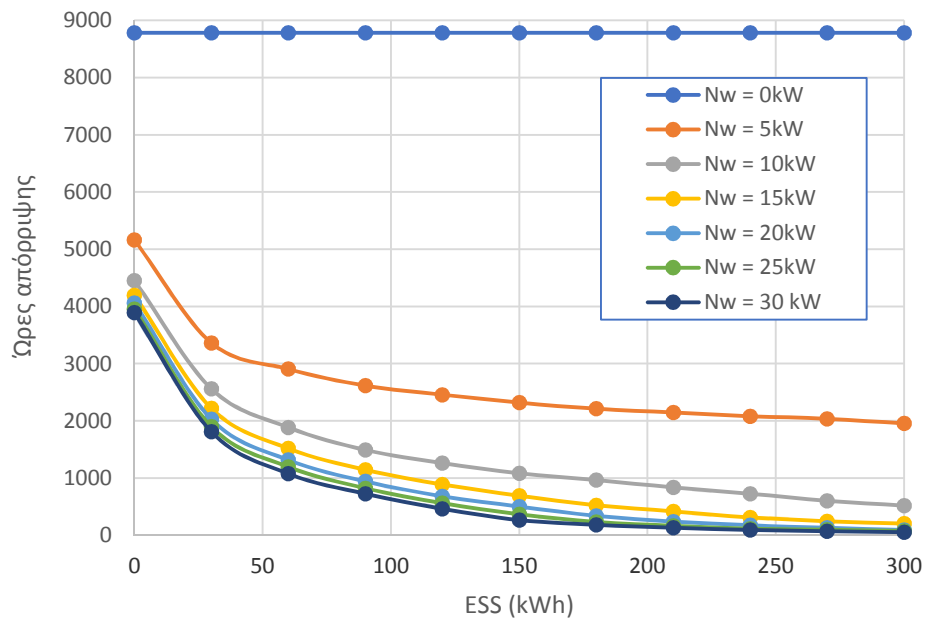
## 6. Αποτελέσματα Εφαρμογής

### 6.1. Ενδεικτικά Αποτελέσματα

Προϋπόθεση για την αυτόνομη λειτουργία είναι ο συντελεστής κάλυψης (έτους) να είναι 100% και οι ώρες απόρριψης του φορτίου να είναι μηδενικές. Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 6.1) αποτυπώνονται τα αποτελέσματα του συντελεστή κάλυψης του φορτίου συνδυάζοντας μια Α/Γ με περιοχή ισχύος  $N_w = 0-30 \text{ kW}$  και συσσωρευτές με χωρητικότητα  $E_{ss} = 0-300 \text{ kWh}$ . Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι με την ενέργεια που παράγεται αποκλειστικά και μόνο από την ανεμογεννήτρια δεν είναι δυνατόν να καλυφθεί πλήρως το φορτίο, καθώς η υψηλότερη τιμή του συντελεστή κάλυψης αγγίζει το 99,32% για την περιοχή  $N_w = 30 \text{ kW}$  και  $E_{ss} = 300 \text{ kWh}$ , το οποίο μεταφράζεται επίσης σε 52 ώρες απόρριψης (Εικόνα 6.2), αποτέλεσμα που υποδηλώνει πως η ζήτηση δεν μπορεί να καλυφθεί πλήρως με το συνδυασμό ανεμογεννήτριας – συσσωρευτή ακόμα και υπό ακραία αύξηση των τιμών των δύο μεταβλητών.



**Εικόνα 6.1:** Συντελεστής Κάλυψης Φορτίου (%) για περιοχές ισχύος Α/Γ  $N_w = 0-30 \text{ kW}$  και συσσωρευτή με χωρητικότητα  $E_{ss} = 0-300 \text{ kWh}$ .



*Εικόνα 6.2: Ωρες Απόρριψης Φορτίου για περιοχές ισχύος A/Γ  $N_w = 0-30kW$  και συσσωρευτή με χωρητικότητα  $Ess = 0-300kWh$*

Πρώτου προχωρήσουμε στην αξιολόγηση των διάφορων σχημάτων αυτοπαραγωγής-ιδιοπαραγωγής, πραγματοποιείται οικονομική αξιολόγηση του υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας ως προς το κόστος της επένδυσης και συντήρησης αυτού.

Οι οικονομικοί δείκτες που απαιτούνται για την αξιολόγηση είναι οι ακόλουθοι:

- Αρχικό κόστος επένδυσης  $I_c$  (€)
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης  $M_t$  (€)
- Συντελεστής ετήσιου κόστους συντήρησης  $m = 3\%$
- Ανηγμένο κόστος A/Γ  $C_w = 2000$  (€/kW)
- Ανηγμένο κόστος συσσωρευτή  $C_{ess} = 200$  (€/kWh)
- Κόστος επικουρικού εξοπλισμού  $C_{bos} = 10\% \times I_c$  (€)
- Χρόνος ζωής εγκατάστασης  $n = 20$  (έτη)

Όπως φαίνεται και από το γράφημα που κατασκευάστηκε παρακάτω το κόστος της επένδυσης μπορεί να φθάσει και τις 132.000€ για τις ακραίες τιμές A/Γ ισχύος 30 kW και

συσσωρευτή 300 kWh. Η άνοδος του κόστους επένδυσης είναι φυσιολογική, καθώς όσο μεγαλύτερου μεγέθους τα μέρη της εγκατάστασης, τόσο υψηλότερο το τελευταίο.

Το αρχικό κόστος επένδυσης ( $I_c$ ) σε (€) υπολογίζεται ως εξής:

$$I_c = (N_w \times c_w) + (ESS \times c_{ess})$$

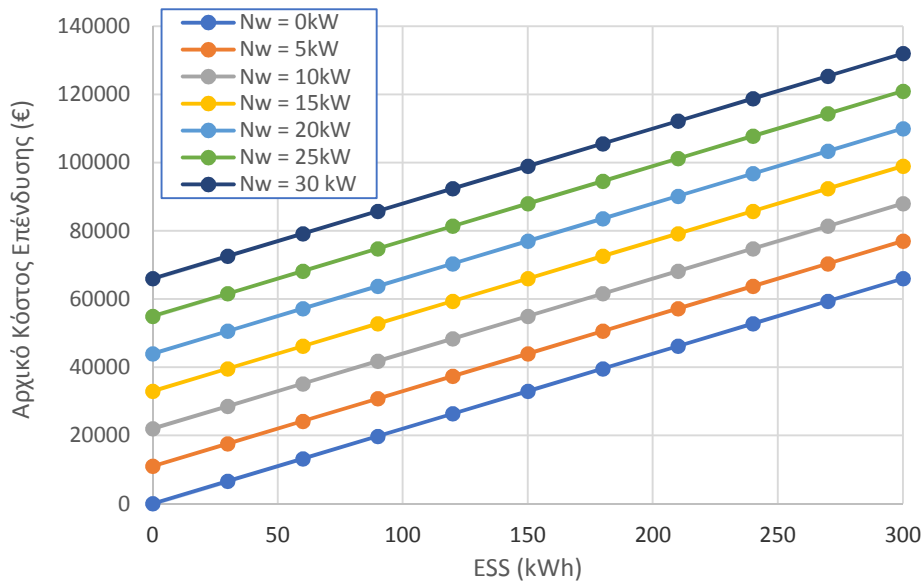
και το συνολικό κόστος της επένδυσης ( $I_{total}$ ) σε (€):

$$I_{total} = I_c + C_{bos}$$

Όπου:

$N_w$  = Ισχύς Ανεμογεννήτριας (kW)

$Ess$  = Χωρητικότητα Συσσωρευτή (kWh)



**Εικόνα 6.3:** Αρχικό Κόστος Επένδυσης (€) για περιοχές ισχύος Α/Γ  $N_w = 0-30kW$  και συσσωρευτή με χωρητικότητα  $Ess = 0-300kWh$

Ένας ακόμη δείκτης που υπολογίστηκε και αποτυπώνεται στην εικόνα 6.3 είναι το κόστος που απαιτείται από τον επενδυτή για να καλύψει τις ανάγκες της ζήτησης όταν αυτό δεν είναι εφικτό από το συνδυασμό Α/Γ – Συσσωρευτή. Το κόστος αφορά στη χρήση ηλεκτρογεννήτριας και συγκεκριμένα το κόστος του καυσίμου που απαιτείται για να καλυφθεί η ζήτηση.

Το κόστος του καυσίμου υπολογίστηκε αφού αρχικά βρέθηκε ο όγκος του καυσίμου που απαιτείται:

$$V_d = E_{tot} \times \frac{(1 - \text{Συντελεστή Καλυψης})}{\eta_d} / H_u$$

και ακολούθως:

$$F_t = V_d \times c_d$$

Όπου:

$V_d$  = Όγκος καυσίμου (lt)

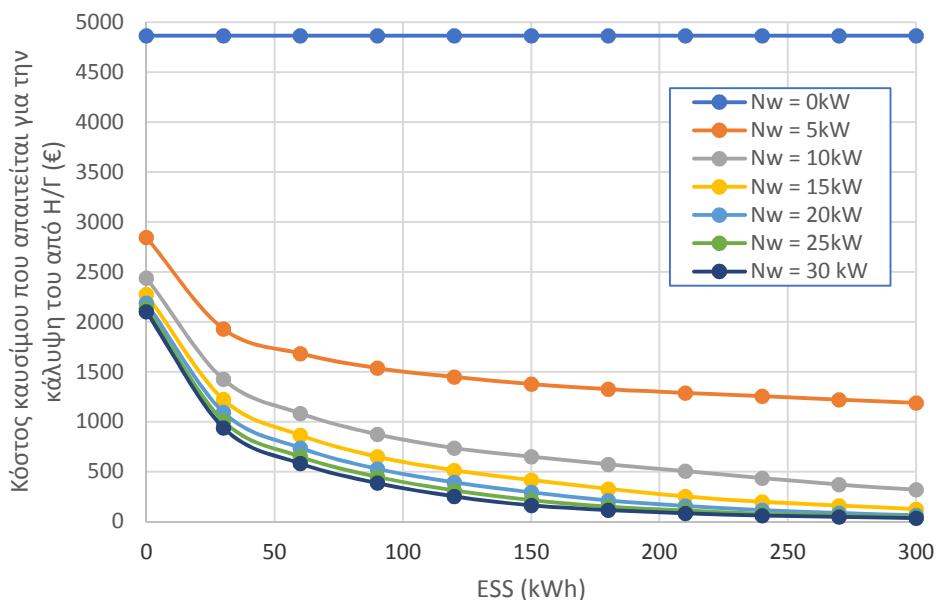
$E_{tot}$  = Συνολικό φορτίο ζήτησης (kWh)

$\eta_d$  = Βαθμός απόδοσης καυσίμου (%)

$H_u$  = Θερμογόνος δύναμη diesel (kWh/lt)

$c_d$  = Κόστος diesel (€/lt)

$F_t$  = Ετήσιο κόστος καυσίμου (€)



**Εικόνα 6.4:** Κόστος καυσίμου που απαιτείται για την κάλυψη του φορτίου από Η/Γ (€) για περιοχές ισχύος Α/Γ  $N_w = 0-30kW$  και συσσωρευτή με χωρητικότητα  $Ess = 0-300kWh$ .

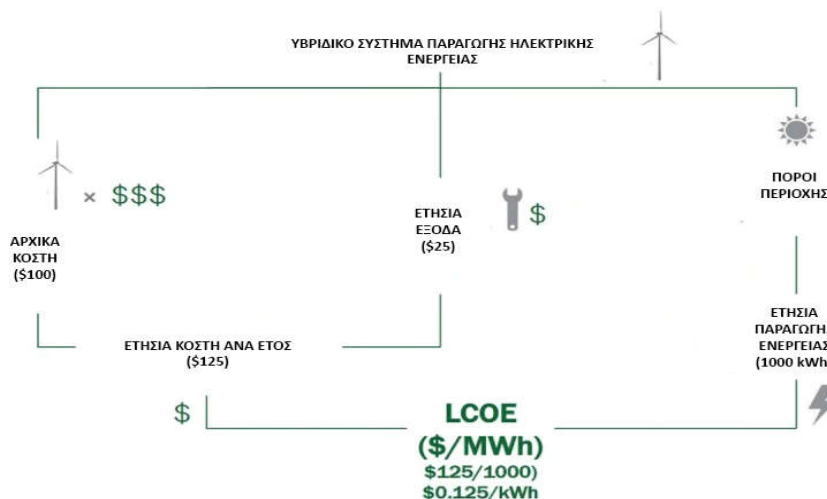


Όπως γίνεται αντιληπτό, το γράφημα είναι παρόμοιο με εκείνο των ωρών απορρίψεων παραπάνω (Εικόνα 6.2). Αυτό συμβαίνει διότι έχοντας χαμηλή παραγωγή ενέργειας σε συνδυασμό με χαμηλή χωρητικότητα στον συσσωρευτή ή και μη ύπαρξη αυτού, η ζήτηση θα πρέπει να καλυφθεί από την ηλεκτρογεννήτρια συνεπώς οι καμπύλες των αποτελεσμάτων ταυτίζονται.

Με βάση τα παραπάνω υπολογίζεται ένας επιπλέον οικονομικός δείκτης που μπορεί να εκτιμήσει την αποδοτικότητα των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο δείκτης αυτός αναφέρεται στο Σταθμισμένο Κόστος Παραγωγής Ενέργειας – Levelized Cost of Energy (LCOE) και ορίζεται ως η τιμή που πρέπει να αποζημιωθεί ο παράγωγος από την παραγόμενη ενέργεια της εγκατάστασης ώστε να καλυφθεί το συνολικό κόστος της επένδυσης. Ο υπολογισμός του προκύπτει ως το συνολικό κόστος επένδυσης προς τη συνολική παραγωγή ενέργειας.

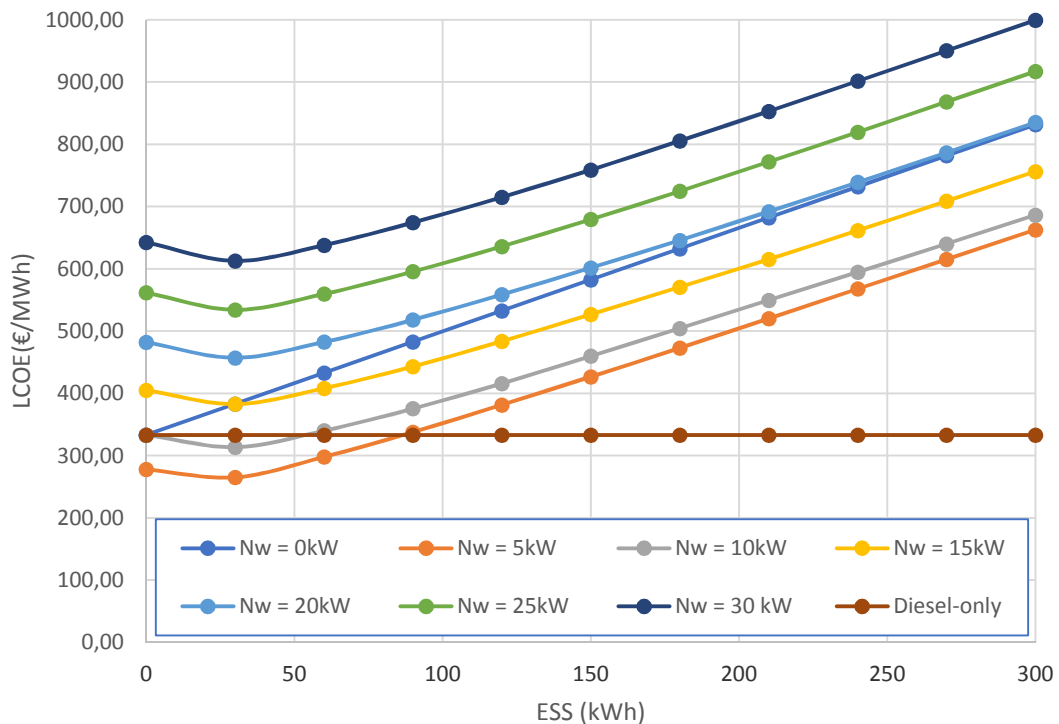
$$LCOE = \frac{\text{Συνολικά έξοδα στη διάρκεια ζωής ( Κόστη λειτουργίας & συντήρησης)}}{\text{Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας}}$$

Προκειμένου να γίνει καλύτερα αντιληπτό, το παρακάτω διάγραμμα αποτυπώνει τι εκφράζει ο δείκτης αυτός.



Εικόνα 6.5: Αναπαράσταση των εξόδων που περιλαμβάνει το LCOE

Ως εκ τούτου, τελικός δείκτης για την οικονομική αξιολόγηση της εγκατάστασης είναι το κόστος της παραγόμενης ενέργειας. Όπως αποτυπώνεται και στα παρακάτω αποτελέσματα παρατηρείται μια πτώση στο LCOE όλων των περιοχών ισχύος πλην της  $N_w = 0\text{kW}$  όταν γίνεται χρήση  $Ess = 30\text{ kWh}$ , ενώ πραγματοποιήθηκε και σύγκριση με ηλεκτρογεννήτρια. Στη σύγκριση με την η/γ το κόστος της παραγομένης ενέργειας παραμένει ίδιο καθ' όλο το εύρος του  $Ess$ , στα 333,33 €/MWh.

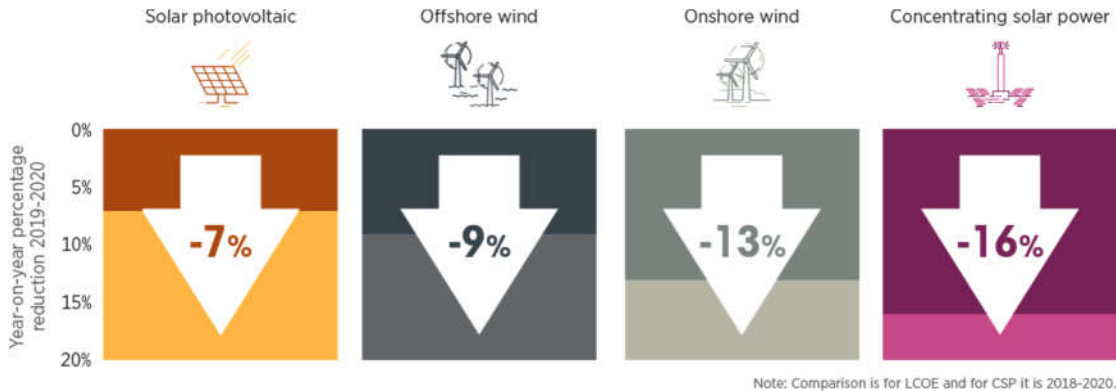


**Εικόνα 6.6:** Σταθμισμένο Κόστος Παραγωγής Ενέργειας για περιοχές ισχύος Α/Γ  $N_w = 0-30\text{kW}$  και συσσωρευτή με χωρητικότητα  $Ess = 0-300\text{kWh}$ .

### Λίγα λόγια για το Παγκόσμιο Σταθμισμένο Κόστος Παραγωγής Ενέργειας

Το έτος 2020 σηματοδεύτηκε από την παγκόσμια πανδημία και τον επακόλουθο οικονομικό αντίκτυπο. Ωστόσο, παρ' όλη την κρίση, επετεύχθη αύξηση ρεκόρ σε νέες εγκαταστάσεις ΑΠΕ. Δεν υπήρξε διακοπή της τάσης στις συνεχιζόμενες μειώσεις του κόστους για την ηλιακή και αιολική ενέργεια. Το 2020, το παγκόσμιο μέσο σταθμισμένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (LCOE) για την χερσαία αιολική ενέργεια μειώθηκε κατά 13%, σε σύγκριση με το 2019. Την ίδια περίοδο, το LCOE των υπεράκτιων αιολικών πάρκων μειώθηκε κατά 9%

και αυτό της χρήσης ηλιακών φωτοβολταϊκών (ΦΒ) κατά 7%. (Εικόνα 6.2) [45]. Αυτή η πτώση στον παγκόσμιο LCOE για τα χερσαία αιολικά πάρκα από 0,039 €/kWh έως 0,034 €/kWh ήταν ελαφρώς υψηλότερη από το 2019 [45].



*Εικόνα 6.7: Παγκόσμιος μέσος όρος LCOE από πρόσφατα παραγγελθείσες τεχνολογίες ηλιακής και αιολικής ενέργειας σε κλίμακα κοινής ωφελείας, 2019-2020 [Πηγή: IRENA]*

Παράλληλα, επισημαίνεται πως η τεχνολογία των μικρών ανεμογεννητριών έχει προχωρήσει σημαντικά την τελευταία δεκαετία. Πιο αξιόπιστες πτερωτές, βελτιώσεις της τεχνολογίας συνολικά, το συνολικό κόστος εγκατάστασης, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, όλα συνετέλεσαν ώστε το LCOE να μειωθεί.

## 6.2. Αποτελέσματα Εφαρμογής Εξεταζόμενων Σεναρίων

Σε συνέχεια της προηγούμενης ενότητας και στο πλαίσιο της παρουσίασης των αποτελεσμάτων εφαρμογής της εργασίας, εξετάστηκαν επτά συνολικά σενάρια στη βάση υπολογισμού των προηγούμενων δεικτών αξιολόγησης, καθώς και στη βάση ανάλυσης ευαισθησίας υπό τη μεταβολή των τιμών κρίσιμων οικονομικών παραμέτρων.

- **Σενάριο 1:** Ιδιοπαραγωγός με σύνδεση στο δίκτυο και σταθερή τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- **Σενάριο 2:** Ιδιοπαραγωγός με χρήση ηλεκτρογεννήτριας
- **Σενάριο 3:** Αυτοπαραγωγός με σύνδεση στο δίκτυο και σταθερή τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- **Σενάριο 4:** Αυτοπαραγωγός με χρήση ηλεκτρογεννήτριας και σταθερή τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας

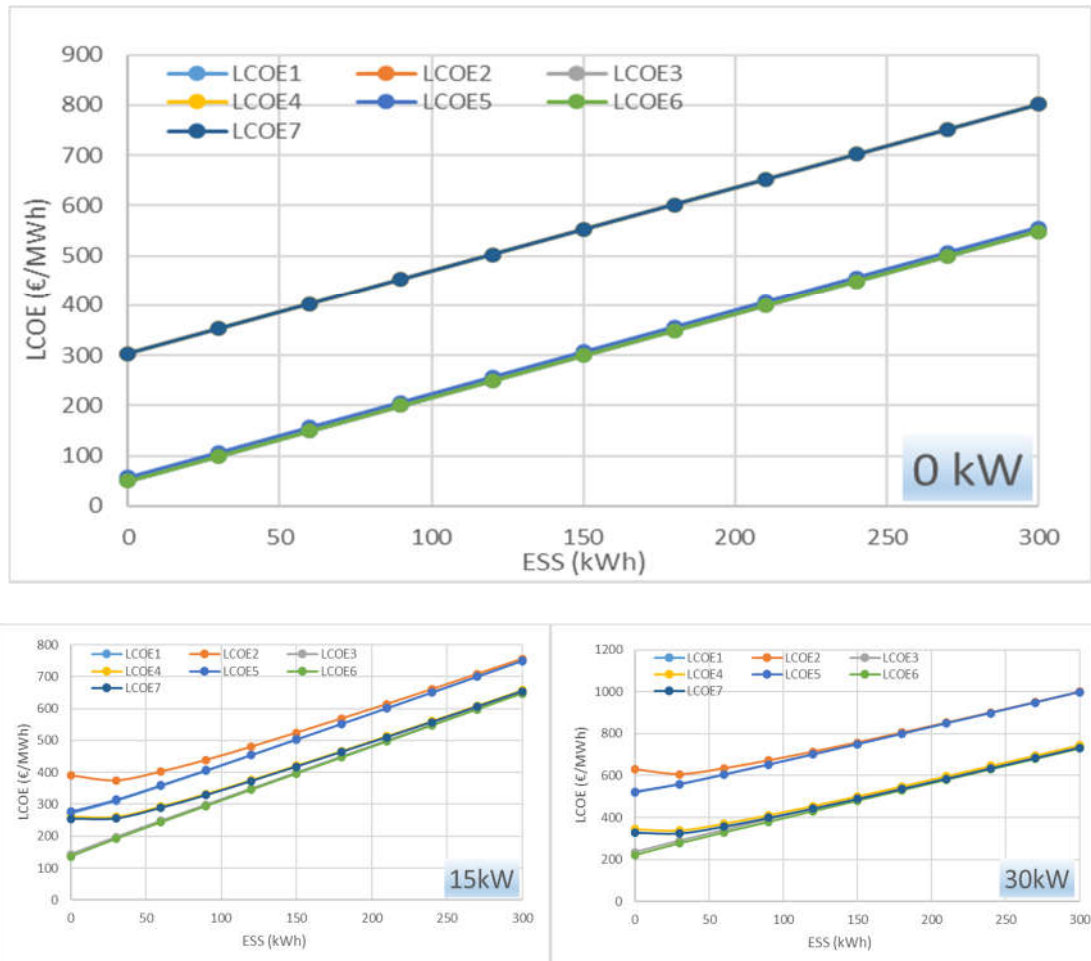
- **Σενάριο 5:** Ιδιοπαραγωγός με σύνδεση στο δίκτυο και μη σταθερή τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- **Σενάριο 6:** Αυτοπαραγωγός με σύνδεση στο δίκτυο και μη σταθερή τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- **Σενάριο 7:** Αυτοπαραγωγός με χρήση ηλεκτρογεννήτριας και μη σταθερή τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Τα επτά σενάρια προσομοιωθήκαν υπό τους εξής διαφορετικούς συνδυασμούς κόστους:

- Περίπτωση 1:  $c_{el} = 0,05 \text{ €/kWh}$ ,  $c_{oil} = 1,0 \text{ €/lt}$
- Περίπτωση 2:  $c_{el} = 0,10 \text{ €/kWh}$ ,  $c_{oil} = 10 \text{ €/lt}$
- Περίπτωση 3:  $c_{el} = 0,15 \text{ €/kWh}$ ,  $c_{oil} = 1,0 \text{ €/lt}$
- Περίπτωση 4:  $c_{el} = 0,20 \text{ €/kWh}$ ,  $c_{oil} = 1,0 \text{ €/lt}$
- Περίπτωση 5:  $c_{el} = 0,10 \text{ €/kWh}$ ,  $c_{oil} = 0,8 \text{ €/lt}$
- Περίπτωση 6:  $c_{el} = 0,10 \text{ €/kWh}$ ,  $c_{oil} = 1,2 \text{ €/lt}$

Στο πλαίσιο αυτό, ο δείκτης που αποτυπώνει καλύτερα το βέλτιστο σχήμα αυτοπαραγωγής είναι εκείνος του σταθμισμένου κόστους παραγωγής ενέργειας (LCOE), έτσι λοιπόν όλα τα αποτελέσματα των σεναρίων θα αξιολογηθούν ως προς το LCOE συναρτήσει της χωρητικότητας του συσσωρευτή και για τρεις περιοχές ισχύος της ανεμογεννήτριας ( $N_w=0\text{kW}$ ,  $N_w=15\text{kW}$  και  $N_w=30\text{kW}$ ).

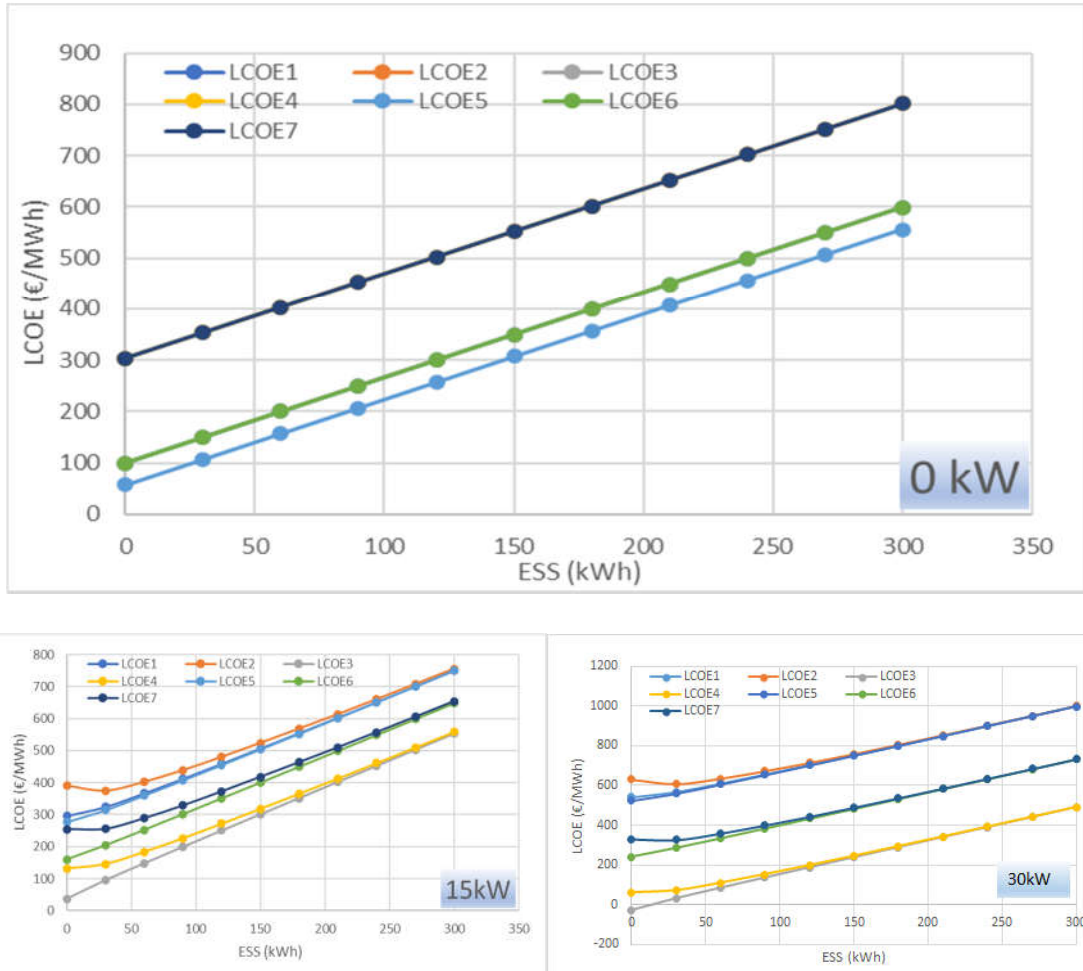
Αναφορικά με την πρώτη περίπτωση (Εικόνα 6.8), για  $N_w=0\text{kW}$ , βλέπουμε πως τα περισσότερα σενάρια εφάπτονται πλήρως μεταξύ τους, στις περιπτώσεις LCOE<sub>2,4,7</sub> το αρχικό κόστος 333,33 €/MWh επέρχεται από τη χρήση της η/γ καθώς δεν υπάρχει παραγωγή και η αύξηση του LCOE επηρεάζεται από την αύξηση του Ess. Για τις περιπτώσεις LCOE<sub>1,3,6</sub> το αρχικό κόστος 50€/MWh προέρχεται από την κάλυψη του ελλείμματος από την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο με σταθερή τιμή 0,05 €/kWh και η αύξηση του LCOE οφείλεται μόνο στην αύξηση του Ess. Το LCOE<sub>5</sub> είναι το μόνο που διαφοροποιείται ελάχιστα και αυτό διότι η κάλυψη του ελλείμματος γίνεται με αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο αλλά με μεταβαλλόμενη τιμή. Για  $N_w=15\text{kW}$  και  $30\text{kW}$ , όλα τα σενάρια των δοκίμων κινούνται σε διαφορετικά αποτελέσματα με την πιο συμφέρουσα λύση να αναδεικνύεται η LCOE<sub>6</sub> καθώς σε όλο το εύρος (0-300kWh) του συσσωρευτή έχει το μικρότερο LCOE.



Εικόνα 6.8: Σύγκριση του σταθμισμένου κόστους – περίπτωση 1

Αναφορικά με την περίπτωση 2 (Εικόνα 6.9), για  $N_w=0\text{kW}$ , παρατηρούμε ακριβώς την ίδια συμπεριφορά των αποτελεσμάτων σε σύγκριση με το προηγούμενο σενάριο, με μοναδική διαφοροποίηση των συνδυασμών που εξαρτώνται από την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο με σταθερή τιμή  $c_{el} = 0,1 \text{ €/kWh}$ , όπου εκεί έχουμε διπλασιασμό του LCOE το οποίο ξεκινά για τις περιπτώσεις 1,3 και 6 από τα 100 €/MWh.

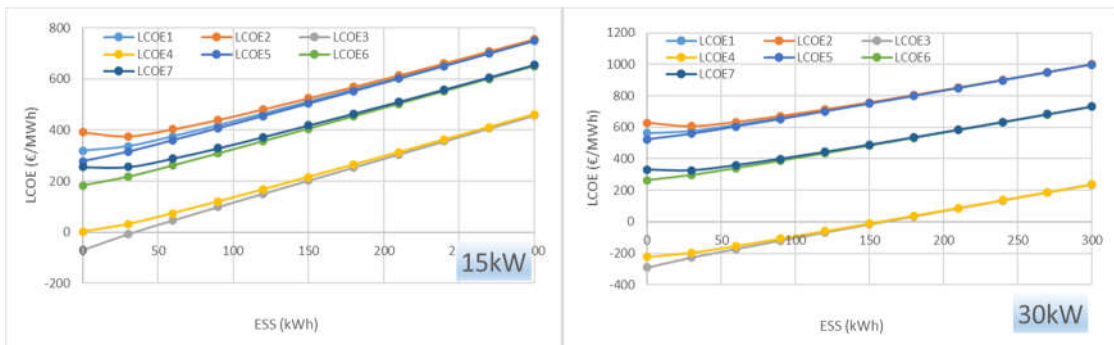
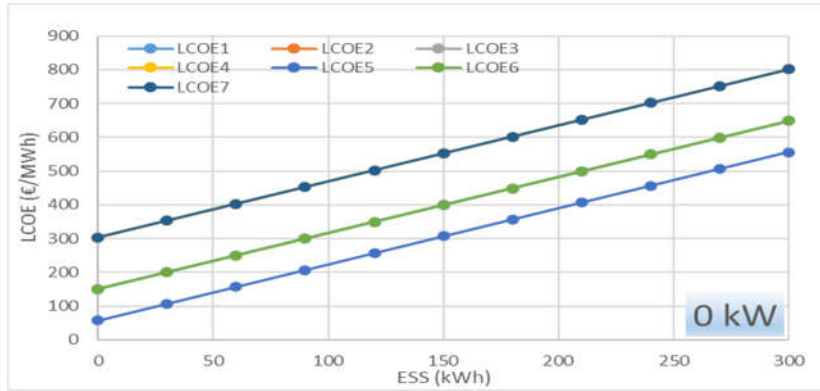
Για  $N_w=15\text{kW}$  και  $30\text{kW}$ , ξεχωρίζουμε ως τις πιο συμφέρουσες λύσεις εκείνες των  $\text{LCOE}_{3,4}$  και εκείνη του  $\text{LCOE}_3$ . Στο σημείο όπου δεν υπάρχει σύστημα αποθήκευσης παρατηρείται αρνητικό LCOE  $-27 \text{ €/MWh}$ , που σημαίνει ότι η αξία της παραγομένης ενέργειας υπερβαίνει εκείνη της επένδυσης.



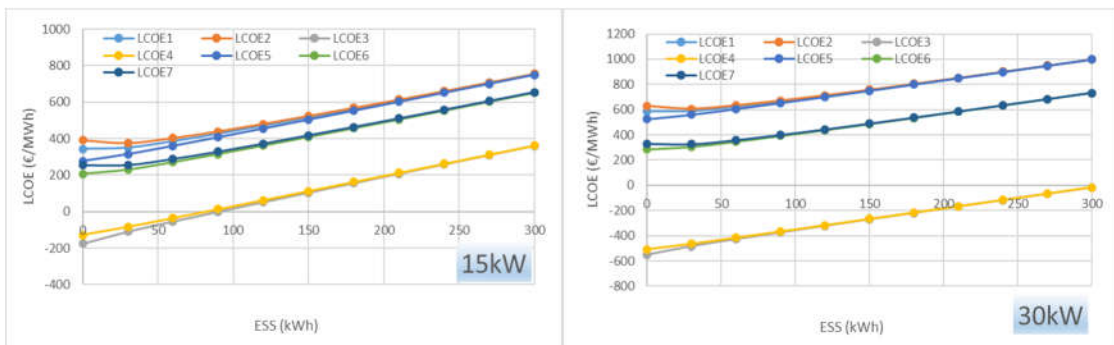
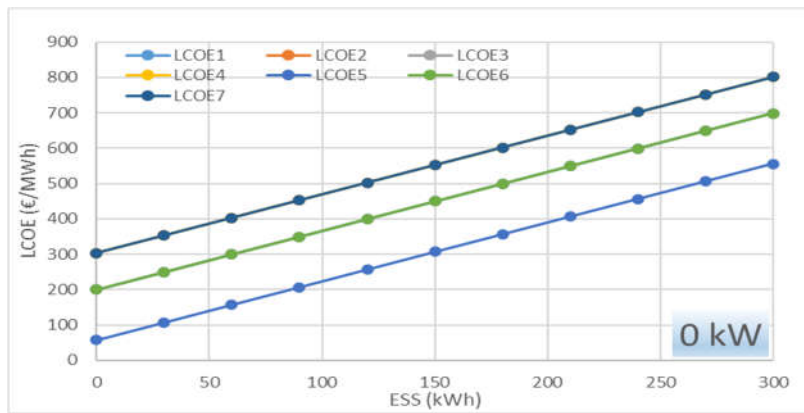
Εικόνα 6.9: Σύγκριση του σταθμισμένου κόστους – περίπτωση 2

Αναφορικά με την περίπτωση 3 (Εικόνα 6.10), για  $N_w=0kW$  συναντάμε τα ίδια αποτελέσματα σε σύγκριση με τα παραπάνω σενάρια με μοναδική διαφοροποίηση εκείνη των συνδυασμών που εξαρτώνται από την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο με σταθερή τιμή  $c_{el} = 0.15 \text{ €/kWh}$ , όπου έχουμε LCOE το οποίο ξεκινά για τις περιπτώσεις 1,3 & 6 από τα 150 €/MWh.

Για  $N_w=15kW$  και  $30kW$ , παρατηρείται η μεγαλύτερη αρνητική τιμή του LCOE για τις υποθέσεις 3 & 4 αυτό θα συμβεί και στα επόμενα αποτελέσματα της περίπτωσης 4 (Εικόνα 6.11) καθώς πρόκειται για αυτοπαραγωγούς που πουλάνε το πλεόνασμα τους στο δίκτυο με εγγυημένη τιμή πώλησης  $0.15 \text{ €/kWh}$  και με τιμή  $0.20 \text{ €/kWh}$ . Κάτι που δεν συμβαίνει για εκείνους των υποθέσεων 6 & 7 που πουλάνε με την οριακή τιμή συστήματος (spot price).

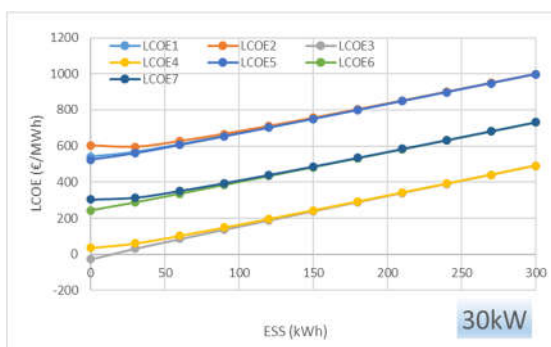
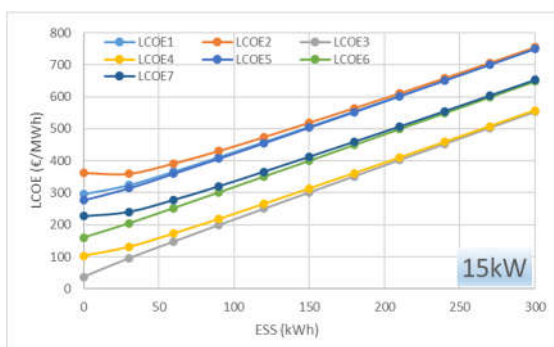
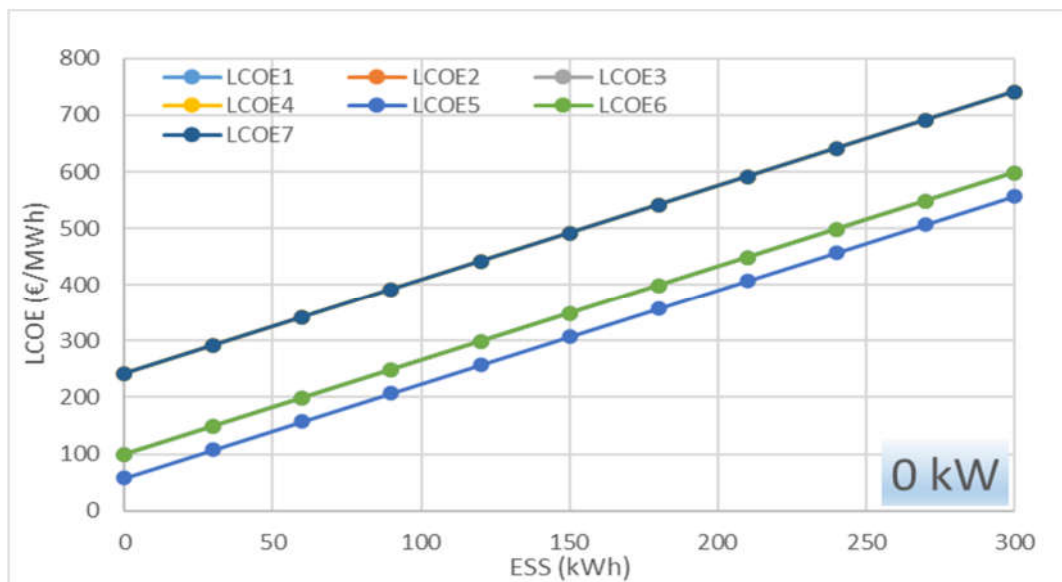


Εικόνα 6.10: Σύγκριση του σταθμισμένου κόστους – περίπτωση 3



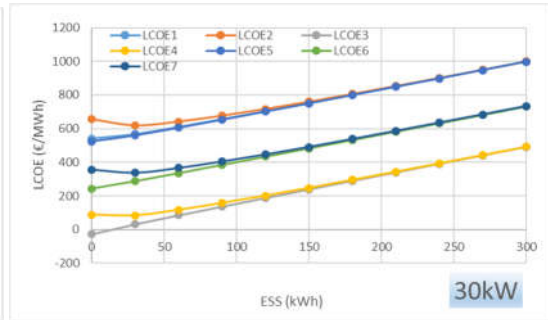
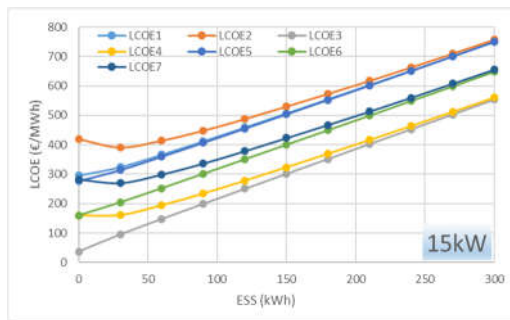
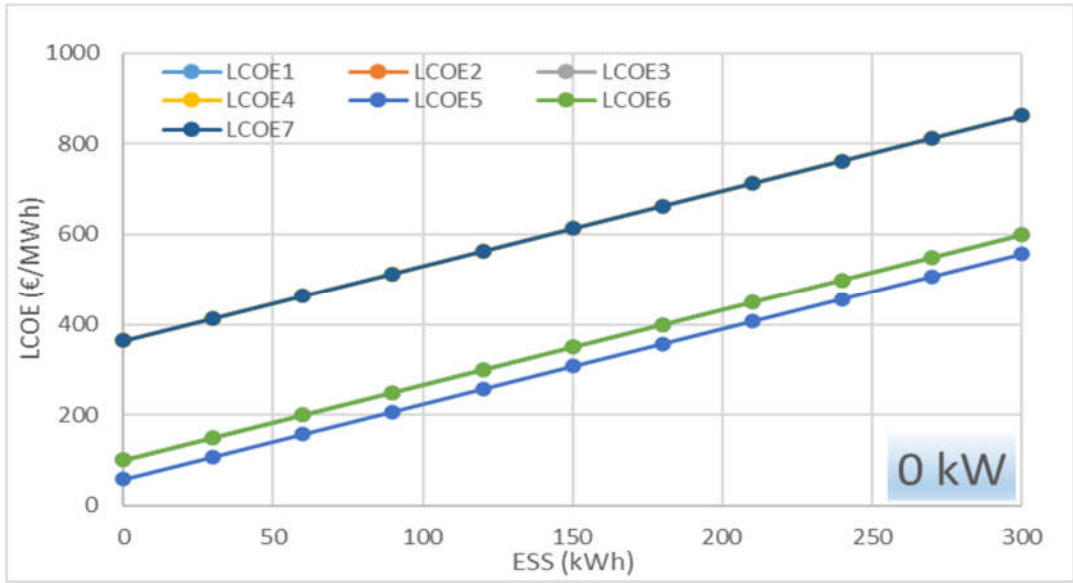
Εικόνα 6.11: Σύγκριση του σταθμισμένου κόστους – περίπτωση 4

Ανάλογα συμπεράσματα προκύπτουν και για τις υπόλοιπες περιπτώσεις κατά τις οποίες διατηρείται σταθερή η παράμετρος της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας (0,1 €/kWh) και μεταβάλλεται εκείνη της τιμής του καυσίμου. Συνεπώς τα αποτελέσματα που περιμένουμε να μεταβληθούν είναι εκείνα των υποθέσεων 2, 4 και 7. Σε αυτές τις υποθέσεις το LCOE για τα σενάρια με κόστος καυσίμου 0,8 €/lt θα είναι χαμηλότερο σε σύγκριση με το ακριβότερο κατά 40 λεπτά του 2<sup>ου</sup> συνδυασμού. Εν κατακλείδι, τα σενάρια εκείνα τα οποία είναι περισσότερο προσοδοφόρα είναι τα 3 & 4 καθώς έχουν το μικρότερο σταθμισμένο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας (LCOE) σε σχέση με το σύνολο των σεναρίων που αναλύθηκαν. Μάλιστα στην περίπτωση που η περίσσεια ενέργειας εγχέεται στο δίκτυο με τιμή 0.2 €/kWh τα δύο αυτά φτάνουν ακόμη και στον ακριβότερο συνδυασμό (με  $N_w = 30\text{kW}$  και  $\text{ESS} = 300\text{kWh}$ ) να έχουν αρνητική τιμή του σταθμισμένου κόστους.



Εικόνα 6.12: Σύγκριση του σταθμισμένου κόστους – περίπτωση 5





Εικόνα 6.13: Σύγκριση του σταθμισμένου κόστους – περίπτωση 6

## 7. Συμπεράσματα

Όπως προαναφέρθηκε και στην πρώτη ενότητα η ηλεκτρική ενέργεια πρόκειται για ένα ζωτικής σημασίας κοινωνικό αγαθό που όλοι οι άνθρωποι θα έπρεπε να έχουν πρόσβαση. Δυστυχώς όλα αυτά τα χρόνια της οικονομικής και υγειονομικής κρίσης, άλλα και τώρα με την ενεργειακή κρίση που βιώνουμε, η πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια για πολλούς συνάνθρωπους μας είναι δύσκολη.

Οι πολιτικές και διακρατικές αντιπαραθέσεις καθιστούν δύσκολη την υλοποίηση ενός σχεδίου και κοινής γραμμής και στόχων σε όλα τα ζητήματα όπως τα κοινωνικά, περιβαλλοντικά και ενεργειακά, αυτό ως αποτέλεσμα έχει πολλοί συμπολίτες μας να μην έχουν πρόσβαση σε βασικά αγαθά όπως λ.χ. το ηλεκτρικό ρεύμα.

Κρίνεται λοιπόν αναγκαία η προστασία των καταναλωτών άλλα και η ανάγκη η έως ένα βαθμό ενεργειακή αυτάρκεια των πολιτών ή των τοπικών κοινωνιών ούτως ώστε να μην επηρεάζονται άμεσα σε κάθε κρίση.

Η αυτάρκεια αυτή μπορεί να επιτευχθεί με την επένδυση σε διάφορους υβριδικούς συνδυασμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την εκμετάλλευση των εκάστοτε διαθέσιμων τοπικών φυσικών πόρων.

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν διάφορα σενάρια αυτοπαραγωγής όπως λ.χ. ένας αυτοπαραγωγός με χρήση ηλεκτρογεννήτριας και μίας ανανεώσιμης πηγή ενέργειας. Ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά η αιολική ενέργεια, σε όλα τα σενάρια είχαμε χρήση συστημάτων αποθήκευσης της ενέργειας ενώ σε κάποιες περιπτώσεις υπήρξε πλήρης αυτονομησης δίχως την σύνδεση σε ηλεκτρικό δίκτυο και καλύψεων των αναγκών σε περιπτώσεις ελλείματος με την χρήση ηλεκτρογεννήτριας.

Δυο τελικά ήταν τα σενάρια εκείνα που κριθήκαν μέσα από τις προσομοιώσεις πιο προσοδοφόρα προς τους καταναλωτές με τα σενάρια 3 & 4 να έχουν το μικρότερο σταθμισμένο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας (LCOE) σε σχέση με το σύνολο των σεναρίων που αναλύθηκαν. Όπου στην περίπτωση που η περίσσεια ενέργεια εγχέεται στο δίκτυο με τιμή 0.2 €/kWh τα δύο αυτά φτάνουν ακόμη και στον ακριβότερο συνδυασμό (με  $N_w = 30\text{kW}$  και  $ESS = 300\text{kWh}$ ) να έχουν αρνητική τιμή του σταθμισμένου κόστους. Κάτι που σημαίνει ότι από την πρώτη στιγμή τα σχήματα αυτά ξεκινούν με κέρδος υπερκαλύπτοντας το κόστος της παραγομένης ενέργειας και ξεκίνα την περίοδο επανείσπραξης του κεφαλαίου που επενδύθηκε.

Σαφώς η πρόσβαση σε αυτά τα εργαλεία δεν είναι τόσο εύκολη καθώς τα κόστη είναι ακόμη πολύ υψηλά, αλλά οι πτωτική τάση που υπάρχει στα κόστη τα τελευταία χρόνια καθώς η διεύρυνση της γνώσης και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που απαρτίζουν τα υβριδικά συστήματα σύντομα να κάνουν τέτοιες επενδύσεις προσβάσιμες σε περισσότερους πολίτες.

Πέρα όμως από την μείωση του κόστους απαιτείται και μια ισχυρή πρωτοβουλία από την πολιτεία για επενδύσεις, για παροχή χρηματοδοτικών κίνητρων, χρηματοδότηση ερευνητών και εκπαιδευτικών ιδρυμάτων για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών. Επίσης μέσα στους στόχους πρέπει να τεθεί και η ορθή ενημέρωση των πολιτών για τις δυνατότητες της αυτοπαραγωγής.

Κλείνοντας, εύχομαι η κοινωνία μας να ευαισθητοποιηθεί σε όλα τα καθημερινά ζητήματα τα οποία χρίζουν άμεσης επίλυσης, όχι μόνο τα περιβαλλοντικά ζητήματα αλλά μια ευρέως κοινή γραμμή για μια καλύτερη και αξιοπρεπή διαβίωση των πολιτών του κόσμου σε αρμονία με τον πλανήτη.

## 8. Βιβλιογραφία

1. Katsoulakos, N.M. An Overview of the Greek Islands' Autonomous Electrical Systems: Proposals for a Sustainable Energy Future. *Smart Grid Renew. Energy* 2019, 10, 55–82.
2. Rodríguez-Serrano, I., Caldés, N., de la Rúa, C. & Lechón, Y., 2017. Assessing the three sustainability pillars through the Framework for Integrated Sustainability Assessment (FISA): Case study of a Solar Thermal Electricity project in Mexico.. *Journal of Cleaner Production*, 149, pp. 1127-1143.
3. Watt, L., 2020. Fijian infrastructural citizenship: spaces of electricity sharing and informal power grids in an informal settlement. *Cogent Social Sciences*, 6(1), p. 1719568.
4. Engeland, K. και συν., 2017. Space-time variability of climate variables and intermittent renewable electricity production—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, pp. 600-617.
5. Arbabzadeh, M., Sioshansi, R., Johnson, J. X. & Keoleian, G. A., 2019. The role of energy storage in deep decarbonization of electricity production. *Nature communications*, 10(1), pp. 1-11.
6. Xu, F. και συν., 2019. Electricity production enhancement in a constructed wetland-microbial fuel cell system for treating saline wastewater. *Bioresource technology*, 288, p. 121462.
7. Miśkiewicz, R., 2020. Efficiency of Electricity Production Technology from Post-Process Gas Heat: Ecological, Economic and Social Benefits. *Energies*, 13(22), p. 6106.
8. Zografidou, E., Petridis, K., Petridis, N. E. & Arabatzis, G., 2017. A financial approach to renewable energy production in Greece using goal programming. *Renewable energy*, 108, pp. 37-51.
9. Orfanos, N., Mitzelos, D., Sagani, A. & Dedoussis, V., 2019. Life-cycle environmental performance assessment of electricity generation and transmission systems in Greece. *Renewable energy*, 139, pp. 1447-1462.

10. Angelopoulos, D., Siskos, Y. & Psarras, J., 2019. Disaggregating time series on multiple criteria for robust forecasting: The case of long-term electricity demand in Greece. *European Journal of Operational Research*, 275(1), pp. 252-265.
11. Papaioannou, G. P. και συν., 2020. Granger Causality Network Methods for Analyzing Cross-Border Electricity Trading between Greece, Italy, and Bulgaria. *Energies*, 13(4), p. 900.
12. Chatzisisideris, M. D., Laurent, A., Christoforidis, G. C. & Krebs, F. C., 2017. Cost-competitiveness of organic photovoltaics for electricity self-consumption at residential buildings: A comparative study of Denmark and Greece under real market condition. *Applied Energy*, 208, pp. 471-479.
13. Loumakis, S., Giannini, E. & Maroulis, Z., 2019. Renewable energy sources penetration in Greece: characteristics and seasonal variation of the electricity demand share covering. *Energies*, 12(12), p. 2441.
14. ΥΠΕ, 2021. *Τιμολόγηση Ηλεκτρικής Ενέργειας*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://ypen.gov.gr/energeia/ilektriki-energeia/lianiki-agera/timologisi-ilektrikis-energeias/>
15. Drosos, D., Kyriakopoulos, G. L., Arabatzis, G. & Tsotsolas, N., 2020. Evaluating customer satisfaction in energy markets using a multicriteria method: The case of electricity market in Greece. *Sustainability*, 12(9), p. 3862.
16. Θ.Α. Ηλιόπουλος, *Προσομοίωση και Αξιολόγηση Υβριδικών Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας μικρής κλίμακας που εμπεριέχουν τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας*, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2014
17. IEA, OECD. Energy and climate change, world energy outlook special report. Paris, France: OECD, IEA; 2015. p. 200.
18. Farhangi H. The path of the smart grid. *IEEE Power Energy Mag* 2010;8(1).
19. EU. A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. COM (2014). Brussels 15.
20. Raad S-E. Energieakkoord voor duurzame groei. Geraadpleegd op 7 januari 2015. <http://www.energieakkoordser.nl/>.

21. Staats M, de Boer-Meulman P, van Sark W. Experimental determination of demand side management potential of wet appliances in the netherlands. *Sustain Energy Grids Netw* 2017;9:80–94.
22. Castillo-Cagigal M, Caamano-Martín E, Matallanas E, Masa-Bote D, Gutiérrez A, Monasterio-Huelin F, et al. Pv self-consumption optimization with storage and active dsm for the residential sector. *Sol Energy* 2011;85(9):2338–48.
23. Luthander R, Widén J, Nilsson D, Palm J. Photovoltaic self-consumption in buildings: a review. *Appl Energy* 2015;142:80–94.
24. Masson G, Briano JI, Baez MJ. Review and analysis of PV self-consumption policies. *IEA Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS) T1* (28).
25. Mulder G, De Ridder F, Six D. Electricity storage for grid-connected household dwellings with pv panels. *Solar Energy* 2010;84(7):1284–93.
26. Kyriakopoulos, G. L., Arabatzis, G., Tsialis, P. & Ioannou, K., 2018. Electricity consumption and RES plants in Greece: Typologies of regional units. *Renewable Energy*, 127, pp. 134-144.
27. Zhu T, Mishra A, Irwin D, Sharma N, Shenoy P, Towsley D. The case for efficient renewable energy management in smart homes. *Proceedings of the Third ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings*. ACM; 2011. p. 67–72.
28. Heymans C, Walker SB, Young SB, Fowler M. Economic analysis of second use electric vehicle batteries for residential energy storage and load-levelling. *Energy Policy* 2014;71:22–30.
29. Agentschap N. Zonnestroom en de nederlandse wetgeving. Ministerie van Economische Zaken. Landbouw en Innovatie (Ministry of Economic Affairs); 2012.
30. Arghandeh R, Woyak J, Onen A, Jung J, Broadwater RP. Economic optimal operation of community energy storage systems in competitive energy markets. *Appl Energy* 2014;135:71–80.
31. Thomas P, Walker T, McCarthy C. Demonstration of community energy storage fleet for load leveling, reactive power compensation, and reliability improvement. *Power and Energy Society General Meeting, 2012 IEEE*. IEEE; 2012. p. 1–4.

32. AlSkaif T, Schram W, Litjens G, van Sark W. Smart charging of community storage units using markov chains. PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), 2017 IEEE. IEEE; 2017. p. 1–6.
33. Domenech, T. & Bahn-Walkowiak, B., 2019. Transition towards a resource efficient circular economy in Europe: policy lessons from the EU and the member states. *Ecological Economics*, 155, pp. 7-19.
34. Vasileiou, M., Loukogeorgaki, E. & Vagiona, D. G., 2017. GIS-based multi-criteria decision analysis for site selection of hybrid offshore wind and wave energy systems in Greece. *Renewable and sustainable energy reviews*, 73, pp. 745-757.
35. Gamero, A. και συν., 2017. Tracking progress toward EU biodiversity strategy targets: EU policy effects in preserving its common farmland birds. *Conservation Letters*, 10(4), pp. 395-402.
36. Ευρωπαϊκή Ένωση , 2021 . Δέσμη μέτρων για το κλίμα και την ενέργεια για το 2020 (2009/28/EK). [Ηλεκτρονικό] Available at: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=legisum%3A2001\\_8](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=legisum%3A2001_8)
37. Vos, C., 2017. European integration through ‘soft conditionality’. The contribution of culture to EU enlargement in Southeast Europe. *International Journal of Cultural Policy*, 23(6), pp. 675-689.
38. Kern, K., 2019. Cities as leaders in EU multilevel climate governance: Embedded upscaling of local experiments in Europe. *Environmental Politics*, 28(1), pp. 125-145.
39. Di Cataldo, M., 2017. The impact of EU Objective 1 funds on regional development: Evidence from the UK and the prospect of Brexit. *Journal of Regional Science*, 57(5), pp. 814-839.
40. Ελληνική Κυβέρνηση, 2011. Νόμος 4001/2011 : Λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου.. *Εφημερίδα της Κυβερνήσεως (ΦΕΚ 179/Α/22-8-2011)*.
41. Tsoutsos, T. και συν., 2017. Benchmarking framework to encourage energy efficiency investments in South Europe. The trust EPC South approach. *Procedia environmental sciences*, 38, Issue 413-419.

42. Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Μάρτιος 2019, Εγκατάσταση σταθμών παραγωγής από αυτοπαραγωγούς με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού ή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού σύμφωνα με το άρθρο 14Α του ν. 3468/2006, όπως ισχύει, και από Ενεργειακές Κοινότητες με εφαρμογή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού σύμφωνα με το άρθρο 11 του ν. 4513/2018, Εφημερίδα της Κυβερνήσεως
43. Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Αύγουστος 2021, Τροποποίηση της υπό στοιχεία ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/ 15084/382/19.02.2019 υπουργικής απόφασης «Εγκατάσταση σταθμών παραγωγής από αυτοπαραγωγούς με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού ή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού σύμφωνα με το άρθρο 14Α του ν. 3468/2006, όπως ισχύει, και από Ενεργειακές Κοινότητες με εφαρμογή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού σύμφωνα με το άρθρο 11 του ν. 4513/2018» (Β'759), Εφημερίδα της Κυβερνήσεως
44. Solar Market Insight Report 2020 Q4, SEIA/Wood Mackenzie Power & Renewables U.S. Solar Market Insight, 2020
45. Renewable Power Generation Costs in 2020, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi 2021