



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΣΕ ΟΙΚΙΑΚΗ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ BERLIN

Μάριος Παφύλας

A.M.: HN06427

Επιβλέπων: Άγγελος Μπουχουράς

(Υπογραφή)

.....

ΠΑΦΥΛΑΣ ΜΑΡΙΟΣ

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Τ.Ε., ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

© 2022 – All rights reserved

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση και η ανάλυση του διαδικτυακού εργαλείου Berlin, που συμβάλει στη κατάλληλη διαστασιολόγηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με αποθήκευση ενέργειας σε μια οικιακή εγκατάσταση, στοχεύοντας στη προώθηση της ιδιοκατανάλωσης.

Στο πρώτο κεφάλαιο, δίνονται πληροφορίες για τους όρους ιδιοκατανάλωσης, αυτάρκειας και διαχείρισης της ζήτησης και αναλύονται μέθοδοι διαστασιολόγησης αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται η παρουσίαση της πλατφόρμας του εργαλείου Berlin, όπου περιγράφεται ο τρόπος συμπλήρωσης των δεδομένων που χρειάζεται να εισαχθούν.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται εξέταση μιας πραγματικής εγκατάστασης για τη μελέτη διαστασιολόγησης ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος, και δίνονται αναλυτικά τα αποτελέσματα με τα συμπεράσματα.

Λέξεις Κλειδιά: Εργαλείο Berlin, φωτοβολταϊκό σύστημα, αποθήκευση ενέργειας, διαστασιολόγηση, ιδιοκατανάλωση, αυτάρκεια.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

ABSTRACT

The subject of this thesis is the presentation and analysis of the online tool Berlin, which contributes to the appropriate sizing of a photovoltaic system with energy storage in a residential installation, aiming to promote self-consumption.

In the first chapter, information on the terms self-consumption, self-sufficiency and demand management is provided and methods of sizing an autonomous PV system are analysed.

In the second chapter, the platform of the Berlin tool is presented, describing how to fill in the data that needs to be entered.

In the third chapter, a real installation is examined for the sizing study of an autonomous photovoltaic system, and the results are detailed with conclusions.

Keywords: Berlin tool, photovoltaic system, energy storage, energy storage, sizing, self-consumption, self-sufficiency.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου, για την στήριξη τους κατά την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν, και ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μπουχουρά, για την καθοδήγησή του.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	i
Abstract	iii
Ευχαριστίες	v
Πίνακας Περιεχομενων	vii
Πίνακας Εικονων	viii
Κατάλογος Πινάκων	ix
Εισαγωγή	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	3
1.1 Ορισμός της ιδιοκατανάλωσης και της αυτάρκειας	3
1.1.1 Κύριες στρατηγικές για τη μεγιστοποίηση της ιδιοκατανάλωσης και της αυτάρκειας.....	5
1.1.2 Μεθοδολογίες που μεγιστοποιούν την ιδιοκατανάλωση ή την αυτάρκεια.....	6
1.2 Διαχείριση από πλευράς ζήτησης (DSM)	7
1.3 Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκών και μπαταριών.....	8
1.4 Μέθοδοι διαστασιολόγησης ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.....	10
1.4.1 Διαισθητικές μέθοδοι για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος	10
1.4.2 Αριθμητικές μέθοδοι για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος	12
1.4.3 Αναλυτικές μέθοδοι για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος	16
1.4.4 Εμπορικά εργαλεία λογισμικού για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος	17
1.4.5 Μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ BERLIN	20
2.1 Εισαγωγή	20
2.2 Περιγραφή εργαλείου	20
2.3 Διαδικασία συμπλήρωσης εργαλείου.....	21
2.3.1 PV system	21
2.3.2 Storage system	24
2.3.3 Consumption	25
2.3.4 Charges	29
2.3.5 Policy.....	30
2.3.6 Financial.....	31
2.3.7 Analysis.....	32
2.3.8 Results	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ BERLIN	35
3.1 Εισαγωγή	35
3.2 Συμπλήρωση στοιχείων της εγκατάστασης	35
3.3 Αποτελέσματα ανάλυσης.....	37
3.3.1 Αποτελέσματα 1 ^{ης} κατηγορίας σεναρίων.....	37
3.3.2 Αποτελέσματα 2 ^{ης} κατηγορίας σεναρίων.....	39
3.3.3 Συμπεράσματα	40
Βιβλιογραφία	41

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Περιβάλλον καρτέλας δεδομένων Φ/Β συστήματος.....	21
Εικόνα 2.2: Επιλογή προφίλ παραγωγής.....	22
Εικόνα 2.3: Επιλογές για εισαγωγή μετρήσεων.....	22
Εικόνα 2.4: Πρότυπο αρχείο εισαγωγής δεδομένων.....	23
Εικόνα 2.5: Χάρτης επιλογής τοποθεσίας της εγκατάστασης.....	24
Εικόνα 2.6: Περιβάλλον καρτέλας δεδομένων συστήματος αποθήκευσης.....	25
Εικόνα 2.7: Περιβάλλον δεδομένων εισαγωγής μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας.....	26
Εικόνα 2.8: Περιβάλλον δεδομένων εισαγωγής ετήσιας κατανάλωσης.....	27
Εικόνα 2.9: Περιβάλλον δεδομένων εισαγωγής καθημερινής κατανάλωσης.....	27
Εικόνα 2.10: Πρότυπο αρχείο μετρήσεων καθημερινής κατανάλωσης.....	28
Εικόνα 2.11: Εισαγωγή δεδομένων για την ευελιξία κατανάλωσης του κτιρίου.....	28
Εικόνα 2.12: Περιβάλλον δεδομένων εισαγωγής πάροχου ηλεκτρικής ενέργειας.....	29
Εικόνα 2.13: Εισαγωγή δεδομένων για ζωνική τιμολόγηση.....	30
Εικόνα 2.14: Περιβάλλον επιλογής τακτικής.....	30
Εικόνα 2.15: Περιβάλλον δεδομένων εισαγωγής αυτοκατανάλωσης.....	31
Εικόνα 2.16: Περιβάλλον εισαγωγής οικονομικών παραμέτρων.....	32
Εικόνα 2.17: Περιβάλλον επιλογής της ανάλυσης.....	33
Εικόνα 2.18: Περιβάλλον αποτελεσμάτων.....	34

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Εισαγωγή δεδομένων της εγκατάστασης.....	36
Πίνακας 2: Εισαγωγή δεδομένων ευελιξίας	37
Πίνακας 3: Ανάλυση σεναρίων 1ης κατηγορίας	38
Πίνακας 4: Ανάλυση σεναρίων 2ης κατηγορίας	39

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, οι ενεργειακές πολιτικές και η διαπιστωμένη επείγουσα ανάγκη μείωσης των εκπομπών CO₂ οδήγησαν σε αυξανόμενη πρόοδο στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τόσο όσον αφορά την εφαρμογή όσο και τη μείωση του κόστους της. Ο στόχος αυτός θέτει νέες προκλήσεις για τα εθνικά και διεθνή συστήματα πολιτικής, καθώς απευθύνεται όχι μόνο στις βιομηχανίες ή στις επιχειρήσεις, αλλά και στα νοικοκυριά, προκειμένου να καλύψουν το σύνολο ή μέρος των αναγκών της ενεργειακής τους ζήτησης. Με τον τρόπο αυτό, οι παθητικοί καταναλωτές, χάρη στη διαδικασία της ιδιοκατανάλωσης, δηλαδή της επιτόπιας παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, μετατρέπονται σταδιακά σε ενεργούς καταναλωτές. Η παρουσία των ενεργών καταναλωτών έχει επιπτώσεις στη λειτουργία του δικτύου: εισάγει νέες προκλήσεις και ανοίγει νέα σενάρια, εισάγοντας επίσης νέους ρόλους για τους διαχειριστές του συστήματος στο μέλλον [1]. Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο ρόλος του καταναλωτή ως ενεργά εμπλεκόμενου στη λειτουργία του δικτύου, χάρη στην εφαρμογή νέων συστημάτων ελέγχου και νέων προσεγγίσεων μέτρησης, που επιτρέπουν την πλήρη ενσωμάτωση των διακοπτόμενων πηγών ενέργειας στο σύστημα [2].

Η αυτό-παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές για ιδιοκατανάλωση παράγει άμεσα θετικά αποτελέσματα, όπως η μείωση των απωλειών ενέργειας στο δίκτυο, ο μετριασμός των προβλημάτων συμφόρησης και η μειωμένη ανάγκη εκσυγχρονισμού των ηλεκτρικών υποδομών με την ενσωμάτωση της κατανεμημένης παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Η πράσινη ενέργεια, χάρη στην αυξανόμενη επιτυχία της ιδιοκατανάλωσης, διαδραματίζει στρατηγικό ρόλο θεμελιώδους σημασίας, δημιουργώντας ένα μοντέλο ενεργειακής μετάβασης που στοχεύει να συνδυάσει την τεχνολογική καινοτομία και τον σεβασμό στο περιβάλλον με οικονομικά οφέλη για την απασχόληση, καθώς και υγειονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα. Σε ορισμένες χώρες, η ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές έχει φθάσει στην ισοτιμία με το δίκτυο, πράγμα που σημαίνει ότι το προβλεπόμενο κατά μονάδα κόστος της αυτοπαραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας είναι ίσο ή χαμηλότερο από το κατά μονάδα κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που λαμβάνεται από το δίκτυο [3].

Στα μελλοντικά συστήματα διανομής, η υψηλή διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα αυξήσει τις αιχμές της παραγωγής. Κατά συνέπεια, οι αντίστροφες ροές ισχύος, δηλαδή η ισχύς που προέρχεται από την κατανεμημένη παραγωγή και πηγαίνει στον μετασχηματιστή Μέσης Τάσης/Χαμηλής Τάσης, θα είναι υψηλές, με προβλήματα στη διαχείριση του δικτύου [4]. Για το λόγο αυτό, τα φωτοβολταϊκά συστήματα με χαμηλή έγχυση στο δίκτυο θα προτιμηθούν πιθανώς στο μέλλον ή σε άλλες περιπτώσεις οι εγχύσεις θα μπορούσαν να απαγορευτούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

1.1 Ορισμός της ιδιοκατανάλωσης και της αυτάρκειας

Η κατάλληλη ενσωμάτωση των κατανεμημένων ανανεώσιμων πηγών παραγωγής μπορεί να ωφελήσει ολόκληρο το ενεργειακό σύστημα και η χρήση της ενέργειας κοντά στον τόπο παραγωγής συμβάλλει στην επίτευξη αυτού του στόχου. Στο πλαίσιο αυτό, η ιδιοκατανάλωση και η αυτάρκεια είναι δύο ενεργειακοί δείκτες για την ποσοτικοποίηση της εκμετάλλευσης της παραγωγής ενέργειας σε τοπικό επίπεδο.

Η ιδιοκατανάλωση (SC) ορίζεται ως η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται και καταναλώνεται τοπικά (E_{lgc}) σε σχέση με τη συνολική τοπική παραγωγή (E_{gen}) [5]:

$$SC_x = \frac{E_{lgc,x}}{E_{gen,x}}$$

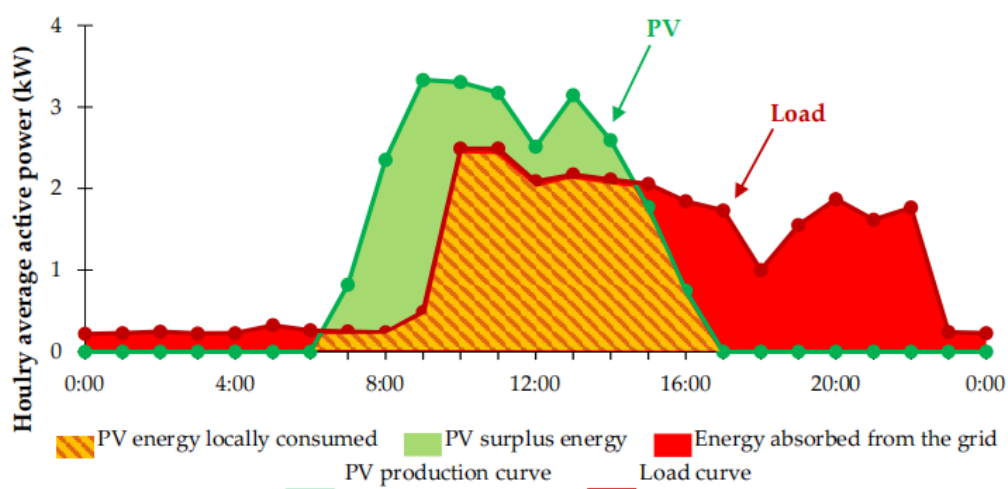
όπου x είναι η χρονική διάρκεια κατά την οποία υπολογίζεται ο λόγος σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση.

Η αυτάρκεια (SS) μετρά την ποσότητα κατανάλωσης που παρέχεται από την τοπική παραγωγή (E_{lgc} τον ίδιο αριθμητή του SC) σε σχέση με τη συνολική κατανάλωση (E_{load}). Ποσοτικοποιεί την ανεξαρτησία του χρήστη από το δίκτυο και υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση [6]:

$$SS_x = \frac{E_{lgc,x}}{E_{load,x}}$$

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ενός γενικού οικιακού χρήστη με ημερήσιο προφίλ παραγωγής και φορτίου από φωτοβολταϊκά, με σκοπό να αποσαφηνιστεί η διαφορά μεταξύ ιδιοκατανάλωσης και αυτάρκειας. Η περιοχή με τις κίτρινες και πορτοκαλί ρίγες είναι η φωτοβολταϊκή ενέργεια (PV) που καταναλώνεται τοπικά, ενώ η πράσινη περιοχή προσδιορίζει την πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα. Η κόκκινη περιοχή δείχνει την ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο, δηλαδή την ενέργεια που καταναλώνεται τοπικά από το δίκτυο. Το SC δίνεται από τον λόγο μεταξύ της φωτοβολταϊκής ενέργειας που καταναλώνεται τοπικά και της συνολικής φωτοβολταϊκής παραγωγής. Η συνολική φωτοβολταϊκή παραγωγή είναι το

άθροισμα μεταξύ της φωτοβολταϊκής ενέργειας που καταναλώνεται τοπικά και της πλεονάζουσας ενέργειας που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα. Αντίθετα, το SS είναι ο λόγος μεταξύ της φωτοβολταϊκής ενέργειας που καταναλώνεται τοπικά και του συνολικού φορτίου. Το συνολικό φορτίο είναι το άθροισμα της PV ενέργειας που καταναλώνεται τοπικά (διαγραμμισμένη περιοχή) και της ενέργειας που απορροφάται από το δίκτυο (κόκκινη περιοχή). Στο παράδειγμα που αναλύεται στο σχήμα, το SC και το SS φτάνουν, αντίστοιχα, το 62% και το 53% σε ημερήσια βάση. Προφανώς, οι τιμές των SC και SS υπόκεινται σε ημερήσιες διακυμάνσεις με βάση τα διαφορετικά προφίλ της φωτοβολταϊκής παραγωγής και του φορτίου.



Σχεδιάγραμμα 1 Γενικό παράδειγμα προφίλ παραγωγής φωτοβολταϊκών και φορτίου ενός οικιακού χρήστη

Γενικά, τα προφίλ παραγωγής και κατανάλωσης σπάνια συμπίπτουν: στην περίπτωση αυτή, λαμβάνονται χαμηλές τιμές SS ή SC λόγω αυτής της αναντιστοιχίας. Σε περίπτωση πλεονάσματος (παραγωγή μεγαλύτερη από την κατανάλωση), η αχρησιμοποίητη παραγωγή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) μπορεί να διοχετευθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο ή να σπαταληθεί, με αποτέλεσμα χαμηλό SC. Αντίθετα, εμφανίζεται κατάσταση ελλείμματος (παραγωγή μικρότερη από την κατανάλωση), προκαλώντας απορρόφηση ενέργειας από το δίκτυο και χαμηλή SS. Η μεγιστοποίηση του SC, μαζί με το SS, καθορίζει οφέλη για τους χρήστες και το ηλεκτρικό δίκτυο.

1.1.1 Κύριες στρατηγικές για τη μεγιστοποίηση της ιδιοκατανάλωσης και της αυτάρκειας

Η πιο συνηθισμένη λύση για την αύξηση της ιδιοκατανάλωσης και της αυτάρκειας είναι η ενσωμάτωση της αποθήκευσης ενέργειας [7]. Οι τεχνολογίες που υιοθετούνται για την αποθήκευση ενέργειας μπορεί να ποικίλλουν, ενώ ποικίλλουν και τα ειδικά χαρακτηριστικά τους (διάρκεια, κόστος, ενεργειακή πυκνότητα, ισχύς φόρτισης/εκφόρτισης και απόδοση). Για παράδειγμα, οι μπαταρίες έχουν γρήγορη απόκριση (κλάσματα του δευτερολέπτου), ενώ τα αντλητικά υδροηλεκτρικά αποθέματα μπορούν να αποθηκεύσουν μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας, αλλά απαιτούν συγκεκριμένη ρύθμιση όσον αφορά τη γεωγραφική θέση. Η επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας εξαρτάται από την εφαρμογή: για παράδειγμα, πρόσφατες εργασίες διερευνήσεως την ενσωμάτωση ηλεκτρικών οχημάτων, τα οποία μπορούν να έχουν παρόμοιες επιδόσεις με τις σταθερές μπαταρίες, για την αύξηση της αυτάρκειας των καταναλωτών [8]. Παρ' όλα αυτά, είναι δυνατόν να συνδυαστούν διαφορετικές τυπολογίες στο ίδιο σύστημα, ωστόσο στην περίπτωση αυτή, είναι θεμελιώδες να δηλωθεί η σειρά παρέμβασής τους. Μια αποθήκευση ενέργειας έχει ως στόχο να καλύψει το κενό μεταξύ της παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και του φορτίου, μετριάζοντας την αστάθεια του δικτύου και τα προβλήματα ποιότητας ισχύος [9]. Στην πραγματικότητα, τα προφίλ παραγωγής και κατανάλωσης σπάνια συμπίπτουν, έτσι η παραγόμενη ενέργεια ενδέχεται να μην καλύπτει τις ανάγκες των χρηστών. Σε περίπτωση πλεονάσματος (παραγωγή ΑΠΕ μεγαλύτερη από την κατανάλωση), ένα μέρος της παραγωγής δεν αξιοποιείται για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης. Αυτή η συνεισφορά μπορεί να αποθηκευτεί σε αποθήκες ενέργειας, εάν υπάρχουν, για να αυξηθεί η ιδιοκατανάλωση, ή μπορεί να εγχυθεί στο δίκτυο. Η πρώτη στρατηγική, που ονομάζεται "εξοικονόμηση αιχμής", προσαρμόζει την παραγωγή (εξοικονόμηση αιχμής παραγωγής, PPS) ή τα προφίλ κατανάλωσης (εξοικονόμηση αιχμής ζήτησης, DPS), επιτυγχάνοντας συνολική αντιστοίχιση χωρίς έγχυση στο δίκτυο. Για βιομηχανικούς πελάτες, οικιακές εφαρμογές και τριτογενείς χρήστες, συνιστάται η ηλεκτροχημική αποθήκευση για την αποκοπή των αιχμών παραγωγής και κατανάλωσης. Επιπλέον, το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να επιτευχθεί και χωρίς συστήματα αποθήκευσης [10].

1.1.2 Μεθοδολογίες που μεγιστοποιούν την ιδιοκατανάλωση ή την αυτάρκεια

Υπάρχουν πολλές μεθοδολογίες για τη μεγιστοποίηση της ιδιοκατανάλωσης ή της αυτάρκειας των συστημάτων ΑΠΕ. Οι Wanitschke και συν. [11] προτείνουν μια μεθοδολογία για τη βελτιστοποίηση του ισοσταθμισμένου κόστους ηλεκτρικής ενέργειας και των εκπομπών ρύπων ενός μικροδικτύου με βάση τις ΑΠΕ. Ωστόσο, η εργασία δείχνει ότι η λύση που αντιστοιχεί στη μέγιστη αυτάρκεια οδηγεί σε τεράστια υπερπαραγωγή ΑΠΕ. Συνεπώς, η λύση αυτή δεν συμπίπτει με τη βέλτιστη από οικονομική και περιβαλλοντική άποψη. Από τους Hernández και συν.[12] προτείνεται μια μεθοδολογία για την αξιολόγηση της ενεργειακής/οικονομικής απόδοσης καταναλωτών με φωτοβολταϊκές μονάδες και ηλεκτροχημική αποθήκευση, μεγιστοποιώντας την ιδιοκατανάλωση και την επάρκειά τους. Βελτιστοποιείται η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστοιχιών στην οροφή και τις προσόψεις ενός κτιρίου στη Γαλλία, μεγιστοποιώντας την ιδιοκατανάλωση του κτιρίου [13]. Συγκεκριμένα, πραγματοποιούνται τρεις μονοαντικειμενικές βελτιστοποιήσεις, με διαφορετικές αντικειμενικές συναρτήσεις. Ωστόσο, δεν αναλύεται μια σφαιρική βελτιστοποίηση για το σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη αυτούς τους παράγοντες, και οι μπαταρίες δεν περιλαμβάνονται στην εργασία. Η ιδιοκατανάλωση και η αυτάρκεια για ένα σούπερ μάρκετ στη Γερμανία βελτιστοποιούνται, με αναλύσεις ευαισθησίας των κύριων παραμέτρων στο σύστημα αποθήκευσης φωτοβολταϊκών (κόστος, μέγεθος και επιτόκιο) [14]. Οι Hernández και συν.[15] διερευνούν τη βέλτιστη διαμόρφωση των φωτοβολταϊκών συσσωρευτών (PV) όσον αφορά την ιδιοκατανάλωση/αυτοδυναμία και την οικονομική εξοικονόμηση, χρησιμοποιώντας μια αξιολόγηση σε δύο στάδια.

Σε αυτές τις μεθοδολογίες δεν περιλαμβάνονται όρια για τη μέγιστη έγχυση στο δίκτυο. Στην ανάλυση ενσωματώνονται στρατηγικές εξοικονόμησης αιχμής που χρησιμοποιούν μόνο συστήματα αποθήκευσης (ηλεκτροχημικές μπαταρίες ή υδρολογικές λεκάνες υδροηλεκτρικών σταθμών). Για περιοχές με ευνοϊκές καιρικές συνθήκες, κατά τη διάρκεια ηλιόλουστων ημερών, η παραγωγή από ΑΠΕ μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη από την ηλεκτρική κατανάλωση. Στην περίπτωση αυτή, η πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται μπορεί να αποθηκευτεί στις μπαταρίες ή σε άλλες εγκαταστάσεις αποθήκευσης. Ωστόσο, η ενεργειακή τους χωρητικότητα είναι περιορισμένη. Αν η πλεονάζουσα ενέργεια

μπορεί να εξακολουθεί να αξιοποιείται αλλά έχει επιτευχθεί η μέγιστη κατάσταση φόρτισης, η ενέργεια αυτή δεν μπορεί να αποθηκευτεί, άρα διοχετεύεται στο δίκτυο. Στην πραγματικότητα, οι οικιακοί χρήστες έχουν ειδικές συμβάσεις με τους διαχειριστές του δικτύου και το οικονομικό τους κόστος επηρεάζεται από τη μέγιστη ισχύ που μπορούν να εγγέουν οι επαγγελματίες στο δίκτυο. Στο πλαίσιο αυτό, οι χρήστες μπορεί να επιθυμούν να εγκαταστήσουν συστήματα ΑΠΕ χωρίς να τροποποιήσουν τις συμβάσεις τους ή να επιθυμούν να αυξήσουν την τιμή αυτή (άρα και το οικονομικό κόστος της σύμβασης) μέχρι μια συγκεκριμένη τιμή. Αντιθέτως, σε ορισμένες χώρες, οι διαχειριστές του δικτύου ενδέχεται να μην αποδέχονται την έγχυση ενέργειας στο δίκτυο, προκειμένου να βελτιώσουν τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του [16]. Στην περίπτωση αυτή, εάν η αποθήκευση είναι πλήρως φορτισμένη, η πλεονάζουσα ενέργεια από τις γεννήτριες ΑΠΕ σπαταλάται.

1.2 Διαχείριση από πλευράς ζήτησης (DSM)

Καθώς η ζήτηση για την ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται με την πάροδο των ετών, η κατάσταση έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διαθεσιμότητας των ορυκτών πόρων και καύσιμων, για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, την αύξηση των τιμών τους, όπως και σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η αυξημένη ζήτηση ενέργειας συνεπάγεται ακόμη με ανάγκες για βελτίωση και ενίσχυση δικτύου μεταφοράς και διανομής, όπως και δημιουργία νέων σταθμών παραγωγής. Επιπρόσθετα, η επιβάρυνση που δημιουργείται στο δίκτυο και οι απότομες διακυμάνσεις επιφέρουν ζημίες σε γραμμές, οδηγώντας το σε διακοπές ρεύματος.

Για την αποφυγή των παραπάνω, η χρήση των στρατηγικών διαχείρισης από πλευράς ζήτησης (DSM) διασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό την επαρκή και αξιόπιστη παροχή ενέργειας για την κάλυψη της ζήτησης, συμβάλει σε οικονομικά οφέλη ως προς τους καταναλωτές, για παράδειγμα μείωση του λογαριασμού ηλεκτρικής ενέργειας, και συνδράμει στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

Χαρακτηριστικό των προγραμμάτων και των στρατηγικών για την διαχείριση ζήτησης (DSM) είναι η μετατόπιση του φορτίου από χρονικές περιόδους αιχμής σε χρονικές περιόδους εκτός αιχμής, μειώνοντας την ανάγκη για επιπλέον παραγωγή ενέργειας.

1.3 Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκών και μπαταριών

Το φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι μια από τις πιο δημοφιλείς χρήσεις της άμεσης ηλιακής ενέργειας και η εγκατάστασή του αυξάνεται ραγδαία, επειδή θεωρείται καθαρή και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας. Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περιέχει έναν αριθμό φωτοβολταϊκών μονάδων που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα χρησιμοποιώντας ημιαγώγιμα υλικά. Οι τεχνολογικές εξελίξεις και βελτιώσεις χρησιμοποιούνται πάντα στην επιστήμη των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για παράδειγμα, τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν δοκιμαστεί επαρκώς σε επίγειες και διαστημικές εφαρμογές [17]. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα θεωρούνται αρκετά αξιόπιστα και ασφαλή, αλλά το υψηλό κόστος κεφαλαίου των φωτοβολταϊκών συστημάτων αποτελεί τον κύριο αποτρεπτικό παράγοντα για την αύξηση της χρήσης τους. Ωστόσο, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν ακόμη να είναι οικονομικά αποδοτικά σε ορισμένες απομακρυσμένες τοποθεσίες εκτός δικτύου σε σύγκριση με το κόστος λειτουργίας των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και τις επακόλουθες συνεχείς ηλεκτρικές χρεώσεις.

Επί του παρόντος, ορισμένες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν δημιουργήσει κεντρικούς σταθμούς παραγωγής φωτοβολταϊκών ως μια μορφή επιλογής πράσινης ενέργειας με την προσθήκη ενός μικρότερου τέλους στον μηνιαίο λογαριασμό του πελάτη, για την κατασκευή πρόσθετων φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων [18]. Γενικά, χρησιμοποιούνται τρεις τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων, δηλαδή το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα, το υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα και το συνδεδεμένο στο δίκτυο φωτοβολταϊκό σύστημα. Παραδοσιακά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν εφαρμοστεί κυρίως για αυτόνομα φωτοβολταϊκά και υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές, ως κατάλληλο σύστημα παραγωγής ενέργειας που θα μπορούσε να παρέχει ενέργεια χωρίς πολύ μεγάλο κόστος συντήρησης και λειτουργίας. Επί του παρόντος, τα συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται ευρέως ως μονάδες καταναμημένης παραγωγής σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, η εγκατάσταση αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορεί να διαμορφωθεί με τη μορφή είτε κεντρικών είτε καταναμημένων συστημάτων.

Τα συγκεντρωτικά αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα βρίσκονται συνήθως στο κέντρο του φορτίου και παρέχουν ενέργεια σε όλους τους καταναλωτές, ενώ τα κατακεκομημένα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα παρέχουν ενέργεια στους καταναλωτές μεμονωμένα. Το πλεονέκτημα του συγκεντρωτικού αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ότι το μέγεθός του μπορεί να είναι μικρότερο από το κατακεκομημένο σύστημα, δεδομένου ότι λαμβάνεται υπόψη ο παράγοντας ποικιλομορφίας [19]. Όσον αφορά τα εμπορικά αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, μπορούν να ταξινομηθούν με βάση την ονομαστική ισχύ και την εφαρμογή τους. Η ονομαστική ισχύς των υφιστάμενων αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι συνήθως 0,5-20 kW και παρέχει ισχύ σε διάφορα φορτία. Τα τυπικά φορτία του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι οικιακά φορτία, εγκαταστάσεις τηλεπικοινωνιών, συστήματα αντλιών άρδευσης και φορτία φωτισμού.

Το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να σχεδιάζεται με βέλτιστο τρόπο ώστε να καλύπτει την επιθυμητή ζήτηση φορτίου σε ένα καθορισμένο επίπεδο διαθεσιμότητας. Εν τω μεταξύ, η βέλτιστη διαδικασία διαστασιολόγησης του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος εξαρτάται κυρίως από μετεωρολογικά δεδομένα, όπως η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η σημασία των μετεωρολογικών μεταβλητών στη διαδικασία διαστασιολόγησης του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος, δηλαδή η ενέργεια εξόδου αυτών των συστημάτων, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητα αυτών των δεδομένων [19]. Επί του παρόντος, διεξάγονται ερευνητικές εργασίες για την ανάπτυξη τεχνικών βελτιστοποίησης της διαστασιολόγησης του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος, έτσι ώστε ο αριθμός των φωτοβολταϊκών μονάδων, η χωρητικότητα των συσσωρευτών αποθήκευσης και το μέγεθος του μετατροπέα να σχεδιάζονται και να επιλέγονται βέλτιστα. Επιπλέον, το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα χρειάζεται τη γνώση ορισμένων παραμέτρων προκειμένου να επιτευχθεί ο βέλτιστος σχεδιασμός, όπως η φυσική πηγή δεδομένων, τα μαθηματικά μοντέλα των στοιχείων του συστήματος, οι μεθοδολογίες διαστασιολόγησης, οι κυβερνητικές ενεργειακές πολιτικές και οι απαιτήσεις του τελικού χρήστη. Αυτά τα δεδομένα βοηθούν τους σχεδιαστές να βελτιώσουν την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία του συστήματος, ώστε να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του τελικού χρήστη σε ένα επιθυμητό επίπεδο διαθεσιμότητας και σε ένα αποδεκτό εύρος κόστους [20].

1.4 Μέθοδοι διαστασιολόγησης ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

Γενικά, για τον προσδιορισμό της βέλτιστης διαστασιολόγησης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, ορίζεται πρώτα μια συγκεκριμένη περιοχή για ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα και στη συνέχεια λαμβάνονται μετεωρολογικά δεδομένα, όπως η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στη συνέχεια υπολογίζεται η χωρητικότητα των στοιχείων του φωτοβολταϊκού συστήματος, όπως η φωτοβολταϊκή συστοιχία, η μπαταρία αποθήκευσης και το μέγεθος του αντιστροφέα. Σημειώνεται, ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορες εκτιμήσεις για τη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος, όπως οι kWh/yr που απαιτούνται για την κάλυψη της ζήτησης φορτίου, οι kWh/yr που παράγονται από το φωτοβολταϊκό σύστημα, οι τράπεζες μπαταριών Ah, η έκταση του συστήματος που θα καταλαμβάνει και το κόστος του συστήματος [21]. Διαφορετικές μέθοδοι διαστασιολόγησης, έχουν αναφερθεί και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως διαισθητικές, αριθμητικές, αναλυτικές, εμπορικά εργαλεία υπολογιστών, τεχνητή νοημοσύνη (AI) και υβριδικές μέθοδοι.

1.4.1 Διαισθητικές μέθοδοι για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

Η διαισθητική μέθοδος χρησιμοποιεί έναν απλουστευμένο υπολογισμό χωρίς να καθορίζει ποσοτική σχέση μεταξύ των υποσυστημάτων σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα ή να λαμβάνει υπόψη τη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας [22]. Στη μέθοδο αυτή, το μέγεθος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας προκύπτει από τη μέση ενέργεια που παράγεται από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία κατά τη διάρκεια της περιόδου σχεδιασμού, η οποία υπερβαίνει τη ζήτηση φορτίου κατά ένα συντελεστή ασφαλείας. Ο συντελεστής αυτός επιλέγεται με βάση την εμπειρία των σχεδιαστών. Η διαισθητική μέθοδος υπολογίζει τα μεγέθη των εξαρτημάτων με τη χρήση απλού υπολογισμού, αλλά έχει ένα μειονέκτημα στο οποίο μπορεί να οδηγήσει σε υπερ/υποδιαστασιολόγηση του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος που θα προκαλέσει χαμηλή αξιοπιστία του συστήματος ή/και θα αυξήσει το κόστος κεφαλαίου, λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος [19]. Κατά συνέπεια, η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη μόνο για να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της αρχικής και πρόχειρης προσέγγισης του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Οι

απλές μαθηματικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των βέλτιστων μεγεθών της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, του PPV και της μπαταρίας αποθήκευσης δίνονται ως εξής:

$$P_{PV} = \frac{E_L}{\eta_s \eta_{Inv} PSH} S_f$$

όπου E_L είναι η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας φορτίου, η_s και η_{inv} είναι οι αποδόσεις των στοιχείων του συστήματος, PSH είναι η μέγιστη ηλιοφάνεια και S_f είναι ο συντελεστής σχεδιασμού ασφαλείας που επιλέγεται στις περισσότερες περιπτώσεις με βάση την εμπειρία του σχεδιαστή, η οποία μπορεί να είναι ανακριβής.

Η χωρητικότητα της μπαταρίας αποθήκευσης μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$C_{Wh} = \frac{E_L D_{Autonomous}}{V_B DOD \eta_B}$$

όπου V_B είναι η τάση της μπαταρίας, η_B είναι η απόδοση της μπαταρίας αποθήκευσης και DOD είναι το βάθος εκφόρτισης της μπαταρίας.

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες διαισθητικές μέθοδοι για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ο Ahmad [23] ανέπτυξε μια διαισθητική μέθοδο για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση του συνδυασμού φωτοβολταϊκού / μπαταρίας σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα για απομακρυσμένες κατοικίες στην Αίγυπτο. Ο συγγραφέας ξεκίνησε το σχεδιασμό υπολογίζοντας τους μέσους όρους της ημερήσιας ζήτησης φορτίου και λαμβάνοντας τους μέσους όρους της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας. Χρησιμοποιώντας τις απλές μαθηματικές εξισώσεις που παρέχονται στους Sharma και συν. [24], υπολογίζεται το μέγεθος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και η χωρητικότητα της μπαταρίας αποθήκευσης. Ο ελεγκτής φόρτισης της μπαταρίας και ο αντιστροφείας επιλέγονται με βάση τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και λαμβάνοντας υπόψη τη μέγιστη αναμενόμενη ισχύ. Ωστόσο, το επίπεδο αξιοπιστίας που μπορεί να οδηγήσει σε υπερ/υποδιαστασιολόγηση του σχεδιασμού δεν λήφθηκε υπόψη στη διαστασιολόγηση του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Στην εργασία των Bhuiyan και Asgar [25], διεξήχθη η βέλτιστη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος με βάση τη διαισθητική μέθοδο για οικιακές εφαρμογές σε μια τοποθεσία στη Ντάκα του Μπαγκλαντές. Η μέθοδος εκτίμησε την ημερήσια ζήτηση φορτίου, βελτιστοποίησε τη γωνία

κλίσης και υπολόγισε το μέγεθος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και τη χωρητικότητα της μπαταρίας με βάση τις παρόμοιες εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν στους Sharma και συν. (1995).

Οι Kaushika και Rai [26] ανέπτυξαν μια διαισθητική μέθοδο για τη διαστασιολόγηση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και των μπαταριών σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα για ορισμένες περιοχές της Ινδίας. Η διαισθητική μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη ενός συστήματος εμπειρογνομόνων ως συνάρτηση των γεωγραφικών συντεταγμένων. Χρησιμοποιούνται μηνιαίοι μέσοι όροι δεδομένων ηλιακής ενέργειας με το συντονισμό της τοποθεσίας για τη βελτιστοποίηση της γωνίας κλίσης. Το σύστημα εμπειρογνομόνων μπορεί να μην είναι αποτελεσματικό σε σύγκριση με τα τρέχοντα εργαλεία λογισμικού που χρησιμοποιούν πιο ακριβείς τεχνικές βελτιστοποίησης. Επιπλέον, οι τεχνικές και οικονομικές πτυχές δεν λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαστασιολόγηση του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Οι Chel και συν.[27] πραγματοποίησαν τη βέλτιστη διαστασιολόγηση του ενσωματωμένου στο κτίριο φωτοβολταϊκού συστήματος για μια τοποθεσία στην Ινδία με βάση απλούς υπολογισμούς χρησιμοποιώντας την ημερήσια ζήτηση φορτίου και τις ώρες μέγιστης ηλιοφάνειας (PSH). Ο βέλτιστος συνδυασμός φωτοβολταϊκού/μπαταρίας διαστασιολόγησης προέκυψε με βάση την ελάχιστη τιμή του κόστους της παραγόμενης μονάδας ενέργειας, του κύκλου ζωής του συστήματος και του κόστους κεφαλαίου.

1.4.2 Αριθμητικές μέθοδοι για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

Στις αριθμητικές μεθόδους, οι προσομοιώσεις πραγματοποιούνται σε κάθε χρονικό διάστημα, συνήθως σε μια ωριαία ή ημερήσια περίοδο. Σε αυτή τη μέθοδο υπολογίζεται το ενεργειακό ισοζύγιο του συστήματος και ταξινομείται σε ντετερμινιστικές ή στοχαστικές προσεγγίσεις. Στην ντετερμινιστική προσέγγιση, η αβεβαιότητα που σχετίζεται με την ηλιακή ακτινοβολία δεν λαμβάνεται υπόψη λόγω των δυσκολιών εύρεσης συνόλου δεδομένων για ένα συγκεκριμένο σύστημα. Από την άλλη πλευρά, η πιθανολογική προσέγγιση για τη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος λαμβάνει υπόψη την επίδραση της μεταβλητότητας της ηλιακής ακτινοβολίας στο

σχεδιασμό του συστήματος. Έτσι, η πιθανολογική προσέγγιση θεωρείται ακριβέστερη από την ντετερμινιστική προσέγγιση και η ενεργειακή αξιοπιστία για το σύστημα μπορεί να διεξαχθεί με ποσοτικό τρόπο [28].

Στους Kaldellis και συν.[29], αναπτύσσεται μια μεθοδολογία βέλτιστης διαστασιολόγησης ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος σε μια τοποθεσία στην Ελλάδα για τη μείωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας και η θερμοκρασία περιβάλλοντος χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ονομαστικής ισχύος του φωτοβολταϊκού και της χωρητικότητας της μπαταρίας αποθήκευσης με βάση το ενεργειακό ισοζύγιο μεταξύ της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ισχύος και της κατανάλωσης ισχύος του φορτίου. Εκτιμάται η βέλτιστη διαμόρφωση με βάση την τοπική ζήτηση και υπολογίζεται το κόστος της παραγόμενης μονάδας ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα. Η εργασία αυτή έχει ορισμένους περιορισμούς, στους οποίους η χρήση μέσων ημερήσιων μετεωρολογικών μεταβλητών μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και την αξιοπιστία του συστήματος.

Οι Celik και συν.[30] διαμόρφωσαν βέλτιστα το μέγεθος ενός οικιακού αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για πέντε τοποθεσίες στην Τουρκία. Ένα καθορισμένο φορτίο και ωριαίες μετεωρολογικές μεταβλητές για περίοδο έξι ετών χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των τιμών LLP για κάθε τοποθεσία. Η βέλτιστη διαμόρφωση φωτοβολταϊκού/μπαταρίας επιλέγεται για κάθε τοποθεσία με βάση το ελάχιστο κόστος της παραγόμενης μονάδας ενέργειας. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως το εκπεμπόμενο CO₂ και το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη, αξιολογούνται στη μέθοδο. Ο Chen παρουσίασε μια γρήγορη μέθοδο βελτιστοποίησης για τη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος σε μια τοποθεσία στις ΗΠΑ, λαμβάνοντας υπόψη τα ημερήσια μέσα μετεωρολογικά δεδομένα και τη ζήτηση φορτίου. Χωρίς προσομοίωση, η μέθοδος υλοποιεί τη διαστασιολόγηση εξετάζοντας τις κλιματικές χρονοσειρές της τοποθεσίας και καθορίζοντας τον ελάχιστο λόγο χρόνου φόρτισης/εκφόρτισης σε μια μπαταρία. Προσδιορίστηκαν η ελάχιστη και η μέγιστη ισχύς των φωτοβολταϊκών για να προκύψει ο αριθμός των μπαταριών για το σύστημα. Στη συνέχεια γίνεται υπολογισμός του αριθμού των φωτοβολταϊκών μονάδων και επιλέχθηκε η βέλτιστη διαμόρφωση με βάση το ελάχιστο ετήσιο συνολικό κόστος. Μια τέτοια εργασία έχει ορισμένους περιορισμούς που μπορεί να επηρεάσουν την αξιοπιστία του συστήματος και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων, επειδή χρησιμοποιούνται ημερήσιες μέσες μετεωρολογικές μεταβλητές

και η ζήτηση φορτίου θεωρήθηκε σταθερή. Επιπλέον, οι Spertino και συν.[31] παρουσίασαν έναν αλγόριθμο διαστασιολόγησης αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για τη βελτιστοποίηση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και της μπαταρίας αποθήκευσης στην Ιταλία. Η διαδικασία προσομοίωσης γίνεται με βάση ένα απλό μοντέλο φωτοβολταϊκής συστοιχίας και ηλεκτροχημικής μπαταρίας και με τη χρήση μέσω ημερήσιων μετεωρολογικών δεδομένων και ζήτησης φορτίου. Το SOC της μπαταρίας χρησιμοποιήθηκε ως περιορισμός βελτιστοποίησης για την επιλογή της βέλτιστης διαμόρφωσης. Η μέθοδος έχει ορισμένα μειονεκτήματα στα οποία χρησιμοποιούνται ημερήσια μετεωρολογικά δεδομένα και ότι δεν υπάρχει αντικειμενική συνάρτηση, τα οποία οδηγούν σε υψηλό ενδεχομένως κόστος της παραγόμενης μονάδας ενέργειας.

Οι Kazem και συν.[32] παρουσίασαν το βέλτιστο μέγεθος ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος στο Sohar του Ομάν εφαρμόζοντας μια αριθμητική μέθοδο χρησιμοποιώντας ωριαία μετεωρολογικά δεδομένα και δεδομένα ζήτησης φορτίου. Η γωνία κλίσης βελτιστοποιείται για τη θέση του συστήματος ώστε να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος και να μειωθεί το μέγεθος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και η χωρητικότητα της μπαταρίας αποθήκευσης. Η μεθοδολογία διαστασιολόγησης προσδιορίζει πρώτα την απόδοση των στοιχείων του συστήματος και τη ζήτηση φορτίου και στη συνέχεια λαμβάνει την ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία για την επιλεγμένη τοποθεσία. Για την εύρεση του βέλτιστου μεγέθους της φωτοβολταϊκής γεννήτριας χρησιμοποιήθηκε ένα εύρος περιοχής της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Κατά τον υπολογισμό της ενεργειακής διαφοράς λαμβάνονται οι πίνακες της πλεονάζουσας ενέργειας και του ενεργειακού ελλείμματος. Σε κάθε διαμόρφωση φωτοβολταϊκού/μπαταρίας, η LLP ελήφθη και αποθηκεύτηκε σε πίνακες. Στη συνέχεια, στο επιθυμητό LLP, τα κατάλληλα μεγέθη φωτοβολταϊκής γεννήτριας και χωρητικότητας αποθήκευσης προσδιορίζονται με την απεικόνιση του LLP σε σχέση με τα μεγέθη της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και των μεγεθών της μπαταρίας αποθήκευσης σε σχέση με τα μεγέθη της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Η βέλτιστη διαμόρφωση επιλέγεται με βάση το ελάχιστο κόστος κεφαλαίου του συστήματος. Ο Chen [33] ανέπτυξε μια αριθμητική μέθοδο για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής σε μια τοποθεσία στις ΗΠΑ, χρησιμοποιώντας μέσες ημερήσιες μετεωρολογικές μεταβλητές και ζήτηση φορτίου. Η μεθοδολογία διαστασιολόγησης εξέτασε τις κλιματικές χρονοσειρές της τοποθεσίας και καθόρισε τον ελάχιστο λόγο χρόνου φόρτισης/εκφόρτισης στον κύκλο της μπαταρίας. Προσδιορίστηκαν η

ελάχιστη και η μέγιστη φωτοβολταϊκή ισχύς για να προκύψει ο αριθμός των μπαταριών αποθήκευσης και στη συνέχεια υπολογίστηκε ο αριθμός των φωτοβολταϊκών μονάδων. Η βέλτιστη διαστασιολόγηση των φωτοβολταϊκών λαμβανόταν με βάση το ελάχιστο ετήσιο συνολικό κόστος. Οι Semaoui και συν. [34] παρουσίασαν ένα μοντέλο βελτιστοποίησης για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος με τη χρήση ενός MATLAB-Simulink σε μια τοποθεσία στην Αλγερία. Η μεθοδολογία βελτιστοποίησης υλοποιήθηκε σε τρία βήματα: μοντελοποίηση των στοιχείων του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος, ανάπτυξη μοντέλου διαχείρισης φορτίου και ανάπτυξη των κριτηρίων βελτιστοποίησης που έγινε με βάση το LPSP και το ενεργειακό κόστος. Για τον προσδιορισμό της βέλτιστης διαμόρφωσης χρησιμοποιούνται ωριαίες μετεωρολογικές μεταβλητές και δεδομένα ζήτησης φορτίου. Ωστόσο, οι τιμές LPSP ελήφθησαν για κάθε διαμόρφωση φωτοβολταϊκής συστοιχίας/μπαταρίας με και χωρίς διαχείριση φορτίου. Ενώ, ένα σύνολο διαμορφώσεων ορίστηκε με βάση ένα επιθυμητό LPSP. Στη συνέχεια, σχεδιάστηκε η καμπύλη διαστασιολόγησης για τις διαμορφώσεις που ικανοποιούσαν το επιθυμητό επίπεδο διαθεσιμότητας. Τέλος, επιλέχθηκε η βέλτιστη διαμόρφωση με βάση το ελάχιστο ενεργειακό κόστος. Ως αποτέλεσμα, οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι η χρήση της διαχείρισης φορτίου στη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος μειώνει το ενεργειακό κόστος του συστήματος.

Ο Birnie [35] βελτιστοποίησε τη χωρητικότητα μιας μπαταρίας αποθήκευσης για δεδομένο μέγεθος φωτοβολταϊκής συστοιχίας σε τρεις τοποθεσίες στις ΗΠΑ. Η ανάλυση διεξήχθη για δύο περιοριστικές περιπτώσεις της διαμόρφωσης φωτοβολταϊκού/μπαταρίας. Αυτές οι περιοριστικές περιπτώσεις ήταν η λειτουργία με περιορισμένο ηλιακό φως και η λειτουργία με περιορισμένη χωρητικότητα της μπαταρίας. Οι περιοριστικές περιπτώσεις λήφθηκαν υπόψη για την εύρεση της βέλτιστης χωρητικότητας της μπαταρίας, προκειμένου να διασφαλιστεί η λειτουργία των κρίσιμων φορτίων κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε διακοπής και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Στην πρώτη περιοριστική περίπτωση, χρησιμοποιούνται ημερήσια δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας για τον προσδιορισμό του συντελεστή χωρητικότητας, ο οποίος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της σταθερής ισχύος λειτουργίας. Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η αναμενόμενη ημερήσια παραγωγή ενέργειας από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες ισχύος μετατροπής και άλλους παράγοντες. Για τον υπολογισμό αυτών των παραγόντων χρησιμοποιήθηκε ένα λογισμικό με την ονομασία "PVWATTS". Εδώ, η προτεινόμενη

χωρητικότητα της μπαταρίας επιλέχθηκε σε περίπτωση που είναι αρκετά μεγάλη ώστε να αποθηκεύει σχεδόν την ενέργεια ολόκληρης της ημέρας με βάση ένα αποδεκτό επίπεδο εμπιστοσύνης. Εν τω μεταξύ, στη δεύτερη περιοριστική περίπτωση, η προτεινόμενη χωρητικότητα της μπαταρίας υπολογίστηκε με βάση την ενέργεια που απαιτείται για την κάλυψη του κρίσιμου εξοπλισμού κατά τη διάρκεια ολόκληρης της νύχτας και μια αποδεκτή τιμή εμπιστοσύνης για την παραγωγή ισχύος σε σταθερή κατάσταση. Τέλος, οι αναμενόμενες χωρητικότητες της μπαταρίας που προέκυψαν από τις δύο περιπτώσεις συγχωνεύθηκαν και εξετάστηκαν για να βρεθεί το βέλτιστο μέγεθος της μπαταρίας. Η παρούσα μελέτη έχει ορισμένους περιορισμούς, πρώτον, η χρήση της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα. Δεύτερον, ο συγγραφέας χρησιμοποίησε ένα απλό φωτοβολταϊκό μοντέλο χωρίς συγκεκριμένο μοντέλο μπαταρίας, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολικό μέγεθος μπαταρίας. Τρίτον, δεν συμπεριλήφθηκε η οικονομική πτυχή, η οποία μπορεί να αυξήσει το κόστος του συστήματος.

1.4.3 Αναλυτικές μέθοδοι για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

Στις αναλυτικές μεθόδους, τα στοιχεία ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος χαρακτηρίζονται από υπολογιστικά μαθηματικά μοντέλα σε συνάρτηση με την αξιοπιστία, ώστε να προσδιοριστεί η σκοπιμότητα του συστήματος. Η απόδοση του συστήματος μπορεί να εκτιμηθεί για διαφορετικό σύνολο εφικτών μεγεθών των στοιχείων του συστήματος. Η καλύτερη διαμόρφωση του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος αξιολογείται με τη σύγκριση μεμονωμένων ή πολλαπλών δεικτών απόδοσης διαφορετικών διαμορφώσεων. Το πλεονέκτημα της αναλυτικής μεθόδου είναι ότι οι υπολογισμοί διαστασιολόγησης είναι απλοί, ενώ το μειονέκτημα είναι η δυσκολία στην εκτίμηση των συντελεστών των μαθηματικών εξισώσεων που εξαρτώνται από τη θέση [30].

Ορισμένοι από τους συγγραφείς έχουν χρησιμοποιήσει αυτή τη μέθοδο για τη διαστασιολόγηση της SAPV. Στους Markvart και συν.[36], παρουσιάστηκε μια διαδικασία διαστασιολόγησης ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος σε μια τοποθεσία στο Ηνωμένο Βασίλειο με βάση τις παρατηρούμενες χρονοσειρές της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι συγγραφείς προσδιόρισαν την καμπύλη διαστασιολόγησης χρησιμοποιώντας μια απλή

γεωμετρική κατασκευή ως υπέρθεση των επιμέρους κλιματικών κύκλων. Ωστόσο, οι εν λόγω κλιματικοί κύκλοι χωρίστηκαν σε δύο κύκλους, από τους οποίους ο πρώτος περιλαμβάνει τις ημέρες με μέση ηλιακή ακτινοβολία η οποία είναι ίση ή μεγαλύτερη από τη λαμβανόμενη συνολική μέση ηλιακή ακτινοβολία. Αντίθετα, ο δεύτερος περιλάμβανε τις ημέρες με μέση ηλιακή ακτινοβολία μικρότερη από τη συνολική μέση ηλιακή ακτινοβολία. Στη συνέχεια, η προκύπτουσα καμπύλη διαστασιολόγησης της διαμόρφωσης φωτοβολταϊκού/μπαταρίας προσαρμόζεται με μια εκθετική συνάρτηση για την οδήγηση μαθηματικών εξισώσεων που χρησιμοποιούνται για τον άμεσο υπολογισμό του μεγέθους της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Στην παρούσα εργασία, το φορτίο υποτίθεται ότι ζητείται τη νύχτα. Από την άλλη πλευρά, οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν τους ημερήσιους μέσους όρους των δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας και ζήτησης φορτίου, πράγμα που σημαίνει ότι δεν ελήφθησαν υπόψη η αβεβαιότητα της πηγής και η διακύμανση του φορτίου. Επιπλέον, δεν ελήφθη υπόψη η οικονομική πτυχή, η οποία μπορεί να έχει αντίκτυπο στα αποτελέσματα της αντιστάθμισης με παρόμοια συστήματα.

1.4.4 Εμπορικά εργαλεία λογισμικού για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

Επί του παρόντος, πολλά εργαλεία λογισμικού, όπως το Υβριδικό μοντέλο βελτιστοποίησης για ηλεκτρικές ανανεώσιμες πηγές (HOMER), η Βελτιωμένη υβριδική βελτιστοποίηση με γενετικούς αλγόριθμους (IHOGA), το Πρόγραμμα Προσομοίωσης Μεταβατικών Συστημάτων (TRNSYS), το RETScreen και το MY-PV είναι διαθέσιμα εργαλεία λογισμικού για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος [37].

Το HOMER είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο λογισμικό για τη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος και άλλων διαμορφώσεων ολοκληρωμένων συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αυτόνομη και συνδεδεμένη στο δίκτυο λειτουργία [38]. Η προσομοίωση του μοντέλου διαμόρφωσης φωτοβολταϊκών/μπαταρίας πραγματοποιείται με τη χρήση ωριαίων δεδομένων ζήτησης φορτίου και μετεωρολογικών δεδομένων με βάση το κόστος κύκλου ζωής του συστήματος. Τα δεδομένα εισόδου μπορούν να παρέχονται στο HOMER με δύο επιλογές. Στην πρώτη επιλογή, πρέπει να παρέχονται από τον χρήστη δεδομένα μηνιαίου μέσου όρου. Στη συνέχεια, μια

ενσωματωμένη λειτουργία μεταφέρει τα δεδομένα σε ωριαία δεδομένα συνθετικά με βάση μια στατιστική τεχνική. Η δεύτερη επιλογή είναι ότι ο χρήστης μπορεί να επιλέξει online ωριαία δεδομένα με βάση τις συντεταγμένες της τοποθεσίας. Το HOMER είναι ένα χρήσιμο λογισμικό που επιτρέπει στους χρήστες να συγκρίνουν πολλές διαμορφώσεις σχεδιασμού με βάση τη διαθεσιμότητα και τα οικονομικά τους πλεονεκτήματα [39]. Στην εργασία των Al-Karaghoulí και Kazmerski[40], εφαρμόζεται μελέτη με βάση το HOMER για τον υπολογισμό του μεγέθους ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος και του συνολικού κόστους κύκλου ζωής του στο νότιο Ιράκ. Η ζήτηση φορτίου θεωρήθηκε ότι είναι 31,6 kW και τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης ήταν 6 φωτοβολταϊκές μονάδες kWp, 80 μπαταρίες (225 Ah/6 V) και ένας αντιστροφέας 3 kW.

Το εργαλείο HOMER χρησιμοποιήθηκε για τη βελτιστοποίηση ενός αυτόνομου ολοκληρωμένου συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για μια απομακρυσμένη τοποθεσία στην Ινδία [41]. Στη βελτιστοποίηση χρησιμοποιήθηκε μια συνδυασμένη τεχνοοικονομική και διαχείριση της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης. Χρησιμοποιήθηκαν ωριαία μετεωρολογικά δεδομένα και δεδομένα ζήτησης φορτίου. Οι όροι LLP και περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιήθηκαν ως περιορισμοί σχεδιασμού, ενώ η NPV χρησιμοποιείται ως αντικειμενική συνάρτηση. Η μεθοδολογία διαστασιολόγησης έγινε με και χωρίς τη στρατηγική διαχείρισης ενέργειας και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν. Ως συμπέρασμα, τα αποτελέσματα διαστασιολόγησης που προέκυψαν από τη διαχείριση της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης είναι καλύτερα από τα αποτελέσματα διαστασιολόγησης που προέκυψαν χωρίς την εφαρμογή της διαχείρισης της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης.

1.4.5 Μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

Οι μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης (AI) χρησιμοποιούνται για να ξεπεραστεί η μη διαθεσιμότητα μετεωρολογικών δεδομένων για τη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος σε απομακρυσμένες περιοχές. Μπορεί να χειριστεί τη μη γραμμική διακύμανση της ηλιακής πηγής ενέργειας και μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως αλγόριθμος πρόβλεψης, όπως το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (ANN) και ο γενετικός αλγόριθμος (GA) για την πρόβλεψη των λόγων διαστασιολόγησης ενός αυτόνομου

φωτοβολταϊκού συστήματος, και αλγόριθμος αναζήτησης, όπως η ασαφής λογική (FL) και η αναζήτηση ταμπού (TS). Οι Khatib και Elmenreich [42] χρησιμοποίησαν ένα γενικό τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (GANN) για τη διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος στη Μαλαισία. Σε αυτή τη μελέτη, οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν μια αναλυτική μέθοδο για να βρουν τις αναλογίες διαστασιολόγησης για τη φωτοβολταϊκή συστοιχία και τη μπαταρία αποθήκευσης για πέντε τοποθεσίες στη Μαλαισία. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ωριαία μετεωρολογικά δεδομένα και δεδομένα ζήτησης φορτίου. Επιπλέον, η διαστασιολόγηση έγινε με βάση ένα επιθυμητό LLP και το κόστος κεφαλαίου του συστήματος [43]. Χρησιμοποιώντας αυτές τις αναλογίες διαστασιολόγησης ως εξόδους και το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος και ένα επιθυμητό LLP ως εισόδους, το GRNN εκπαιδεύτηκε κατά 70%, δοκιμάστηκε κατά 15% και επικυρώθηκε κατά 15% του συνόλου δεδομένων για την πρόβλεψη των αναλογιών διαστασιολόγησης για τη Μαλαισία. Ως αποτέλεσμα, η ακρίβεια της πρόβλεψης των αναλογιών διαστασιολόγησης ήταν σχετικά υψηλή με μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (MAPE) 0,6%. Ωστόσο, αυτό το μοντέλο μπορεί να γενικευτεί για την πρόβλεψη των αναλογιών διαστασιολόγησης για ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα σε ολόκληρη τη Μαλαισία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ BERLIN

2.1 Εισαγωγή

Πρόκειται για ένα εργαλείο διαστασιολόγησης και λειτουργίας φωτοβολταϊκών και μπαταριών που στοχεύει στην προώθηση της αυτονομίας σε κτήρια με ευέλικτα φορτία, με το ιδανικό μέγεθος των συστημάτων αποθήκευσης που θα εγκατασταθούν σε ένα κτήριο παρέχοντας ένα αποτελεσματικό χρονοδιάγραμμα για τα εύκαμπτα φορτία.

Το εργαλείο αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του έργου «Αποτελεσματική από πλευράς κόστους αποκατάσταση δημοσίων κτιρίων σε έξυπνα και ανθεκτικά νανοδίκτυα με χρήση αποθήκευσης – BERLIN» [44] , καθώς σκοπός του είναι να εφαρμόσει καινοτόμα και οικονομικά αποδοτικά ενεργειακών αποκαταστάσεων μέτρα σε δημόσια κτίρια με την ιδέα του νανοδικτύου. Το έργο έχει σαν στόχο την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια σε συνδυασμό με την αποθήκευση ενέργειας και τη διαχείριση από την πλευρά της ζήτησης, κάνοντας τα δημόσια κτίρια πιο «πράσινα».

2.2 Περιγραφή εργαλείου

Το εργαλείο υπολογίζει το κατάλληλο μέγεθος ενός φωτοβολταϊκού συστήματος και συστήματος αποθήκευσης για την επίτευξη των ακόλουθων στόχων:

- Μέγιστη αυτάρκεια
- Μέγιστη καθαρή παρούσα αξία (NPV)
- Οικονομικές λύσεις για ενισχυμένη αυτάρκεια

Οι πληροφορίες που εισάγονται σε αυτό το διαδικτυακό εργαλείο για να γίνει μία ανάλυση, η οποία παρέχει τα αποτελέσματα για τους πιθανούς συνδυασμούς, μεγέθους φωτοβολταϊκών και συστημάτων μπαταρίας στο εξεταζόμενο κτίριο είναι:

- Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
- Τοποθεσία κτιρίου
- Εύρος μεγέθους φωτοβολταϊκών και μπαταρίας
- Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας και η πολιτική που ισχύει για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην παρούσα περιοχή

Το εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιοδήποτε χρήστη, και με βάση την επιλογή του γίνεται μία ανάλυση για μία περίοδο από 5 έως 25 ετών, δεδομένου των ποικίλων τεχνικών και οικονομικών παραμέτρων.

2.3 Διαδικασία συμπλήρωσης εργαλείου

Η διαδικασία συμπλήρωσης του εργαλείου για να ληφθούν τα αποτελέσματα αποτελείται από τα 8 εξής βήματα:

1. PV system
2. Storage system
3. Consumption
4. Charges
5. Policy
6. Financial
7. Analysis
8. Results

2.3.1 PV system

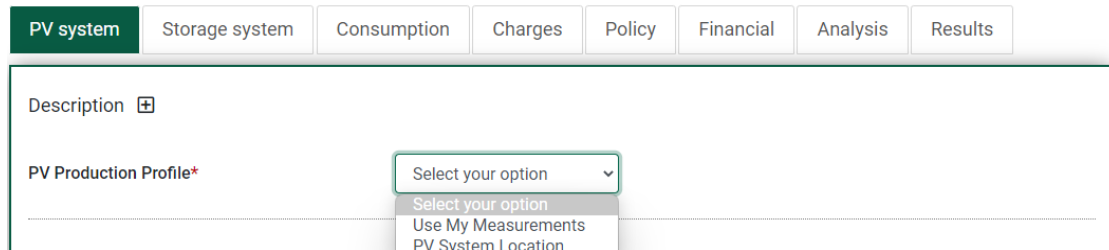
Στην καρτέλα αυτή του εργαλείου εισάγουμε τα δεδομένα του φωτοβολταϊκού συστήματος.

The screenshot shows the 'PV system' tab selected. The interface includes the following elements:

- Description** (expandable)
- PV Production Profile***: A dropdown menu with the text 'Select your option'. A red arrow labeled α points to this field.
- Parametric PV size analysis***: Radio buttons for 'Yes' (selected) and 'No'.
- Single PV size (kWp)***: A slider and an input field showing '100'. A red arrow labeled β points to this field.
- Range of PV size***: Input fields for 'Min: kWp' and 'Max: kWp'.
- PV System derating factor***: An input field with a '%' symbol.
- Hybrid Inverter Efficiency***: An input field with a '%' symbol. A red arrow labeled γ points to this field.

Εικόνα 2.1: Περιβάλλον καρτέλας δεδομένων Φ/Β συστήματος

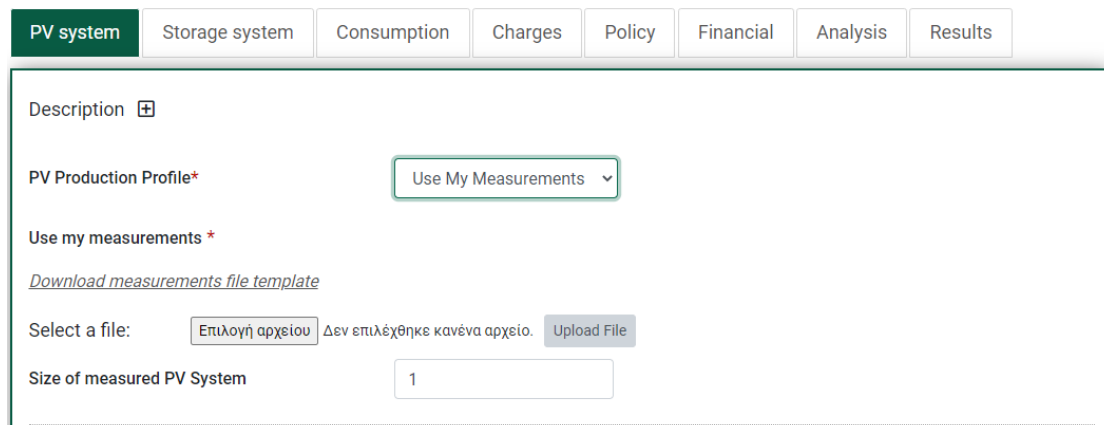
α) Σε αυτό το σημείο ο χρήστης μπορεί να επιλέξει σχετικά με το προφίλ παραγωγής των φωτοβολταϊκών ανάμεσα στις ακόλουθες επιλογές:



The screenshot shows a web interface with a navigation bar containing tabs: 'PV system', 'Storage system', 'Consumption', 'Charges', 'Policy', 'Financial', 'Analysis', and 'Results'. The 'PV system' tab is active. Below the navigation bar, there is a 'Description' field with a plus icon. The main section is titled 'PV Production Profile*' and features a dropdown menu. The dropdown menu is open, showing three options: 'Select your option', 'Use My Measurements', and 'PV System Location'. The 'Use My Measurements' option is highlighted.

Εικόνα 2.2: Επιλογή προφίλ παραγωγής

Στην περίπτωση που υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις της ισχύος των φωτοβολταϊκών μιας εγκατάστασης, χρησιμοποιώντας το πρότυπο αρχείο που διαθέτει το εργαλείο μπορεί να εισάγει τα δεδομένα σε αρχείο .xlsx . Στη συνέχεια, ο χρήστης πρέπει να εισάγει την ισχύ των φωτοβολταϊκών της μετρούμενης εγκατάστασης σε kWp.



The screenshot shows the same web interface as Figure 2.2. The 'PV Production Profile*' dropdown menu is now set to 'Use My Measurements'. Below this, there is a section titled 'Use my measurements *'. It contains a link 'Download measurements file template'. Below the link, there is a 'Select a file:' label, a button 'Επιλογή αρχείου', a text 'Δεν επιλέχθηκε κανένα αρχείο.', and a button 'Upload File'. At the bottom of this section, there is a label 'Size of measured PV System' and an input field containing the number '1'.

Εικόνα 2.3: Επιλογές για εισαγωγή μετρήσεων

Η παρακάτω εικόνα είναι το πρότυπο αρχείο που διαθέτει σαν παράδειγμα το εργαλείο, εισάγοντας την ισχύ σε kW, ανάμεσα σε χρονικό διάστημα 15 λεπτών.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Time	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
2	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	2:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	2:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	2:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	3:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	3:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	3:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	4:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	4:45	0	0	0	0	0	0,009749	0	0	0	0	0	0
22	5:00	0	0	0	0	0,018789	0,022621	0,010327	0	0	0	0	0
23	5:15	0	0	0	0	0,032497	0,034546	0,022116	0	0	0	0	0
24	5:30	0	0	0	0	0,045242	0,045536	0,032984	0,015007	0	0	0	0
25	5:45	0	0	0	0,019205	0,066868	0,060371	0,045288	0,02599	0	0	0	0
26	6:00	0	0	0	0,033309	0,09239	0,086093	0,068514	0,043193	0,009695	0	0	0
27	6:15	0	0	0,011089	0,057302	0,121039	0,113873	0,095486	0,068911	0,024975	0	0	0
28	6:30	0	0	0,029777	0,084524	0,151786	0,144452	0,125323	0,099887	0,048924	0	0	0
29	6:45	0	0	0,056851	0,114044	0,184018	0,176631	0,158803	0,13368	0,076692	0	0	0
30	7:00	0	0,01716	0,086273	0,145874	0,21686	0,210134	0,193582	0,170291	0,107482	0,016384	0	0
31	7:15	0	0,047947	0,118098	0,179172	0,250162	0,244314	0,229642	0,20814	0,141155	0,043273	0,012531	0
32	7:30	0,018846	0,080313	0,151434	0,212286	0,283393	0,278291	0,266968	0,247355	0,176236	0,074012	0,042515	0
33	7:45	0,054739	0,112541	0,185428	0,246031	0,316611	0,311114	0,304204	0,286287	0,211074	0,105438	0,069835	0,042426
34	8:00	0,087102	0,144632	0,220075	0,278772	0,348688	0,344667	0,340253	0,323984	0,246453	0,13742	0,103696	0,069505
35	8:15	0,115099	0,177435	0,252862	0,311327	0,379009	0,376711	0,377017	0,361788	0,2808	0,169991	0,133269	0,103244
36	8:30	0,143082	0,20925	0,28547	0,342267	0,408605	0,406835	0,412049	0,398366	0,314125	0,202454	0,163539	0,131876
37	8:45	0,169215	0,239237	0,316408	0,372257	0,43728	0,436014	0,445362	0,433165	0,346635	0,23393	0,192027	0,159603
38	9:00	0,194415	0,268394	0,346192	0,400271	0,463486	0,464532	0,478006	0,466479	0,376627	0,264427	0,218743	0,185483
39	9:15	0,218686	0,295613	0,373535	0,426752	0,488013	0,489886	0,507939	0,498085	0,405665	0,293155	0,244655	0,210551
40	9:30	0,240467	0,321872	0,399931	0,450953	0,510099	0,514358	0,536518	0,52725	0,43247	0,320127	0,268692	0,23304
41	9:45	0,260371	0,344847	0,422916	0,474001	0,530532	0,536451	0,562722	0,553581	0,456568	0,345554	0,291147	0,25464
42	10:00	0,279516	0,36671	0,444976	0,49374	0,548874	0,55618	0,586569	0,57794	0,478501	0,369069	0,311077	0,272689
43	10:15	0,295087	0,385342	0,463914	0,512078	0,56484	0,573561	0,608073	0,59954	0,498795	0,389515	0,329309	0,289997
44	10:30	0,30993	0,402243	0,480884	0,527958	0,578441	0,589715	0,626513	0,618807	0,515935	0,408525	0,345038	0,304754
45	10:45	0,322045	0,415588	0,494784	0,541303	0,590601	0,603833	0,643305	0,63438	0,531010	0,435651	0,358374	0,317807

Εικόνα 2.4: Πρότυπο αρχείο εισαγωγής δεδομένων

Σε άλλη περίπτωση ο χρήστης μπορεί να συμπληρώσει τις συντεταγμένες της θέσης εγκατάστασης ή να τις υποδείξει τοποθετώντας χειροκίνητα την καρφίτσα στον χάρτη. Έπειτα, θα πρέπει να προσθέσει τον προσανατολισμό των πάνελ, όπου περιλαμβάνει την κλίση και το αζιμούθιο. Το εργαλείο επικοινωνεί με την πλατφόρμα PVGIS [2] έτσι ώστε να λάβει τα κλιματικά δεδομένα για τη συγκεκριμένη τοποθεσία και να υπολογίσει την ισχύ εξόδου των φωτοβολταϊκών.

PV system
Storage system
Consumption
Charges
Policy
Financial
Analysis
Results

Description ⊕

PV Production Profile* PV System Location ▾

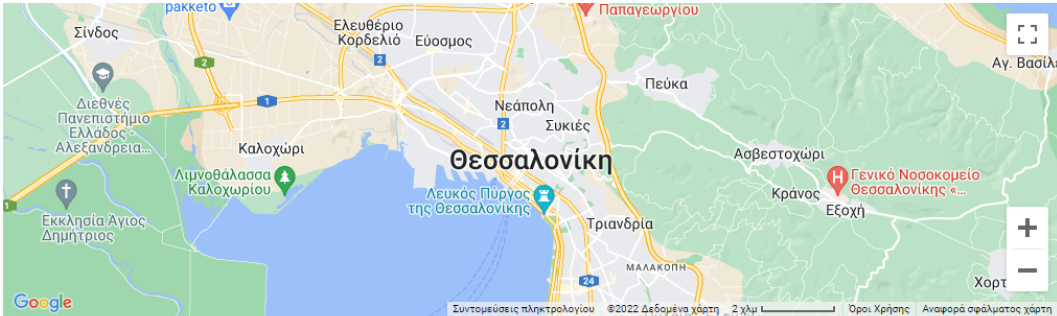
Location *

Latitude

Longitude

Address

Search



Single Slope (deg)*

Azimuth (deg)*

Εικόνα 2.5: Χάρτης επιλογής τοποθεσίας της εγκατάστασης

β) Στο σημείο αυτό ο χρήστης επιλέγει ανάμεσα από ένα εύρος ή από ένα συγκεκριμένο μέγεθος φωτοβολταϊκών.

γ) Για την ολοκλήρωση της πρώτης καρτέλας, θα πρέπει να συμπληρωθεί ο «συντελεστής μείωσης φωτοβολταϊκού συστήματος» που συνεπάγεται την μείωση ζωής των ηλιακών συλλεκτών και της απόδοσης του υβριδικού συστήματος.

2.3.2 Storage system

Οι τεχνικές παράμετροι του συστήματος αποθήκευσης μπαταρίας (BSS) ορίζεται σε αυτή την καρτέλα.

PV system	Storage system	Consumption	Charges	Policy	Financial	Analysis	Results
-----------	-----------------------	-------------	---------	--------	-----------	----------	---------

Description ⊕

Maximum BSS size for analysis*	<input type="text" value="kWh"/>	← α
<hr/>		
Usable battery capacity*	<input type="text" value="%"/>	← β
Maximum charging rate (as a rate of battery capacity) *	<input type="text" value="%"/>	← γ
Maximum discharging rate (as a rate of battery capacity) *	<input type="text" value="%"/>	← δ
Battery dc-dc roundtrip efficiency*	<input type="text" value="%"/>	← ε
Maximum lifecycles*	<input type="text" value=">=500"/>	← στ

Εικόνα 2.6: Περιβάλλον καρτέλας δεδομένων συστήματος αποθήκευσης

α) Ο χρήστης πρέπει να ορίσει το μέγιστο μέγεθος (BSS) που χρειάζεται για την ανάλυση σε kWh.

β) Ο χρήστης θα χρειαστεί να αναγράψει τη χωρητικότητα της μπαταρίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Σε περίπτωση που δεν δίνεται από τον κατασκευαστή, υπολογίζεται βάση της μέγιστης και της ελάχιστης κατάστασης λειτουργίας φόρτιση (SoC).

π.χ. Αν το εύρος λειτουργίας κυμαίνεται από 15% έως 90%, η χρησιμοποιήσιμη χωρητικότητα θα είναι ως 75%.

γ-δ) Θα πρέπει να παρέχεται ο μέγιστος ρυθμός φόρτισης και εκ-φόρτισης της ονομαστικής χωρητικότητας της μπαταρίας.

ε) Εισάγεται η απόδοσή της μπαταρίας στην πλευρά συνεχούς ρεύματος (DC), λόγω των απωλειών στη διαδικασία φόρτισης και εκ-φόρτισης του συστήματος αποθήκευσης (BSS).

στ) Συμπλήρωση των μέγιστων κύκλων ζωής, που δίνονται από τον κατασκευαστή του συστήματος αποθήκευσης (BSS).

2.3.3 Consumption

Σε αυτό το κομμάτι του εργαλείου εισάγεται η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας του υπό μελέτη κτιρίου. Αυτό μπορεί να γίνει με τρεις επιλογές, οι οποίες είναι:

α) Μηνιαία ενέργεια

β) Ετήσια ενέργεια

γ) Ημερήσια προφίλ ισχύος

Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά οι 3 μορφές.

α) Για την μηνιαία ενέργεια η καρτέλα που πρέπει να συμπληρωθεί είναι η εξής:

PV system Storage system **Consumption** Charges Policy Financial Analysis Results

Description ⊕

Available consumption data* Monthly energy ▼

Region for typical consumption profiles * Greece ▼

January	<input type="text" value="kWh"/>	February	<input type="text" value="kWh"/>
March	<input type="text" value="kWh"/>	April	<input type="text" value="kWh"/>
May	<input type="text" value="kWh"/>	June	<input type="text" value="kWh"/>
July	<input type="text" value="kWh"/>	August	<input type="text" value="kWh"/>
September	<input type="text" value="kWh"/>	October	<input type="text" value="kWh"/>
November	<input type="text" value="kWh"/>	December	<input type="text" value="kWh"/>

Εικόνα 2.7: Περιβάλλον δεδομένων εισαγωγής μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας

Ο χρήστης επιλέγει τη χώρα στην οποία θα γίνει η μελέτη και εισάγει την κατανάλωση ενέργειας σε kWh για κάθε μήνα ενός χρόνου.

β) Για την ετήσια ενέργεια η καρτέλα που πρέπει να συμπληρωθεί είναι η εξής:

PV system Storage system **Consumption** Charges Policy Financial Analysis Results

Description ⊕

Available consumption data* Annual energy

Typical Country Consumption* Greece

Yearly* kWh

Εικόνα 2.8: Περιβάλλον δεδομένων εισαγωγής ετήσιας κατανάλωσης

Ο χρήστης επιλέγει την χώρα στην οποία θα γίνει η μελέτη και εισάγει την συνολική κατανάλωση ενός έτους σε kWh.

γ) Για το ημερήσιο προφίλ ισχύος η καρτέλα που εμφανίζεται είναι η εξής:

PV system Storage system **Consumption** Charges Policy Financial Analysis Results

Description ⊕

Available consumption data* Daily power profiles

[Download consumption file template](#)

Select a file: Επιλογή αρχείου Δεν επιλέχθη... κανένα αρχείο. Upload File

Εικόνα 2.9: Περιβάλλον δεδομένων εισαγωγής καθημερινής κατανάλωσης

Το εργαλείο παρέχει πρότυπο αρχείο όπου ο χρήστης μπορεί να κατεβάσει, έτσι ώστε να συμπληρώσει τη δική του ημερήσια κατανάλωση ανά μήνα. Η ισχύς θα εισάγεται σε kW, λαμβάνοντας υπόψιν ένα χρονικό διάστημα 15 λεπτών. Επιπρόσθετα, θα πρέπει η κατανάλωση να εισαχθεί σε συγκεκριμένες στήλες ανά μήνα, δεδομένου των εργασιμων και μη ημερών.

Η επόμενη εικόνα είναι μία επισκόπηση του πρότυπου αρχείου σε μορφή .csv.

Time	Instar	Time	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December											
			W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW											
1	000	0.821277	0.898479	0.798084	0.759603	0.687991	0.751013	0.533072	0.568152	0.428518	0.466787	0.40296	0.364253	0.45815	0.532315	0.576348	0.5414	0.580354	0.658113	0.859998	0.744686	0.704881	0.737678	1.011909	0.957005
2	015	0.821277	0.898479	0.798084	0.759603	0.687991	0.751013	0.533072	0.568152	0.428518	0.466787	0.40296	0.364253	0.45815	0.532315	0.576348	0.5414	0.580354	0.658113	0.859998	0.744686	0.704881	0.737678	1.011909	0.957005
3	030	0.821277	0.898479	0.798084	0.759603	0.687991	0.751013	0.533072	0.568152	0.428518	0.466787	0.40296	0.364253	0.45815	0.532315	0.576348	0.5414	0.580354	0.658113	0.859998	0.744686	0.704881	0.737678	1.011909	0.957005
4	045	0.821277	0.898479	0.798084	0.759603	0.687991	0.751013	0.533072	0.568152	0.428518	0.466787	0.40296	0.364253	0.45815	0.532315	0.576348	0.5414	0.580354	0.658113	0.859998	0.744686	0.704881	0.737678	1.011909	0.957005
5	100	0.635964	0.71306	0.649225	0.674496	0.573084	0.688369	0.45227	0.472126	0.325582	0.387531	0.407821	0.36568	0.495214	0.586997	0.690773	0.789178	0.492735	0.587279	0.587111	0.556718	0.521811	0.552534	0.750203	0.781587
6	115	0.635964	0.71306	0.649225	0.674496	0.573084	0.688369	0.45227	0.472126	0.325582	0.387531	0.407821	0.36568	0.495214	0.586997	0.690773	0.789178	0.492735	0.587279	0.587111	0.556718	0.521811	0.552534	0.750203	0.781587
7	130	0.635964	0.71306	0.649225	0.674496	0.573084	0.688369	0.45227	0.472126	0.325582	0.387531	0.407821	0.36568	0.495214	0.586997	0.690773	0.789178	0.492735	0.587279	0.587111	0.556718	0.521811	0.552534	0.750203	0.781587
8	145	0.635964	0.71306	0.649225	0.674496	0.573084	0.688369	0.45227	0.472126	0.325582	0.387531	0.407821	0.36568	0.495214	0.586997	0.690773	0.789178	0.492735	0.587279	0.587111	0.556718	0.521811	0.552534	0.750203	0.781587
9	200	0.531832	0.651138	0.575362	0.606672	0.552996	0.641945	0.456888	0.4387	0.281569	0.326869	0.460797	0.375741	0.528073	0.654645	0.785349	0.981204	0.475248	0.592331	0.578435	0.539413	0.480053	0.477643	0.699615	0.7102
10	215	0.531832	0.651138	0.575362	0.606672	0.552996	0.641945	0.456888	0.4387	0.281569	0.326869	0.460797	0.375741	0.528073	0.654645	0.785349	0.981204	0.475248	0.592331	0.578435	0.539413	0.480053	0.477643	0.699615	0.7102
11	230	0.531832	0.651138	0.575362	0.606672	0.552996	0.641945	0.456888	0.4387	0.281569	0.326869	0.460797	0.375741	0.528073	0.654645	0.785349	0.981204	0.475248	0.592331	0.578435	0.539413	0.480053	0.477643	0.699615	0.7102
12	245	0.531832	0.651138	0.575362	0.606672	0.552996	0.641945	0.456888	0.4387	0.281569	0.326869	0.460797	0.375741	0.528073	0.654645	0.785349	0.981204	0.475248	0.592331	0.578435	0.539413	0.480053	0.477643	0.699615	0.7102
13	300	0.555655	0.681221	0.55978	0.696747	0.605921	0.651547	0.500738	0.398841	0.258976	0.316962	0.377633	0.352836	0.534805	0.597102	0.797229	1.047575	0.434375	0.497282	0.544991	0.441084	0.507571	0.567827	0.773576	0.739235
14	315	0.555655	0.681221	0.55978	0.696747	0.605921	0.651547	0.500738	0.398841	0.258976	0.316962	0.377633	0.352836	0.534805	0.597102	0.797229	1.047575	0.434375	0.497282	0.544991	0.441084	0.507571	0.567827	0.773576	0.739235
15	330	0.555655	0.681221	0.55978	0.696747	0.605921	0.651547	0.500738	0.398841	0.258976	0.316962	0.377633	0.352836	0.534805	0.597102	0.797229	1.047575	0.434375	0.497282	0.544991	0.441084	0.507571	0.567827	0.773576	0.739235
16	345	0.555655	0.681221	0.55978	0.696747	0.605921	0.651547	0.500738	0.398841	0.258976	0.316962	0.377633	0.352836	0.534805	0.597102	0.797229	1.047575	0.434375	0.497282	0.544991	0.441084	0.507571	0.567827	0.773576	0.739235
17	400	0.579521	0.648703	0.588838	0.611102	0.617685	0.630256	0.456759	0.409129	0.251805	0.315191	0.348786	0.310452	0.51773	0.55946	0.7666	0.937635	0.397001	0.455587	0.495963	0.399907	0.484251	0.550055	0.716589	0.768394
18	415	0.579521	0.648703	0.588838	0.611102	0.617685	0.630256	0.456759	0.409129	0.251805	0.315191	0.348786	0.310452	0.51773	0.55946	0.7666	0.937635	0.397001	0.455587	0.495963	0.399907	0.484251	0.550055	0.716589	0.768394
19	430	0.579521	0.648703	0.588838	0.611102	0.617685	0.630256	0.456759	0.409129	0.251805	0.315191	0.348786	0.310452	0.51773	0.55946	0.7666	0.937635	0.397001	0.455587	0.495963	0.399907	0.484251	0.550055	0.716589	0.768394
20	445	0.579521	0.648703	0.588838	0.611102	0.617685	0.630256	0.456759	0.409129	0.251805	0.315191	0.348786	0.310452	0.51773	0.55946	0.7666	0.937635	0.397001	0.455587	0.495963	0.399907	0.484251	0.550055	0.716589	0.768394
21	500	0.617595	0.655103	0.653448	0.580337	0.727778	0.627212	0.503509	0.488202	0.249603	0.292534	0.377734	0.296731	0.515301	0.499415	0.795861	0.800253	0.431296	0.436156	0.448679	0.430059	0.500161	0.527873	0.781961	0.793142
22	515	0.617595	0.655103	0.653448	0.580337	0.727778	0.627212	0.503509	0.488202	0.249603	0.292534	0.377734	0.296731	0.515301	0.499415	0.795861	0.800253	0.431296	0.436156	0.448679	0.430059	0.500161	0.527873	0.781961	0.793142
23	530	0.617595	0.655103	0.653448	0.580337	0.727778	0.627212	0.503509	0.488202	0.249603	0.292534	0.377734	0.296731	0.515301	0.499415	0.795861	0.800253	0.431296	0.436156	0.448679	0.430059	0.500161	0.527873	0.781961	0.793142
24	545	0.617595	0.655103	0.653448	0.580337	0.727778	0.627212	0.503509	0.488202	0.249603	0.292534	0.377734	0.296731	0.515301	0.499415	0.795861	0.800253	0.431296	0.436156	0.448679	0.430059	0.500161	0.527873	0.781961	0.793142
25	600	0.788979	0.703986	0.851835	0.714329	0.965835	0.680231	0.715487	0.582028	0.274116	0.31632	0.436128	0.379458	0.509418	0.427678	0.762018	0.758727	0.41611	0.489441	0.503648	0.431744	0.561683	0.600313	0.911351	0.841041
26	615	0.788979	0.703986	0.851835	0.714329	0.965835	0.680231	0.715487	0.582028	0.274116	0.31632	0.436128	0.379458	0.509418	0.427678	0.762018	0.758727	0.41611	0.489441	0.503648	0.431744	0.561683	0.600313	0.911351	0.841041
27	630	0.788979	0.703986	0.851835	0.714329	0.965835	0.680231	0.715487	0.582028	0.274116	0.31632	0.436128	0.379458	0.509418	0.427678	0.762018	0.758727	0.41611	0.489441	0.503648	0.431744	0.561683	0.600313	0.911351	0.841041
28	645	0.788979	0.703986	0.851835	0.714329	0.965835	0.680231	0.715487	0.582028	0.274116	0.31632	0.436128	0.379458	0.509418	0.427678	0.762018	0.758727	0.41611	0.489441	0.503648	0.431744	0.561683	0.600313	0.911351	0.841041
29	700	0.92676	0.680702	1.079229	0.801129	1.063107	0.780349	0.883215	0.784652	0.403473	0.44201	0.586223	0.498126	0.557027	0.497215	0.711174	0.678582	0.467657	0.474046	0.649745	0.590645	0.759827	0.700966	0.966256	0.920944
30	715	0.92676	0.680702	1.079229	0.801129	1.063107	0.780349	0.883215	0.784652	0.403473	0.44201	0.586223	0.498126	0.557027	0.497215	0.711174	0.678582	0.467657	0.474046	0.649745	0.590645	0.759827	0.700966	0.966256	0.920944
31	730	0.92676	0.680702	1.079229	0.801129	1.063107	0.780349	0.883215	0.784652	0.403473	0.44201	0.586223	0.498126	0.557027	0.497215	0.711174	0.678582	0.467657	0.474046	0.649745	0.590645	0.759827	0.700966	0.966256	0.920944
32	745	0.92676	0.680702	1.079229	0.801129	1.063107	0.780349	0.883215	0.784652	0.403473	0.44201	0.586223	0.498126	0.557027	0.497215	0.711174	0.678582	0.467657	0.474046	0.649745	0.590645	0.759827	0.700966	0.966256	0.920944
33	800	0.987681	1.07578	1.060633	0.950537	1.065449	0.918249	1.054723	0.750009	0.504951	0.579535	0.900515	0.491801	0.675057	0.930365	0.719043	0.421265	0.514112	0.631397	0.783808	0.895961	0.831164	0.992184	1.037378	1.08117
34	815	0.987681	1.07578	1.060633	0.950537	1.065449	0.918249	1.054723	0.750009	0.504951	0.579535	0.900515	0.491801	0.675057	0.930365	0.719043	0.421265	0.514112	0.631397						

Για κάθε χρονική ζώνη ο χρήστης μπορεί να εισάγει σε ποσοστό (%) την ενέργεια που καταναλώνει το φορτίο του και να την μετατοπίσει στη ζώνη παραγωγής του φωτοβολταϊκού.

2.3.4 Charges

Η καρτέλα αυτή σχετίζεται με το μηχανισμό χρέωσης της εταιρείας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο χρήστης εισάγει το κόστος για την απορροφούμενη ηλεκτρική ενέργεια όπου μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε δύο μηχανισμούς:

α) Flat Pricing

β) Zonal Pricing

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να καταχωρηθούν:

- Οι χρεώσεις παραγωγής σε €/kWh που αντιστοιχούν για να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια.
- Οι χρεώσεις δικτύου σε €/kWh που αντιστοιχούν στον προμηθευτή για τη χρήση και τη μεταφορά του δικτύου.
- Οι φόροι ηλεκτρικής ενέργειας σε €/kWh που περιλαμβάνουν τις υπόλοιπες χρεώσεις απορροφούμενης ενέργειας.
- Ο ΦΠΑ που ισχύει για το συνολικό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας.

Field	Unit
Production charges*	€/kWh
Network charges*	€/kWh
Taxes on electrical energy*	€/kWh
VAT*	%

Εικόνα 2.12: Περιβάλλον δεδομένων εισαγωγής πάροχου ηλεκτρικής ενέργειας

α) Η επιλογή Flat Pricing είναι ένα είδος ενιαίας τιμολόγησης, δηλαδή μία σταθερή χρέωση καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.

β) Η επιλογή Zonal Pricing καθορίζει αν υπάρχουν δύο ή τρεις ζώνες χρέωσης. Ο χρήστης ξεκινώντας από την Ζώνη Α θα πρέπει να δηλώνει με αύξουσα σειρά την ώρα έναρξης κάθε ζώνης.

The screenshot shows the 'Charges' configuration screen. At the top, there are tabs for 'PV system', 'Storage system', 'Consumption', 'Charges' (selected), 'Policy', 'Financial', 'Analysis', and 'Results'. Below the tabs, there is a 'Description' field. Two radio buttons are present: 'Flat Pricing' (unselected) and 'Zonal Pricing' (selected). A table follows with three columns: 'Zone A', 'Zone B', and 'Zone C'. The rows in the table are: 'Beginning Time' (with dropdown menus), 'Production charges' (€/kWh), 'Network charges' (€/kWh), and 'Taxes on electrical energy' (€/kWh). Below the table is a 'VAT' field with a percentage sign.

Εικόνα 2.13: Εισαγωγή δεδομένων για ζωνική τιμολόγηση

2.3.5 Policy

Ανάλογα με την περιοχή που βρίσκεται η εγκατάσταση, το κράτος παρέχει μία πολιτική κινήτρων για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάμεσα από δύο τακτικές:

- α)** Self-Consumption (Αυτοκατανάλωση)
- β)** Pure Self-Consumption (Καθαρή Αυτοκατανάλωση)

The screenshot shows the 'Policy' configuration screen. At the top, there are tabs for 'PV system', 'Storage system', 'Consumption', 'Charges', 'Policy' (selected), 'Financial', 'Analysis', and 'Results'. Below the tabs, there is a 'Description' field. A dropdown menu labeled 'Select Policy*' is open, showing two options: 'Self-Consumption' (highlighted) and 'Pure Self-Consumption'. Below the dropdown is a label 'Added cost for owning a PV system*'.

Εικόνα 2.14: Περιβάλλον επιλογής τακτικής

Αναλυτικότερα, η **Καθαρή Αυτοκατανάλωση** βασίζεται σε κίνητρα που δίνονται στους αγοραστές και ανταμείβονται από το κράτος, λόγω της κατανάλωσης ενέργειας από

τα ίδια τα φωτοβολταϊκά τους. Η **Αυτοκατανάλωση** βασίζεται στα ίδια κίνητρα αλλά επιπλέον περιέχει την αποζημίωση για την πλεονάζουσα ενέργεια που παράγουν οι ΑΠΕ και εγχέεται στο δίκτυο.

PV system	Storage system	Consumption	Charges	Policy	Financial	Analysis	Results
-----------	----------------	-------------	---------	---------------	-----------	----------	---------

Description ⊕

Select Policy*

Added cost for owning a PV system*

Added income to incentivize PV+BESS+DSM solution *

Compensation for PV energy injected to the grid *

Εικόνα 2.15: Περιβάλλον δεδομένων εισαγωγής ιδιοκατανάλωσης

Αφού γίνει η επιλογή της τακτικής, ο χρήστης χρειάζεται να συμπληρώσει:

- το **πρόσθετο κόστος** για την ιδιοκτησία του φωτοβολταϊκού συστήματος
- το **πρόσθετο εισόδημα** που μπορεί να ισχύει για τους προμηθευτές για την λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος ή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος σε συνδυασμό με σύστημα αποθήκευσης ενέργειας μπαταρίας και προγράμματος διαχείρισης της πλευράς ζήτησης
- την **αποζημίωση** της πλεονάζουσας φωτοβολταϊκής ενέργειας που εγχέεται στο δίκτυο

2.3.6 Financial

Σε αυτό το στάδιο εισάγονται οικονομικοί παράμετροι που απαιτούνται για την ανάλυση.

PV system	Storage system	Consumption	Charges	Policy	Financial	Analysis	Results
-----------	----------------	-------------	---------	--------	------------------	----------	---------

Description ⊕

Investment cost for PV and hybrid inverter*

Investment cost for BSS*

BSS annual cost decrease*

Operation & Maintenance costs (% of the investment cost) * [0 – 20]

Subsidy for investment (% of the investment cost) * [0 – 100]

Discount rate (%)* [-50 – 50]

Inflation rate (%)* [-50 – 50]

Electricity costs inflation rate (%)* [-50 – 50]

Εικόνα 2.16: Περιβάλλον εισαγωγής οικονομικών παραμέτρων

Τα οικονομικά δεδομένα που πρέπει να εισαχθούν είναι:

- το **κόστος επένδυσης** για τα **φωτοβολταϊκά** και τον υβριδικό μετατροπέα (περιλαμβάνοντας και τον μηχανολογικό εξοπλισμό), ανά εγκατεστημένο kWp
- το **κόστος επένδυσης** για το **σύστημα αποθήκευσης μπαταρίας** (περιλαμβάνοντας και τον ελεγκτή φόρτισης της μπαταρίας), ανά kWh
- την **ετήσια μείωση του κόστους** του συστήματος αποθήκευσης μπαταρίας
- το **κόστος λειτουργίας και συντήρησης** του υβριδικού συστήματος αποθήκευσης φωτοβολταϊκών (% του κόστους επένδυσης)
- την **επιδότηση επένδυσης** (ως ποσοστό του συνολικού κόστους του συστήματος)
- το **ποσοστό έκπτωσης**
- το **ποσοστό του ρυθμού πληθωρισμού**
- το **ποσοστό πληθωρισμού** κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας

2.3.7 Analysis

Εφόσον έχει ολοκληρωθεί η συμπλήρωση όλων των τεχνικών και οικονομικών στοιχείων στις προηγούμενες καρτέλες του διαδικτυακού εργαλείου, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει ανάμεσα από τους πέντε διαθέσιμους τύπους ανάλυσης που διαθέτει το εργαλείο. Η επιλογή γίνεται με βάση τον επιθυμητό στόχο του χρήστη.

PV system	Storage system	Consumption	Charges	Policy	Financial	Analysis	Results
-----------	----------------	-------------	---------	--------	-----------	-----------------	---------

Description +

Analysis target for the sizing of PV+BESS+DSM *

- Examination of 9 PV and BESS size combinations
- Exhaustive examination of possible PV and BESS size combinations
- Optimal PV and BESS size combination for maximum net-present value (NPV)
- Optimal PV and BESS size combination for maximum self-sufficiency
- Cost-effective PV and BESS size combinations: trade-off between NPV and self-sufficiency

Analysis period*

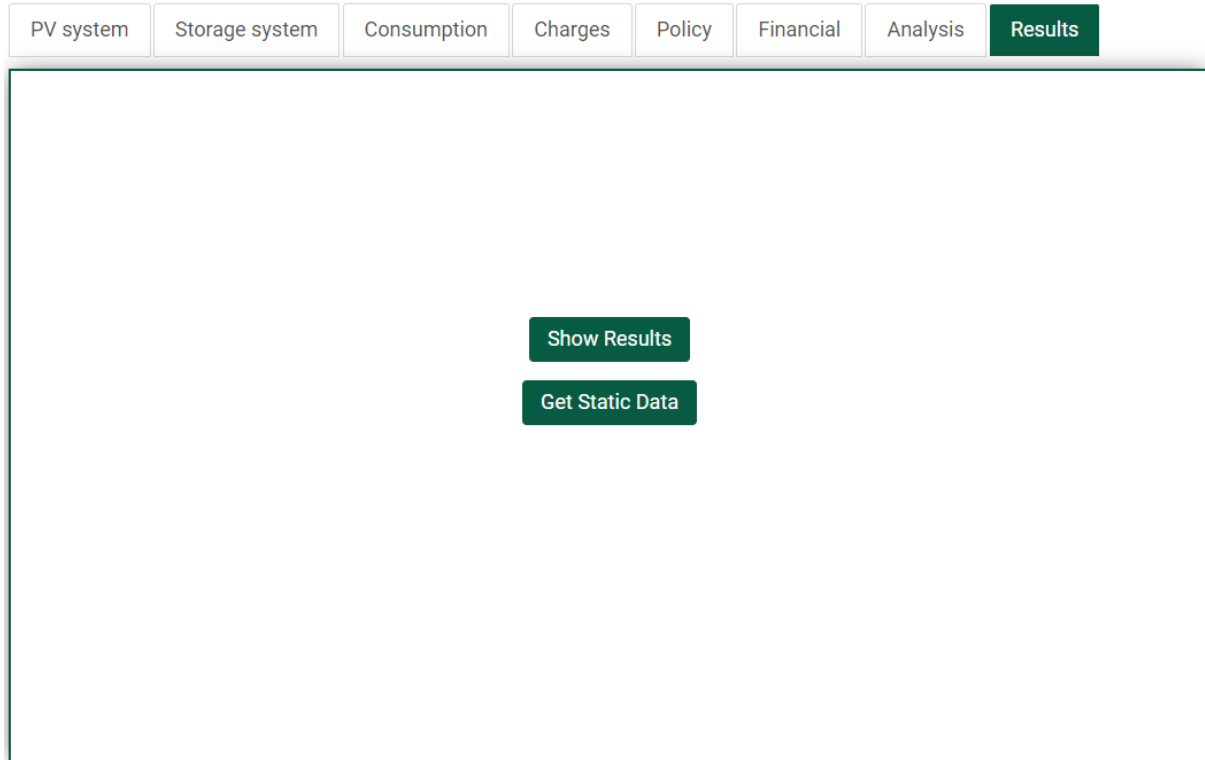
Εικόνα 2.17: Περιβάλλον επιλογής της ανάλυσης

Αναλυτικότερα οι διαθέσιμοι μέθοδοι ανάλυσης είναι οι εξής:

- Η πρώτη μέθοδος ανάλυσης παρέχει **9 συνδυασμούς μεγέθους** φωτοβολταϊκών και μπαταρίας για το υπό μελέτη κτίριο. Η επιλογή αυτή λειτουργεί σαν μια γρήγορη παρατήρηση της ενεργειακής και οικονομικής απόδοσης των συστημάτων εγκατάστασης.
- Η δεύτερη μέθοδος ανάλυσης δεν είναι τόσο γρήγορη και απλή σαν τις υπόλοιπες διότι **εξαντλεί κάθε πιθανό συνδυασμό** μεγέθους φωτοβολταϊκών και μπαταρίας για καλύτερα αποτελέσματα και είναι ιδανική μέθοδος σε περιπτώσεις ερευνών.
- Η τρίτη μέθοδος έχει σαν αποτέλεσμα **μια μοναδική λύση** η οποία βασίζεται στον βέλτιστο συνδυασμό φωτοβολταϊκών και συστήματος αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες λαμβάνοντας υπόψη τη βέλτιστη **καθαρή παρούσα αξία (NPV)**.
- Η τέταρτη μέθοδος ανάλυσης παρέχει και αυτή μια λύση συνδυάζοντας την ιδανικότερη επιλογή φωτοβολταϊκών και συστήματος αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες ώστε να πετύχει την **μέγιστη αυτάρκεια**.
- Η πέμπτη και τελευταία μέθοδος παρέχει ένα σύνολο αποδοτικών από θέμα κόστους συνδυασμών φωτοβολταϊκών και συστήματος αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες, αντισταθμίζοντας την κατάσταση μεταξύ μιας **βέλτιστης Καθαρής Παρούσας Αξίας** και ενός **εξαιρετικά αυτόνομου** κτιρίου.

2.3.8 Results

Τελευταίο βήμα είναι το αποτέλεσμα της ανάλυσης και ξεκινάει με επιλογή του κουμπιού «Show Results».



Εικόνα 2.18: Περιβάλλον αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα θα εμφανιστούν μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία της ανάλυσης και ανάλογα με την επιλογή της ανάλυσης που έχει κάνει ο χρήστης θα διαρκέσει τα ανάλογα λεπτά.

Σε περίπτωση που έχει γίνει κάποιο λάθος στην εγκυρότητα των δεδομένων ή στη συμπλήρωση τους, θα εμφανιστεί ένα μήνυμα σφάλματος και θα ενημερώνει τον χρήστη για τις αντίστοιχες διορθώσεις.

Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να εξάγει τα αποτελέσματα σε μορφή αρχείου .pdf ή .xlsx.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ BERLIN

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί και θα εξεταστεί μια πραγματική περίπτωση κατανάλωσης ενέργειας ενός κτιρίου, που θα χρησιμοποιεί φωτοβολταϊκό σύστημα και σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες, έτσι ώστε να αποδειχθεί ποια θα είναι η βέλτιστη επιλογή χωρητικότητας των μπαταριών.

Στη περίπτωση εξέτασης θα αναλυθούν δύο κατηγορίες σεναρίων οι οποίες θα είναι:

α) Η αλλαγή της τιμής χρέωσης για την κατανάλωση ενέργειας (kWh)

β) Ότι ισχύει στη πρώτη κατηγορία αλλά με την προσθήκη της επιλογής της διαχείρισης από πλευρά ζήτησης (DSN) για την ευελιξία κατανάλωσης του κτιρίου.

3.2 Συμπλήρωση στοιχείων της εγκατάστασης

Το εξεταζόμενο κτίριο βρίσκεται στην περιοχή της Κοζάνης. Παρακάτω παρουσιάζονται τα τεχνικά και οικονομικά δεδομένα που εισήχθησαν στο εργαλείο.

INPUT PARAMETER	VALUE
Single PV size	6 kWp
PV system derating factor	0.2%
Hybrid Inverter Efficiency	95%
Maximum BSS size for analysis	10 kWh
Usable battery capacity	90%
Maximum charging rate	67%
Maximum discharging rate	67%
Battery dc-dc roundtrip efficiency	80%
Maximum lifecycles	8000
Production charges	0.1-0.7€/kWh

Network charges	0€/kWh
Taxes on electrical energy	0€/kWh
VAT	0%
Added cost for owning a PV system	0€/year
Added income to incentivize PV+BESS+DSM solution	0€/year
Compensation for PV energy injected to the grid	0.087€/kWh
Investment cost for PV and hybrid inverter	715€/kWh
Investment cost for BSS	550€/kWh
BSS annual cost decrease	8%/year
Operation & Maintenance costs	4%
Subsidy for investment	0%
Discount rate	4%
Inflation rate	8%
Electricity costs inflation rate	0%

Πίνακας 1: Εισαγωγή δεδομένων της εγκατάστασης

Επιπλέον, εισήχθησαν:

- η θέση του φωτοβολταϊκού συστήματος ανάλογα με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της τοποθεσίας (N. Κοζάνης)
- αρχείο .xlsx με το προφίλ καθημερινής κατανάλωσης ισχύος της εγκατάστασης.

Στη περίπτωση της δεύτερης κατηγορίας σεναρίων ενεργοποιήθηκε επιπλέον η επιλογή της ευελιξίας κατανάλωσης του κτιρίου για την μεταφορά φορτίου σε χρονική ζώνη όπου θα παρήγαγε ενέργεια το φωτοβολταϊκό σύστημα (διαχείριση από πλευράς ζήτησης).

Τα δεδομένα που εισήχθησαν εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Time zone	00:00 – 08:00	16:00 – 24:00
Winter	10%	10%
Spring	10%	10%
Summer	10%	10%
Autumn	10%	10%

Πίνακας 2: Εισαγωγή δεδομένων ευελιξίας

Η μέθοδος ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε και στις δύο περιπτώσεις είναι η δεύτερη μέθοδος που αναφέρεται στο προηγούμενο κεφάλαιο, η οποία εξετάζει όλους τους πιθανούς συνδυασμούς συστήματος φωτοβολταϊκών και μπαταρίας με βάση τους δείκτες SCR, SSR, NPV.

Η χρονική περίοδος ανάλυσης ορίστηκε στα 20 χρόνια.

3.3 Αποτελέσματα ανάλυσης

Συμπληρώθηκαν επιτυχώς οι καρτέλες του εργαλείου με τα δεδομένα της εγκατάστασης και η ανάλυση που επιλέχθηκε έφερε τα αποτελέσματα των δύο κατηγοριών σεναρίων που εξετάστηκαν. Στη συνέχεια αναλύονται τα αποτελέσματα για κάθε κατηγορία ξεχωριστά, λαμβάνοντας υπόψη τους δείκτες SCR, SSR και NPV σε σχέση με την χωρητικότητα των μπαταριών.

3.3.1 Αποτελέσματα 1^{ης} κατηγορίας σεναρίων

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει 7 σενάρια στα οποία η μοναδική αλλαγή στα στοιχεία εισόδου που έγινε είναι στη τιμή της χρέωσης της κιλοβατώρας, όπου οι τιμές που πήρε ήταν από 0,1 €/kWh έως 0,7 €/kWh με αύξηση της τιμής ανά 0,1 €/kWh για το κάθε σενάριο.

Τα αποτελέσματα αυτής της κατηγορίας παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα:

BSS size	0.00	1.10	2.20	3.30	4.40	5.60	6.70	7.80	8.90	10.00
SCR (%)	29.70	32.51	35.31	38.11	40.91	43.71	46.13	48.31	50.41	52.39
SSR (%)	46.94	51.37	55.79	60.22	64.65	69.07	72.90	76.34	79.66	82.79
Τιμή 0.1 €/kWh										
NPV (€)	3890.54	2553.69	1216.84	-120.00	-1456.83	-2793.67	-4125.52	-5454.15	-6781.75	-8107.78
Τιμή 0.2 €/kWh										
NPV (€)	8359.56	7444.32	6525.97	5613.62	4698.28	3782.70	2815.74	1814.71	803.07	-225.02
Τιμή 0.3 €/kWh										
NPV (€)	12828.59	12334.98	11841.10	11347.25	10853.39	10359.02	9756.95	9083.50	8387.80	7657.64
Τιμή 0.4 €/kWh										
NPV (€)	17297.64	17225.62	17153.21	17080.90	17008.51	16935.42	16698.24	16352.37	15972.64	15540.39
Τιμή 0.5 €/kWh										
NPV (€)	21766.70	22116.29	22465.42	22814.54	23163.63	23511.71	23639.43	23621.14	23557.38	23423.10
Τιμή 0.6 €/kWh										
NPV (€)	26235.70	27006.95	27777.54	28548.16	29318.76	30088.06	30580.73	30890.05	31142.22	31305.83
Τιμή 0.7 €/kWh										
NPV (€)	30704.72	31897.51	33089.65	34281.79	35473.95	36664.47	37522.08	38159.00	38727.20	39188.77

Πίνακας 3: Ανάλυση σεναρίων 1ης κατηγορίας

Στη συγκεκριμένη κατηγορία διαπιστώνεται πως οι δείκτες ιδιοκατανάλωσης (SCR) και αυτάρκειας (SSR) αυξάνονται όσο μεγαλώνει το μέγεθος της χωρητικότητας των μπαταριών. Αντίθετα, όσο αυξάνεται η χωρητικότητα της μπαταρίας μπορεί η επένδυση να μην είναι συμφέρουσα όπως παρατηρείται στο σενάριο με την τιμή χρέωσης της κιλοβατώρας στα 0,1 €/kWh, ενώ στο σενάριο με την τιμή χρέωσης της κιλοβατώρας στα 0,7 €/kWh η αγορά των μπαταριών παρόλο που είναι πιο ακριβή, δείχνει να είναι συμφέρουσα.

Άρα, όταν η τιμή χρέωσης της κιλοβατώρας είναι χαμηλή πρέπει να γίνει αγορά μικρότερης χωρητικότητας μπαταριών, διότι η συμφέρουσα λύση είναι η αγορά ενέργειας από το δίκτυο.

3.3.2 Αποτελέσματα 2^{ης} κατηγορίας σεναρίων

Στην κατηγορία αυτή όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ακολουθήθηκε η ίδια τακτική αλλαγής της τιμής χρέωσης της κιλοβατώρας (0,1 €/kWh - 0,7 €/kWh), ενώ επιπλέον προστέθηκε η ευελιξία για την κατανάλωση του φορτίου, η οποία μετατοπίζει το ποσό κατανάλωσης του φορτίου από τις χρονικές ζώνες (00:00 – 08:00 , 16:00 – 24:00) όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα δεν παράγει ή παράγει ελάχιστη ενέργεια, σε ώρες που οι συνθήκες του επιτρέπουν να παράγει.

BSS size	0.00	1.10	2.20	3.30	4.40	5.60	6.70	7.80	8.90	10.00
SCR (%)	33.29	36.09	38.89	41.69	44.49	47.13	49.36	51.46	53.39	54.95
SSR (%)	52.60	57.03	61.45	65.88	70.31	74.47	78.00	81.32	84.36	86.82
Τιμή 0.1 €/kWh										
NPV (€)	3960.27	2623.43	1286.58	-50.25	-1387.08	-2721.73	-4051.06	-5378.69	-6703.95	-8024.43
Τιμή 0.2 €/kWh										
NPV (€)	8969.32	8053.10	7137.75	6222.33	5306.94	4368.82	3375.16	2363.82	1327.83	241.91
Τιμή 0.3 €/kWh										
NPV (€)	13976.17	13482.52	12988.66	12494.81	12000.97	11459.40	10801.41	10106.37	9359.67	8508.38
Τιμή 0.4 €/kWh										
NPV (€)	18984.15	18912.07	18839.68	18767.35	18695.02	18550.05	18227.75	17849.03	17391.65	16774.97
Τιμή 0.5 €/kWh										
NPV (€)	23992.21	24341.76	24690.91	25040.06	25389.16	25640.71	25654.04	25591.59	25423.46	25041.33
Τιμή 0.6 €/kWh										
NPV (€)	29000.06	29771.20	30541.82	31312.45	32083.09	32731.20	33080.23	33334.09	33455.22	33307.72
Τιμή 0.7 €/kWh										
NPV (€)	34008.10	35200.82	36392.98	37585.08	38777.24	39821.89	40506.61	41076.83	41487.28	41574.36

Πίνακας 4: Ανάλυση σεναρίων 2ης κατηγορίας

Και σε αυτήν την περίπτωση οι δείκτες ιδιοκατανάλωσης (SCR) και αυτάρκειας (SSR) αυξάνονται σε σχέση με την χωρητικότητα των μπαταριών. Επίσης, όσο αυξάνεται η τιμή της κιλοβατώρας θα συμφέρει η επένδυση για μεγαλύτερο μέγεθος μπαταριών.

Σύμφωνα με την Καθαρή Παρούσα Αξία στην πρώτη κατηγορία σεναρίων, όταν η τιμή της κιλοβατώρας ήταν στα 0,7 €/kWh, η πιο κερδοφόρα επένδυση ήταν αυτή με χωρητικότητα μπαταριών 10 kWh και τιμή 39188.77 € (βλ. Πίνακας 3). Στη δεύτερη κατηγορία σεναρίων, για την ίδια τιμή κιλοβατώρας και παρόμοια Καθαρή Παρούσα Αξία 39821,89€ (βλ. Πίνακας 4) παρατηρείται πως η τιμή αντιστοιχεί σε μικρότερη χωρητικότητα μπαταριών με μέγεθος 5.6 kWh. Άρα, για το ίδιο κέρδος Καθαρής Παρούσας Αξίας θα χρειαστεί μικρότερη μπαταρία. Επιπλέον, μεταξύ των δύο κατηγοριών για την ίδια τιμή χωρητικότητας της μπαταρίας το κέρδος είναι υψηλότερο στην δεύτερη κατηγορία.

3.3.3 Συμπεράσματα

Και οι δύο κατηγορίες έδειξαν πως όσο αυξάνεται η τιμή της κιλοβατώρας δεν συμφέρει η αγορά ενέργειας από το δίκτυο. Η συμφέρουσα επιλογή είναι η επένδυση σε σύστημα μπαταριών, παρόλο που έχει υψηλότερο κόστος θα γίνει γρήγορα απόσβεση. Μάλιστα, όσο πιο ακριβή γίνεται η τιμή της κιλοβατώρας φαίνεται πως και η μεγαλύτερη χωρητικότητα μπαταριών με μέγεθος 10 kWh, είναι κερδοφόρα.

Συγκρίνοντας τις δύο κατηγορίες βάση του Πίνακα 3 με τις αντίστοιχες τιμές των αποτελεσμάτων του Πίνακα 4, αποδεικνύεται πως τα ποσοστά ιδιοκατανάλωσης, αυτάρκειας, και η Καθαρή Παρούσα Αξία, αυξάνονται με τη χρήση της ευελιξίας (DSM), λόγω μείωσης της καμπύλης φορτίου από χρονικές ζώνες που δεν παράγει το φωτοβολταϊκό. Οπότε μεταφέροντας φορτία σε ώρες όπου καλύπτει την καταναλισκόμενη ενέργεια το φωτοβολταϊκό σύστημα, δε θα υπάρξει υψηλή πλεονάζουσα ενέργεια για αποθήκευση, άρα θα χρειαστεί μικρότερη χωρητικότητα μπαταριών με αποτέλεσμα μικρότερο κόστος επένδυσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. *Self-Consumption and self-sufficiency in photovoltaic systems: Effect of grid limitation and storage installation.* **Ciocia.** 2021. 1591.
- [2]. **Rubino S., Mazza A., Chicco G., Pastorelli M.** *Advanced control of inverter-interfaced generation behaving as a virtual synchronous generator.* Eindhoven : s.n., 2015.
- [3]. **Yan J., Yang Y., Elia Campana P., He J.** *City-level analysis of subsidy-free solar photovoltaic electricity price, profits and grid parity in China.* 2019.
- [4]. **Gabash A., Li P.** *On variable reverse power flow-part I: Active-Reactive optimal power flow with reactive power of wind stations.* 2016.
- [5]. **Hasheminamin M., Agelidis V. G., Salehi V., Teodorescu R., Hredzak B.** *Index-based assessment of voltage rise and reverse power flow phenomena in a distribution feeder under high PV penetration.* 2015, σσ. 1158-1168.
- [6]. **Molina M. T., Prodanovic M.** *Profitability assessment for self-sufficiency improvement in grid-connected non-residential buildings with on-site PV installations.* 2013, σσ. 353-360.
- [7]. **Zhou X., Lin Y., Ma Y.** *The overview of energy storage technology.* 2015, pp. 43-48.
- [8]. **Giordano F., Ciocia A., Di Leo P., Mazza A., Spertino F., Tenconi A., Vaschetto S.** *Vehicle-to-home usage scenarios for self-consumption improvement of a residential prosumer with photovoltaic roof.* 2020.
- [9]. **X., Liang.** *Emerging power quality challenges due to integration of renewable energy sources.* 2016, pp. 855-866.
- [10]. **Aziz M., Oda T., Mitani T., Watanabe Y., Kashiwagi T.** *Utilization of electric vehicles and their used batteries for peak-load shifting.* 2015.
- [11]. **Wanitschke A., Pieniak N., Schaller F.** *Economic and environmental cost of self-sufficiency-analysis of an urban micro grid.* 2017, pp. 445-451.
- [12]. **Hernández J. C., Sanchez-Sutil F., Muñoz-Rodríguez F. J., Baier C. R.** *Optimal sizing and management strategy for PV household-prosumers with self-consumption/sufficiency enhancement and provision of frequency containment reserve.* 2020.
- [13]. **Thebault M., Gaillard L.** *Optimization of the integration of photovoltaic systems on buildings for self-consumption– Case study in France. City and Environment Interactions.* 2021.
- [14]. **Merei G., Moshövel J., Magnor D., Sauer D. U.** *Optimization of self-consumption and techno-economic analysis of PV-battery systems in commercial applications.* pp. 171-178.
- [15]. **Hernández J. C., Sanchez-Sutil F., Muñoz-Rodríguez F. J.** *Design criteria for the optimal sizing of a hybrid energy storage system in PV household-prosumers to maximize self-consumption and self-sufficiency.* *Energy.* 2019, σ. 186.
- [16]. **P., Fraser.** *More of a good thing—is surplus renewable electricity an opportunity for early decarbonisation?* 2019.
- [17]. **Khatib T., Mohamed A., Mahmoud M., Sopian K.** *Modeling of daily solar energy on a horizontal surface for five main sites in Malaysia.* *International Journal of Green Energy.* 2011, pp. 795-819.
- [18]. *Renewable energy-based power generation for stand-alone applications: A review.* **Chauhan A., Saini R. P.** [ed.] *IEEE. India : s.n., 2013.* pp. 424-428.
- [19]. **Khatib T., Mohamed A., Sopian K.** *A review of photovoltaic systems size optimization techniques.* *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2013, pp. 454-465.
- [20]. *An investigation on the main influencing dynamics in renewable energy development: A systems approach.* **Hosseini S. H., Ghaderi S. F., Shakouri G. H.** *Iran : s.n., 2012.* σσ. 92-97.
- [21]. **M., Masters G.** *Renewable and efficient electric power systems.* s.l. : John Wiley & Sons, 2013.
- [22]. **Sidrach-de-Cardona M., Lopez L. M.** *A simple model for sizing stand alone photovoltaic systems.* *Solar Energy Materials and Solar Cells.* 1998, σσ. 199-214.
- [23]. **E., Ahmad G.** *Photovoltaic-powered rural zone family house in Egypt.* *Renewable Energy.* 2022, σσ. 379-390.
- [24]. **Sharma V. K., Colangelo A., Spagna G.** *Photovoltaic technology: basic concepts, sizing of a stand alone photovoltaic system for domestic applications and preliminary economic analysis.* *Energy Conversion and Management.* 1995, σσ. 161-174.
- [25]. **Bhuiyan M. M. H., Asgar M. A.** *Sizing of a stand-alone photovoltaic power system at Dhaka.* *Renewable Energy.* 2003, σσ. 929-938.
- [26]. **Kaushika N. D., Rai A. K.** *Solar PV design aid expert system.* [συγγρ. βιβλίου] *Solar energy materials and solar cells.* 2006, σσ. 2829-2845.
- [27]. **Chel A., Tiwari, G. N., Chandra A.** *implified method of sizing and life cycle cost assessment of building integrated photovoltaic system.* *Energy and Buildings.* 2009, σσ. 1172-1180.

-
- [28]. **Egido M., Lorenzo E.** The sizing of stand alone PV-system: A review and a proposed new method. *Solar energy materials and solar cells*. 1992, σσ. 51-69.
- [29]. **Kaldellis J. K., Zafirakis D., Kondili E.** Optimum sizing of photovoltaic-energy storage systems for autonomous small islands. *International journal of electrical power & energy systems*. 2008, σσ. 69-85.
- [30]. **Celik A. N., Muneer T., Clarke P.** Optimal sizing and life cycle assessment of residential photovoltaic energy systems with battery storage. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. 2008, σσ. 69-85.
- [31]. Storage sizing procedure and experimental verification of stand-alone photovoltaic systems. **Spertino F., Di Leo P., Cocina V., Tina G. M.** [επιμ.] In 2012 IEEE International Energy Conference and Exhibition (ENERGYCON). 2012. σσ. 464-468.
- [32]. **Kazem H. A., Khatib T., Sopian K.** Sizing of a standalone photovoltaic/battery system at minimum cost for remote housing electrification in Sohar, Oman. *Energy and Buildings*. 2013, σσ. 108-115.
- [33]. **G., Chen S.** Bayesian approach for optimal PV system sizing under climate change. *Omega*. 2013, σσ. 176-185.
- [34]. **Semaoui S., Arab A. H., Bacha S., Azoui B.** Optimal sizing of a stand-alone photovoltaic system with energy management in isolated areas. *Energy Procedia*. 2013, σσ. 358-368.
- [35]. **P., Birnie III D.** Optimal battery sizing for storm-resilient photovoltaic power island systems. *Solar energy*. 2014, σσ. 165-173.
- [36]. **Markvart T., Fragaki A., Ross J. N.** PV system sizing using observed time series of solar radiation. *Solar energy*. 2006, σσ. 46-50.
- [37]. **Khatib T., Mohamed A., Sopian K.** A software tool for optimal sizing of PV systems in Malaysia. *Modelling and Simulation in Engineering*. 2012a.
- [38]. **Sinha S., Chandel S. S.** Review of software tools for hybrid renewable energy systems. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2014, σσ. 192-205.
- [39]. **Connolly D., Lund H., Mathiesen B. V., Leahy M.** A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. *Applied energy*. 2010, σσ. 1059-1082.
- [40]. **L., Al-Karaghoul A., Kazmerski L.** Optimization and life-cycle cost of health clinic PV system for a rural area in southern Iraq using HOMER software. *Solar Energy*. 2010, σσ. 710-714.
- [41]. **Chauhan A., Saini R. P.** Renewable energy-based power generation for stand-alone applications: A review. In 2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability. 2013, σσ. 424-428.
- [42]. **Khatib T., Elmenreich W.** An improved method for sizing standalone photovoltaic systems using generalized regression neural network. 2014.
- [43]. **Khatib T., Mohamed A., Sopian K., Mahmoud M.** A new approach for optimal sizing of standalone photovoltaic systems. 2012.
- [44]. "Cost-effective rehabilitation of public buildings into smart and resilient nano-grids using storage - BERLIN". [Ηλεκτρονικό] <https://www.enicbmed.eu/projects/berlin>.

--- ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ---