



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Τμήμα Ηλεκτρολόγων
Μηχανικών και Μηχανικών
Ηλεκτρονικών Υπολογιστών
και Πληροφορικής

Συστηματική Ανάλυση και Βελτιστοποίηση της Ενσωμάτωσης Φωτοβολταϊκών, Αποθήκευσης και Ηλεκτρικών Οχημάτων στο Κυπριακό Ηλεκτρικό Σύστημα

Πτυχιακή Εργασία

Φοιτητής: Κωνσταντίνος Χριστοδούλου
Αριθμός Φοιτητικής Ταυτότητας: 28430
Επιβλέπων: Νεόφυτος Λοφίτης
Ημερομηνία: 8 Ιουνίου 2026

Κύπρος
8 Ιουνίου 2026



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΗΜΠ 412 -Διπλωματική Εργασία Ακαδημαϊκό έτος 2024-2025

Όνομα Φοιτητή / ΑΦΤ: Χρητοδούλου Κωνσταντίνος (28432)

Βαθμός: 7.0

Τίτλος: Συστημική ανάλυση και βελτιστοποίηση ανωρυθμικού ΦΒ,
αυτοδυναμικού και κλειστού ενταφιασμού σε υφιστάμενη κωδικοποιημένη
βασύρα

Επιβλέπων Καθηγητής:

Νεοφύτου Κωνσταντίνος
Όνομα

[Signature]
Υπογραφή

29/05/2026
Ημερ.

Εξεταστής 1:

Παπαδόπουλος Χρήστος
Όνομα

[Signature]
Υπογραφή

29/05/2026
Ημερ.

Εξεταστής 2:

Χρίστος Λοΐζου
Όνομα

[Signature]
Υπογραφή
i

29/05/2026
Ημερ.

Περίληψη

Η διπλωματική εργασία εξετάζει το φαινόμενο των περικοπών παραγωγής (curtailment) από φωτοβολταϊκά στο ηλεκτρικό σύστημα της Κύπρου, ένα μικρό και απομονωμένο σύστημα με αυξανόμενη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και περιορισμένη λειτουργική ευελιξία. Η υψηλή ηλιακή παραγωγή κατά τις μεσημεριανές ώρες μπορεί να υπερβαίνει την ικανότητα απορρόφησης του συστήματος, δημιουργώντας συνθήκες υπερπαραγωγής και ανάγκη ελεγχόμενου περιορισμού της διαθέσιμης ανανεώσιμης ενέργειας. Για τη διερεύνηση του προβλήματος αναπτύχθηκε υπολογιστικό μοντέλο σε περιβάλλον Python, το οποίο προσομοιώνει τη λειτουργία του συστήματος υπό τέσσερα σενάρια: βασικό σενάριο χωρίς πρόσθετη ευελιξία, σενάριο με αποθήκευση ενέργειας, σενάριο με έξυπνη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων και σενάριο με αμφίδρομη σύνδεση οχήματος-δικτύου. Στην αντιπροσωπευτική προσομοίωση, η ανάλυση δείχνει ότι οι περικοπές εμφανίζονται κυρίως σε ώρες υψηλής φωτοβολταϊκής παραγωγής και συνδέονται άμεσα με τη χρονική ασυμφωνία μεταξύ παραγωγής και ζήτησης. Η αποθήκευση ενέργειας αποτελεί τον πιο αποτελεσματικό άμεσο μηχανισμό μείωσης των περικοπών, καθώς επιτρέπει τη χρονική μετατόπιση της πλεονάζουσας ενέργειας. Η έξυπνη φόρτιση βελτιώνει την απορρόφηση της ανανεώσιμης παραγωγής μέσω ελεγχόμενης μετατόπισης φορτίου, ενώ η αμφίδρομη σύνδεση οχήματος-δικτύου ενισχύει κυρίως τη λειτουργική ευελιξία και μειώνει την ανάγκη συμβατικής υποστήριξης σε μεταγενέστερες ώρες. Η τεχνοοικονομική ερμηνεία υποδεικνύει ότι η πλήρης εξάλειψη των περικοπών δεν είναι πάντοτε η οικονομικά βέλτιστη επιλογή, διότι το οριακό κόστος πρόσθετης αποθήκευσης, οι απώλειες κύκλου, η γήρανση μπαταριών και το κόστος υποδομών πρέπει να σταθμίζονται με την αξία της ανακτώμενης ενέργειας. Συμπερασματικά, η αποτελεσματική αξιοποίηση των

ΑΠΕ σε απομονωμένα ηλεκτρικά συστήματα εξαρτάται όχι μόνο από την εγκατεστημένη ισχύ, αλλά κυρίως από τον κατάλληλο συνδυασμό τεχνολογιών ευελιξίας, λειτουργικού ελέγχου και οικονομικά τεκμηριωμένων επενδύσεων.

Εκτεταμένη Περίληψη

Η εργασία εξετάζει τις περικοπές φωτοβολταϊκής παραγωγής στο ηλεκτρικό σύστημα της Κύπρου, το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλό ηλιακό δυναμικό, αυξανόμενη συμμετοχή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και περιορισμένη δυνατότητα εξωτερικής εξισορρόπησης. Η απομονωμένη φύση του συστήματος καθιστά τη διαχείριση της μεταβλητής παραγωγής ιδιαίτερα κρίσιμη, καθώς η υπερπαραγωγή δεν μπορεί να εξαχθεί σε γειτονικά δίκτυα. Η υψηλή παραγωγή από φωτοβολταϊκά συμπίπτει κυρίως με τις μεσημεριανές ώρες, ενώ η ζήτηση δεν ακολουθεί πάντοτε την ίδια χρονική κατανομή. Η ασυμφωνία αυτή οδηγεί σε περιόδους όπου η διαθέσιμη ανανεώσιμη παραγωγή υπερβαίνει τη ζήτηση και τα τεχνικά όρια απορρόφησης του συστήματος, με αποτέλεσμα να απαιτούνται περικοπές.

Για τη διερεύνηση του φαινομένου αναπτύχθηκε υπολογιστικό πλαίσιο προσομοίωσης σε Python, με αντιπροσωπευτικά συνθετικά δεδομένα όπου δεν χρησιμοποιούνται άμεσες λειτουργικές χρονοσειρές. Το μοντέλο συνδυάζει προφίλ ζήτησης, διαθέσιμη παραγωγή από φωτοβολταϊκά και αιολικά, περιορισμούς ελάχιστης συμβατικής παραγωγής και απλοποιημένα μοντέλα τεχνολογιών ευελιξίας. Εξετάζονται τέσσερα σενάρια λειτουργίας: βασικό σενάριο χωρίς πρόσθετους μηχανισμούς ευελιξίας, σενάριο με σταθερή αποθήκευση μπαταριών, σενάριο έξυπνης φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και σενάριο αμφίδρομης σύνδεσης οχήματος-δικτύου (V2G). Η σύγκριση των σεναρίων γίνεται με ενιαία μεθοδολογική βάση, ώστε να απομονώνεται η επίδραση κάθε τεχνολογίας στην απορρόφηση ανανεώσιμης ενέργειας, στις περικοπές και στην απαιτούμενη συμβατική παραγωγή.

Η ανάλυση δείχνει ότι οι περικοπές αποτελούν κυρίως πρόβλημα χρονικής κατανομής και όχι έλλειψης διαθέσιμης ενέργειας. Η αποθήκευση μπαταριών μειώνει ουσιαστικά τις περικοπές, διότι απορροφά πλεονάζουσα ενέργεια κατά τις ώρες υπερπαραγωγής και την αποδίδει αργότερα. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητά της περιορίζεται από τη διαθέσιμη χωρητικότητα, τη μέγιστη ισχύ φόρτισης και εκφόρτισης, την κυκλική απόδοση και τη γήρανση των μπαταριών. Η έξυπνη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων λειτουργεί ως ευέλικτο φορτίο και συμβάλλει στη μετατόπιση μέρους της ζήτησης προς τις ώρες υψηλής φωτοβολταϊκής παραγωγής. Η αμφίδρομη σύνδεση οχήματος-δικτύου παρέχει πρόσθετη ευελιξία, όμως η κύρια συνεισφορά της εντοπίζεται περισσότερο στη μείωση της συμβατικής παραγωγής κατά τις ώρες υψηλού φορτίου παρά στη δραστική αντιμετώπιση των μεσημεριανών περικοπών.

Η τεχνοοικονομική αποτίμηση αναδεικνύει ότι η επιλογή λύσης δεν μπορεί να βασίζεται αποκλειστικά στη μέγιστη τεχνική μείωση των περικοπών. Δείκτες όπως η απόδοση επένδυσης (ROI), το σταθμισμένο κόστος ενέργειας (LCOE), το σταθμισμένο κόστος αποθήκευσης (LCOS), το κόστος αμφίδρομων φορτιστών και η υποβάθμιση των μπαταριών επηρεάζουν καθοριστικά τη βιωσιμότητα κάθε σεναρίου. Επομένως, υπάρχει ουσιαστικός οικονομικός συμβιβασμός μεταξύ της μείωσης των περικοπών και της εγκατάστασης πρόσθετης αποθήκευσης ή υποδομών V2G. Η εργασία καταλήγει ότι η βέλτιστη στρατηγική για απομονωμένα συστήματα όπως της Κύπρου απαιτεί συνδυασμό τεχνικής αξιοπιστίας, ευελιξίας ζήτησης, αποθήκευσης και οικονομικά τεκμηριωμένης διαστασιολόγησης.