



**Διατριβή μεταπτυχιακού**

**Μελέτη ανάπτυξης ενεργειακού συστήματος βασισμένο στις  
τεχνολογίες κυψελών καυσίμου, φωτοβολταϊκών και  
αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες της τάξης των 50 MW**

**Τοκαλής Δημήτριος**

**Λεμεσός, Μάιος 2023**



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

Διατριβή μεταπτυχιακού

Μελέτη ανάπτυξης ενεργειακού συστήματος βασισμένο στις  
τεχνολογίες κυψελών καυσίμου, φωτοβολταϊκών και αποθήκευσης  
ενέργειας σε μπαταρίες της τάξης των 50 MW

της/του

Τοκαλή Δημήτρη

Επιβλέπων καθηγητής:

Δρ. Σωτήρης Καλογήρου

Λεμεσός, Μάιος 2023

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Τοκαλής Δημήτριος, Λεμεσός, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της διατριβής από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και Επιστήμης Μηχανικής Υλικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Δρ. Σωτήρη Καλογήρου, για την υπομονή του, την στήριξη του προς το πρόσωπο μου, καθώς επίσης και για την εμπιστοσύνη και εμπύχωση του, καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Θέλω ακόμη να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένεια μου, και πιο συγκεκριμένα τους γονείς μου, Νίκο και Σοφία Τοκαλή, που με την αγάπη τους και την υπομονή τους με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια ως φοιτητής και θα συνεχίσουν να το κάνουν. Οφείλω μεγάλο μέρος του τι έχω πέτυχει μέχρι σήμερα σε αυτούς, και αυτός είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο θα ήθελα να τους αφιερώσω αυτή την μεταπτυχιακή εργασία.

Τοκαλής Δημήτρης

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν στις μέρες μας μια τεχνολογία η οποία έχει την δυνατότητα να μετατρέπει την φυσική ακτινοβολία του ηλίου, σε ηλεκτρική ενέργεια. Στην παρούσα εργασία ασχοληθήκαμε με πιο εξιδανικευμένα ενεργειακά συστήματα τα οποία αποτελούνταν με τον συνδυασμό διάφορων τεχνολογιών, όπως τα φωτοβολταϊκά, οι κυψέλες καυσίμου και οι μπαταρίες μεγάλης κλίμακας. Η αρχική ιδέα της εργασίας ήταν να δούμε κατά πόσο ένα ενεργειακό σύστημα που αποτελείται από τις τεχνολογίες που προαναφέρθηκαν, της τάξης των 50 MW στην Κύπρο είναι αποδοτικό τόσο ενεργειακά (παραγωγή ενέργειας), όσο και οικονομικά. Για να μπορέσουμε να καταλήξουμε σε εμπειριστατωμένα αποτελέσματα πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις, με την βοήθεια του λογισμικού SAM (System Advisor Model), σε τρεις διαφορετικές διατάξεις ενεργειακών συστημάτων. Αυτές ήταν η P<sub>v</sub>-fc-battery, P<sub>v</sub>-battery και P<sub>v</sub>-only, και για κάθε μία από αυτές τις διατάξεις η ονομαστική ισχύς ήταν 1, 20 και 50 MW. Όσον αφορά την κατανόηση για το πιο οικονομικά κερδοφόρο, μεγαλύτερη έμφαση δόθηκε σε τιμές όπως το net present value (καθαρή παρούσα αξία) μετά το πέρας των 25 χρόνων ζωής τους, το payback period (περίοδο αποπληρωμής), και το levelized cost of energy για το κάθε ένα από αυτά τα συστήματα. Από τα τρία συστήματα όπου η ισχύς τους είναι 1 MW το P<sub>v</sub>-fc-battery είναι αυτό που προσδίδει το μεγαλύτερο net present value, ικανοποιητικό payback period, ενώ επίσης παράγει και την περισσότερη ενέργεια από τα άλλα δύο. Η εικόνα αυτή όμως αλλάζει για τα συστήματα των 20 και 50 MW διότι το πιο οικονομικά κερδοφόρο είναι και στις δύο περιπτώσεις το σύστημα P<sub>v</sub>-battery. Πιο συγκεκριμένα στο σύστημα των 20 MW έχουμε μικρότερο net present value από το αντίστοιχο του συστήματος με την κυψέλη καυσίμου, όμως έχουμε και μικρότερο συνολικό κόστος εγκατάστασης και έτσι εξισορροπούνται τα κέρδη, ενώ στο σύστημα των 50 MW, το P<sub>v</sub>-battery έχει μεγαλύτερο net present value και μικρότερο κόστος εγκατάστασης κατά 17 εκατομμύρια δολάρια, οπότε είναι σίγουρο το πιο ωφέλιμο για τα δεδομένα της Κύπρου. Τέλος όσον αφορά τα φωτοβολταϊκά πάρκα (P<sub>v</sub>-only) που προσομοιώθηκαν, μετά το πέρας των 25 χρόνων έχουν τα λιγότερα κέρδη από τα άλλα συστήματα, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι δεν είναι βιώσιμα κάτι το οποίο οφείλεται στην άπλετη ηλιακή ακτινοβολία της Κύπρου καθόλη την διάρκεια του χρόνου.

**Λέξεις κλειδιά:** ΦΒ, Κυψέλες Καυσίμου, Μπαταρίες, SAM, NPV, PBP, LCOE

## ABSTRACT

Photovoltaics are nowadays a technology that has the ability to convert the natural radiation of the sun into electricity. In this paper we have dealt with more idealized energy systems which consisted of the combination of different technologies such as photovoltaics, fuel cells and large scale batteries. The initial idea of the project was to see whether an energy system consisting of the technologies mentioned above, with the size of 50 MW in Cyprus, is efficient both in terms of energy (power generation) and economically. In order to be able to arrive at thorough results, simulations were carried out, with the help of the SAM (System advisor Model) software, on three different energy system layouts. These were the Pv-fc-battery, Pv-battery and Pv-only, and for each of these devices the nominal power ratings were 1, 20 and 50 MW. In terms of understanding the most economically profitable one, more emphasis was given to values such as net present value after 25 years of their life, payback period, and levelized cost of energy for each of these systems as it will be explained below. Of the three systems where their total power is 1 MW, the Pv-fc-battery is the one that gives the highest net present value, an adequate payback period, and also produces the most energy than the other two. However, this “picture” changes for the 20 and 50 MW systems because the most economically profitable system in both cases is the Pv-battery system. More specifically, in the 20 MW systems we have a lower net present value than the fuel cell system, but we also have a lower total installation cost and thus the profits are balanced, while in the 50 MW systems, the Pv-battery has a higher net present value and lower installation cost by 17 million dollars, so it is definitely the most economically beneficial for the Cyprus data. Finally, as for the PV parks (Pv-only) simulated, after 25 years they produce the least amount of profits than the other two, but this does not mean that they are not viable which is due to the plentiful solar radiation of Cyprus throughout the year.

**Key words:** PV, Fuel Cells, Batteries, SAM, NPV, PBP, LCOE