



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Μελέτη Ηλεκτροδότησης Αγροτικών Περιοχών στον Αναπτυσσόμενο Κόσμο

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αικατερίνη Δ. Δημητρίου

Επιβλέπων : Νικόλαος Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Μελέτη Ηλεκτροδότησης Αγροτικών Περιοχών στον Αναπτυσσόμενο Κόσμο

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αικατερίνη Δ. Δημητρίου

Επιβλέπων : Νικόλαος Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 20^η Μαρτίου 2015.

.....
Ν. Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γ. Κορρές
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Π. Γεωργιλάκης
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2015

.....
Αικατερίνη Δ. Δημητρίου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Αικατερίνη Δ. Δημητρίου, 2015.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μελέτη των τρόπων ηλεκτροδότησης περιοχών εκτός δικτύου στις αναπτυσσόμενες χώρες, καθώς και προσομοίωση ηλεκτροδότησης κοινότητας στη περιοχή Dejen District, της Αιθιοπίας. Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Homer, το οποίο διεξήγαγε ανάλυση και βελτιστοποίηση του συστήματος.

Η εργασία αποτελείται από δύο μέρη. Στο Α' Μέρος γίνεται αναφορά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στα μικροδίκτυα και τη χρησιμότητα αυτών. Παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέθοδοι ηλεκτροδότησης αγροτικών περιοχών εκτός δικτύου, καθώς και τα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματά τους. Πιο συγκεκριμένα, οι μέθοδοι που εξετάζονται στη παρούσα εργασία είναι: Υβριδικό σύστημα με Γεννήτρια Diesel (σε συνεχή λειτουργία) με Φωτοβολταϊκά/Ανεμογεννήτρια, Σύστημα με Φωτοβολταϊκά/Ανεμογεννήτρια και Μπαταρίες, Μικρό Υδροηλεκτρικό Σύστημα και Σύστημα Αεριοποίησης Βιομάζας. Γίνεται βιβλιογραφική μελέτη των μεθόδων που χρησιμοποιούνται στις αναπτυσσόμενες χώρες και αναγνωρίζονται οι καλύτερες πρακτικές αυτών.

Στο Β' Μέρος της διπλωματικής εργασίας, γίνεται περιγραφή του προγράμματος Homer, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση προσομοίωσης συστήματος για την ηλεκτροδότηση συγκεκριμένου χωριού εκτός δικτύου στην Αιθιοπία. Γίνεται παρουσίαση όλων των μερών του συστήματος, καθώς και των πιθανών υλοποιήσιμων σεναρίων που προκύπτουν από των συνδυασμό γεννήτριας Diesel, Φωτοβολταϊκών, Μπαταριών, Μικρού υδροηλεκτρικού και Ανεμογεννήτριας. Τέλος, διατυπώνονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση σε σχέση με τη βέλτιστη χρήση των στοιχείων.

Λέξεις κλειδιά: Μικροδίκτυα, Διεσπαρμένη παραγωγή, Ανανεώσιμες Πηγές, Αναπτυσσόμενες Χώρες, Φωτοβολταϊκά, Ανεμογεννήτρια, μικρό υδροηλεκτρικό, βιομάζα, Homer.

Abstract

Subject of this thesis is to study and review the best practices of rural electrification technologies in developing countries and to perform a simulation for the electrification of a small community in Dejen District of Ethiopia. The Homer program was used for the simulation, optimization and sensitivity analysis of the system.

This study is divided into two parts. In the first part an introduction to renewable resources and micro-grids and their use is made. Particularly the techniques that are studied are: Diesel based PV/Wind Hybrid System, PV/Wind Systems with Storage, Micro-Hydro Systems and Biomass Gassification Systems. A review of the methods of rural electrification in developing countries and their best practices is made.

In the second part, the program Homer is being presented, that is used for the simulation of an electrifying project for a rural village in Ethiopia. All the components of the system are analysed as well as the possible scenarios from combining Diesel generator, PV, Wind, micro-hydro and battery storage. Finally, conclusions are drawn from the results of the simulation regarding the ideal use of the resources.

Key words: Micro-grids, renewable resources, developing countries, photovoltaic, wind turbines, micro-hydro, biomass, Homer.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Πάνο Κοτσαμπόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του κατά τη διεξαγωγή αυτής της εργασίας. Ευχαριστώ, επίσης τον κ. Νικόλαο Χατζηαργυρίου, καθηγητή του Ε.Μ.Π., για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα πραγματικά ενδιαφέρον θέμα. Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στο επιστημονικό προσωπικό του εργαστηρίου Συστημάτων και Ηλεκτρικής Ενέργειας, και ιδιαίτερα στους Κώστα Λατούφη και Χριστίνα Παπαδημητρίου για τη βοήθειά τους στη διεξαγωγή της προσομοίωσης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους κοντά μου που με στηρίζουν...

Πίνακας Περιεχομένων

1. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Μικροδίκτυα	
1.1 Εισαγωγή	11
1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	12
1.3 Μικροδίκτυα.....	13
1.3.1 Πλεονεκτήματα	14
1.3.2 Προκλήσεις.....	14
2. Το Ενεργειακό Πρόβλημα και ο Αναπτυσσόμενος Κόσμος	
2.1 Παρούσα Κατάσταση Παγκοσμίως	17
2.2 Αναπτυσσόμενες Χώρες.....	19
3. Μέθοδοι Ηλεκτροδότησης Αγροτικών Περιοχών στον Αναπτυσσόμενο Κόσμο	
3.1 Εισαγωγή	22
3.2 Τεχνολογίες	23
3.2.1 Υβριδικό Σύστημα με Diesel και Φωτοβολταϊκά ή Ανεμογεννήτρια.....	23
3.2.2 Φωτοβολταϊκά ή Ανεμογεννήτρια με Μπαταρίες	28
3.2.3 Μικρά υδροηλεκτρικά Συστήματα.....	34
3.2.4 Βιομάζα	40
3.3 Οφέλη από την ηλεκτροδότηση αγροτικών περιοχών	43
3.4 Συμπεράσματα	45
4. Το Λογισμικό Προσομοίωσης Homer	
4.1 Εισαγωγή	46
4.2 Υπολογισμός των ανανεώσιμων πηγών	49
4.2.1 Πεδίο υπολογισμού ηλιακής ακτινοβολίας.....	49
4.2.2 Πεδίο υπολογισμού ταχύτητας του ανέμου	50
4.2.3 Πεδίο υπολογισμού υδάτινων πόρων	51
4.2.4 Πεδίο δεδομένων καυσίμου Diesel.....	52
4.3 Τα μέρη του συστήματος	54
4.3.1 Φορτίο	54
4.3.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία.....	57
4.3.3 Στοιχεία μπαταριών	59
4.3.4 Αντιστροφέας.....	61
4.3.5 Γεννήτρια Diesel	61
4.3.6 Ανεμογεννήτρια	62
4.3.7 Υδροηλεκτρικός Σταθμός.....	64
4.3.8 Περιορισμοί συστήματος και λοιπές μεταβλητές	65
4.3.9 Οικονομικές Μεταβλητές και Κριτήρια Κόστους.....	67

5. Προσομοίωση Μικροδικτύου στην Αιθιοπία	
5.1 Η παρούσα κατάσταση στην Αιθιοπία.....	69
5.2 Σενάρια προσομοίωσης.....	70
5.2.1 Σενάρια με γεννήτρια Diesel σε συνεχή λειτουργία	70
5.2.1.1 Γεννήτρια Diesel.....	70
5.2.1.2 Γεννήτρια Diesel και Φωτοβολταϊκά	72
5.2.1.3 Γεννήτρια Diesel με Φωτοβολταϊκά Στοιχεία και Μπαταρίες	73
5.2.2 Σενάρια με γεννήτρια Diesel σε δευτερόντα ρόλο.....	77
5.2.2.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία και Μπαταρίες.....	77
5.2.2.2 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία με Μπαταρία και εφεδρική γεννήτρια Diesel..	80
5.2.3 Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός	83
5.2.4 Ανεμογεννήτρια	85
5.3 Συμπεράσματα	88
6. Συμπεράσματα	
Βιβλιογραφία.....	90

Κεφάλαιο 1. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Μικροδίκτυα

1.1 Εισαγωγή

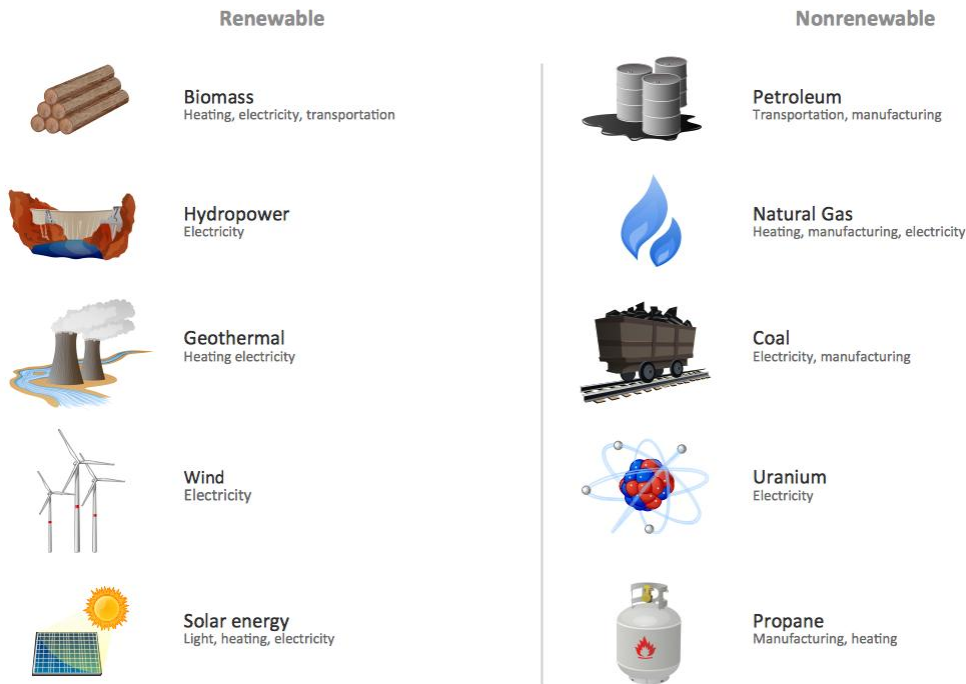
Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής του σύγχρονου ανθρώπου. Συνδέεται άμεσα με την επιβίωσή του και τις περισσότερες δραστηριότητες του. Εστίαση, φωτισμός, τηλεπικοινωνίες και μεταφορές είναι ορισμένες πτυχές της καθημερινότητας που βασίζονται στη χρήση ηλεκτρισμού. Η παραγωγή ηλεκτρισμού βασίζεται κυρίως στην εκμετάλλευση ορυκτών στερεών, υγρών και αέριων καυσίμων, όπως είναι το πετρέλαιο, ο λιγνίτης και το φυσικό αέριο.

Η ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος και η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων είναι πεπερασμένα, έχουν οδηγήσει στη συνεχή και ραγδαία ανάπτυξη εναλλακτικών μορφών ενέργειας. Η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές αποτελεί μια βιώσιμη λύση του ενεργειακού προβλήματος.

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι όλες οι μορφές ενέργειας που προέρχονται από φυσικές μορφές ενέργειας, όπως είναι η ηλιακή, η αιολική, η υδατόπτωση, η βιομάζα, η γεωθερμία κλπ. Θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες, με εξαίρεση την γεωθερμία η οποία δεν ανανεώνεται σε κλίμακα αντιληπτή στον άνθρωπο, συναντώνται σε αφθονία στη φύση και για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη ή άντληση που συμβαίνει στην εκμετάλλευση των ορυκτών καυσίμων. Επίσης είναι πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον αφού δεν αποδεδμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ γίνεται κυρίως με την οργάνωση σε μικροδίκτυα. Η διεσπαρμένη παραγωγή, όπως αλλιώς ονομάζεται, έχει το βασικό πλεονέκτημα ότι γίνεται πολύ κοντά στα φορτία, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι απώλειες κατά τη διανομή αλλά και το κόστος κατασκευής ενός μεγάλου δικτύου. Τα μικροδίκτυα συνήθως αποτελούνται από ένα συνδυασμό ΑΠΕ και συμβατικών μεθόδων παραγωγής ενέργειας κάνοντάς τα εξαιρετικά φιλικά προς το περιβάλλον. Ανάλογα με την διαθεσιμότητα των πηγών ενέργειας της περιοχής οργανώνεται ανάλογα και η παραγωγή ηλεκτρισμού, και πολλές φορές περιλαμβάνει και την συμπαραγωγή θερμότητας.

Τα μικροδίκτυα μπορούν να είναι συνδεδεμένα και να επικοινωνούν με το κεντρικό δίκτυο ή να λειτουργούν αυτόνομα. Είναι δυνατό να περιλαμβάνουν φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μικρά υδροηλεκτρικά, γεννήτριες Diesel, κυψέλες καυσίμου κ.ά. καθώς και μονάδες αποθήκευσης όπως συσσωρευτές. Όλες αυτές οι τεχνολογίες μικροδικτύων ονομάζονται Distributed Energy Resources (DERs). Όταν είναι συνδεδεμένα με το κυρίως δίκτυο, τα μικροδίκτυα μπορούν να ανταλλάσσουν ενέργεια με αυτό σε περίπτωση που υπάρχει περίσσεια ή έλλειψη. Στη περίπτωση όμως που λειτουργούν αυτόνομα, τα επίπεδα τάσης και συχνότητας πρέπει να ρυθίζονται διαρκώς καθώς και να γίνεται σωστή διαχείριση της ισχύος.



Εικόνα 1: Πηγές Ενέργειας.

1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι περισσότερες από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας βασίζονται στην ηλιακή, με εξαίρεση την παλιρροϊκή ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας που οφείλεται στην περιστροφή της γης και την δύναμη της βαρύτητας και την γεωθερμία η οποία είναι η ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γής. Εκτός από την άμεση αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας, χρησιμοποιούνται επίσης η αιολική ενέργεια, η οποία εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται από την θέρμανση του αέρα, η βιομάζα, η οποία αξιοποιεί την δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών ηλιακή ενέργεια, καθώς και η ενέργεια που βασίζεται στην εκμετάλλευση του κύκλου εξάτμισης-συμπύκνωσης και της κυκλοφορίας του νερού.

Πιο συγκεκριμένα, οι βασικότερες και πιο διαδεδομένες μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι:

- Ηλιακή ενέργεια. Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) καθώς και για την παραγωγή ηλεκτρισμού με την χρήση φωτοβολταϊκών, κυρίως τα τελευταία χρόνια.
- Αιολική ενέργεια. Χρησιμοποιήθηκε παλαιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (όπως η άλεση στους ανεμόμυλους). Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως στην ηλεκτροπαραγωγή με τις ανεμογεννήτριες.
- Υδραυλική ενέργεια. Είναι οι γνωστές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας εξειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά. Αποτελεί την πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

- Βιομάζα. Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε από το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές, που ίσως χρησιμοποιηθεί πλατιά στο μέλλον.
- Γεωθερμική ενέργεια. Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται από τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, όπως στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές, είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού [1].

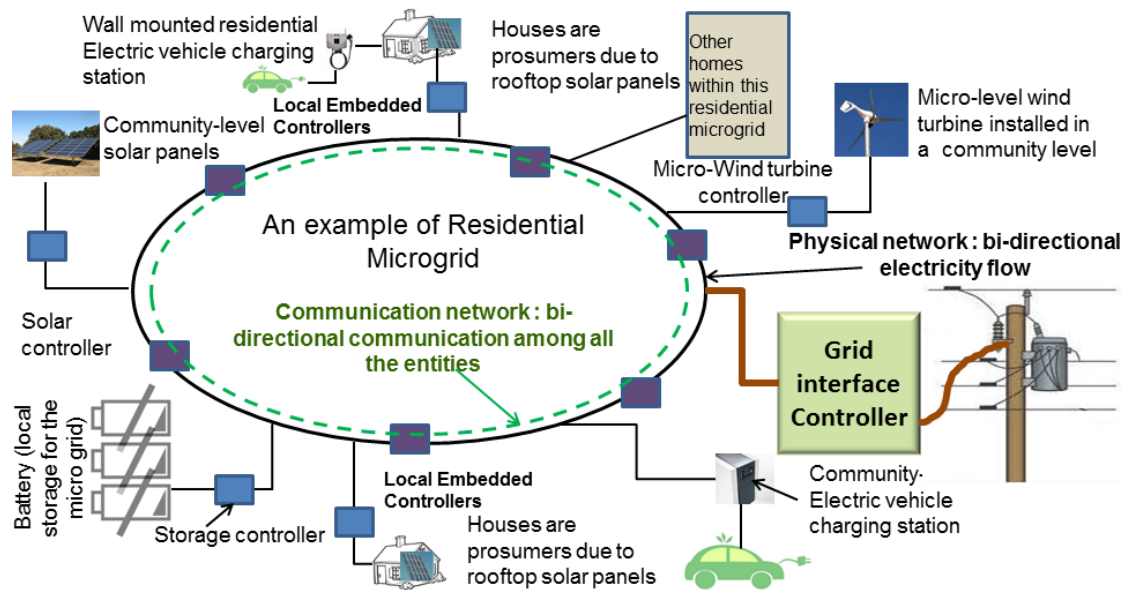
1.3 Μικροδίκτυα

Η βασική αρχή που ίσχυε τα προηγούμενα χρόνια στα δίκτυα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι το κόστος της παραγόμενης ενέργειας μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους των σταθμών παραγωγής. Έτσι όλοι οι σταθμοί στο παρελθόν κατασκευάζονταν με όσο τον δυνατόν μεγαλύτερη ισχύ, ώστε να μειωθεί το κόστος και τα δίκτυα διανομής χρησιμοποιούσαν υψηλή και υπερυψηλή τάση για να καλύψουν τις ανάγκες ακόμη και των πιο απομακρυσμένων περιοχών.

Η διεσπαρμένη παραγωγή είναι η νέα τάση στην παραγωγή ενέργειας. Σε αυτή την κατεύθυνση οδήγησε η ανάπτυξη των τεχνολογιών κατασκευής μικροδικτύων, οι περιορισμοί στην κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς, οι αυξημένες απαιτήσεις των καταναλωτών για αξιόπιστη ενέργεια, η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και τέλος οι ανησυχίες για τις παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές [6].

Τα μικροδίκτυα μπορούν να πάρουν διάφορες μορφές ανάλογα με τις πηγές που χρησιμοποιούν και τον τρόπο λειτουργίας τους. Στο σχήμα 1.1 φαίνεται ένα τυπικό μικροδίκτυο. Αποτελείται από φορτία και μικροπηγές που συνδέονται μεταξύ τους σε ένα χαμηλής τάσης δίκτυο. Συνδυάζει φωτοβολταϊκά συστήματα, ανεμογεννήτρια και διαθέτει συσσωρευτές για την αποθήκευση περίσσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συνδέεται με το δίκτυο μέσης τάσης μέσω ενός ελεγκτή, ο οποίος ρυθμίζει την επικοινωνία με αυτό. Κάθε πηγή και μέσο αποθήκευσης συνδέονται στο μικροδίκτυο μέσω ελεγκτών για να ρυθμίζεται η ομαλή λειτουργία τους.

Το μικροδίκτυο μπορεί να έχει δύο τρόπους λειτουργίας: Λειτουργία με σύνδεση στο δίκτυο (grid-connected) και απομονωμένη λειτουργία (stand-alone). Στη πρώτη περίπτωση το μικροδίκτυο παραμένει πλήρως ή μερικώς συνδεδεμένο με το κεντρικό δίκτυο και ανταλλάσσει ενέργεια με αυτό. Σε περίπτωση ανωμαλίας του κεντρικού δικτύου, αλλάζει η λειτουργία του μικροδικτύου σε απομονωμένη, ενώ τροφοδοτεί διαρκώς τα φορτία που έχουν προτεραιότητα. Στην απομονωμένη λειτουργία το μικροδίκτυο είναι το κεντρικό δίκτυο του συστήματος και είναι υπεύθυνο για την πλήρη κάλυψη των αναγκών των φορτίων του συστήματος.



Σχήμα 1.1 Μικροδίκτυο [2]

1.3.1 Πλεονεκτήματα

Ο συνδυασμός ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και παραδοσιακών τρόπων παραγωγής ηλεκτρισμού σε ένα μικροδίκτυο επιφέρει οφέλη τόσο για τους τελικούς χρήστες όσο και για το ίδιο το δίκτυο. Αναλυτικότερα:

- Βελτιώνεται η αξιοπιστία του δικτύου στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και σε αρκετές περιπτώσεις μειώνεται το κόστος ενέργειας.
- Αυξάνεται η βιωσιμότητα, αφού επεκτείνοντας και ενσωματώνοντας παραγωγή «καθαρής» ενέργειας, το δίκτυο μπορεί πλέον να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των χρηστών μέσω ενός τοπικού και αξιόπιστου δικτύου.
- Μειώνεται ο κίνδυνος της απώλειας ισχύος, γεγονός που συμβαίνει όλο και πιο συχνά στα μεγάλα και κεντρικά δίκτυα.
- Δίνεται η δυνατότητα στις εταιρείες παροχής ηλεκτρισμού να κάνει επισκευή τμημάτων του δικτύου χωρίς να επηρεάζει το φορτίο των καταναλωτών, καθώς μπορεί να αντλήσει επιπλέον φορτίο από τα μικροδίκτυα για τις ώρες αιχμής, μειώνοντας παράλληλα την πίεση στο κεντρικό δίκτυο μεταφοράς και διανομής.
- Μειώνονται οι απώλειες ισχύος στις μεγάλες γραμμές μεταφοράς, αφού η επιτόπια παραγωγή μπορεί να συμβάλει στην μείωση των απωλειών των μεταφοράς και διανομής έως και 7% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Επομένως, η εφαρμογή της διεσπαρμένης παραγωγής, μπορεί να ωφελήσει τις υφιστάμενες υποδομές, να παρέχει υπηρεσίες διαχείρισης ενέργειας ανάλογα με τη ζήτηση, να μειώσει σημαντικά το κόστος και να βελτιώσει την αξιοπιστία για τον καταναλωτή μέσω ενός νέου τρόπου παραγωγής και διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας [3].

1.3.2 Προκλήσεις

Παρόλο που υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις επιτυχούς εγκατάστασης μικροδικτύων, πολλές προκλήσεις συναντώνται κατά την προσπάθεια υλοποίησης ενός μικροδικτύου. Τα πιο κοινά εμπόδια μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις

βασικές κατηγορίες: τεχνικά, θεσμικά, οικονομικά και προβλήματα ενδιαφερόμενων μερών [3].

I. Τεχνικές προκλήσεις

Παρά το γεγονός ότι οι τεχνολογίες που αφορούν τα μικροδίκτυα σημειώνουν μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, και πιλοτικά προγράμματα υπάρχουν σε πολλά σημεία, είναι αρκετές οι τεχνολογικές προκλήσεις που προκύπτουν. Ορισμένα στοιχεία των μικροδικτύων συνεχίζουν και παρουσιάζουν τεχνολογικά προβλήματα, όπως είναι η μη αποτελεσματικότητα και αντοχή των αποθηκευτικών μέσων και η μη επιτυχή λειτουργία των συστημάτων επικοινωνίας και ελέγχου.

Προβλήματα παρουσιάζει και η διπλή λειτουργία των μικροδικτύων όταν αυτό είναι συνδεδεμένο στο κεντρικό δίκτυο. Σε περίπτωση σφάλματος στο κυρίως δίκτυο, η αλλαγή από συνδεδεμένο σε απομονωμένο μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, είτε με επανεκκίνηση του μικροδικτύου είτε με απρόσκοπτη μετάβαση. Ο πρώτος τρόπος προκαλεί αναξιοπιστία στην παροχή συνεχούς ενέργειας. Ο δεύτερος είναι πολύ δύσκολος να επιτευχθεί επιτυχώς. Και στις δύο περιπτώσεις, η επανένωση του μικροδικτύου με το κεντρικό δίκτυο παρουσιάζει και αυτή προκλήσεις, μιας και τέτοιου είδους αλλαγές προκαλούν αναντιστοιχία μεταξύ παραγωγής και φορτίων.

Ακόμη ένα ζήτημα που τίθεται είναι ο έλεγχος στην ισχύ και τη συχνότητα που παρέχει το μικροδίκτυο, και κατά πόσο ταιριάζουν με το κεντρικό. Δυσκολίες συναντώνται και στον έλεγχο των αρμονικών ρεύματος και τάσης μεταξύ των διανεμημένων ενεργειακών πόρων. Σε αρκετές περιπτώσεις, ακόμη και αν μόνο δύο διαφορετικές πηγές χρησιμοποιούνται, αρκετά ζητήματα παρουσιάζονται στην μείωση των αρμονικών του ρεύματος και στην διατήρηση της τάσης στα θεμιτά επίπεδα.

Τέλος, η ασφάλεια και η προστασία του μικροδικτύου διαθέτει περιθώρια βελτίωσης. Είναι απαραίτητο να υπάρχουν μέσα προστασίας στην περίπτωση εσωτερικού σφάλματος του μικροδικτύου ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία υψηλών τάσεων. Στην απομονωμένη λειτουργία παρουσιάζονται προβλήματα όταν ρεύματα βραχυκύκλωσης μπορεί να μην έχουν αρκετά υψηλές τιμές για να αποκοπούν από τα κοινά μέσα προστασίας.

II. Θεσμικές προκλήσεις

Σε πολλά κράτη η υπάρχουσα νομοθεσία περιορίζει και αποτρέπει την εγκατάσταση και χρήση μικροδικτύων. Ιδιαίτερα προβλήματα παρουσιάζονται στην περίπτωση που το μικροδίκτυο θα λειτουργεί παράλληλα και συνδεδεμένο στο κεντρικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ορισμένοι κανονισμοί διασύνδεσης, προκαλούν προβλήματα στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των μικροδικτύων γιατί πρακτικά αντιμετωπίζουν τη διεσπαρμένη παραγωγή ως αιτία διαταράξεων του κεντρικού δικτύου. Ακόμη, στα στοιχεία ελέγχου μεταξύ του μικροδικτύου και του κεντρικού δικτύου, τίθενται κανόνες που περιορίζουν την αλληλεπίδραση των δύο δικτύων. Στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχουν ασάφειες για το ποιός θα αγοράσει και θα χρησιμοποιήσει το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται από τις ΑΠΕ, γεγονός που αποκόπτει ένα σημαντικό ρόλο των μικροδικτύων.

III. Οικονομικές προκλήσεις

Ακόμη και αν οι προαναφερθείσες προκλήσεις λυθούν, σημαντικό ρόλο στην πλήρη αποδοχή των μικροδικτύων ως ικανή και αποτελεσματική μέθοδο για την ηλεκτροδότηση περιοχών κατέχει η μείωση του κόστους παραγωγής, αποθήκευσης

και διαχειρήσεις ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Στην παρούσα κατάσταση, διαφορετικές τεχνολογίες ΑΠΕ έχουν και διαφορετικό κόστος παραγωγής ενέργειας και επομένως κάποιες από αυτές είναι ασύμφωρες. Απαραίτητο βήμα είναι και η μείωση του κόστους αποθήκευσης ενέργειας καθώς αποτελεί μεγάλο ποσοστό του αρχικό κεφαλαίου σε όλες τις περιπτώσεις μικροδικτύων.

IV. Πρόκλησεις ενδιαφερόμενων μερών

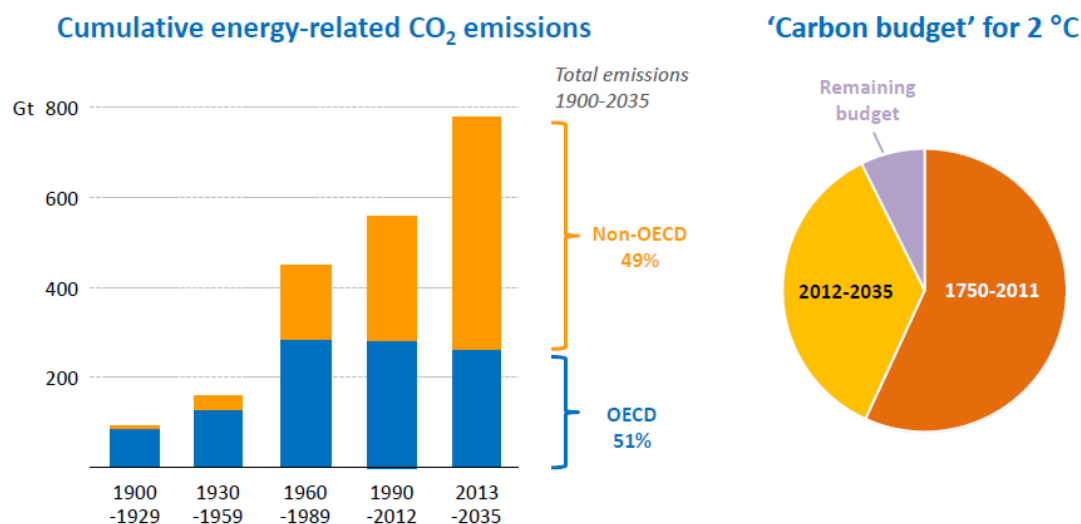
Σημαντικό πρόβλημα στην υλοποίηση ενός μικροδικτύου παρουσιάζει η ανέυρεση μετόχων-χρηστών, οι οποίοι θα είναι πρόθυμοι να μεταβούν από τον παραδοσιακό τρόπο ηλεκτροδότησης σε αυτόν της διεσπαρμένης παραγωγής. Η απόκτηση εμπιστοσύνης και τα αντικρουόμενα προσωπικά συμφέροντα είναι ορισμένες προκλήσεις που δύναται να υπερβούν για την επίτευξη του στόχου. Το γεγονός ότι τα μικροδίκτυα είναι τεχνολογία που τα τελευταία χρόνια έχει αποκτήσει αναγνωρισιμότητα αποτελεί μειονέκτημα, καθώς οι χρήστες εμφανίζονται δύσπιστοι στην υιοθέτησή μιας μη αποδεδειγμένης και πολύπλοκης διαδικασίας ηλεκτροδότησης. Τέλος, σημαντικός παράγοντας αποτελεί και η ανάγκη τήρησης κάποιων κανόνων στην χρήση συσκευών και στη κατανάλωση ενέργειας ώστε να μπορεί το μικροδίκτυο να καλύπτει τη ζήτηση.

Κεφάλαιο 2: Το Ενεργειακό Πρόβλημα και ο Αναπτυσσόμενος Κόσμος

2.1 Παρούσα Κατάσταση Παγκοσμίως

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας- International Energy Agency (IEA), το κατεστημένο τον τομέα της ενέργειας αλλάζει [4]. Χώρες που κατείχαν έως τώρα τα πρωτεία στην εξαγωγή ορυκτών καυσίμων βλέπουν το ρόλο τους να αλλάζει σταδιακά με την εισαγωγή των εναλλακτικών μορφών παραγωγής ενέργειας. Οι καινούργιες επιλογές έχουν αναμορφώσει τις υπάρχουσες απόψεις σχετικά με τη διανομή των πόρων.

Παρά τις αλλαγές όμως, τα προβλήματα που μέχρι τώρα απασχολούσαν τον ενεργειακό τομέα παραμένουν άλυτα. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα συνεχίζουν και αυξάνονται παρά την αναζήτηση πιο «ήπιων» μορφών ενέργειας. Αυτό είναι αποτέλεσμα της ραγδαίας βιομηχανικής ανάπτυξης χωρών του αναπτυσσόμενου κόσμου, όπως η Ινδία και η Κίνα, που μέχρι πρόσφατα είχαν χαμηλές εκπομπές CO₂. Σύμφωνα με στοιχεία του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (OECD) τα περιθώρια εκπομπών στα οποία είχαν δεσμευτεί οι χώρες μέχρι το 2035, για μία προσπάθεια μετρίωσης της συνεχόμενης αύξησης της θερμοκρασίας, έχουν ήδη αρχίσει να στενεύουν.



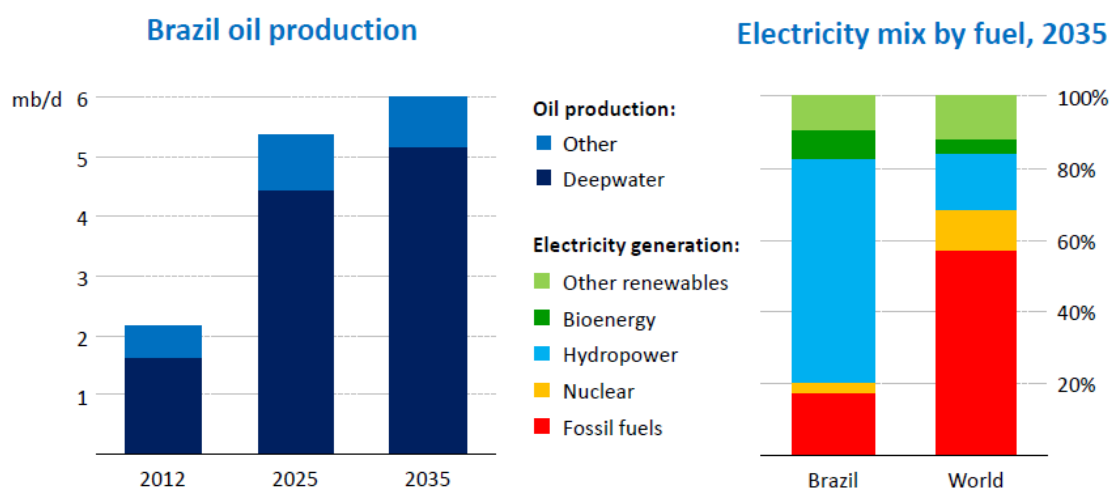
Σχήμα 2: Εκπομπές Διοξειδίου σύμφωνα με τον OECD/IEA 2013 [4].

Τα ορυκτά καύσιμα συνεχίζουν και παραμένουν η κύρια πηγή παραγωγής ενέργειας. Συγκεκριμένα, στοιχεία από το 2013 δείχνουν ότι το 82% της παραγωγής βασίζεται σε αυτά, ενώ μέχρι το 2035 αναμένεται σχετική μείωση του ποσοστού σε 75%, κυρίως λόγω της αυξανόμενης χρήσης ανανεώσιμων πηγών.

Η ζήτηση ενέργειας συνεχίζει να έχει ανοδική πορεία, με την Κίνα να κατέχει τα πρωτεία στον τομέα αυτό. Συγκεκριμένα στην αγορά πετρελαίου, αναμένεται η Κίνα να είναι η μεγαλύτερη σε χρήση και κατανάλωση πετρελαϊκών προϊόντων χώρα μέχρι

το 2035, μιας και ο Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης και τα κράτη μέλη του εντύνουν τις προσπάθειες για εναλλασόμενες πηγές ενέργειας. Αναμένεται ωστόσο η Ινδία να υπερβεί σε ζήτηση την Κίνα περί το 2020, γεγονός που αποδεικνύει την ολοένα και αυξανόμενη βιομηχανική και οικονομική ανάπτυξη των δυο αυτών χωρών. Στον τομέα της εξαγωγής πετρελαίου, οι πετρελαιοπαραγωγικές χώρες της Μέσης Ανατολής διατηρούν τον κύριο ρόλο που κατέχουν και σήμερα, με τις ΗΠΑ και Βραζιλία να ακολουθούν.

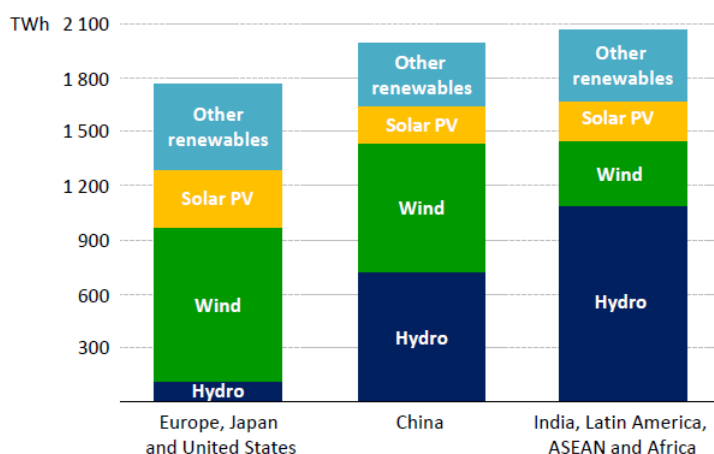
Η Βραζιλία είναι μία ιδιαίτερη περίπτωση, διότι παρά την πετρελαιοπαραγωγική της δυνατότητα, η εγχώρια παραγωγή ενέργειας βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε «ήπιες» μορφές ενέργειας, και την κάνει να είναι από τις χώρες με αρκετά χαμηλά επίπεδα εκπομπών άνθρακα. Στο Σχήμα 3 φαίνεται η δυνατότητα της Βραζιλίας στην παραγωγή πετρελαίου και παράλληλα οι διάφοροι τρόποι και πηγές που βασίζεται η εγχώριά τους παραγωγή.



Σχήμα 3: Παραγωγή Ενέργειας της Βραζιλίας [4].

Το παράδειγμα της Βραζιλίας προσπαθούν πολλές χώρες να το μιμηθούν, γεγονός που υποστηρίζεται και από την ανάπτυξη των μικροδικτύων και την πληθώρα επιλογών από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στο Σχήμα 4 φαίνεται η αύξηση της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και οι προσδοκίες του IEA για τα επόμενα 20 χρόνια.

Growth in electricity generation from renewable sources, 2011-2035



Σχήμα 4: Παραγωγή Ηλεκτρισμού από Ανανεώσιμες Πηγές [4].

Το κόστος της παραγόμενης ενέργειας συνεχίζει να είναι η ειδοποιός διαφορά στην επιλογή της μεθόδου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η παρατεταμένη περίοδος υψηλών τιμών πετρελαίου των τελευταίων ετών, ασκεί πίεση για ανεύρεση εναλλασσόμενων μορφών, η οποία ενισχύεται από τις μεγάλες δισαναλογίες στις τιμές του φυσικού αερίου και του πετρελαίου από περιοχή σε περιοχή.

Παρόλα τα παραπάνω, το μεγαλύτερο πρόβλημα που χρήζει άμεσης αντιμετώπισης είναι η απρόσκοπτη παροχή πρόσβασης στην ηλεκτρική ενέργεια. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), 1.3 δισεκατομμύρια ανθρώπων, ή το 20% του παγκόσμιου πληθυσμού, στερούνται το αγαθό αυτό, σύμφωνα με την μελέτη που έγινε το 2013. Από αυτούς, πάνω από 620 εκατομμύρια ζουν στην υπο-Σαχάρια Αφρική, ενώ 300 εκατομμύρια ζουν μόνο στην Ινδία. Επιπλέον, μη αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω διακοπών ή χαμηλών επιπέδων τάσης, είναι η πραγματικότητα για ακόμη 1 δισεκατομμύριο ανθρώπους. Επίσης 2.6 δισεκατομμύρια δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρές εγκαταστάσεις μαγειρέματος και βασίζονται σε παραδοσιακές μεθόδους καύσης στερεάς βιομάζας για το μαγείρεμα και το φωτισμό. Η πληθώρα των περιπτώσεων βρίσκεται στον αναπτυσσόμενο κόσμο, σε χώρες τις Αφρικής, της Ασίας και της Λατινικής Αμερικής όπου το ηλεκτρικό ρεύμα είναι αγαθό πολυτελείας και οι βιολογικές ανάγκες των ανθρώπων δεν είναι εγγυημένες.

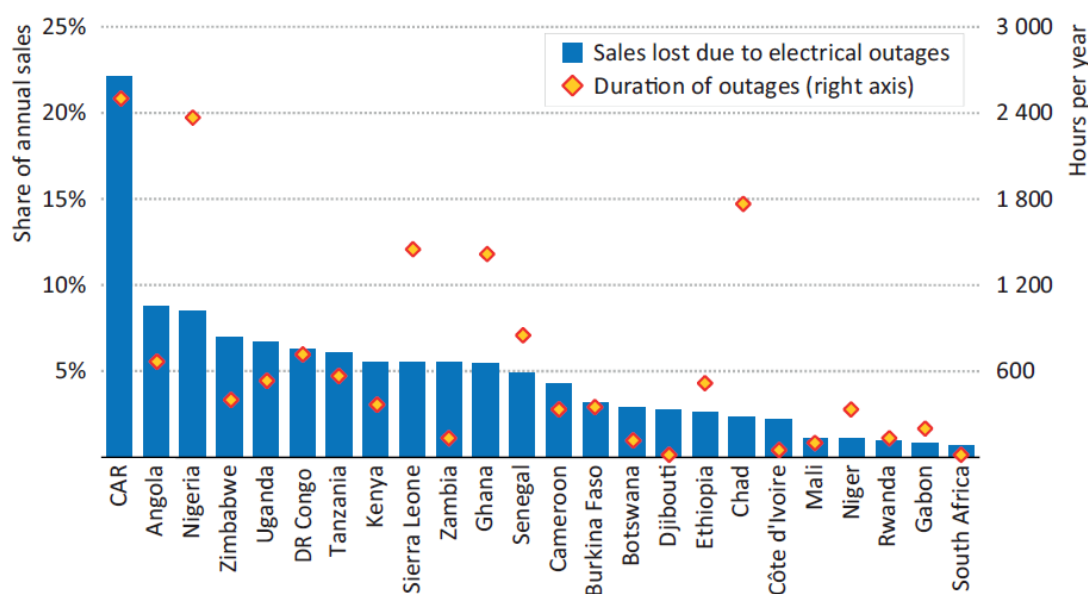
2.2 Αναπτυσσόμενες Χώρες

Οι προκλήσεις που συναντώνται καθημερινά από τους πολίτες των αναπτυσσόμενων χωρών είναι ποικίλες. Σε πολλές περιπτώσεις η πείνα και η έλλειψη πόσιμου νερού είναι συχνή αιτία θανάτου. Η φτώχεια και οι αντίξοες συνθήκες εντύνουν τις δυσκολίες της καθημερινότητας. Η ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι αγαθό προσίτο στο πλήθος των κατοίκων των αγροτικών περιοχών. Αυτό καθιστά την παροχή ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης και εκπαίδευσης κοπιώδη διαδικασία.

Με την πρόοδο της επιστήμης και των τεχνολογιών μικροδικτύων θα περίμενε κανείς ότι η λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροδότησης των περιοχών του αναπτυσσόμενου κόσμου που βρίσκονται εκτός δικτύου να είναι εφικτή στο προσεχές μέλλον. Η πραγματικότητα όμως είναι ότι η απάντηση σε αυτό το ζήτημα δεν είναι και τόσο εμφανής. Τα εμπόδια που αναστέλλουν την υλοποίηση προγραμμάτων ηλεκτροδότησης είναι ποικίλα [5]. Πιο συγκεκριμένα:

- Οικονομικά: Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια πιο οργανωμένη προσπάθεια από το μεγαλύτερο μέρος των αναπτυσσόμενων χωρών για να εντύνουν τους ρυθμούς ανάπτυξης. Αυτό συνήθως οφείλεται στη θέληση τόσο των ανθρώπων όσο και των κυβερνήσεων των κρατών για ένα καλύτερο μέλλον. Όμως, η μεγάλη πληθυσμιακή πυκνότητα που χαρακτηρίζει τις περιοχές αυτές σε συνδυασμό με τη χρήση αναχρονιστικών τεχνολογιών στην παραγωγική διαδικασία συγκρατεί την ανάπτυξη σε χαμηλά επίπεδα. Έτσι παρά το γεγονός ότι το ποσοστό των ανθρώπων που ζουν κάτω από τα όρια της φτώχειας έχει μειωθεί (για παράδειγμα από 56% το 1990 σε 49% το 2010 για τις υπο-Σαχάριες περιοχές [5]), ο πραγματικός αριθμός των ανθρώπων αυτών έχει αυξηθεί. Οι περισσότερες από τις αναπτυσσόμενες χώρες έχουν χαμηλά ποσοστά αποταμίευσης και φορολογικών εσόδων, γεγονός που περιορίζει την χρηματοδοτική τους ικανότητα. Επίσης, η χαμηλή δανειοληπτική τους ικανότητα αποθαρρύνουν τους ξένους επενδυτές σε αρκετές περιπτώσεις.

- **Δημογραφικά:** Το πλήθος των κατοίκων των αναπτυσσόμενων χωρών ζει σε αγροτικές περιοχές. Οι αντίξοες συνθήκες που αντιμετωπίζουν καθημερινά έχουν σαν αποτέλεσμα τα επίπεδα εκπαίδευσης να είναι χαμηλά. Η χρήση νέων τεχνολογιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και όχι μόνο, προϋποθέτει εργατικό δυναμικό με τουλάχιστον βασική τεχνογνωσία καθώς και δεξιότητες που σχετίζονται με την πολιτική, ρύθμιση και διαχείριση ενός έργου.
- **Υποδομών:** Στις λίγες περιπτώσεις που υπάρχει ηλεκτροδότηση, τα προβλήματα που προκύπτουν είναι διαφορετικής φύσεως. Περιλαμβάνουν έλλειψη στη ηλεκτροπαραγωγική ικανότητα, υποβαθμισμένα αποθέματα για συντήρηση και περιορισμένες υποδομές για μεταφορά και διανομή της ενέργειας. Επίσης, άλλες υποδομές, όπως δρόμοι, αντιμετωπίζουν προβλήματα, δισχεραίνοντας έτσι την ανάπτυξη. Οι ρυθμοί επέκτασης των υπάρχοντων δικτύων αδυνατούν να καλύψουν τον ολοένα και αυξανόμενο πληθυσμό των χωρών. Η παροχή ηλεκτρισμού είναι αναξιόπιστη και οι επιχειρήσεις αδυνατούν να εξελιχθούν λόγω του προβλήματος αυτού. Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ διακοπής της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και των πωλήσεων σε επιχειρήσεις διαφόρων χωρών της Αφρικής. Παρόμοια είναι η κατάσταση και σε χώρες της Ασίας ή της Λατινικής Αμερικής.



Σχήμα 5: Επιπτώσεις σε πωλήσεις από τις διακοπές ηλεκτρικού ρεύματος [5].

- **Διακυβέρνησης:** Απαραίτητη προϋπόθεση ανάπτυξης είναι η καθιέρωση αποτελεσματικής διακυβέρνησης. Σε πολλές περιπτώσεις, οι κυβερνήσεις των κρατών αυτών σχετίζονται με κρούσματα διαφθοράς, ανεπαρκών ρυθμιστικών και νομικών πλαισίων, αδυναμία θεσμοθέτησης και ελέγχου και κακή διαφάνεια και λογοδοσία. Είναι ένα καίριο ζήτημα για τον τομέα της ενέργειας, καθώς τα κράτη χρειάζονται να προσελκύσουν και να διαχειριστούν ξένα κεφάλαια και επενδυτές.
- **Πρόσβασης σε σύγχρονες μορφές ενέργειας:** Δεν υπάρχει κάποια κοινά αποδεκτή ορολογία για το τι εστί σύγχρονη μορφή ενέργειας. Ωστόσο σε όλους τους πιθανούς ορισμούς συμπεριλαμβάνονται: η πρόσβαση των

νοικοκυριών σε ένα ελάχιστο επίπεδο ηλεκτροδότησης, η πρόσβαση των νοικοκυριών σε ασφαλείς και βιώσιμους τρόπους μαγειρέματος και θέρμανσης, η πρόσβαση σε επίπεδα ενέργειας που επιτρέπουν οικονομική ανάπτυξη και ασφαλείς μετακινήσεις [5]. Η αδυναμία τήρησης των παραπάνω κριτηρίων έχει ως αποτέλεσμα οι κάτοικοι των αναπτυσσόμενων χωρών να βασίζονται σε ακριβές, αναποτελεσματικές και επικίνδυνες εναλλακτικές μορφές ενέργειας όπως είναι η κηροζίνη, η καύση ξύλων για το μαγείρεμα κλπ..

Το αποτέλεσμα των προαναφερθέντων προβλημάτων είναι τα χαμηλά επίπεδα ηλεκτροδότησης στις αναπτυσσόμενες χώρες. Ακόμη και η Ινδία, που είναι από τις χώρες με τα μεγαλύτερα επίπεδα ανάπτυξης τα τελευταία έτη, και αναμένεται να εξελιχθεί σε μία από τις ισχυρότερες οικονομίες του κόσμου, παρουσιάζει επίπεδα ηλεκτροδότησης σε μη-αστικές περιοχές χαμηλότερα του μέσου όρου ανά τον κόσμο.

Κεφάλαιο 3: Μέθοδοι Ηλεκτροδότησης Αγροτικών Περιοχών στον Αναπτυσσόμενο Κόσμο

3.1 Εισαγωγή

Τα χαμηλά ποσοστά ηλεκτροδότησης περιοχών των αναπτυσσόμενων χωρών, που επισυμάνθησαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, έχουν προτρέψει τους κατοίκους και τις κυβερνήσεις των κρατών αυτών σε εναλλακτικές μεθόδους από την παραδοσιακή επέκταση του δικτύου. Η πιο δημοφιλής λύση είναι η χρήση των μικροδικτύων, στις περισσότερες των περιπτώσεων απομονωμένα από το κεντρικό δίκτυο, αφού οι μεγάλες και δύσβατες αποστάσεις καθιστούν την ένταξή τους στο κεντρικό δίκτυο απαγορευτική.

Στο κεφάλαιο αυτό μελετώνται μικροδίκτυα που χρησιμοποιούν τις ακόλουθες τεχνολογίες:

- ❖ Υβριδικό Σύστημα Diesel και Φωτοβολταϊκών (PV) ή Ανεμογεννήτριας
- ❖ Φωτοβολταϊκά ή Ανεμογεννήτρια με Μπαταρίες
- ❖ Μικρά-υδροηλεκτρικά συστήματα
- ❖ Σύστημα Βιομάζας.

Οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα με την διαθεσιμότητα των τοπικών πηγών και τη ζήτηση της κάθε περιοχής. Επιπλέον, στις αναπτυσσόμενες χώρες, μια τέτοια εγκατάσταση μπορεί να επηρεάσει θετικά τις ζωές πολλών ανθρώπων, λόγω των χαμηλών επιπέδων ζήτησης ηλεκτρικού ρεύματος.

3.2 Τεχνολογίες

3.2.1 Υβριδικό Σύστημα με Diesel και Φωτοβολταϊκά ή Ανεμογεννήτρια.

Μικροδίκτυα που βασίζουν την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος σε μηχανές diesel είναι κατά πολύ τα πιο δημοφιλή και εμφανίζονται ως μέθοδος ηλεκτροδότησης στις αναπτυσσόμενες χώρες από το 1950 και μετά [7].

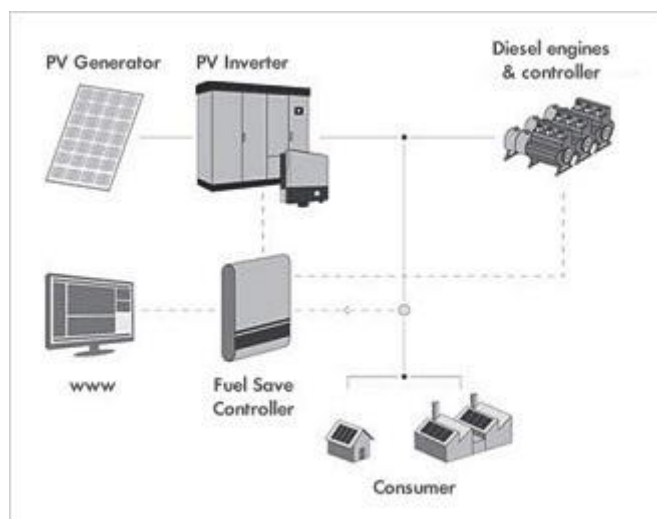
Μία μηχανή Diesel χαρακτηρίζεται από την αποτελεσματικότητά της και την κατανάλωση καυσίμου. Η κατανάλωση καυσίμου μπορεί να οριστεί ως το η ποσότητα καυσίμου που χρειάζεται για να παράγει 1kWh ενέργειας και είναι ίση με την ωριαία κατανάλωση (l/h) για να τροφοδοτήσει ένα δεδομένο φορτίο για 1 ώρα. Η ωριαία κατανάλωση καυσίμου μπορεί να οριστεί ως:

$$q(t) = a * P_t + b * P_r,$$

όπου a , b είναι σταθερές σε (l/kWh) για κάθε γεννήτρια Diesel, P_t (kW) η παραγόμενη ισχύς και P_r (kW) η ονομαστική ισχύς της γεννήτριας. Ο τύπος αυτός μας δείχνει ότι η κατανάλωση καυσίμου είναι ανάλογη της παραγόμενης ισχύος. Τυπικά, έχει αποδειχτεί ότι οι γεννήτριες Diesel διαθέτουν μέγιστη αποτελεσματικότητα στα 0,33 l/kWh όταν λειτουργούν περίπου στο 80% της ονομαστικής ισχύος [8].

Το λειτουργικό κόστος των γεννητριών Diesel στις περιπτώσεις που είναι το μοναδικό στοιχείο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνήθως πολύ υψηλό, εξαιτίας της μεγάλης κατανάλωσης καυσίμων, του κόστους συντήρησης και μεταφοράς. Εισάγοντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, είτε με μορφή Φωτοβολταϊκών είτε με Ανεμογεννήτρια, δίνεται η δυνατότητα στο υβριδικό πλέον σύστημα να παρέχει καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών με πιο εκτεταμένο ωράριο λειτουργίας, σε συνδυασμό με τη μείωση στην κατανάλωση καυσίμων και τη χρήση της γεννήτριας.

Εισάγοντας Φωτοβολταϊκά στοιχεία σε ένα μικροδίκτυο με γεννήτρια Diesel, είναι ένα σύνθητες φαινόμενο των τελευταίων ετών (Σχήμα 6). Στις περισσότερες περιπτώσεις τέτοιων υβριδικών συστημάτων, τα Φωτοβολταϊκά καλύπτουν μερικώς ή ολικώς το φορτίο κατά τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες, όπου η παραγωγή τους είναι στο μέγιστο, ενώ η γεννήτρια χρησιμοποιείται για να ικανοποιεί τη ζήτηση φορτίου τις βραδινές ώρες [9]. Στη διάρκεια της ημέρας η γεννήτρια πρέπει να λειτουργεί στο ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο.

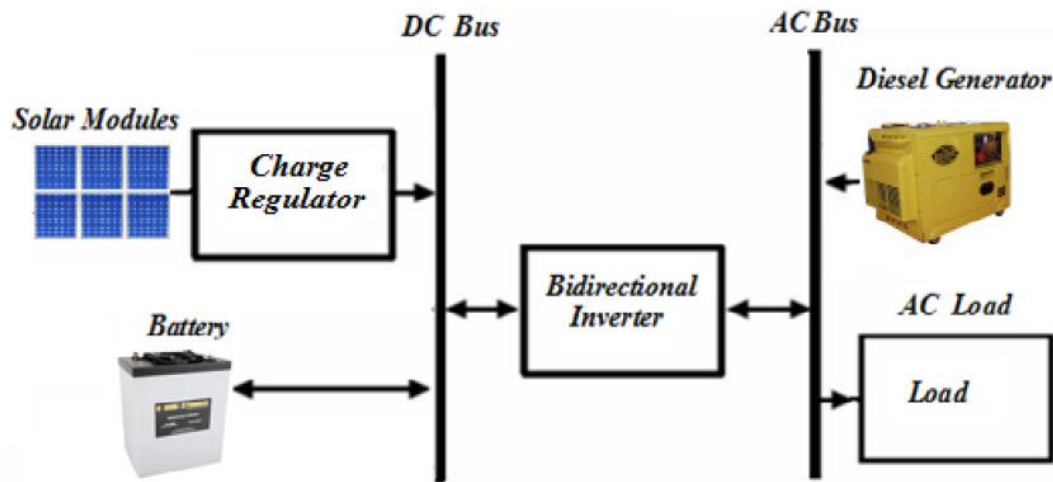


Σχήμα 6: Υβριδικό σύστημα Diesel/Φωτοβολταϊκών με ελεγκτή περιορισμού καυσίμων.

Ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό τέτοιου συστήματος πρέπει να δοθεί στην αποφυγή χαμηλού συντελεστή φορτίου, αντίστροφης ροής ισχύος και ανεπαρκούς εφεδρείας στις στροφές της γεννήτριας, τα οποία δημιουργούνται εξαιτίας της διαλείπουσας ενέργειας από την ανανεώσιμη πηγή. Σε περιπτώσεις όπου το φορτίο ήταν κατά πολύ χαμηλότερο των ονομαστικών τιμών της γεννήτριας, τα φωτοβολταϊκά δρουν ανασταλτικά στην απόδοση της γεννήτριας Diesel. Επιπλέον οι γεννήτριες σταδιακά αλλοιώνονται όταν λειτουργούν σε τέτοιες συνθήκες και η μη αποδοτική κατανάλωση καυσίμων καθιστά απαγορευτική μία τέτοια λειτουργία [7]. Για να αποφευχθούν τέτοια φαινόμενα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δευτερεύοντα φορτία (συνήθως για άντληση ή θέρμανση νερού) τα οποία θα τίθενται σε λειτουργία ώστε να απορροφούν την επιπλέον παραγωγή ενέργειας και να διατηρούν τη λειτουργία της γεννήτριας σε κανονικά επίπεδα [8].

Επίσης, ο ιδανικός σχεδιασμός ενός τέτοιου συστήματος επιτυγχάνεται όταν η μέγιστη ζήτηση φορτίου συμβαίνει κατά τις ώρες με τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία, ώστε τα φωτοβολταϊκά να αποδίδουν όσο το περισσότερο δυνατό [8]. Τέλος, θα πρέπει ο συνδιασμός της παραγόμενης ισχύος των φωτοβολταϊκών και της γεννήτριας Diesel να καλύπτει πλήρως το φορτίο όλες τις ώρες της ημέρας.

Σε πολλές περιπτώσεις, στο σύστημα εισάγονται και μπαταρίες αποθήκευσης της επιπλέον ενέργειας, όταν το φορτίο υπερκαλύπτεται από την παραγωγή (Σχήμα 7). Στο πλαίσιο αυτό, δίνεται η δυνατότητα στο σύστημα να υποστηρίζει χαμηλά φορτία για πολλές ώρες το βράδυ χρησιμοποιώντας την αποθηκευμένη ενέργεια. Ωστόσο το κόστος των μπαταριών αυτών είναι αρκετά υψηλό (συνήθως κυμαίνεται στο 20% του συνολικού κόστους του έργου), και γι'αυτό πολλές φορές δεν συμπεριλαμβάνονται στο σχεδιασμό του μικροδικτύου.



Σχήμα 7: Υβριδικό σύστημα Diesel/Φωτοβολταϊκών με μπαταρίες.

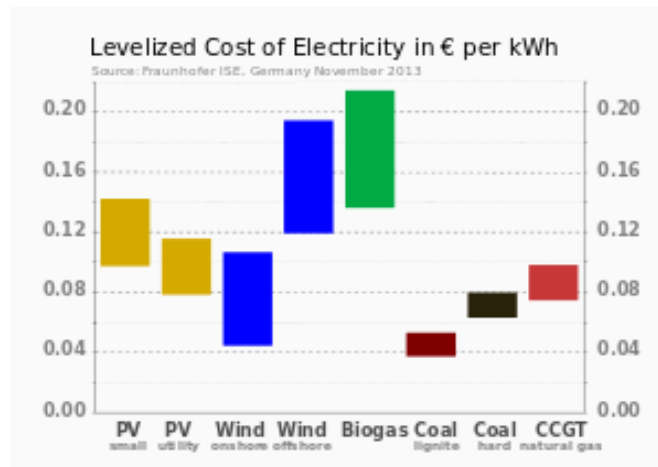
Τέτοιου είδους συστήματα συναντώνται σε πολλές απομακρυσμένες περιοχές αναπτυσσόμενων χωρών. Είναι ποικίλου μεγέθους, από μερικά kW έως μερικές εκατοντάδες kW. Όρισμένα παραδείγματα είναι [7]:

- Μάλι: Το Μάλι είναι χώρα της Δυτικής Αφρικής. Εκεί συναντάται το μεγαλύτερο μέχρι στιγμής υβριδικό σύστημα Φωτοβολταϊκών και γεννήτριας Diesel συνολικής ισχύος 216 kWp. Γίνονται σχέδια για την εισαγωγή Φωτοβολταϊκών σε ήδη υπάρχοντα συστήματα Diesel σε 17 ακόμη περιοχές της χώρας που θα καλύπτουν συνολική ισχύ της τάξης 1MWp.
- Σενεγάλη: Η Σενεγάλη είναι μια από τις χώρες της Αφρικής η οποία έχει αξιοποιήσει σε μεγάλο βαθμό αυτά τα υβριδικά μικροδίκτυα. Σε συνεργασία με εταιρίες και οργανισμούς από την Ευρώπη έχουν κατασκευάσει 16 συστήματα των 5 kWp PV, 11 kVA Diesel το καθένα για ηλεκτροδότηση απομακρυσμένων περιοχών. Σκοπεύουν να δημιουργήσουν 50 ακόμη τέτοια συστήματα στο άμεσο μέλλον.
- Τανζανία: Η κυβέρνηση της Τανζανίας έχει δημιουργήσει τον Οργανισμό Ηλεκτροδότησης Αγροτικών περιοχών – Rural Electrification Agency (REA), για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα των περιοχών αυτών. Η REA πιστεύει ότι τα υβριδικά συστήματα PV/ Diesel είναι μια λύση που μπορεί να παρέχει αξιόπιστη και οικονομικά προσιτή ηλεκτρική ενέργεια στις περιοχές εκτός δικτύου. Έχουν ήδη εγκατασταθεί αρκετά υβριδικά συστήματα, εύρους μεταξύ 1 και 10 kWp το καθένα. Η REA αναζητά λύσεις για ευκολότερη χρηματοδότηση τέτοιων πρωτοβουλιών και μελετάται και η εισαγωγή Ανεμογεννητριών.
- Ρουάντα: Από το 2007, στη Δημοκρατία της Ρουάντα έχουν εγκατασταθεί υβριδικά συστήματα PV/ Diesel σε πάνω από 50 ιατρικά κέντρα της υπαίθρου. Συνήθως οι γεννήτριες Diesel είναι της τάξης των 16 με 20 kVA και τα Φωτοβολταϊκά από 3 έως 6 kWp.
- Ουγκάντα: Επί του παρόντος, στην Ουγκάντα συναντώνται μικρά υβριδικά συστήματα, ισχύος 5 kWp, σε κοινωνικά κέντρα αγροτικών περιοχών και σε ορισμένες βιομηχανίες. Η ανάπτυξη των μικροδικτύων βρίσκεται ακόμη σε

προταρχικά στάδια. Ωστόσο κυβερνητική οργανισμοί έχουν σκοπό να ηλεκτροδοτήσουν με υβριδικά συστήματα τα νησιά Koome και Bunuma.

- Κένυα: Στην Κένυα το 2011 υλοποιήθηκε το πρώτο υβριδικό σύστημα PV/Diesel, με 10 kWp PV και 80 kVA Diesel. Στο νησί Mfangano της Λίμνης Βικτώρια, εγκαταστάθηκε το 2013 ένα ακόμη υβριδικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί ελεγκτή καυσίμων για μείωση της κατανάλωσης Diesel έως και 60% ώστε να μη χρειάζονται μπαταρίες.

Σε αρκετές ακόμη χώρες συναντώνται τέτοια συστήματα. Η πληθώρα των περιπτώσεων δείχνει πόσο δημοφιλή είναι, καθώς χρησιμοποιούν την ήδη υπάρχουσα τεχνολογία και τη βελτιώνουν προς όφελος οικονομικό, τεχνολογικό αλλά και περιβαλλοντικό.



Σχήμα 10: Κόστος Ηλεκτρισμού ανά μονάδα ενέργειας [11].

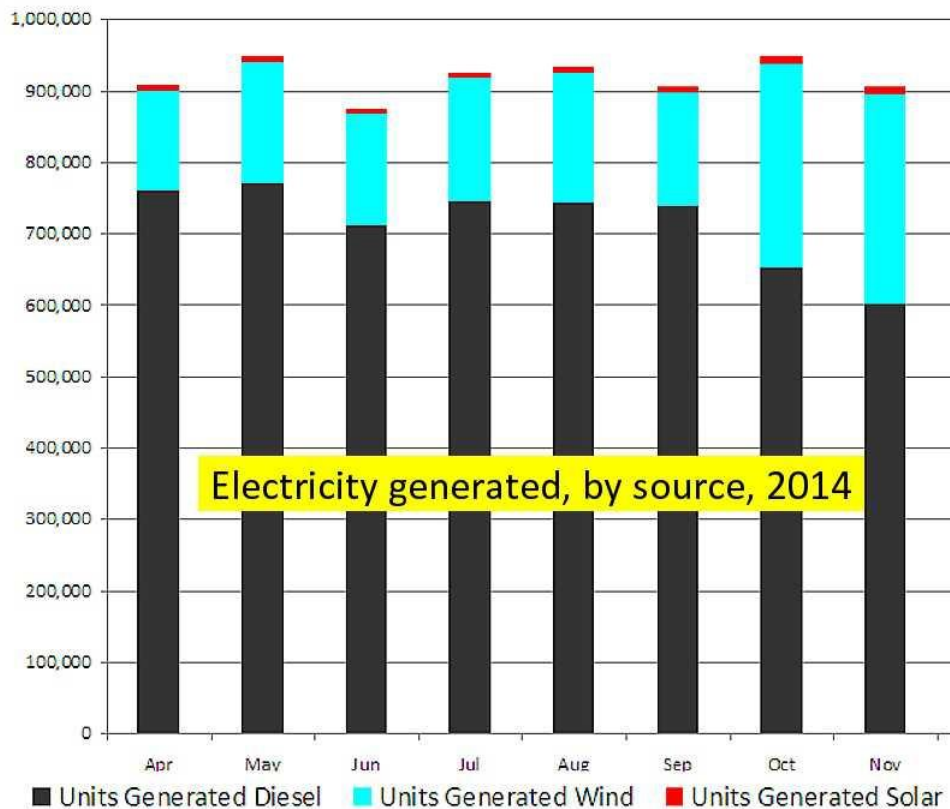
Λιγότερο δημοφιλή, αλλά με παρόμοια αποτελέσματα είναι τα υβριδικά συστήματα που συνδυάζουν παραγωγή Diesel με Ανεμογεννήτριες. Σε περιοχές όπου υπάρχει καλό αιολικό δυναμικό, ο συνδυασμός Diesel γεννήτριας με Ανεμογεννήτρια αποτελεί εφικτή λύση. Το κόστος των συστημάτων αυτών σε σχέση με αυτά που χρησιμοποιούν Φωτοβολταϊκά είναι μικρότερο, καθώς η παραγόμενη ενέργεια είναι πιο οικονομική σε σχέση με αυτή των φωτοβολταϊκών, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 10.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των Ανεμογεννητριών βρίσκεται στο γεγονός ότι υπάρχει τεχνολογία η οποία είναι διαθέσιμη στο κοινό για την κατασκευή Ανεμογεννήτριας χρησιμοποιώντας υλικά της καθημερινότητας. Έχουν γίνει πολλές μελέτες πάνω στο σχέδιο αυτό, το οποίο συνεχίζει και εμπλουτίζεται μέχρι και σήμερα [10]. Η τοπική κατασκευή ενός τέτοιου έργου, δίνει τη δυνατότητα να ενισχυθεί η τοπική οικονομία, δημιουργεί και ενισχύει τοπικές ικανότητες, μειώνει το κόστος και παράγει ανθεκτικά και ευέλικτα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο συνδυασμός τους με γεννήτριες Diesel προσδίδει στο σύστημα μεγαλύτερη αξιοπιστία, καθώς η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται αδιάσπαστα ανεξαρτήτως της ταχύτητας των ανέμων.

Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα μικροδικτύου γεννήτριας Diesel και Ανεμογεννήτριας βρίσκεται στο Νησί της Αγίας Ελένης. Το σύμπλεγμα νησιών που αποτελούν το κρατίδιο αυτό βρίσκεται στον Νότιο Ατλαντικό Ωκεανό, με 4255 κατοίκους και

αποτελεί μια από τις πιο απρόσιτες περιοχές στη γη. Είναι κυρίως γνωστό για την εξορία του Ναπολέοντα το 1815. Για την ηλεκτροδότηση των νησιών χρησιμοποιούνται ανεμογεννήτριες από 50 έως 300kW, οι οποίες παράγουν περίπου το 20% των ενεργειακών αναγκών των κατοίκων, χάρη στις ιδανικές συνθήκες ανέμων. Το υπόλοιπο φορτίο καλύπτεται από προυπάρχουσες γεννήτριες Diesel. Η ένταξη των Ανεμογεννητριών στο μικροδίκτυο εξοικονομεί όχι μόνο την ανάλογη ποσότητα καυσίμου, αλλά μειώνει και το κόστος μεταφοράς [12]. Οι αρμόδιες αρχές σκοπεύουν να εγκαταστήσουν περισσότερες ανεμογεννήτριες έως ότου φτάσουν σε 80% επίπεδο διείσδυσης ανέμου ή ακόμη και περισσότερο. Τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει και προστίθενται και φωτοβολταϊκά σε όρισμένες περιοχές, συμβάλλοντας στην παραγωγή ενέργειας όπως φαίνεται στο Σχήμα 11.

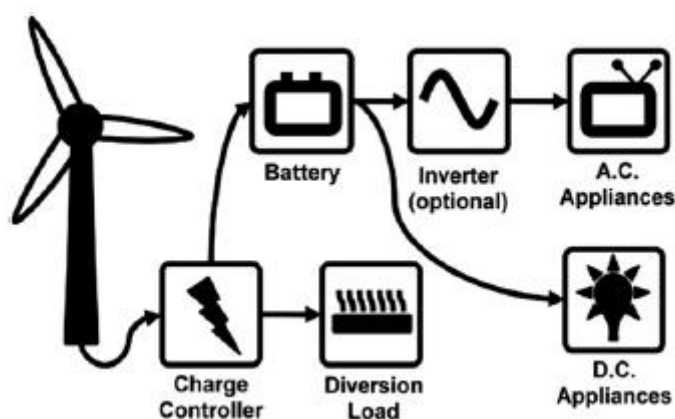


Σχήμα 11: Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Αγία Ελένη [13].

3.2.2 Φωτοβολταϊκά ή Ανεμογεννήτρια με Μπαταρίες

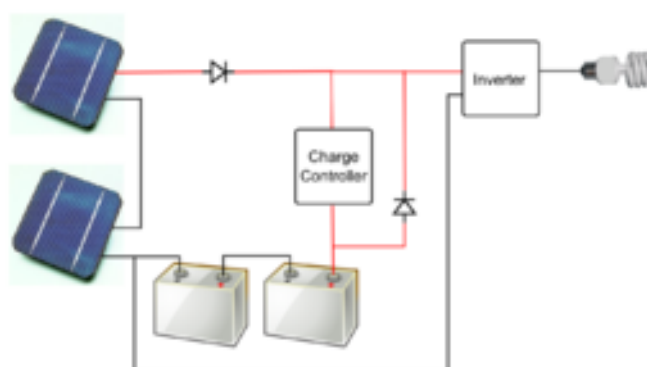
Σε πολλές περιπτώσεις, οι ανανεώσιμες πηγές χρησιμοποιούνται ως βασικός πάροχος ενέργειας, δίνοντας έτσι στις γεννήτριες Diesel εφεδρικό ρόλο. Μικρά αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι έχουν αποδειχθεί ιδανικά σε οικογενειακό επίπεδο. Όμοια, χαμηλού κόστους ανεμογεννήτριες τοπικής κατασκευής, κάνοντας χρήση τοπικών υλικών και προσεγγίσεων, αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη ιδέα για τις κοινότητες στις αναπτυσσόμενες χώρες [10].

Τέτοιου είδους μικροδίκτυα συνήθως ενσωματώνουν ένα ρυθμιστή φόρτισης, ο οποίος αποτρέπει τις μπαταρίες από υπερφόρτιση ή βαθιά εκφόρτιση και αρκετά συχνά διαθέτει ένα μετατροπέα για αλλαγή της τάσης από DC σε AC, ώστε να είναι δυνατή η χρήση και συσκευών εναλλασσόμενου ρεύματος (Εικόνες 2,3). Τα φωτοβολταϊκά και η Ανεμογεννήτρια έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν είτε παράλληλα λόγω της συμπληρωματικότητας των στοιχείων τους είτε αυτόνομα όταν οι πηγές (ηλιακή ακτινοβολία ή άνεμος) είναι επαρκείς [15].



Εικόνα 2: Αυτόνομο σύστημα Ανεμογεννήτριας με μπαταρίες [17].

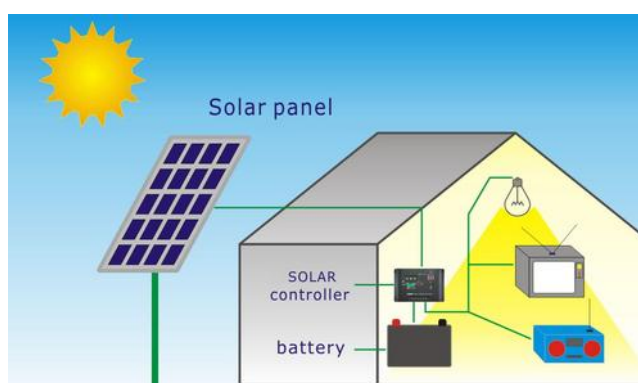
Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις όσον αφορά τα μικροδίκτυα με Φωτοβολταϊκά-Ανεμογεννήτρια- Μπαταρίες: μεμονωμένα οικιακά συστήματα για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα νοικοκυριό κάθε φορά (κυρίως για φωτισμό) και μεγαλύτερα συστήματα σε επίπεδο κοινότητας, που μπορούν να παρέχουν ενέργεια σε ψυγεία για ιατρικά κέντρα, αντλίες νερού, υπολογιστές για σχολεία ή άλλες χρήσιμες συσκευές που έχουν ενσωματωθεί στο μικροδίκτυο αυτό.



Εικόνα 3: Ένα τυπικό αυτόνομο μικροδίκτυο φωτοβολταϊκών με μπαταρίες.

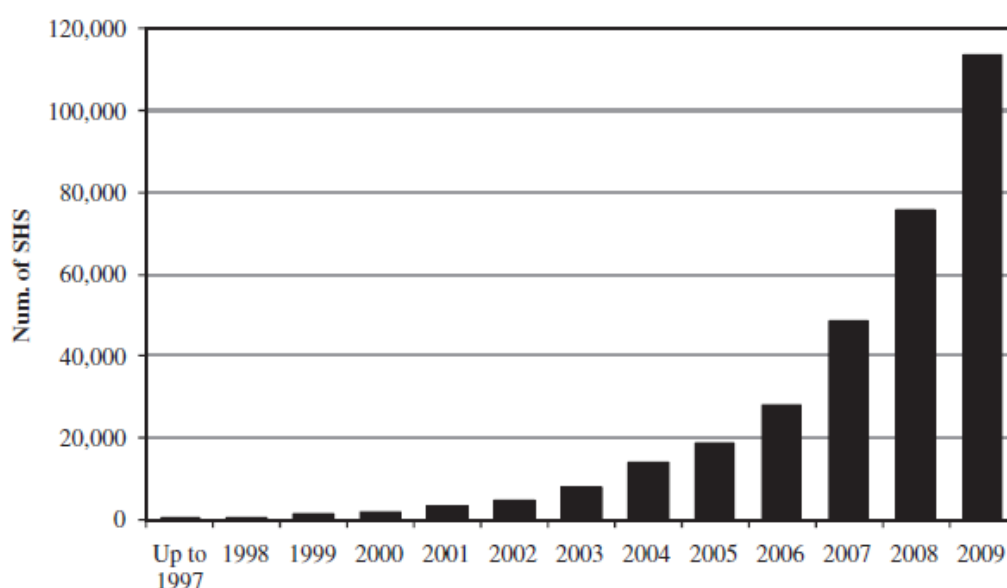
Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα επιτυχούς εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας αποτελεί το Μπαγκλαντές. Το Μπαγκλαντές είναι μία χώρα της Νοτίου Αφρικής με 142 εκατομμύρια κατοίκους όπου η βιώσιμη ανάπτυξη, η ενεργειακή κρίση και η επισιτιστική ασφάλεια προκαλούν μεγάλες ανησυχίες. Από το σύνολο του πληθυσμού, το 75% περίπου εκτός των αστικών κέντρων και μόνο το 30% από αυτά έχει πρόσβαση σε σύγχρονες μορφές ενέργειας.

Τα τελευταία χρόνια γνωρίζει τεράστια ανάπτυξη όσον αφορά την ηλεκτροδότηση της υπαίθρου χρησιμοποιώντας συστήματα φωτοβολταϊκών. Η κατεύθυνση στην οποία έχουν κινηθεί οι κάτοικοι του Μπαγκλαντές είναι η υιοθέτηση των λεγόμενων Solar Home Systems (SHS). Τα SHS αποτελούν μικρά αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα και διαθέτουν φωτοβολταϊκά πάνελ, μπαταρίες και ρυθμιστή φόρτισης. Δεν διαθέτουν μετατροπέα και έτσι εξυπηρετούν αποκλειστικά DC φορτία, πχ. Φώτα DC, Led, DC ράδιο και άλλα (Εικόνα 4) [16].



Εικόνα 4: Solar Home System.

Μέχρι και τον Αύγουστο 2012, πάνω από 1.6 εκατομμύρια Solar Home Systems είχαν ήδη εγκατασταθεί στο Μπαγκλαντές, με 50Wp μέση ισχύ (Σχήμα 12). Στόχος της κυβέρνησης και των αρμόδιων οργανισμών είναι να φτάσουν τα 4 εκατομμύρια συστημάτων συνολικής παραγωγής 200MW μέχρι και τα τέλη του 2015.



Σχήμα 12: Ετήσια εγκατάσταση SHS στο Μπαγκλαντές [18].

Επιπρόσθετα από τα Solar Home Systems και άλλα μικροσυστήματα που βασίζονται στη χρήση και τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συναντώνται στις απομακρισμένες περιοχές του Μπαγκλαντές. Μερικά παραδείγματα είναι Μικροδίκτυα φωτοβολταϊκών για την ηλεκτροδότηση κοινοτήτων, Φωτοβολταϊκές λάμπες, Συστήματα ηλεκτροδότησης δρόμων, Σταθμοί φόρτισης μπαταριών και Συστήματα άντλησης νερού.

Η επιτυχία του προγράμματος των SHS, οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις διαφορετικές μεθόδους πληρωμής που είναι διαθέσιμες στους κατοίκους και καθιστούν τα συστήματα αυτά προσβάσιμα και προσιτά στο ευρύτερο κοινό. Οι ενδιαφερόμενοι έχουν τη δυνατότητα να το αγοράσουν εξολοκλήρου με μετρητά, που στο σύνολο των περιπτώσεων μια τέτοια κίνηση είναι απαγορευτική δεδομένου της οικονομικής κατάστασης της πλειοψηφίας των κατοίκων, ή να επιλέξουν μηνιαίες δόσεις. Εάν επιλέξουν μηνιαίες δόσεις, τους δίνεται η δυνατότητα να αποπληρώσουν το σύνολο του ποσού σε μικρά ποσά και στο τέλος να είναι οι κάτοχοι του συστήματος, ή να πληρώσουν ένα μικρότερο ποσό σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και θα είναι ενοικιαστές του SHS. Επιπλέον, υπάρχει αρκετά δάνεια διαθέσιμα στους καταναλωτές για να διευκολυνθούν με την προκαταβολή ως ένα επιπλέον κίνητρο μετακίνησης από τη χρήση λαμπών κηροζίνης και τη καύση ξύλων στον ηλεκτρισμό [19].

Παρόμοια με το Μπαγκλαντές εξελίσσεται και το Λάος. Στη Λαϊκή Δημοκρατία του Λάος, πάνω από το 70% του πληθυσμού ζει σε αγροτικές περιοχές με ελάχιστη ή ανύπαρκτη πρόσβαση στον ηλεκτρισμό. Οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να προσφέρουν μια οικονομικά αποδοτική και αξιόπιστη λύση στις περιοχές που δεν ανήκουν στο κεντρικό δίκτυο. Μέχρι στιγμής πάνω από 9000 μικροδίκτυα τόσο σε επίπεδο κοινοτήτων αλλά και Solar Home Systems έχουν εγκατασταθεί και βρίσκονται σε λειτουργία. Οι κάτοικοι που επωφελούνται από αυτά τα μικροδίκτυα εκπαιδεύονται με τεχνικές δεξιότητες και μεθόδους τήρησης βιβλίων ώστε να μπορούν οι ίδιοι να διευθύνουν και να εποπτεύουν την καθημερινή λειτουργία.

Επιπρόσθετα, στο Λάος το 2013 κατασκευάστηκε ένα φωτοβολταϊκό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνολικής ισχύος 6.5kWp που ηλεκτροδοτεί 500 κατοίκους ενός απομακρυσμένου χωριού. Η κυβέρνηση της Λαϊκής Δημοκρατίας του Λάος έχει θέσει ως στόχο την απρόσκοπτη και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο 90% του πληθυσμού μέχρι το 2020 [20].

Το Περού έχει και αυτό επιλέξει να χρησιμοποιήσει τα Solar Home System για να ηλεκτροδοτήσει τις απομακρυσμένες περιοχές. Από το 2012, πάνω από 3000 συστήματα έχουν εγκατασταθεί, 2400 από τα οποία λειτουργούν με 80Wp. Χρησιμοποιούν ένα ιδιαίτερο μοντέλο αποπληρωμής, όπου το 20% του κόστους καλύπτεται από τους ιδιώτες και το υπόλοιπο από την κυβέρνηση. Καθώς γίνεται η χρήση των SHS, εκείνοι που χρησιμοποιούν μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρισμού πληρώνουν περισσότερο ώστε να καλύπτουν και τους οικονομικά αδύναμους καταναλωτές [21].

Η επιτυχία του προγράμματος στο Περού είναι αποτέλεσμα της ανθρωποκεντρικής μορφής που έχει. Δίνεται μεγάλο βάρος στην ευαισθητοποίηση, εκπαίδευση και κατάρτιση του κοινού, ώστε να μπορούν να είναι πιο εξοικειωμένοι με τα συστήματα αυτά και τη χρήση τους.

Τα Solar Home Systems γνωρίζουν μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια και έχουν αρχίσει και υιοθετούνται από πολλές ακόμη χώρες [22]. Ενδεικτικά, στην Ινδία έχουν εγκατασταθεί πάνω από 670 χιλιάδες συστήματα με προοπτικές εξέλιξης πολύ

μεγάλες, αφού σκοπεύουν να αντικαταστήσουν τις λάμπες κηροζίνης με SHS στο σύνολο του πληθυσμού (εκτιμάται ότι περίπου 72 εκατομμύρια οικογένειες δεν έχουν πρόσβαση στο ηλεκτρικό ρεύμα και χρησιμοποιούν λάμπες κηροζίνης για τις ανάγκες τους).

Στην Ινδονησία 101 εκατομμύρια άνθρωποι (το 7.2% του παγκόσμιου πληθυσμού) ζούν χωρίς πρόσβαση σε ηλεκτρισμό. Έχουν γίνει στο παρελθόν κάποιες προσπάθειες για ηλεκτροδότηση, ωστόσο η μη ορθή υποστήριξη από την πλευρά της κυβέρνησης της Ινδονησίας οδήγησε στην αποτυχία των περισσότερων. Τα τελευταία χρόνια έχουν εγκατασταθεί περίπου 200.000 SHS των 50Wp. Για να επέλθει περαιτέρω ανάπτυξη επιβάλλεται ο επαναπρογραμματισμός των τρόπων αποπληρωμής των συστημάτων καθώς και μεγαλύτερη υποστήριξη από την κυβέρνηση.

Χώρες της Αφρικής όπως η Κένυα, η Γκάνα και η Αιθιοπία κάνουν προσπάθειες για να εισάγουν τα Solar Home Systems ως μια λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροδότησης αγροτικών περιοχών. Ωστόσο κύριος ανασταλτικός παράγοντας για την αποδοχή των SHS είναι η έλλειψη σωστού χρηματοπιστοτικού συστήματος και το χαμηλό κατακεφαλήν εισόδημα που αποτρέπει την απόκτηση τέτοιων συστημάτων.

Solar Lantern



Εικόνα 5: Ηλιακός Λαμπτήρας [23].

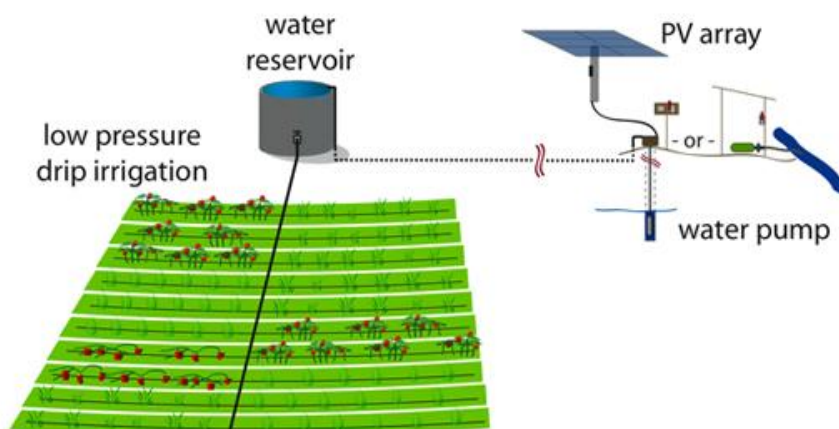
Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δωθεί σε δύο εξέχουσες χρήσης της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών: στον Ηλιακό Λαμπτήρα και στο Ηλιακό Σύστημα Άρδευσης. Το καθένα από αυτά συμβάλλει στην αντιμετώπιση επιπλέον προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι κάτοικοι των αναπτυσσόμενων χωρών, εκτός του ενεργειακού.

Ο Ηλιακός Λαμπτήρας είναι ένα μικρό φορητό φωτιστικό που αποτελείται από ένα λαμπτήρα Led, ένα φωτοβολταϊκό πάνελ και μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία (Εικόνα 5). Χρησιμοποιείται για να αντικαταστήσει και να εξαλείψει πλήρως την χρήση των Λαμπτήρων Κηροζίνης. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, περίπου 1.2 εκατομμύρια άνθρωποι πεθαίνουν κάθε χρόνο από τη ρύπανση του αέρα εσωτερικών χώρων και ένα μεγάλο ποσοστό του φαινομένου οφείλεται στη χρήση των λαμπτήρων Κηροζίνης για φωτισμό [24]. Ο ηλιακός λαμπτήρας αποτελεί μία οικονομική, υγιείς και αξιόπιστη εναλλακτική πρόταση για το φωτισμό εσωτερικών χώρων.

Η χρήση τους έχει αρχίσει να διαδίδεται ανά το κόσμο, με πάνω από 800 χιλιάδες λαμπτήρες να χρησιμοποιούνται ήδη στην Ινδία, 200 χιλιάδες στο Μπανγκλαντές και ακόμη 400 χιλιάδες στην Κίνα. Το παράδειγμα αυτών των χωρών έχουν αρχίσει να ακολουθούν και τα υπόλοιπα κράτη της Ασίας και της υπο-Σαχάρας Αφρικής, ώστε να επωφελούνται από καλύτερης ποιότητας φωτισμό και να προλαμβάνουν τις ασθένειες από την εισπνοή των τοξικών αναθυμιάσεων του λαμπτήρα Κηροζίνης.

Solar Photovoltaic Irrigation System

Το Ηλιακό Σύστημα Άρδευσης (Solar Photovoltaic Irrigation System) αποτελείται από ένα αυτόνομο και συχνά χωρίς μπαταρίες φωτοβολταϊκό σύστημα το οποίο μπορεί να αντλήσει αρκετό νερό ώστε να ικανοποιήσει τις ανάγκες των αγρών. Δεν χρειάζονται σχεδόν καθόλου συντήρηση και είναι επομένως ιδανικά για απομακρισμένες περιοχές. Η ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χρησιμεύει στην άντληση νερού από την πηγή και την τοποθέτησή του σε μια δεξαμενή. Στη συνέχεια με τη συμβολή της βαρύτητας και ενός συστήματος από αγωγούς, το νερό μεταφέρεται κατευθείαν στις ρίζες των φυτών ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες σε σχέση με τις μεθόδους ψεκασμού (Εικόνα 6).



Εικόνα 6: Τυπικό ηλιακό σύστημα άρδευσης [26].

Το Μπενίν είναι χώρα της Δυτικής Αφρικής. Οι κάτοικοι των αγροτικών περιοχών, κατά την πλειοψηφία τους, όχι μόνο δεν έχουν πρόσβαση στον ηλεκτρισμό αλλά είναι αντιμέτωποι με το μεγαλύτερο πρόβλημα των περιορισμένων τροφίμων και της έλλειψης καθαρού και πόσιμου νερού. Περίπου το 60% των νοικοκυριών δεν έχουν επισιτιστική ασφάλεια, γεγονός που οδηγεί σε μεγάλα ποσοστά κρουσμάτων χρόνιου υποσιτισμού σε παιδιά ηλικίας κάτω των πέντε ετών. Μη κερδοσκοπικοί οργανισμοί προσπαθούν να δημιουργήσουν λύση στο πρόβλημα αυτό αξιοπιώντας τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και υποβοηθώντας την οικονομική, αγροτική, εκπαιδευτική και υγειονομική ανάπτυξη.

Το Ηλιακό Σύστημα Άρδευσης εφαρμόζεται για την ύδρευση των αγρών κατά την εξάμηνη περίοδο ξηρασίας, με σκοπό τόσο την κατανάλωση αλλά και την πώληση της καλλιέργειας. Έχουν ήδη εγκατασταθεί αρκετά τέτοια συστήματα και περίπου 48,000 κάτοικοι έχουν πρόσβαση σε φρούτα και λαχανικά όλη τη διάρκεια του έτους. Τα αποτελέσματα είναι ήδη εμφανή και θετικά, καθώς η ύπαρξη τροφίμων καθόλη τη διάρκεια του έτους καταπολεμεί αποτελεσματικά το πρόβλημα του υποσιτισμού [25]. Το επόμενο βήμα για μία καλύτερη ποιότητα ζωής των κατοίκων του Μπενίν, είναι η ηλεκτροδότηση νοσοκομείων, σχολείων και κατοικιών χρησιμοποιώντας τις ανανεώσιμες πηγές που είναι διαθέσιμες.

Όσον αφορά τα μικροδίκτυα που μεταχειρίζονται την αιολική ως κύρια μορφή ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής, είναι γεγονός ότι δεν είναι τόσο δημοφιλή όσο τα φωτοβολταϊκά. Στη Μογγολία, στο Περού και στη Νικαράγουα συναντώνται μικρού μεγέθους και ίδιας κατασκευής ανεμογεννήτριες, που με τη βοήθεια μπαταριών ηλεκτροδοτούν κατοικίες ή κέντρα κοινοτήτων. Αντιμετωπίζουν όμως κάποια σημαντικά προβλήματα που επηρεάζουν τη μακροχρόνια αξιοπιστία και επιτυχία των μικροδικτύων αυτών [17]. Αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως:

- Σωστός σχεδιασμός του συστήματος. Επιβάλλεται να γίνει εκτενής και σωστός υπολογισμός της ζήτησης πριν σχεδιαστεί το σύστημα λαμβάνοντας υπ' όψιν τόσο τις ανάγκες αλλά και τις επιθυμίες των καταναλωτών.
- Συνεχόμενη παροχή ενέργειας. Η αδιάκοπη τροφοδότηση ηλεκτρικού ρεύματος είναι απαραίτητη για ένα απομονωμένο μικροδίκτυο και καθορίζεται τόσο από την αξιοπιστία όσο και τη ανθεκτικότητά του. Η αξιοπιστία επηρεάζεται από μετεωρολογικούς και τεχνικούς παράγοντες ενώ η ανθεκτικότητα από την διαθεσιμότητα ανταλλακτικών και την ύπαρξη της απαραίτητης τεχνογνωσίας για να γίνει η αντικατάσταση.
- Σταθερή υποστήριξη από τις αρχές. Η επιτυχία προγραμμάτων με ανεμογεννήτριες απαιτεί την συνεχόμενη υποστήριξη σε επίπεδο κυβέρνησης και τοπικών αρχών. Η αποδοχή από το κοινό ενισχύεται με την παρότρυνση της κυβέρνησης και με την παροχή κατάλληλων οικονομικών βοηθειών.

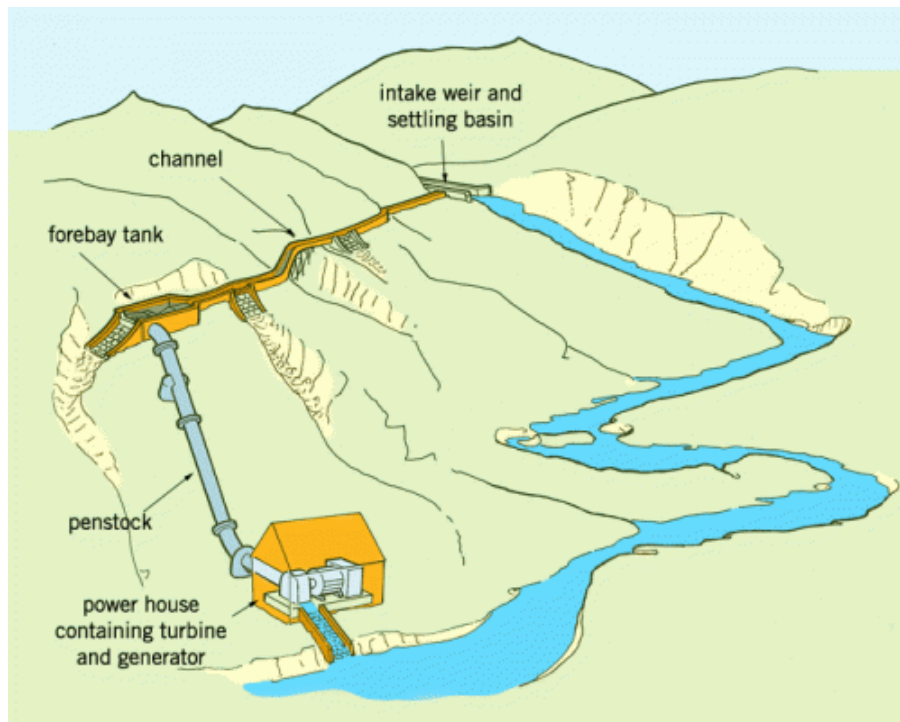
3.2.3 Μικρά υδροηλεκτρικά Συστήματα

Η υδροηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από τη μετατροπή της ενέργειας του κινούμενου νερού σε ηλεκτρική. Ως ανανεώσιμη πηγή, εξαρτάται από τον υδρολογικό κύκλο του νερού, ο οποίος συμπεριλαμβάνει την εξάτμιση, καθίζηση και τη ροή του νερού λόγω βαρύτητας. Η ροή εμπεριέχει κινητική ενέργεια που μετατρέπεται αρχικά σε μηχανική και έπειτα σε ηλεκτρική. Την ενέργεια του νερού την εκμεταλλεύεται ο άνθρωπος από την αρχαιότητα όπου ξύλινοι νερόμυλοι επιτελούσαν αρκετές διαδικασίες.

Στη σύγχρονη εποχή, υδροηλεκτρικά εργοστάσια διαφόρων μεγεθών ενισχύουν το έργο της παραγωγής ηλεκτρισμού. Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα εμφανίστηκε το πρώτο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο και από τότε μέχρι σήμερα η τεχνολογία έχει εξελιχθεί. Η εκμετάλλευση της υδροηλεκτρικής ενέργειας τα τελευταία έτη συμβάλλει σημαντικά στην ηλεκτροδότηση αγροτικών περιοχών.

Τα υδροηλεκτρικά συστήματα έχουν μια πληθώρα πλεονεκτημάτων. Παρουσιάζουν χαμηλό κόστος παραγόμενης ενέργειας διότι έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας. Έχουν τη μεγαλύτερη αποδοτικότητα από τις υπόλοιπες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μπορεί να γίνει αποτελεσματική ρύθμιση της παραγωγής ανάλογα με τις απαιτήσεις του φορτίου. Κατά τη λειτουργία τους υπάρχει πλήρης απουσία εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου και δεν εξαρτάται από τις συνεχώς μεταβαλλόμενες τιμές των υπόλοιπων καυσίμων. Στα περισσότερα συστήματα μικρών υδροηλεκτρικών, υπάρχει η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του νερού είτε σαν πόσιμο είτε για την υδροδότηση καλλιεργειών. Επιπλέον συμβάλλουν στην καλύτερη διαχείριση των υδάτινων αποθεμάτων τόσο στην περίοδο των βροχοπτώσεων αλλά και σε περιόδους ξηρασίας. Τέλος, το σημαντικότερο πλεονέκτημα είναι ίσως το γεγονός ότι τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια παράγουν ενέργεια χωρίς να καταναλώνουν ηλεκτρικό ρεύμα.

Υπάρχουν πολλά είδη υδροηλεκτρικών σταθμών [30]. Ορισμένα χρησιμοποιούν φράγμα ή δεξαμενή για την αποθήκευση νερού που έπειτα εκμεταλλεύονται για την παραγωγή ενέργειας. Το νερό που απελευθερώνεται από τη δεξαμενή ρέει μέσω ενός στρόβιλου, τον οποίο περιστρέφει, και με τη σειρά του ενεργοποιεί μια γεννήτρια που παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Δεν απαιτείται μεγάλο φράγμα, μιας και ένα μικρό κανάλι είναι αρκετό για την κατεύθυνση του νερού στο στρόβιλο. Υπάρχουν συστήματα που αποθηκεύουν την ενέργεια για μελλοντική χρήση. Σε αυτές τις περιπτώσεις, μέσω γεννητριών ενεργοποιούνται στρόβιλοι οι οποίοι στρέφονται ανάποδα, μεταφέροντας το νερό από ένα χαμηλό επίπεδο σε ένα υψηλότερο. Στη συνέχεια απελευθερώνεται και ρέει πάλι προς τα κάτω παράγοντας ενέργεια μέσω των στρόβιλων και των γεννητριών. Άλλα υδροηλεκτρικά χρησιμοποιούν τη φυσική ροή του ποταμού και τη φυσική υψομετρική διαφορά. Μέσω μιας σωλήνας ή ενός καναλιού, ένα ποσοστό της ροής κατευθύνεται στο στρόβιλο ο οποίος ενεργοποιεί τη γεννήτρια για την παραγωγή ενέργειας, και στη συνέχεια το νερό επιστρέφει στο ποτάμι (Εικόνα 7). Τα συστήματα αυτά είναι προτιμώμενα από περιβαλλοντικής άποψης διότι δεν επηρεάζουν τη φυσική ροή του ποταμού, χωρίς να δημιουργούν πλημμύρες σε κοιλάδες πριν του συστήματος. Έχουν πάρει την ονομασία run-of-the-river systems, και χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικροδίκτυα σε αγροτικές περιοχές του αναπτυσσόμενου κόσμου.



Εικόνα 7: Μικρό υδροηλεκτρικό σύστημα [31].

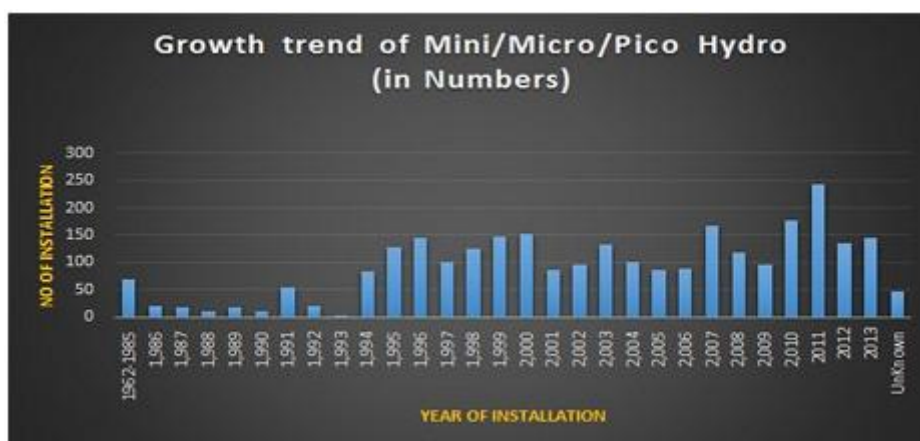
Τα μικρά υδροηλεκτρικά είναι run-of-the-river συστήματα μεγέθους από μερικά kW έως 1000 kW. Έως 100 kW ονομάζονται micro-hydro ενώ από 100 έως 1000 kW ονομάζονται small-hydro plants. Η τεχνολογία των μικρών υδροηλεκτρικών παρέχει μια αξιόπιστη, αποτελεσματική, ασφαλή και οικονομική πηγή ενέργειας για την αύξηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος της διεσπαρμένης παραγωγής [27]. Πρέπει να επισημανθεί ότι η ισχύς εξόδου των μικρών υδροηλεκτρικών δεν καθορίζεται από τον έλεγχο της ροής του ποταμού, αλλά αντ' αυτού ο στρόβιλος λειτουργεί όταν υπάρχει ροή και η έξοδος διέπεται από τη ροή. Αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτείται κάποιο πολύπλοκο μηχανικό σύστημα για τον έλεγχο της λειτουργίας γεγονός που μειώνει το κόστος και τις απαιτήσεις συντήρησης. Τα συστήματα μπορούν να κατασκευαστούν τοπικά σε χαμηλό κόστος, και επομένως μπορούν να προωθήσουν τη δημιουργία θέσεων εργασίας και την παραγωγική χρήση της ενέργειας για την παραγωγή εισοδήματος και την κοινωνική ανάπτυξη των κοινοτήτων.

Τα μικρά υδροηλεκτρικά μπορούν να παράγουν ενέργεια όλο το 24ωρο εφόσον υπάρχει ροή και στη μέγιστη δυνατή απόδοση, ενισχύοντας τη μακροχρόνια αξιοπιστία. Ωστόσο, δεν εκμεταλλεύονται την επιπλέον υδατόπτωση στη περίοδο των βροχοπτώσεων και δεν ενισχύουν τα αποθέματα νερού σε περιόδους ξηρασίας. Επιπρόσθετα, η περίσσεια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χάνεται εκτός αν υπάρχει μηχανισμός αποθήκευσης ή ενεργοποίησης φορτίων που καταναλώνουν την επιπλέον παραγωγή. Η αξιοποιούμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να ληφθεί από το σύστημα είτε απευθείας είτε μέσω αποθηκευτικών στοιχείων [30]. Όταν λαμβάνεται απευθείας, παρέχεται στο φορτίο 240V εναλλασσόμενης τάσης μέσω του στρόβιλου, ο οποίος πρέπει να είναι σχεδιασμένος για να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της αιχμής του φορτίου. Για τη λειτουργία τους απαιτείται μεγάλο ύψος υδατόπτωσης και ροής. Όταν χρησιμοποιούνται αποθηκευτικά μέσα, η γεννήτρια του συστήματος εφοδιάζει τις μπαταρίες παρέχοντας συνεχή τάση, και το φορτίο εξυπηρετείται μέσω ενός μετατροπέα. Οι μπαταρίες θα πρέπει να επαρκούν για την κάλυψη της ημερίσιας ζήτησης φορτίου. Ο στρόβιλος στη συγκεκριμένη διάταξη είναι μικρότερος από αυτόν της άμεσης παροχής και λειτουργεί σε συνεχή τάση.

Υπάρχουν δύο βασικά είδη στροβίλων που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών [30]: στρόβιλοι ώθησης και στρόβιλοι αντίδρασης. Οι πρώτοι χρησιμοποιούνται για τα μικρού μεγέθους συστήματα (<100 kW) ενώ οι δεύτεροι για τα μεσαίου και μεγαλύτερου μεγέθους (>100 kW και <1000 kW).

Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα στην ηλεκτροδότηση αγροτικών περιοχών με τη χρήση μικρών υδροηλεκτρικών συστημάτων είναι το Νεπάλ. Είναι μία χώρα πλούσια σε υδάτινους πόρους, καθώς διαθέτει αναρίθμητα ποτάμια που πηγάζουν από τα αέναα χιόνια των Ιμαλαΐων. Πολλές περιοχές του είναι απομακρυσμένες από τα αστικά κέντρα και οι κάτοικοί τους βασίζονται κυρίως σε λάμπες κηροζίνης και φωτιές για τον φωτισμό. Μόνο το 7% των κατοίκων της υπαίθρου έχουν πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια. Το 30% του συνολικού πληθυσμού ζει κάτω από τα όρια της φτώχειας. Εκτιμάται ότι το Νεπάλ έχει εκμεταλλεύσιμη δυνατότητα παροχής 42,000 MW μόνο από υδροηλεκτρικούς σταθμούς [30].

Μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα εγκαθίστανται σε όλη την επικράτεια σε μια προσπάθεια παροχής ηλεκτρισμού και εξάλειψης της ανέχειας. Η μη κυβερνητική οργάνωση Practical Action (εμπνευσμένη από τον οικονομολόγο Schumacher [28]) δραστηριοποιείται με επιτυχία σε αυτόν τον τομέα από το 1979.



Σχήμα 13: Η αυξητική τάση των μικρών υδροηλεκτρικών συστημάτων στο Νεπάλ [32].

Το Νεπάλ έχει ιδανικό γεωγραφικό ανάγλυφο για την εγκατάσταση και λειτουργία run-of-the-river υδροηλεκτρικών σταθμών. Πολλοί κυβερνητικοί παράγοντες και διεθνής οργανισμοί, καθώς και ιδιωτικές επιχειρήσεις, έχουν ήδη χρηματοδοτήσει και εγκαταστήσει πολλά τέτοια συστήματα στις αγροτικές περιοχές. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι πολίτες που θα επωφεληθούν άμεσα από την εγκατάσταση εκπαιδεύονται ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν και να συντηρήσουν το σταθμό. Μέχρι στιγμής πάνω από 220,000 μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα λειτουργούν με συνολική ισχύ της τάξεως των 22 MW.

Τρία μοντέλα προσφοράς για ηλεκτροδότηση των αγροτικών περιοχών εφαρμόζονται στο Νεπάλ. Ανάλογα με τον τρόπο αποπληρωμής χωρίζονται σε Μοντέλο Μετρητών (Cash Model), Πίστωσης (Credit Model) και Μικτής Χρηματοδότησης (Mixed Finance Model) (Σχήμα 14) [34].

Cash Model

Σε αυτό το μοντέλο ο καταναλωτής αγοράζει το σύστημα πληρώνοντας το συνολικό ποσό. Χρησιμοποιείται για πολύ μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα (μερικά kW) και για εφαρμογές Solar Home Systems (βλέπε κεφάλαιο 3.2.2). Είναι ιδανικό για μικρές

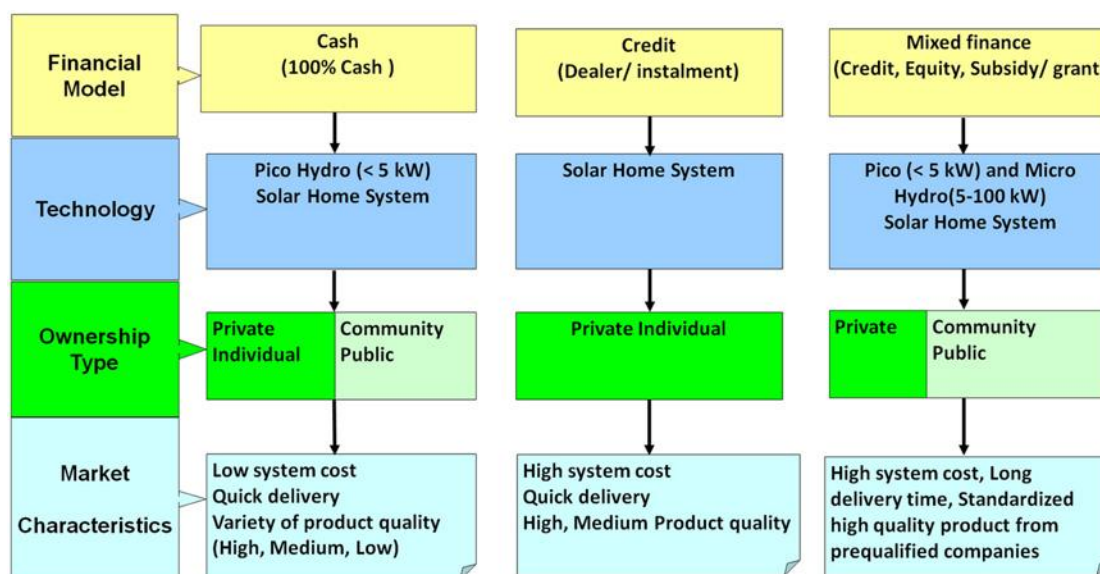
κοινότητες ή ιδιώτες, έχει χαμηλό κόστος και η ποιότητα του συστήματος ποικίλει ανάλογα με τις ανάγκες.

Credit Model

Το μοντέλο πίστωσης χρησιμοποιείται κυρίως για εγκαταστάσεις SHS όπου η αποπληρωμή γίνεται σε μηνιαίες δόσεις. Έχει υψηλό κόστος υλοποίησης που σχετίζεται με τη δανειοληπτική ικανότητα του ενδιαφερομένου αλλά παρέχει ικανοποιητική ποιότητα υπηρεσιών. Ωστόσο δεν είναι προσιτό στα οικονομικά ασθενέστερα στρώματα διότι απαιτούνται εγγυήσεις για το δανεισμό.

Mixed Finance Model

Η Μικτή Χρηματοδότηση είναι η πιο δημοφιλής μέθοδος στις αγροτικές περιοχές του Νεπάλ. Η κυβέρνηση παρέχει οικονομική υποστήριξη στους ενδιαφερομένους, είτε είναι ιδιώτες είτε ολόκληρες κοινότητες. Στο μοντέλο αυτό απαιτούνται υψηλής ποιότητας προϊόντα γεγονός που μεγαλώνει το κόστος του. Χρησιμοποιείται για αγορά μικρών υδροηλεκτρικών (έως 100 kW) αλλά και SHS.



Σχήμα 14: Οικονομικά μοντέλα ηλεκτροδότησης αγροτικών περιοχών του Νεπάλ [34].

Αρκετά είναι τα ζητήματα που πρέπει να διευθετηθούν για να αξιοποιηθεί καλύτερα η μεγάλη δυνατότητα που έχει το Νεπάλ για παραγωγή ηλεκτρισμού από υδροηλεκτρικά έργα [29]. Τα σημαντικότερα είναι:

i. Πρότυπο ροής και Ζήτηση ενέργειας

Το Νεπάλ χαρακτηρίζεται από 4 μήνες (Ιούνιος- Σεπτέμβριος) έντονων βροχοπτώσεων και από 8 μήνες (Οκτώβριος- Μάιος) ξηρασίας. Η ροή των ποταμών του Νεπάλ ακολουθεί αυτό το μοτίβο, με υψηλό όγκο νερού για τέσσερις μήνες και χαμηλή στάθμη τους υπόλοιπους. Παρά το γεγονός ότι τα ποτάμια ενισχύονται από το λιώσιμο του χιονιού των Ιμαλαΐων, η μεταβολή της ροής στις δύο περιόδους παραμένει σημαντική. Τα run-of-the-river υδροηλεκτρικά που χρησιμοποιούνται στο Νεπάλ ακολουθούν τη μεταβολή της ροής και τη μεταφέρουν στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχει υψηλή παραγωγή τους μήνες όπου η ζήτηση είναι σε χαμηλά επίπεδα κατά την περίοδο των Μουσώνων και να συμβαίνει το αντίθετο την ξηρή. Πιθανή λύση στο συγκεκριμένο ζήτημα είναι η εισαγωγή αποθηκευτικών μέσων στα συστήματα, ώστε να μειωθεί η διαφορά μεταξύ

προσφοράς και ζήτησης. Ωστόσο οι απαιτήσεις είναι τέτοιες που η έλλειψη ηλεκτρικής ενέργειας θα συνεχίσει να υπάρχει.

ii. Η κλιματική αλλαγή και οι τάσεις στη ροή των ποταμών
Μεταβολές στο δυναμικό των ποταμών επηρεάζουν άμεσα την αποδοτικότητα ήδη υπάρχοντων αλλά και μελλοντικών συστημάτων. Από διάφορες μελέτες που έχουν γίνει δεν είναι δυνατό να οριστεί κάποιος κανόνας για τις αλλαγές αυτές [29]. Ωστόσο η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και το γρηγορότερο λιώσιμο των παγετών που βρίσκονται στα Ιμαλάια έχει άμεσο αντίκτυπο στη απόδοση των υδροηλεκτρικών σταθμών καθώς η μείωση του μεγέθους των παγετών (από 10 m έως και 74 m τις τελευταίες δεκαετίες) συνεπάγεται μείωση του όγκου του νερού που προέρχεται από αυτούς.

iii. Πρόληψη και καλύτερη αντιμετώπιση των φυσικών φαινομένων
Συχνό φαινόμενο και άκρως επικίνδυνο είναι οι ξαφνικές πλημμύρες που προκαλούνται από κατάρρευση τοιχώματος παγωμένης λίμνης, με αποτέλεσμα να διαφεύγει το νερό που ήταν παγειδευμένο (Glacial lake outburst flood- GLOF). Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση της συχνότητας του φαινομένου, απόρροια της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη. Υπάρχουν συνολικά 2315 παγωμένες λίμνες, 20 από τις οποίες είναι υψηλής επικινδυνότητας. Οι πλημμύρες αυτές μπορούν να παρασύρουν και να καταστρέψουν εντελώς τα υδροηλεκτρικά έργα στις αγροτικές περιοχές. Οι κατολισθήσεις και οι σεισμοί μπορούν να προκαλέσουν σημαντικό πλήγμα στους σταθμούς και να θέσουν σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης ολόκληρες περιοχές. Τέλος, σημαντικό ζήτημα αποτελεί ο όγκος του ιζήματος που μεταφέρεται από τα ποτάμια. Κατά τη διάρκεια των βροχοπτώσεων, μπορεί να φράξει κανάλια, να διαβρώσει του στροβίλους και να γεμίσει τις δεξαμενές συγκέντρωσης νερού.

iv. Μη υγιής κατάσταση της Αρχής Ηλεκτρισμού του Νεπάλ
Η Αρχή Ηλεκτρισμού του Νεπάλ (Nepal Electricity Authority- NEA) ελέγχει και είναι αρμόδια για την παραγωγή και διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος, ακόμη και όταν η παραγωγή γίνεται από ιδιώτες. Η κακή οργάνωση και ο λάθος προγραμματισμός είναι σύνηθες φαινόμενο που οδηγεί σε αύξηση του κόστους της παραγώμενης ενέργειας και σε εκπρόθεσμη εκτέλεση της πλειοψηφίας των έργων.

v. Πολιτική αστάθεια
Το Νεπάλ χαρακτηρίζεται από μια μεγάλη περίοδο πολιτικής αστάθειας των τελευταίων ετών, το οποίο μεταφράζεται σε βραχυπρόθεσμη εκμετάλλευση και διαφθορά ανάλογα με τα προσωπικά συμφέροντα εις βάρος μακροπρόθεσμων προσοδοφόρων στόχων. Για τη καταπολέμηση αυτών των κρουσμάτων, το Νεπάλ βρίσκεται στη διαδικασία σύνταξης νέου συντάγματος που όμως ενισχύει το αίσθημα της αστάθειας. Άκρως σημαντική αλλά συχνά προβληματική είναι η σχέση του Νεπάλ με την Ινδία. Το 1996 είχε ψηφιστεί συνθήκη αμοιβαίας ανταλλαγής ενέργειας από τη μία χώρα στην άλλη. Ωστόσο δεν έχει επιτευχθεί καμία πρόοδος τα τελευταία χρόνια εξαιτίας αναταραχών στις σχέσεις των δύο χωρών.

vi. Κοινωνικά και περιβαλλοντικά ζητήματα
Η αυξανόμενη ευαισθητοποίηση των κατοίκων όσον αφορά το περιβαλλοντικό και κοινωνικό αντίκτυπο από την κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών έχει οδηγήσει σε ρήξη μεταξύ των κατοίκων και των φορέων που είναι υπεύθυνοι για το έργο. Η συμμετοχή και η εκπαίδευση των κατοίκων αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι των νέων έργων. Σε πολλές περιπτώσεις, κοινωνικά διλήμματα για το ποιος θα επωφελείται από τα συστήματα έχουν καταλήξει σε διακοπή της εγκατάστασης. Είναι λοιπόν απαραίτητη η επικοινωνία για το σωστό σχεδιασμό ανάλογα με τις ανάγκες και τους στόχους των δύο πλευρών.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι υπάρχουν μεγάλα περιθώρια βελτίωσης σε όλους τους τομείς, ώστε να μπορεί το Νεπάλ να αξιοποιήσει στο έπακρο το υδροηλεκτρικό του δυναμικό.



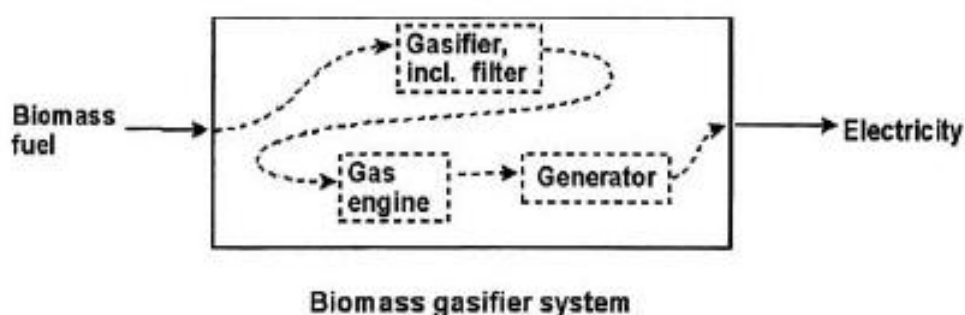
Εικόνα 8: Ολοκληρωμένη αεροφωτογραφία των χωριών Kolkhop και Thingan, που παρουσιάζει το μικροδίκτυο της περιοχής [35].

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση των χωριών Thingan και Kolkhop στη περιοχή Makawanpur του Νεπάλ. Στα δύο αυτά χωριά υπάρχει ένα μοναδικό υβριδικό σύστημα που συνδυάζει υδροηλεκτρική, ηλιακή και αιολική ενέργεια σε ένα ενιαίο μικροδίκτυο. Το σύστημα αποτελείται από ένα μικρό υδροηλεκτρικό (20 kW), από μία ανεμογεννήτρια (3 kW) και φωτοβολταϊκά στοιχεία (5 kW), τα οποία μαζί με συσσωρευτές ηλεκτροδοτούν την περιοχή [35]. Το κάθε σύστημα απομονωμένο δεν ήταν δυνατό να υποστηρίξει τη ζήτηση φορτίου και επομένως χρησιμοποιήθηκαν μετασχηματιστές για να συνδέσουν τα δύο χωριά σε ένα ενιαίο μικροδίκτυο. Υβριδικές τεχνολογίες τέτοιας κλίμακας δεν είναι διαδεδομένες, ωστόσο μπορούν να παρέχουν μια οικονομική και αποδοτική λύση για μεγαλύτερες περιοχές εκτός δικτύου.

3.2.4 Βιομάζα

Μέχρι στιγμής, η βιομάζα χρησιμοποιείται ευρέως στις αναπτυσσόμενες χώρες για την παροχή ενέργειας στο μαγείρεμα και στη θέρμανση χώρου. Η τεχνολογία της αεριοποίησης της βιομάζας (biomass gasification) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ηλεκτροδότηση αγροτικών περιοχών του αναπτυσσόμενου κόσμου.

Οι πρώτες ύλες βιομάζας βρίσκονται σε αφθονία στις περισσότερες περιοχές του πλανήτη και μεταβάλλονται ανάλογα με το κλίμα και τη γεωγραφική θέση. Ο φλοιός ρυζιού, τα κάσιους, τα κελύφη καρύδας ή η ξυλώδη βιομάζα, όπως τα δέντρα καουτσούκ, μπαμπού ή άλλες φυτείες δένδρων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για την παραγωγή ηλεκτρισμού.



Σχήμα 15: Σύστημα αεριοποίησης βιομάζας.

Η τεχνική της αεριοποίησης είναι γνωστή από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα [37]. Όσον αφορά τη βιομάζα, το σύστημα που χρησιμοποιείται συνήθως, αποτελείται από ένα αεριοποιητή για την καύση των στερεών καυσίμων, ξύλο ή γεωργικά υπολείμματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως, σε καύσιμο αέριο αφού πρώτα έχουν υποστεί κατάλληλη προετοιμασία. Στη συνέχεια το αέριο ψύχεται και ρέει σε μια γραμμή επεξεργασίας που τροφοδοτεί γεννήτριες με καθαρό καύσιμο αέριο. Με τη λειτουργία των γεννητριών παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα που τροφοδοτείται στο εκάστοτε δίκτυο. Διαθέτει λοιπόν ένα μεγάλο πλεονέκτημα έναντι στην απευθείας καύση της βιομάζας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε απομονωμένα μικροδίκτυα ως πηγή ηλεκτροδότησης.

Η συγκεκριμένη τεχνική έχει αποδειχθεί ότι είναι μια αποδοτική διαδικασία για τη παραγωγή ηλεκτρισμού σε επίπεδα ισχύος από μερικά kW έως 2 MW [37]. Το κόστος ενέργειας ανά μονάδα ηλεκτρισμού (kW) σε ορισμένες περιπτώσεις είναι μικρότερο από το αντίστοιχο της γεννήτριας Diesel, κάνοντας την αεριοποίηση της βιομάζας ανταγωνιστική απέναντι στη χρήση πετρελαίου.

Η Ινδία είναι πρωτοπόρος στην χρήση βιομάζας για ηλεκτροδότηση συστημάτων [37], [39]. Μπορεί κανείς να συναντήσει μεγάλα έργα (π.χ εργοστάσιο αεριοποίησης βιομάζας 1 MW περιοχή Tamil Nadu) για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στο μικροδίκτυο της περιοχής αλλά και για την υποστήριξη του κεντρικού όταν χρειάζεται. Υπάρχουν φυσικά και μικρότερα, όπως το σύστημα των 5 αεριοποιητών των 100 kW ο καθένας στο απομονωμένο νησί Gosaba το οποίο ηλεκτροδοτεί 1150 κατοικίες. Επίσης, η κυβέρνηση της Ινδίας χρησιμοποιεί μικροδίκτυα βιομάζας μέσα σε ηλεκτροδοτούμενες περιοχές για να μειώσει το κόστος κατανάλωσης και να ελαφρύνει το φορτίο του κεντρικού δικτύου. Αναφορικά, στο χωριό Odanthurai Panchayat της περιοχής Tamil Nadu χρησιμοποιείται ένα μικροδίκτυο 9 kW για την

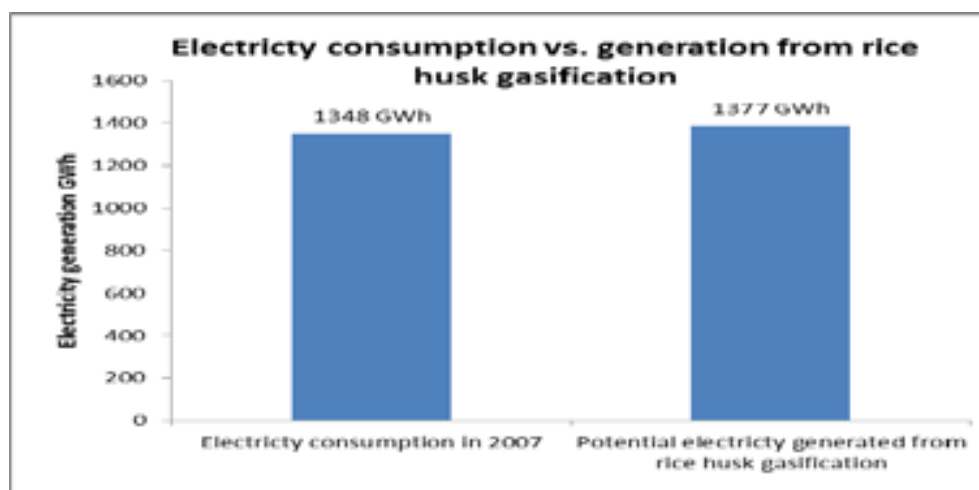
ηλεκτροδότηση αντλιών πόσιμου νερού, ενώ στο χωριό Nellithurai Panchayat το ίδιο σύστημα ηλεκτροδοτεί των δημοτικό φωτισμό. Και στις δύο περιπτώσεις το κόστος έχει μειωθεί, αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα της μεθόδου.

Χώρες όπως η Ουγκάντα και η Ταϊλάνδη, η οποίες είναι πλούσιες σε πρώτες ύλες βιομάζας, μικροδίκτυα που βασίζονται στην αεριοποίηση της βιομάζας αποτελούν βιώσιμη εναλλακτική λύση [36], [37]. Στην Ταϊλάνδη, υπάρχουν 20 τέτοια μικροδίκτυα που κυμαίνονται από 10 kW έως 400 kW. Στην Ουγκάντα, το 2007 εγκαταστάθηκε ένα σύστημα 10 kW από μία ινδική εταιρεία χρησιμοποιώντας κλαδιά ευκάλυπτου ως πρώτη ύλη.

Ενδιαφέρον παράδειγμα είναι και η Καμπότζη. Για πολλά χρόνια είναι αντιμέτωπη με ελλιπή συστήματα ηλεκτροδότησης. Η ύπαιθρος πάσχει από την απουσία ηλεκτρικού ρεύματος, γεγονός που επηρεάζει την οικονομική, εκπαιδευτική και υγειονομική της ανάπτυξη. Η κυβέρνησή της αποφάσισε ότι η οικονομική ανάπτυξη και η καταπολέμηση της φτώχειας προαπαιτούν την ύπαρξη ηλεκτρικού ρεύματος [38].

Η χρήση της βιομάζας είναι αρκετά διαδεδομένη, με το 80% της ενέργειας να προέρχεται από αυτή. Ωστόσο χρησιμοποιούνται κλασσικές μέθοδοι καύσης των πρώτων υλών, αποτελώντας απειλή για το πλούσιο οικοσύστημά της. Για ποιοτική λύση του προβλήματος ηλεκτροδότησης της χώρας, τα τελευταία χρόνια έγινε στροφή προς την τεχνική της αεριοποίησης.

Από το 2010, έχουν εγκατασταθεί πάνω από 100 εργοστάσια αεριοποίησης βιομάζας με μέσο όρο τα 200 kW. Μελέτες δείχνουν ότι η παραγωγή του ρυζιού είναι τέτοια, ώστε αν χρησιμοποιηθεί εξ ολοκλήρου ο φλοιός σε εργοστάσια βιομάζας, η Καμπότζη θα μπορούσε να παράγει αρκετό ηλεκτρισμό για να καλύψει πλήρως την ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος (Σχήμα 16) [38].



Σχήμα 16: Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και πιθανή παραγωγή από την αεριοποίηση φλοιού ρυζιού στην Καμπότζη το 2007 [38].

Προβλήματα και εμπόδια

Παρά τις πολλές προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης της τεχνολογίας αυτής, η πλήρης εμπορικοποίηση δεν έχει επέλθει γιατί υπάρχει αρκετά εμπόδια. Τα κυριότερα προβλήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο ομάδες : τεχνικά και μη-τεχνικά [36].

- Τεχνικά

Τα υψηλά επίπεδα υγρασίας της βιομάζας επηρεάζουν την απόδοση του αεριοποιητή. Η αύξηση της θερμοκρασίας του κινητήρα, ως απόρροια της υγρασίας επηρεάζει αρνητικά τη σύνθεση του καύσιμου αερίου.

Η υψηλή περιεκτικότητα πίσσας είναι ένα σημαντικό τεχνικό εμπόδιο. Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει κάποια αποτελεσματική μέθοδος πλήρους και μεγάλης διάρκειας καθαρισμού της πίσσας και παράλληλα δημιουργεί περιβαλλοντολογικό πρόβλημα λόγω των μεγάλων ποσοτήτων που παράγονται. Η μη επιτυχή απομάκρυνση της πίσσας αποτελεί την κύρια αιτία αναξιοπιστίας της αεριοποίησης.

Η τήξη της τέφρας του πυθμένα, οδηγεί σε συνεχείς επικαθίσεις στον αεριοποιητή και στις σωληνώσεις του συστήματος, υποβαθμίζοντας την αποδοτικότητά τους.

Τέλος, σημαντικό τεχνικό ζήτημα είναι η έλλειψη εμπειρίας και τεχνογνωσίας σε τοπικό επίπεδο για την κατασκευή και αντικατάσταση τέτοιων συστημάτων καθώς εμποδίζει την γρήγορη ανάπτυξη της τεχνολογίας.

- Μη- τεχνικά

Κύριο πρόβλημα είναι η ανεπαρκής παροχή πρώτων υλών και η υψηλές τιμές τους λόγω της μεγάλης ζήτησης. Πρώτες ύλες όπως ο φλοιός ρυζιού χρησιμοποιούνται και σε άλλες τεχνολογίες και ο ανταγωνισμός αυτός οδηγεί σε αύξηση των τιμών και σε έλλειψη των προμηθειών.

Η εθνική νομοθεσία και η εκάστωτε ενεργειακή πολιτική σε συνδυασμό με το κόστος του ηλεκτρισμού και των ορυκτών καυσίμων έχουν άμεσο αντίκτυπο στην διείσδυση της βιομάζας ως ανανεώσιμη πηγή παραγωγής ενέργειας.

Τέλος η έλλειψη διαθεσιμότητας και τεχνογνωσίας για τη λειτουργία και συντήρηση των συστημάτων βιομάζας καθώς και η απουσία προγραμμάτων εκπαίδευσης, κατάρτισης και εαισθητοποίησης διαχειριστών είναι σημαντικό εμπόδιο. Τις περισσότερες φορές, οι διαχειριστές των εγκαταστάσεων δεν ακολουθούν τις συνιστώμενες διαδικασίες και τεχνικές λεπτομέρειες προσεκτικά καταπονώντας άσκοπα το σύστημα.

3.3 Οφέλη από την ηλεκτροδότηση αγροτικών περιοχών

Το πρώτο και σημαντικότερο όφελος από την ανάπτυξη των μικροδικτύων στις αγροτικές περιοχές των αναπτυσσόμενων χωρών είναι η πρόσβαση σε αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια. Έχοντας ηλεκτρισμό, οι άνθρωποι που ζουν σε απομακρυσμένες περιοχές έχουν βιώσει σημαντικές αλλαγές τόσο στην κοινωνική όσο και στην οικονομική πλευρά της καθημερινότητάς τους (Σχήμα 17).

ο Κοινωνικά Οφέλη

Απολαμβάνουν πλέον φως καλύτερης ποιότητας, πιο λαμπρό και λευκό σε σύγκριση με ότι χρησιμοποιούσαν προηγουμένως, και χωρίς διακοπές από πτώσεις τάσης ή αποφόρτιση μπαταριών.

Έχουν απαλαχθεί από την εισπνοή του τοξικού καπνού της λάμπας κηροζίνης ή των αερίων των μπαταριών, αφού με την παρουσία ηλεκτρικού ρεύματος οι πρακτικές αυτές είναι παρωχημένες. Μια μελέτη που έγινε στις αγροτικές περιοχές της Γκάνας, σχετικά με το αντίκτυπο της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων στον καπνό εσωτερικού χώρου, έδειξε ότι οι κατοικίες που βασίζονται αποκλειστικά σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν αποφύγει εντελώς την μόλυνση από τον καπνό και τις συνέπειές του [40].

Τα παιδιά μπορούν να διαβάζουν περισσότερες ώρες και πιο αποδοτικά χωρίς να καταπονούν τα μάτια τους και τους πνεύμονές τους.

Έχουν πλέον πρόσβαση σε όλες τις μορφές πληροφοριών και ειδήσεων μέσω τηλεφώνων, τηλεοράσεων και ραδιοφώνων. Μπορούν λοιπόν να ενημερώνονται για τον καιρό και για επικείμενες φυσικές καταστροφές εγκαίρως (πχ. Κυκλώνες, τσουνάμι).

Τέλος ενισχύεται η κοινωνική τους θέση καθώς σε πολλές περιπτώσεις συγγενής και φίλοι από γειτονικές περιοχές τους επισκέπτονται συχνότερα για να απολαύσουν και αυτοί τις παροχές του ηλεκτρισμού.

ο Οικονομικά Οφέλη

Το μηνιαίο κόστος του λαμπτήρα κηροζίνης και του πετρελαίου έχει αντικατασταθεί από το κόστος αγοράς και χρήσης των μικροδικτύων. Συνήθως το ποσό που καταναλώνεται μηνιαίως είναι μικρότερο ή ίσο, και στο τέλος όταν απαλαγούν από τις δόσεις έχουν γίνει ιδιοκτήτες ενός συστήματος αξιόπιστης και «ήπιας» μορφής ενέργειας.

Δημιουργούνται ευκαιρίες για καινούργια και διαφορετικά επαγγέλματα όπως είναι η φόρτιση μπαταριών και τηλεφώνων κλπ.

Οι επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν μικροδίκτυα μπορούν να μένουν ανοιχτές στο κοινό και κατά τις βραδινές ώρες, προσελκύνοντας καινούργιους πελάτες και επεκτείνοντας τις συναλλαγές τους.

Τέλος δημιουργούνται και καινούργιες θέσεις εργασίας στον τομέα της κατασκευής, εγκατάστασης και συντήρησης των μικροδικτύων [41]. Άλλες μικρές βιοτεχνίες

μπορούν πλέον να λειτουργούν πιο ομαλά, ενισχύοντας τις τοπικές οικονομίες περαιτέρω.

Survey outcomes of Bangladesh program based on success indicators.

Variables	Indicators	Survey outcome
Energy access and uses	Access to better and clean light	Agreed
	Switching from traditional fuel	Agreed
	Access to information becoming easier	Agreed
Social impact	Working and study hours increase	Agreed
	Quality of life increase	Agreed
	Increase number of hours for relaxation	Agreed
	Increase as e in listening radio/ watching TV	Agreed
Economical impact	Increase status	Agreed
	Increase social activities	Agreed
	Monthly payment on energy decrease	Not agreed
	Changes economic level of the users	Agreed
Management and ownership of the program	Repayment amount is a burden	Not agreed
	New employment opportunities	Agreed
	System maintained by the users	Agreed
	Easy to operate	Agreed
	Receive training on maintenance and monitoring	Agreed
Environmental impact	Distance to closet local service centre	Near to program area
	Costs of maintenance	Not Applicable
	Spare parts availability	Available
Impact on Gender	Battery recycling available	Yes
	Women get more free time	Agreed
	Women's work load reduced	Agreed
	Familiar with new technology	Agreed
	Can do income generation activities after dusk	Agreed

Σχήμα 17: Αποτελέσματα έρευνας χρηστών μικροδικτύων από το Μπαγκλαντές [19].

3.4 Συμπεράσματα

Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών έχει θέσει το έτος 2030 ως στόχο για την επίτευξη καθολικής πρόσβασης σε μοντέρνες μορφές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένου και του ηλεκτρισμού.

Τα μικροδίκτυα είναι ικανά να προσφέρουν οικονομική και αξιόπιστη παροχή ενέργειας σε περιοχές όπου το κεντρικό δίκτυο δεν μπορεί να καλύψει, συμβάλλοντας στην επίτευξη του στόχου των Ηνωμένων Εθνών.

Τα οφέλη από την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται σε ανανεώσιμες πηγές δεν έχουν ακόμη γίνει πλήρως κατανοητά σε όλο το εύρος τους.

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε μια ανασκόπηση των πιο υποσχόμενων τεχνολογιών και των βέλτιστων πρακτικών που χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση των αγροτικών περιοχών του αναπτυσσόμενου κόσμου [48].

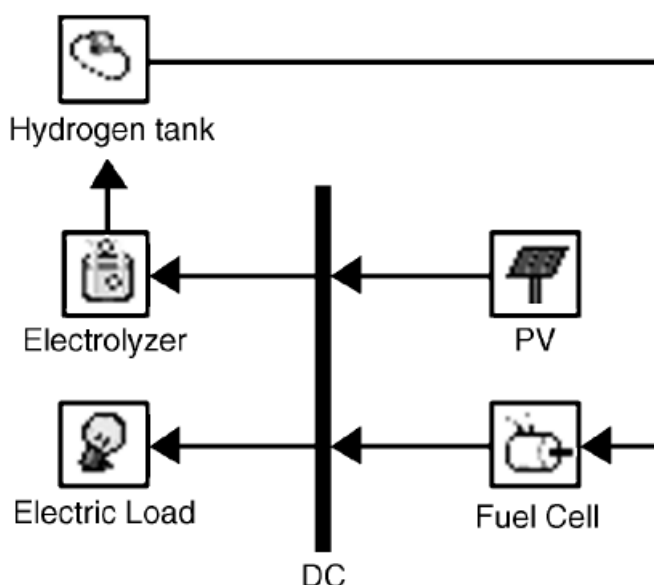
Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι μια πιθανή λύση στο ενεργειακό πρόβλημα μπορεί να δοθεί μέσω των διαφόρων τεχνολογιών των μικροδικτύων, τα οποία μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες κάθε περιοχής.

Κεφάλαιο 4: Το Λογισμικό Προσομοίωσης Homer

4.1 Εισαγωγή

Το Homer αποτελεί ένα μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης για συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μικρής κλίμακας. Μοντελοποιεί την φυσική συμπεριφορά ενός συστήματος και το κόστος του κύκλου ζωής του, δηλαδή το συνολικό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης του συστήματος στο σύνολο της λειτουργίας του.

Έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει και να συγκρίνει παραμέτρους και αποτελέσματα από ένα μεγάλο εύρος μοντέλων συστημάτων. Τα συστήματα αυτά μπορούν να περιέχουν συμβατικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρισμού (γεννήτριες Diesel, δίκτυο, συσσωρευτές) αλλά και πληθώρα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Φωτοβολταϊκά συστήματα, ανεμογεννήτριες, υδροηλεκτρικοί σταθμοί αλλά και μέθοδοι ηλεκτρόλησης υδρογόνου και χρησιμοποίησης υδρογόνου μπορούν να συνδυαστούν για τη δημιουργία ενός μικροδικτύου (Εικόνα 4.1.1).



Εικόνα 4.1.1: Διάγραμμα συστήματος που μπορεί να μοντελοποιηθεί από το Homer [44].

Το Homer μπορεί να μοντελοποιήσει σύστημα διασυνδεδεμένο στο κεντρικό δίκτυο ή σε αυτόνομη λειτουργία εξυπηρετώντας ηλεκτρικά και θερμικά φορτία, φορτία με αναβαλλόμενη λειτουργία ή φορτία υδρογόνου.

Η ανάλυση και ο σχεδιασμός μικροδικτύων μπορεί να παρουσιάσει πολλές προκλήσεις, λόγω του μεγάλου αριθμού σχεδιαστικών επιλογών και της αβεβαιότητας σε βασικές παραμέτρους, όπως είναι το μέγεθος του φορτίου και η μελλοντική τιμή των καυσίμων. Η παρουσία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κάνει τον

σχεδιασμό πιο περίπλοκο μιας και η έξοδός τους μπορεί να είναι διαλείπουσα ή εποχιακή ή διακοπτόμενη. Το Homer σχεδιάστηκε για να ξεπεραστούν οι προκλήσεις αυτές και να γίνει ευκολότερη η λήψη αποφάσεων για το σύστημα.

Το Homer εκτελεί τρεις βασικές εργασίες:

- Προσομοίωση
- Βελτιστοποίηση
- Ανάλυση ευαισθησίας

Κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης, το Homer μοντελοποιεί τη λειτουργία του συστήματος κάθε ώρα για ένα έτος για να καθορίσει εάν είναι τεχνικά υλοποιήσιμο και να καθορίσει το κόστος του κύκλου ζωής του.

Στη διαδικασία της Βελτιστοποίησης, προσομοιώνονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των μερών του συστήματος σε αναζήτηση εκείνου που ικανοποιεί όλους τους τεχνικούς περιορισμούς και έχει το χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής. Εδώ καθορίζεται η βέλτιστη τιμή των παραμέτρων των οποίων ο χρήστης έχει τον έλεγχο, δηλαδή πώς θα συνδυαστούν τα στοιχεία που έχουν εισαχθεί και το πλήθος και το μέγεθος αυτών.

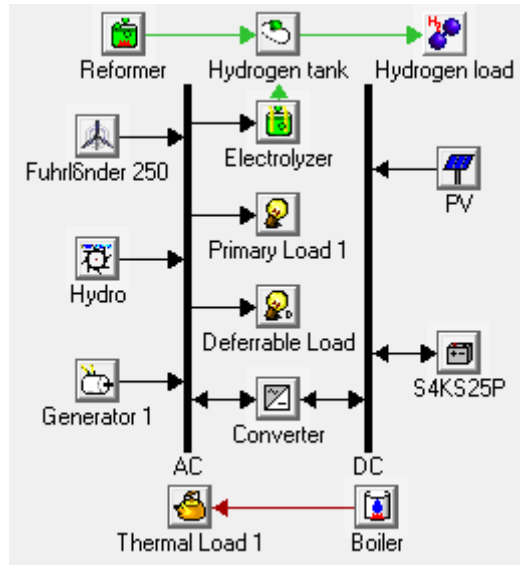
Τέλος, στην ανάλυση ευαισθησίας, το Homer επαναλαμβάνει τη προηγούμενη διαδικασία για κάθε μεταβλητή ευαισθησίας που έχει εισαχθεί. Βοηθά λοιπόν στην αξιολόγηση των επιπτώσεων της αβεβαιότητας ή των αλλαγών στις μεταβλητές τις οποίες ο σχεδιαστής δεν μπορεί να ελέγξει, όπως είναι η μελλοντική τιμή των Φωτοβολταϊκών κ.λ.π..

Το μεγάλο πλεονέκτημα του Homer έγκυται στο γεγονός ότι μπορεί να πραγματοποιήσει ανάλυση ευαισθησίας και σε δεδομένα που αλλάζουν με την ώρα, όπως είναι η ηλιοφάνεια, η ταχύτητα του ανέμου και η ροή του ποταμού.

Το λογισμικό Homer λαμβάνει τις αποφάσεις του εντοπίζοντας το συνδυασμό των συστημάτων που μπορούν να ικανοποιήσουν τη ζήτηση του φορτίου και τις αξιολογεί με βάση το Συνολικό Καθαρό Παρόν Κόστος (Total Net Present Cost- Total NPC) και το Κόστος ανά Μονάδα Ενέργειας (Cost of Energy- COE). Παρουσιάζει κατά αύξουσα σειρά τα πιο συμφέροντα σενάρια για τα δεδομένα που έχουμε εισάγει.

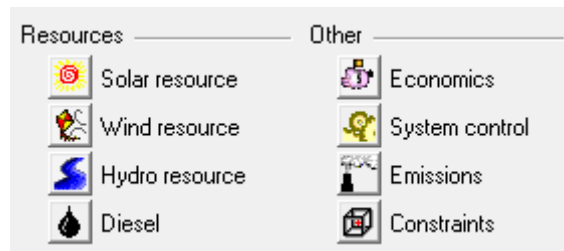
Τα είδη φορτίων που αναγνωρίζει το Homer είναι ηλεκτρικό, θερμικό και υδρογόνου. Το ηλεκτρικό διαχωρίζεται σε πρωτεύον φορτίο (Primary Load), το οποίο πρέπει να ικανοποιείται για να είναι υλοποιήσιμο το σύστημα και σε δευτερεύον φορτίο (Deferrable Load), το οποίο είναι ζήτηση φορτίου που μπορεί να ικανοποιηθεί σε ένα διακεκριμένο χρονικό διάστημα, αφού έχει εξυπηρετηθεί το πρωτεύον (Εικόνα 4.1.2).

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία όσον αφορά τις συμβατικές γεννήτριες που είναι διαθέσιμες στο σχεδιαστή. Είναι δυνατόν να λειτουργούν με ορυκτά κάυσιμα (fossil fuels), βιοκαύσιμα (biofuels), αιθανόλη (ethanol), βενζίνη (gasoline), βιοαέριο (biogas) ή προπάνιο (propane).



Εικόνα 4.1.2: Όλα τα πιθανά στοιχεία που μπορεί να μοντελοποιήσει το Homer.

Στην Εικόνα 4.1.3 φαίνονται και ορισμένες από τις διαφορετικές πηγές που μπορεί να μοντελοποιήσει το λογισμικό. Συνολικά υποστηρίζει ως είσοδο τη ταχύτητα του ανέμου (Wind speed (m/s)), την ηλιακή ακτινοβολία (Solar radiation (kWh/m²/day)), τη χρησιμοποιούμενη βιομάζα (Biomass (kg)), (Stream flow (L/s)) (Fuel price (\$/L)).



Εικόνα 4.1.3: Πηγές Ενέργειας για το Homer.

Στην προσομοίωση που θα εκτελέσουμε για χωριό στην περιοχή Dejen της Αιθιοπίας (γεωγραφικό πλάτος 10°14'31.00''N και γεωγραφικό μήκος 38°5'37.11'' E) το στοιχεία που θα συμπεριληφθούν είναι:

- Πρωτογενές Φορτίο
- Δευτερεύον Φορτίο
- Γεννήτρια Diesel, σε συνεχή ή διακοπτόμενη λειτουργία
- Φωτοβολταϊκά στοιχεία, συνδεδεμένα στον AC ή DC ζυγό
- Ανεμογεννήτρια
- Μικρό υδροηλεκτρικό
- Συστοιχίες συσσωρευτών
- Μετατροπέας.

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ο υπολογισμός των ανανεώσιμων πηγών του συστήματος καθώς και εκτενής περιγραφή των επιμέρους στοιχείων που το αποτελούν.

4.2 Υπολογισμός των ανανεώσιμων πηγών

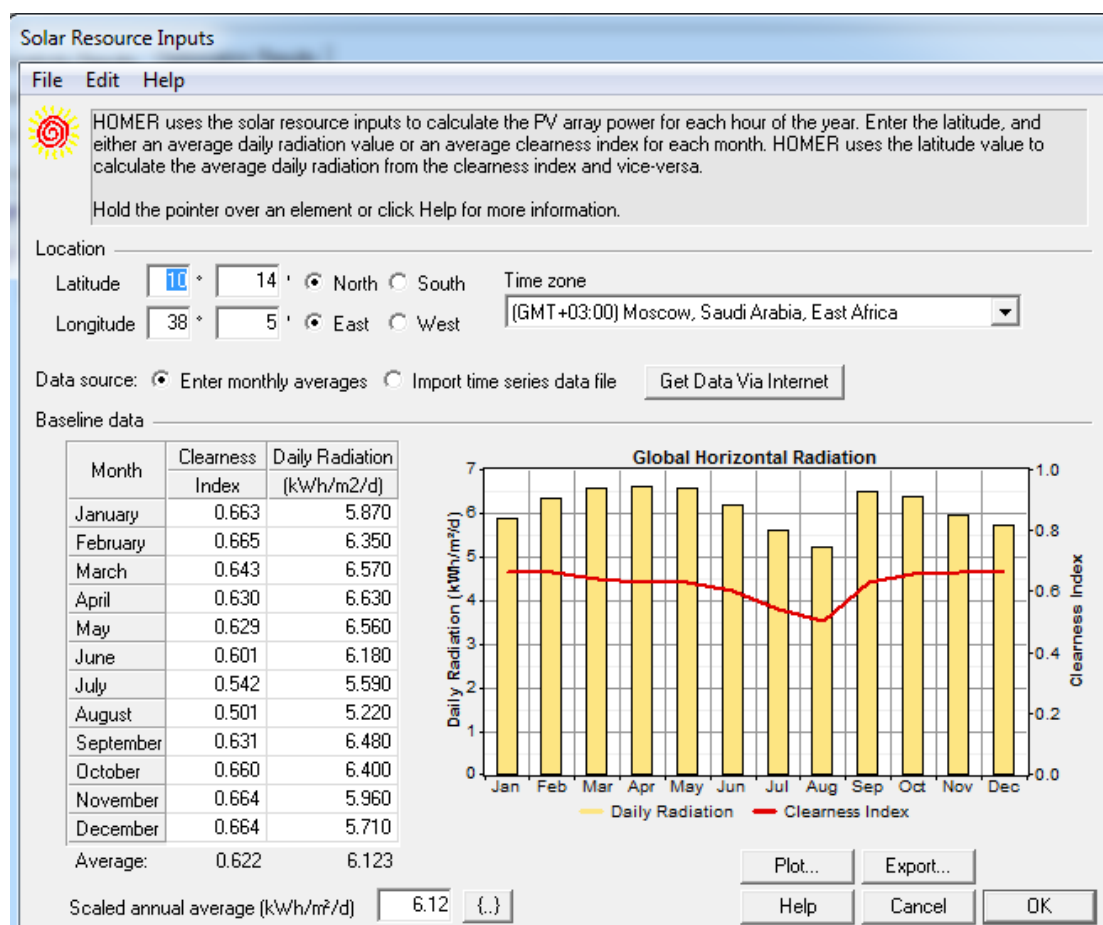
4.2.1 Πεδίο υπολογισμού ηλιακής ακτινοβολίας

Το Homer δέχεται ως είσοδο δεδομένων για την ηλιακή ακτινοβολία είτε μέσες μηνιαίες τιμές ή ωριαίες τιμές. Υπάρχουν πολλές ιστοσελίδες που κάνουν μετρήσεις μέσω δορυφόρων ή μετεωρολογικών σταθμών και παρουσιάζουν τα αποτελέσματα στο ευρύ κοινό για χρήση σε μελέτες προσομοίωσης. Τα στοιχεία για τη μελέτη μας πάρθηκαν από τη NASA μιας και παρέχει στοιχεία για απευθείας χρήση στο λογισμικό Homer [50]. Σαν δεδομένα τοποθετούμε το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής σε δεκαδικά ψηφία. Για το παράδειγμά μας τα στοιχεία αυτά είναι:

Γεωγραφικό Πλάτος : 10.241944 N

Γεωγραφικό Μήκος : 38.093642 E

Τα αποτελέσματα τοποθετούνται στο πεδίο της ακτινοβολίας του Homer, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 4.2.1: Στοιχεία ηλιακής ακτινοβολίας.

4.2.2 Πεδίο υπολογισμού ταχύτητας του ανέμου

Από ένα τοπικό μετεωρολογικό σταθμό, υπολογίστηκε ότι η ετήσια μέση ταχύτητα του ανέμου είναι 3.5 m/s , με βάση στοιχεία ανεμόμετρου σε ύψος 10m [43]. Από την NASA [50] συλλέγουμε πιο αναλυτικά στοιχεία για ύψος ανεμομέτρου 10m. Ωστόσο η ανεμογεννήτρια που θα χρησιμοποιήσουμε βρίσκεται στα 12m ύψος. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1) [43], μπορούμε να αναγάγουμε τα στοιχεία της NASA στο επιθυμητό ύψος.

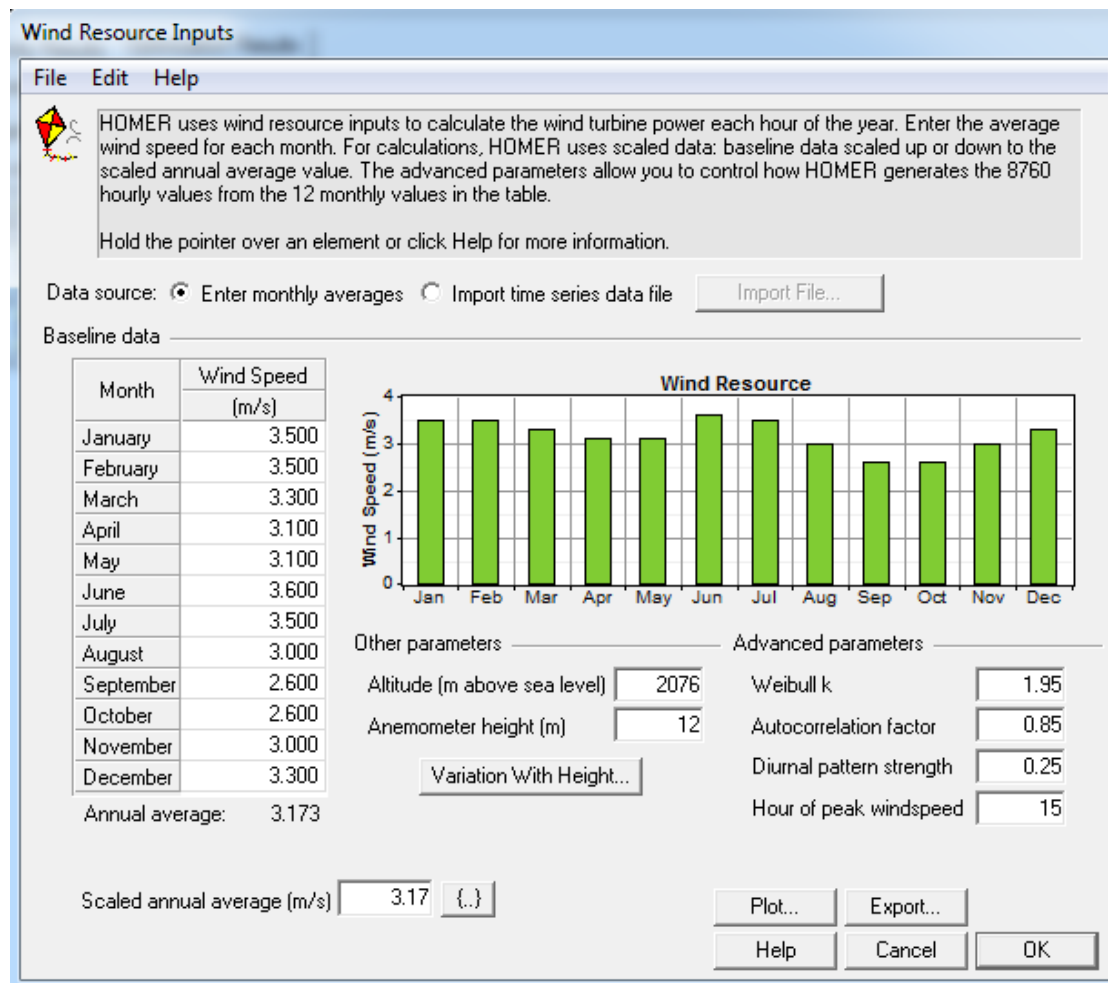
$$v(z) * \ln \frac{z_r}{z_0} = v(z_r) * \ln \frac{z}{z_0} \quad (1)$$

Όπου, z_r το ύψος αναφοράς , z το ύψος όπου θέλουμε να γίνει η αναγωγή των μετρήσεων, z_0 η τραχύτητα του εδάφους (εδώ $z_0 = 0.1$), και v η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς και στο ύψος που θέλουμε να κάνουμε την αναγωγή. Προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας:

Πίνακας 1: Στοιχεία της ταχύτητας του ανέμου στα 10 και 12m.

	Wind Turbine												Avg
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
NASA	3,4	3,4	3,2	3	3	3,5	3,4	2,9	2,5	2,5	2,9	3,2	3,1
Bechet -12m	3,5	3,5	3,3	3,1	3,1	3,6	3,5	3	2,6	2,6	3	3,3	3,2

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εισάγονται στο ανάλογο πεδίο του λογισμικού όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2.2.

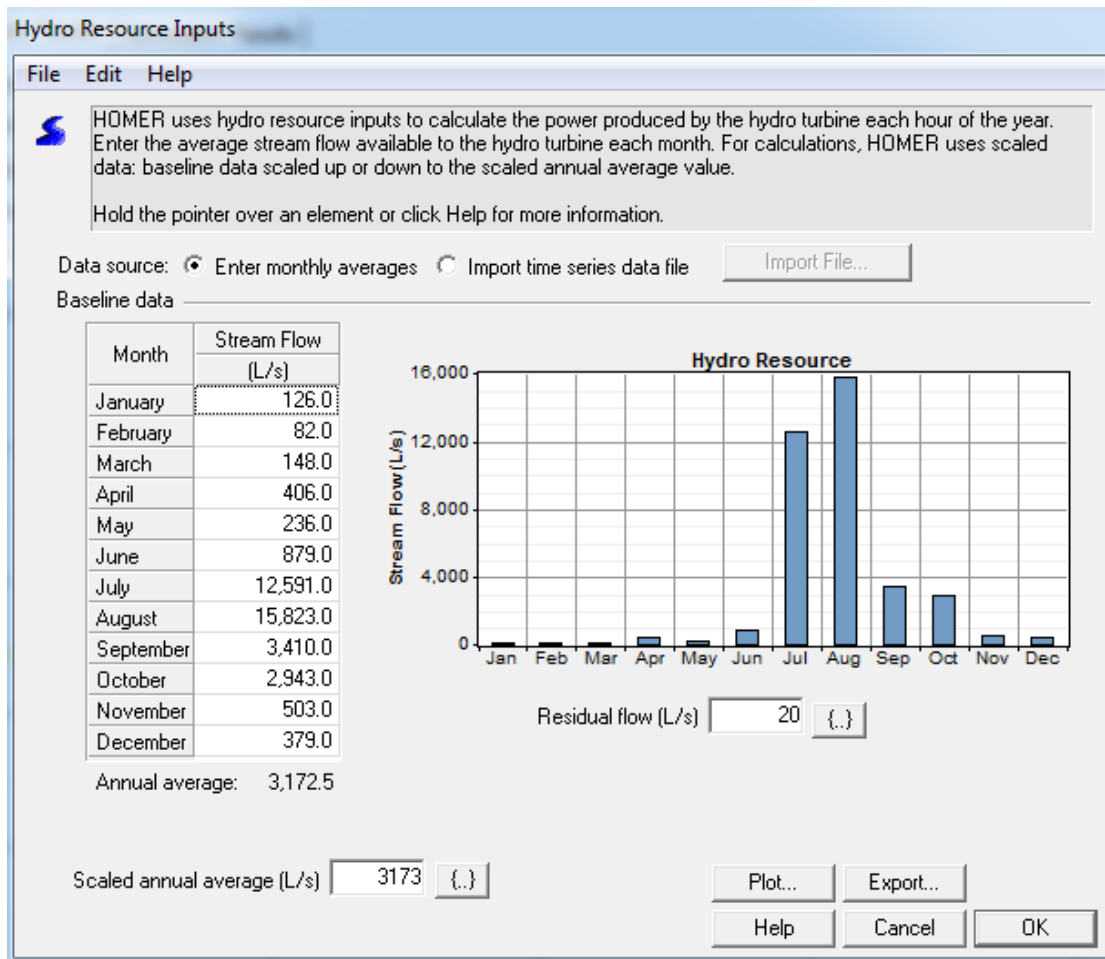


Εικόνα 4.2.2: Στοιχεία ταχύτητας του ανέμου.

4.2.3 Πεδίο υπολογισμού υδάτινων πόρων

Το Homer μοντελοποιεί μόνο run-of-the-river τύπο μικρού υδροηλεκτρικού. Για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση απαιτείται ο καθορισμός του ύψους της υδατόπτωσης και της ροής του ποταμού. Υπάρχουν πολλοί τρόποι να μετρηθεί το ύψος της υδατόπτωσης, πχ. με βάση το υψόμετρο, από εικόνες δορυφόρου, με επιτόπια μέτρηση και άλλα. Στην περιοχή που εξετάζεται λόγω της μεγάλης κλίσης του εδάφους έγιναν επιτόπιες μετρήσεις χρησιμοποιώντας σχοινί από τον G. Bekele [43].

Στην εικόνα 4.2.3 φαίνεται το πεδίο των υδάτινων στοιχείων για το ποτάμι Bechet στη περιοχή Dejen όπου βρίσκεται και το χωριό μας.

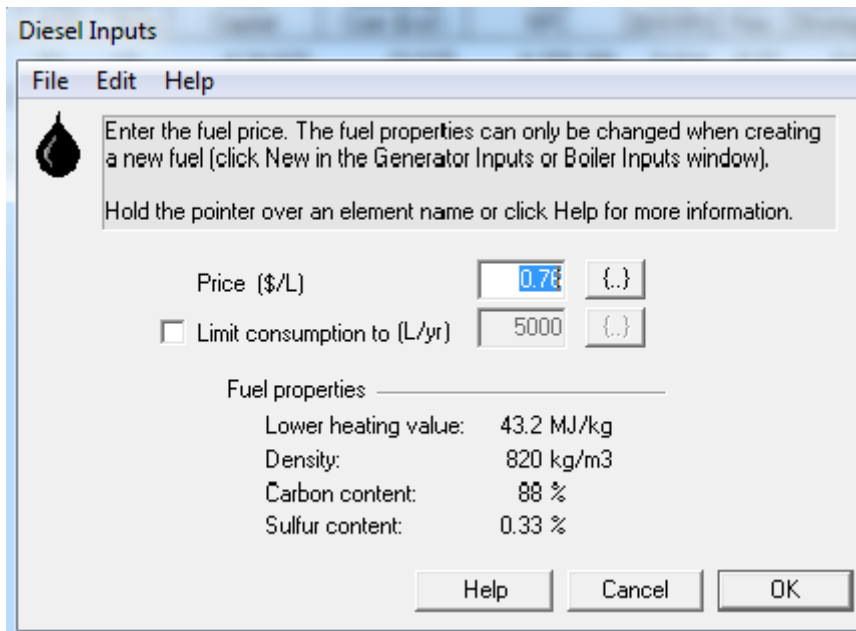


Εικόνα 4.2.3: Στοιχεία για τον υδροηλεκτρικό σταθμό.

Το ύψος της υδατόπτωσης μετρήθηκε σε 47m και τέθηκε ως ροή διαφυγής 20 L/s, δηλαδή η ροή του ποταμού που δεν αξιοποιείται από το υδροηλεκτρικό και παραμένει στο ποτάμι, ώστε να μην υπάρχουν περιβαλλοντικές μεταβολές εξαιτίας της εγκατάστασης του υδροηλεκτρικού σταθμού.

4.2.4 Πεδίο δεδομένων καυσίμου Diesel

Η τιμή Diesel που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση είναι 0,76 \$/L[49]. Το πεδίο δεδομένων του καυσίμου φαίνονται στην εικόνα 4.2.4.



Εικόνα 4.2.4: Πεδίο δεδομένων καυσίμου.

4.3 Τα μέρη του συστήματος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα επιμέρους στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση καθώς και όλες οι μεταβλητές που εισάγονται και οι περιορισμοί που θα πρέπει να ακολουθηθούν.

4.3.1 Φορτίο

Το χωριό το οποίο θα ηλεκτροδοτήσουμε αποτελείται από 105 οικογένειες, όπου η κάθεμία έχει το δικό της σπίτι. Το χωριό διαθέτει επίσης ένα σχολείο, ένα ιατρικό κέντρο και έναν αλευρόμυλο από όπου προμηθεύονται αλεύρι για τη ζήμωση του τοπικού ψωμιού «Injera». Η κοινότητα χρησιμοποιεί αντλίες νερού για να μπορεί να έχει πρόσβαση σε πόσιμο νερό.

Πρωτεύον Φορτίο (Primary Load)

Πρωτεύον φορτίο είναι το φορτίο του οποίου η ζήτηση πρέπει να ικανοποιείται για να θεωρηθεί το σύστημα υλοποιήσιμο. Οι 105 κατοικίες, το ιατρικό κέντρο, το σχολείο και ο αλευρόμυλος αποτελούν το πρωτεύον φορτίο του συστήματος.

Το φορτίο του κάθε στοιχείου καθώς και οι ώρες λειτουργίας της κάθε συσκευής που διαθέτει διαμορφώνεται ως εξής:

House		
Type	W	Hr
Indoor lights	33	5
Outdoor light	11	13
radio	5	5
TV set	70	5

School		
Type	W	Hr
Indoor lights	352	3
Outdoor lights	44	13
Radio	5	3

Health Center		
Type	W	Hr
Indoors lights	33	5
Outdoor lights	22	13
Vaccine refrigerator	80	24
microscope	20	8
radio	5	8
water heater	1000	2
ceiling fan	225	7

Flour Mill		
<i>Type</i>	<i>W</i>	<i>Hr</i>
mill	12500	7

Η κάθε λάμπα εσωτερικού χώρου είναι ισχύος 11W

Υποθέτουμε ότι το ψυγείο του ιατρικού κέντρου λειτουργεί όλες τις ώρες τις ημέρας. Τα εξωτερικά φώτα των κτηρίων ανάβουν από τις 6 το βράδυ μέχρι τις 7 το πρωί. Τα εσωτερικά φώτα λειτουργούν 5 ώρες ημερησίως από τις 18:00-23:00.

Για το σχολείο, τα βραδυνά τμήματα λειτουργούν από τις 18:00-21:00.

Για το ιατρικό κέντρο υπολογίζεται ότι το ραδιόφωνο και το μικροσκόπιο λειτουργούν 8 ώρες την ημέρα, ο θερμοσίφωνας 3 ώρες και ο ανεμιστήρας λειτουργεί τις μεσημεριανές ώρες από 10-16:00.

Για τις κατοικίες, θεωρούμε ότι η τηλεόραση και το ραδιόφωνο χρησιμοποιούνται 5 ώρες ημερησίως από 18-23:00.

Ο αλευρόμυλος λειτουργεί σε δύο βάρδιες, 9-12:00 και 14-18:00, συνολικά 7 ώρες.

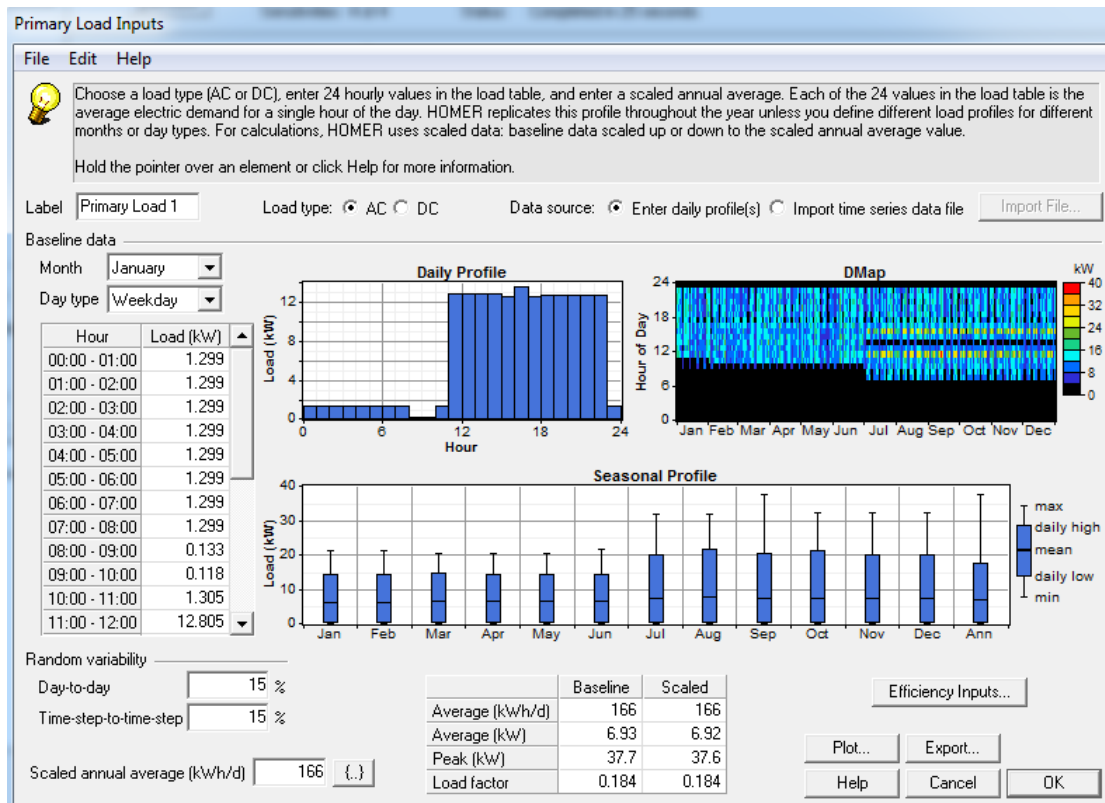
Τα σαββατοκύριακα ο αλευρόμυλος και το σχολείο δεν λειτουργούν και η τηλεόραση και το ραδιόφωνο στα σπίτια χρησιμοποιούνται μεταξύ 10-17:00.

Υποθέτουμε ότι δεν πραγματοποιούνται μαθήματα τον Ιούλιο, Αύγουστο και Ιανουάριο λόγω διακοπών.

Το Homer ως είσοδο στοιχείων φορτίου δέχεται ετήσια ωριαία στοιχεία. Ο σχεδιαστή μπορεί να τα εισάγει με δύο τρόπους, συμπληρώνοντας ένα μέσο ημερήσιο προφίλ ή εισάγοντας ωριαία στοιχεία για όλο το χρόνο από βάση δεδομένων. Στην περίπτωση που γίνει εισαγωγή ημερήσιου προφίλ, το Homer συνθέτει τα ωριαία στοιχεία αναπαράγοντας το προφίλ και ενσωματώνοντας σε αυτό ένα ποσοστό τυχαίων μεταβλητών (βήμα προς βήμα και μέρα σε μέρα) και κλιμακώνοντας την ημερήσια κατανάλωση ενέργειας.

Στην προσομοίωση αυτή δώσαμε σαν είσοδο μία μέση ημερήσια κατανάλωση φορτίου. Υποθέτουμε μόνο 15% μεταβλητές τυχαιότητας, ώστε να μπορέσει το Homer να δημιουργήσει φορτία για όλες τις ημέρες του χρόνου που να είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα αφού η ζήτηση του φορτίου υπό κανονικές συνθήκες μεταβάλλεται συνεχώς.

Με βάση τα παραπάνω συμπληρώνουμε το ακόλουθο πεδίο στο λογισμικό:



Εικόνα 4.3.1 Πρωτεύον Φορτίο του συστήματος.

Το Homer υπολογίζει 37.7 kW αιχμή φορτίου και 166 kWh/d μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά ημέρα.

Δευτερεύον Φορτίο (Deferrable Load)

Το δευτερεύον φορτίο είναι το φορτίο το οποίο μπορεί να ικανοποιηθεί οποιαδήποτε στιγμή σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, αφού πρώτα έχει καλυφθεί η ζήτηση του πρωτεύοντος. Σε αυτό το φορτίο ανήκουν οι αντλίες νερού.

Για το σύστημά μας υποθέτουμε ότι οι αντλίες νερού εξυπηρετούν τις κατοικίες, το σχολείο και το ιατρικό κέντρο. Μια αντλία των 450 W, ικανότητας 30 lt/m για τις κατοικίες λειτουργώντας 6 ώρες/ημέρα και άλλη μία αντλία των 150 W ικανότητας 10 lt/m για το σχολείο και το ιατρικό κέντρο η οποία λειτουργεί 4 ώρες/ημέρα. Υποθέτουμε ότι το κάθε σπίτι καταναλώνει 100 lt/day και το κάθε ζεύγος σχολείου και ιατρικού κέντρου 2400 lt/day. Θέτουμε 4 ημέρες αυτονομίας του συστήματος.

Τέλος υποθέτουμε 30% μείωση του δευτερεύοντος φορτίου κατά τη περίοδο των βροχοπτώσεων. Συγκεκριμένα, 15% για τον Ιούνιο και Σεπτέμβριο και 30% για τον Ιούλιο και τον Αύγουστο.

Συνοψίζοντας έχουμε :

Water Pumps			Capacity lt/m	Lt/day
Type	W	Hr		
κατοικίες	450	6	30	10500
σχολείο-ιατρικό κέντρο	150	4	10	2400

Και συμπληρώνουμε επομένως το πεδίο του Homer ως εξής:

Deferrable Load Inputs

File Edit Help

Deferrable load is electric demand that must be served within some time period, but the exact timing is not important. Water pumping, battery charging, and ice making can be modeled as deferrable loads.

Enter 12 monthly values of average deferrable load, the storage capacity, and peak load. For calculations, HOMER uses scaled data: baseline data scaled up or down to the scaled annual average value.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Label: Load type: AC DC

Baseline data

Month	Average Load (kWh/d)
January	3.300
February	3.300
March	3.300
April	3.300
May	3.300
June	2.805
July	2.310
August	2.310
September	2.805
October	3.300
November	3.300
December	3.300
Annual average:	3.05

Monthly Deferrable Load

Load (kWh/d)

Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

Scaled data for simulation

Scaled annual average (kWh/d) (.)

Other inputs

Storage capacity (kWh) (.)

Peak load (kW) (.)

Minimum load ratio (%) (.)

Help Cancel OK

Εικόνα 4.3.2 Πεδίο δευτερεύοντος φορτίου.

Ο υπολογισμός των φορτίων έγινε με τη βοήθεια της μελέτης του G.Bekele [43], ο οποίος είναι κάτοικος της Αιθιοπίας και έχει καλύτερη γνώση των αναγκών των κατοίκων.

4.3.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία

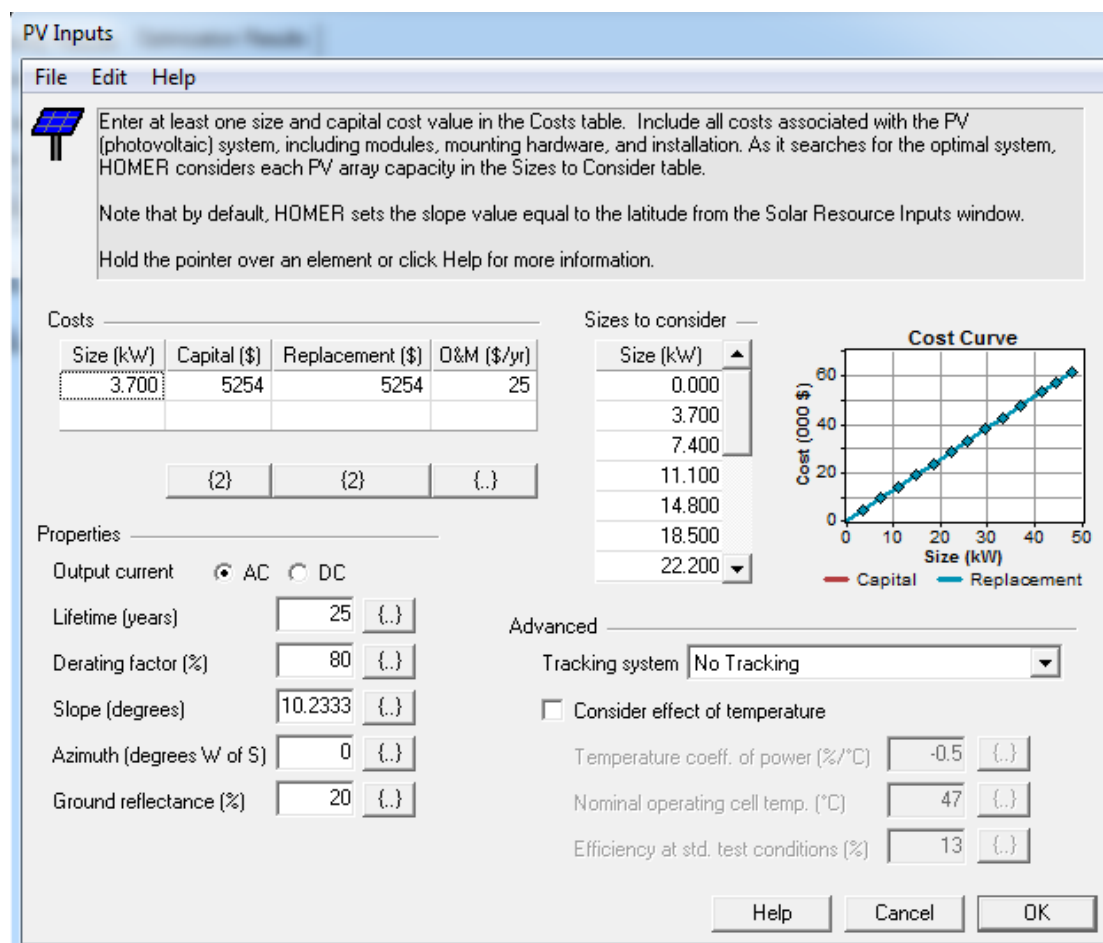
Σε αυτό το πεδίο γίνεται η εισαγωγή των στοιχείων των φωτοβολταϊκών που χρησιμοποιούνται από το Homer.

Εφαρμόζονται δύο διαφορετικές συνδεσμολογίες για τα φωτοβολταϊκά, μια σύνδεση στον AC ζυγό και μια στον DC ζυγό.

AC συνδεσμολογία

Κατά τη σύνδεση στον AC ζυγό, το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από 15 Panel Bosch 245 W, κόστους 195 € το καθένα, βάσεις στήριξης κόστους 600 € και από

αντιστροφέα SMA Sunny Boy 3800-TL 3.8 kW κόστους 1729 €. Το κόστος αγοράς για 3.7 kW φωτοβολταϊκού συστήματος ανέρχεται σε 5254 € [46],[47]. Τα στοιχεία αυτά συμπληρώνονται στο αντίστοιχο πεδίο της εικόνας 4.3.3



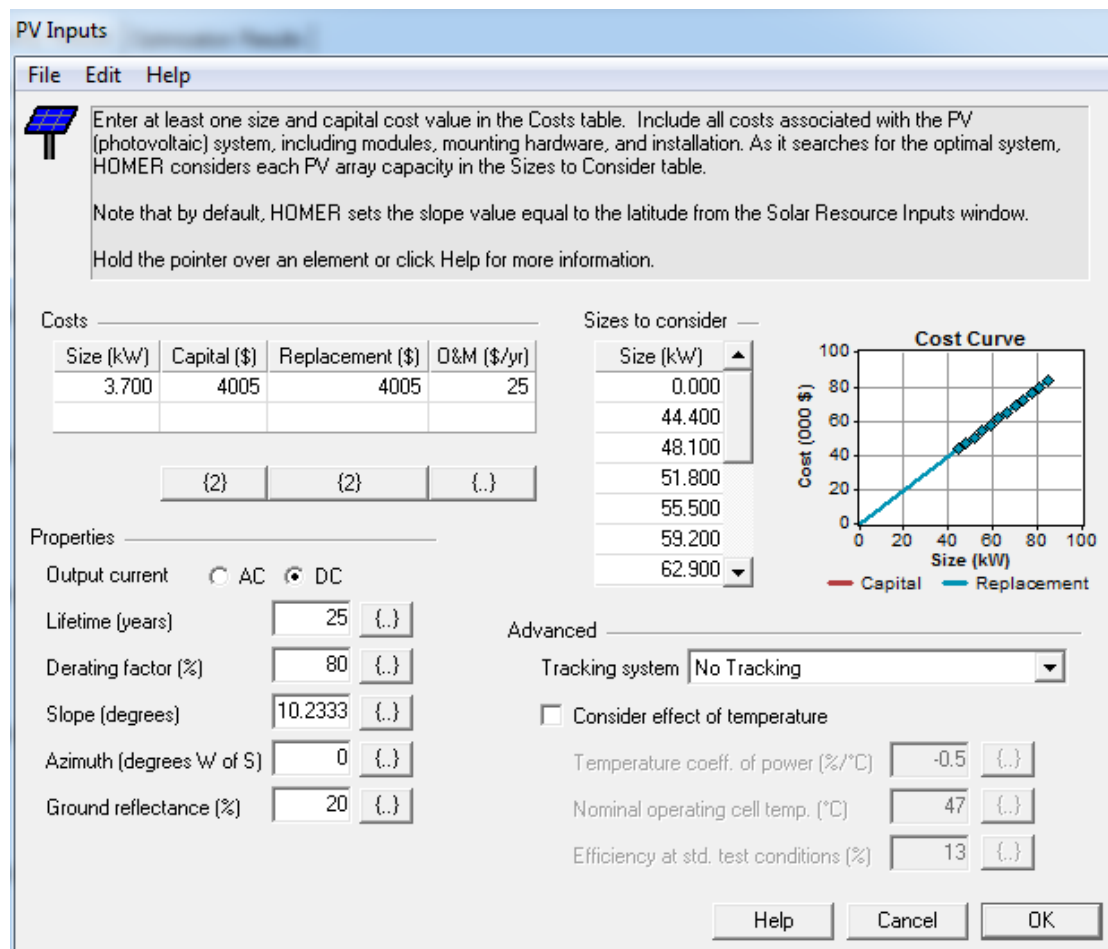
Εικόνα 4.3.3 Πεδίο PV για AC σύνδεση.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η γωνία κλίσης τίθεται ίση με το γεωγραφικό πλάτος και η αζιμούθια ίση με 0. Η καμπύλη κόστος δημιουργείται γραμμικά από το Homer ανάλογα με τα πόσα μεγέθη υπό εξέταση θα εισάγουμε.

Το κόστος Κεφαλαίου (Capital) και αντικατάστασης (Replacement) συμπεριλαμβάνουν όλα τα κόστη που σχετίζονται με την αγορά του συστήματος, τα πλαίσια, τις βάσεις, τον αντιστροφέα, ρυθμιστή τάσης κλπ. Στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι και τα δύο 5254 €. Το κόστος λειτουργίας (Operating & Maintenance) είναι το ετήσιο κόστος συντήρησης του συστήματος. Ο συντελεστής υποβάθμισης (Derating factor) είναι 20% και η γωνία αντανάκλασης ηλιακής ακτινοβολίας του εδάφους είναι 20%.

DC συνδεσμολογία

Στη DC συνδεσμολογία στο κόστος αγοράς συμπεριλαμβάνεται ρυθμιστής τάσης Outback 80 , 3.8 kW με κόστος 480 € αντί του αντιστροφέα που χρησιμοποιούσαμε πριν [46]. Το Homer μοντελοποιεί ξεχωριστά έναν κεντρικό μετατροπέα για σύνδεση DC- AC. Το συνολικό κόστος αγοράς των φωτοβολταϊκών στη συγκεκριμένη περίπτωση ανέρχεται σε 4005 € για 3.7 kW συστήματος (Εικόνα 4.3.4).



Εικόνα 4.3.4 Πεδίο PV για DC σύνδεση.

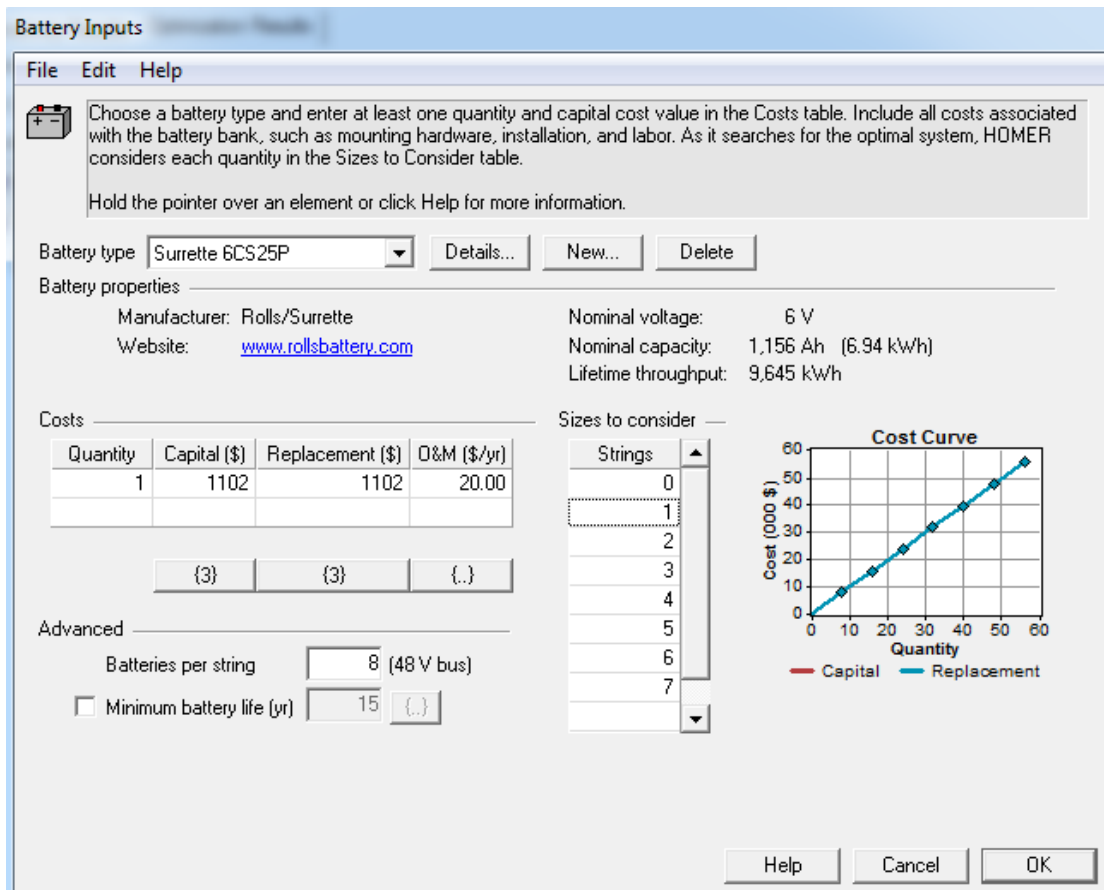
Γίνεται ανάλυση ευαισθησίας για την μεταβολή στην τιμή των φωτοβολταϊκών με συντελεστές 0,9-1 και για τις δύο συνδεσμολογίες.

4.3.3 Στοιχεία μπαταριών

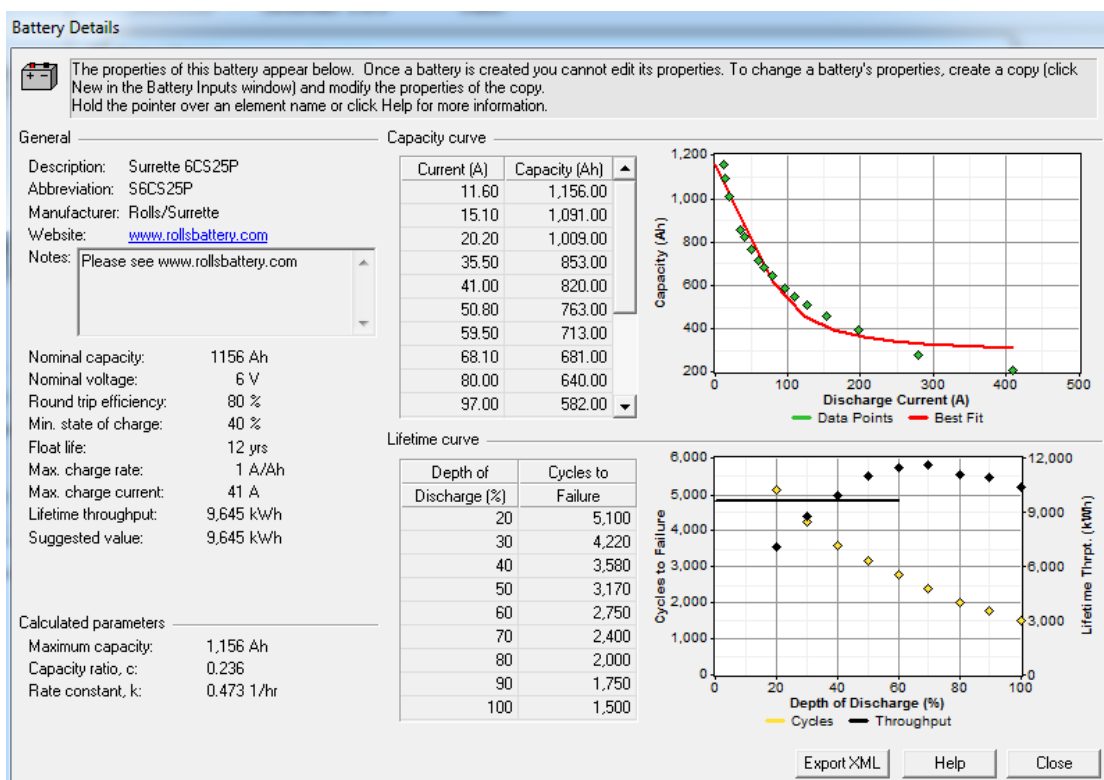
Οι μπαταρίες που έχουμε επιλέξει για το σύστημά μας είναι οι Rolls/Surrette 6CS25P (1,156 Ah, 6V) 6,94 kWh, με κόστος αγοράς 1102 € η μία [46]. Το σύστημά μας θέλουμε να είναι 48V οπότε θέτουμε 8 μπαταρίες σε σειρά. Εάν θέλουμε να βάλουμε επιπλέον χωρητικότητα τοποθετούμε επιπλέον σειρές παράλληλα μεταξύ τους. Τέλος για τις μπαταρίες γίνεται και ανάλυση ευαισθησίας για τιμές 0,9-1 της ονομαστικής.

Αναλυτικά η συνδεσμολογία και τα χαρακτηριστικά των μπαταριών παρουσιάζονται στις εικόνες 4.35 και 4.3.6. Βλέπουμε ότι το ελάχιστο σημείο εκφόρτισης των μπαταριών είναι το 40%.

Για την προσομοίωση των μπαταριών χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές στρατηγικές, Cycle Charging και Load Following. Στην πρώτη, οι μπαταρίες φορτίζονται αποκλειστικά από την γεννήτρια η οποία λειτουργεί με απόδοση μεγαλύτερη από εκείνη που χρειάζεται για να καλύψει το φορτίο. Η επιπλέον ενέργεια αποθηκεύεται στις μπαταρίες. Κατά τη δεύτερη στρατηγική, οι γεννήτριες θα λειτουργούν με τέτοια απόδοση ώστε να ικανοποιούν πρώτα το φορτίο. Οι μπαταρίες φορτίζουν σε δευτερεύοντα χρόνο, κυρίως από τα φωτοβολταϊκά.



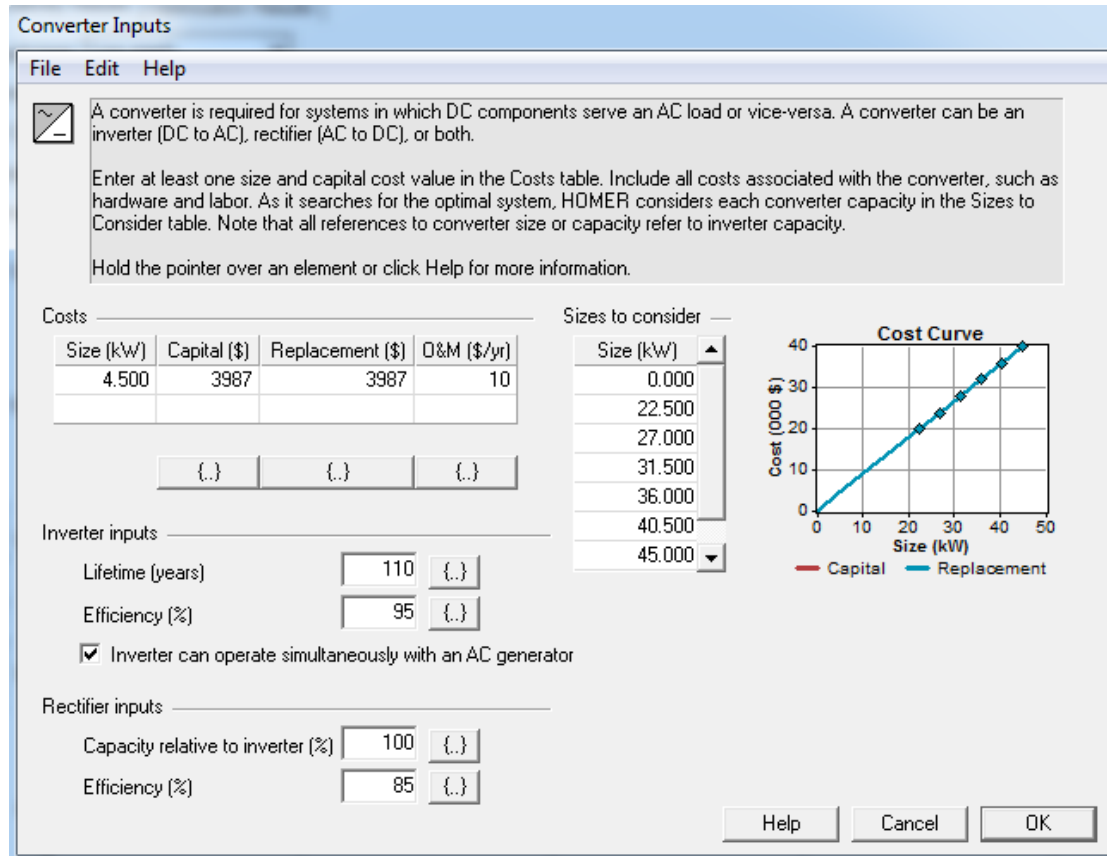
Εικόνα 4.3.5 Πεδίο στοιχείων μπαταρίας.



Εικόνα 4.3.6 Χαρακτηριστικά στοιχεία της μπαταρίας.

4.3.4 Αντιστροφέας

Το Homer μοντελοποιεί έναν ενιαίο αντιστροφέα για την μεταφορά ενέργειας από DC σε AC και αντίστροφα. Για το σύστημά μας επιλέξαμε τον SMA Sunny Island 4548-US 10 4.5 kW, αξίας 3987 € [46].



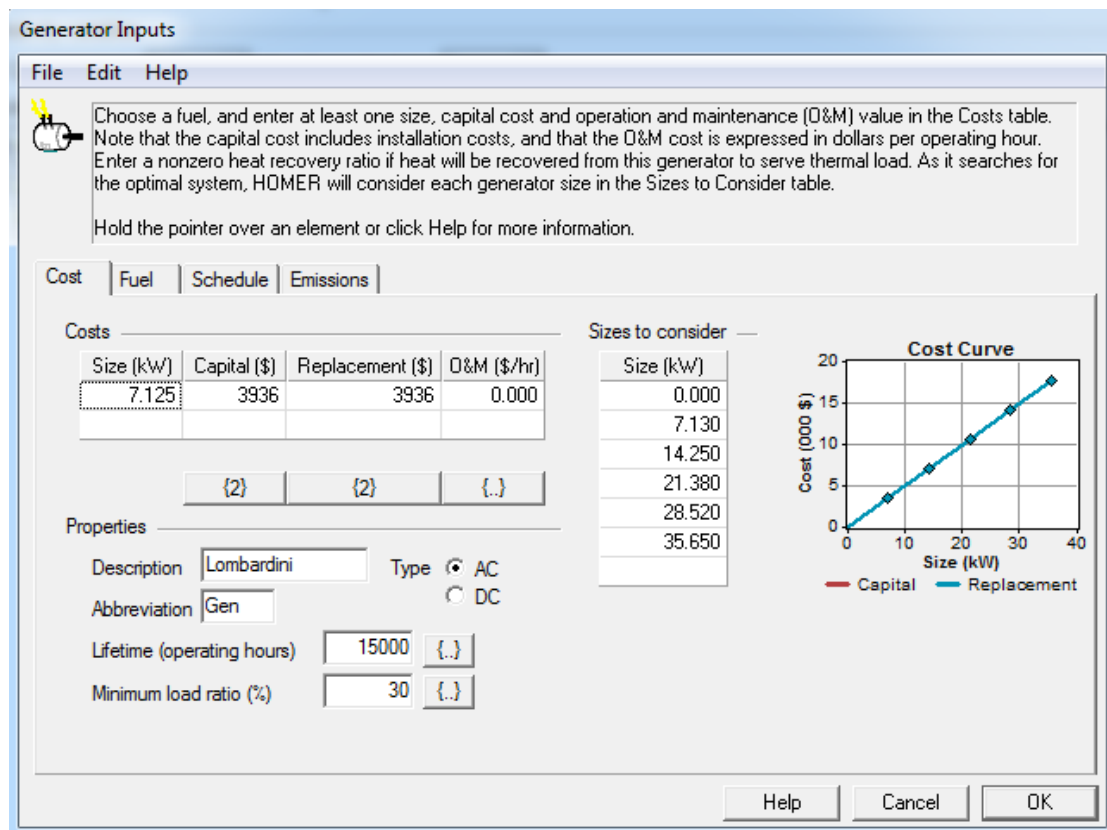
Εικόνα 4.3.7 Πεδίο αντιστροφέα.

4.3.5 Γεννήτρια Diesel

Ο τύπος γεννήτριας Diesel που χρησιμοποιήσαμε είναι ο Lombardini με ονομαστική ισχύ 7125 kW και κόστος αγοράς 3936 € [42]. Κατά τη προσομοίωση επιλέξαμε δύο είδη λειτουργίας, συνεχή και διακοπτόμενη. Στη συνεχή, η γεννήτρια Diesel λειτουργεί συνεχώς ανάλογα με το φορτίο. Η ελάχιστη απόδοση που είναι επιτρεπτή είναι 30%. Όταν το φορτίο είναι πολύ χαμηλό, η γεννήτρια συνεχίζει και λειτουργεί στο 30% της ονομαστικής έως ότου αυξηθεί η ζήτηση πάνω από το ποσοστό αυτό. Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρουσιάζεται πολλές φορές περίσσια ενέργειας, η οποία συνήθως χρησιμοποιείται για να φορτιστούν οι μπαταρίες.

Στη διακοπτόμενη λειτουργία, η γεννήτρια Diesel έχει δευτερεύοντα ρόλο (back-up) και τίθεται σε λειτουργία όταν οι υπόλοιπες πηγές δεν είναι ικανές για να ικανοποιήσουν το φορτίο.

Το πεδίο της γεννήτριας Diesel φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.

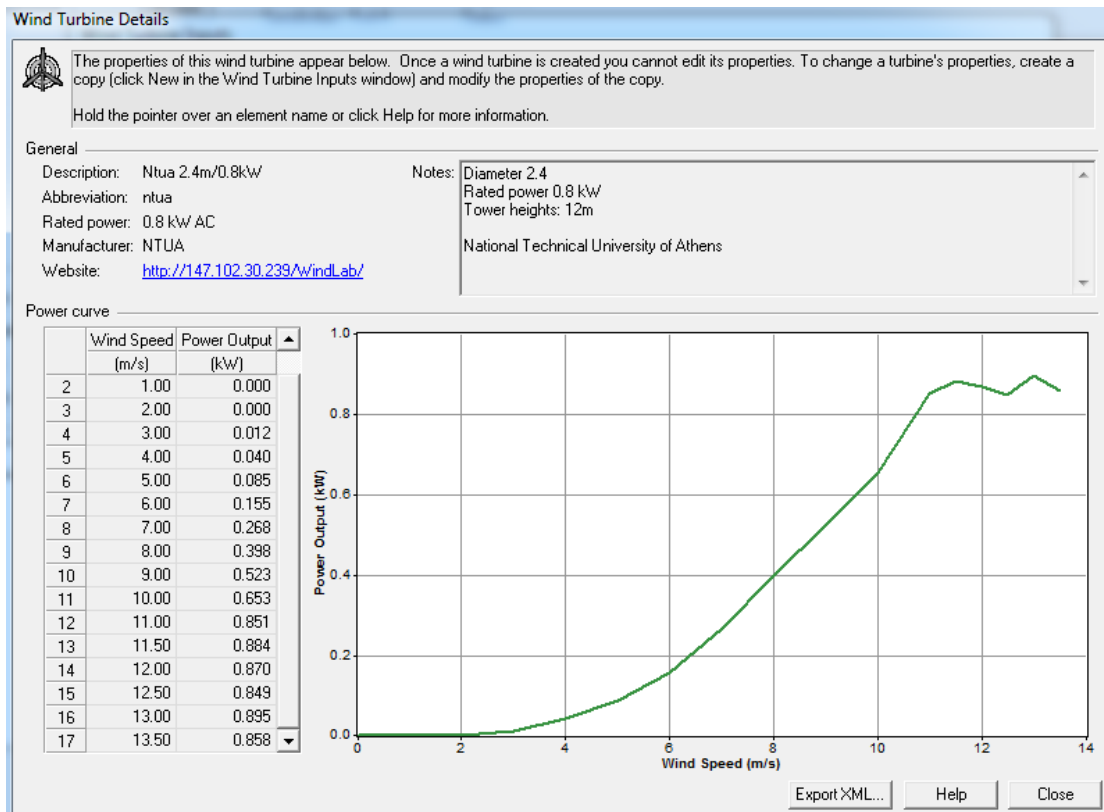


Εικόνα 4.3.8 Πεδίο γεννήτριας Diesel

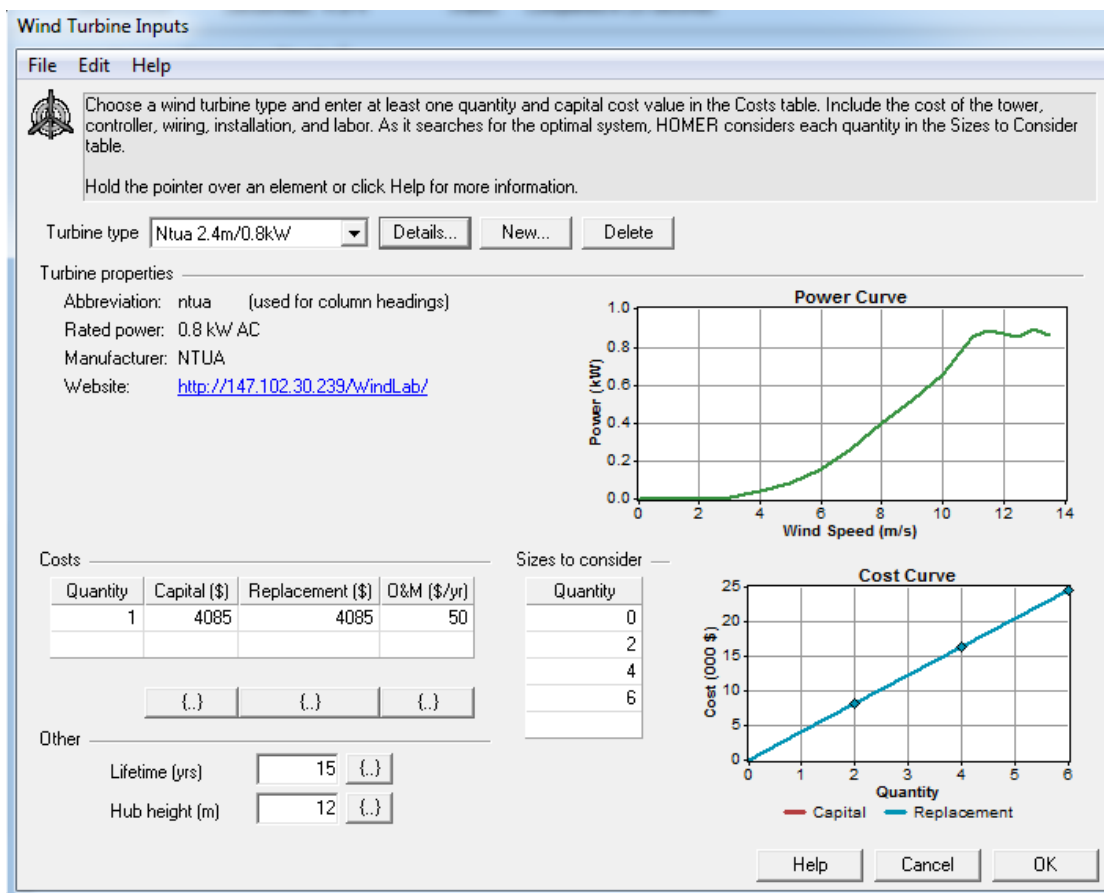
Να σημειωθεί ότι γίνεται ανάλυση ευαισθησίας για μεταβολή του κόστους της γεννήτριας με συντελεστές 0,9-1.

4.3.6 Ανεμογεννήτρια

Η ανεμογεννήτρια που μοντελοποιείται έχει κατασκευαστεί από μέλη του εργαστηρίου Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Είναι ισχύος 0,8 kW και έχει διάμετρο φτερών 2.4m Η καμπύλη ισχύος φαίνεται στην εικόνα 4.3.9. Το κόστος κατασκευής της ανέρχεται σε 4085 €. Το πεδίο που συμπληρώθηκε με τα δεδομένα της ανεμογεννήτριας παρουσιάζεται στην εικόνα 4.3.10 [42].



Εικόνα 4.3.9 Καμπύλη Ισχύος Ανεμογεννήτριας NTUA 0,8 kW



Εικόνα 4.3.10 Πεδίο δεδομένων ανεμογεννήτριας.

4.3.7 Υδροηλεκτρικός Σταθμός

Το Homer μοντελοποιεί μόνο run of the river τύπους υδροηλεκτρικών σταθμών. Ο συγκεκριμένος τύπος, όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3.2.3, χρησιμοποιεί την φυσική ροή και υδατόπτωση του ποταμού χωρίς να χρειάζεται κάποιο φράγμα για την συλλογή και αποθήκευση νερού. Η απόφαση που λαμβάνει το Homer είναι για το αν θα συμπεριλάβει ή όχι το μικρό υδροηλεκτρικό στο προτεινόμενο σύστημα.

Είναι δύσκολο να αποτιμηθεί το κόστος ενός υδροηλεκτρικού. Από τη βιβλιογραφία [30]-[34] λαμβάνουμε μέσο κόστος 2000 €/ kW. Το Homer υπολογίζει αυτόματα την ισχύ που θα παράγει ο υδροηλεκτρικός σταθμός με βάση το ύψος της υδατόπτωσης και την ροή που θέτουμε για το σταθμό (design flow rate).

Hydro Inputs

File Edit Help

HOMER models run-of-river hydro installations. Enter the capital cost, available head, and turbine design flow rate. For Economics values, include the civil works and all costs associated with the hydro system. HOMER calculates the nominal power from the available head, design flow rate, and efficiency.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Economics

Capital cost (\$)	42000	{..}
Replacement cost (\$)	10000	{..}
O&M cost (\$/yr)	100	{..}
Lifetime (years)	25	{..}

Turbine

Available head (m)	47	{..}	Nominal power: 20.7 kW
Design flow rate (L/s)	60	{..}	
Minimum flow ratio (%)	35	{..}	Generator type <input checked="" type="radio"/> AC <input type="radio"/> DC
Maximum flow ratio (%)	100	{..}	
Efficiency (%)	75	{..}	

Intake pipe

Pipe head loss (%)	25.4	{..}	Pipe Head Loss Calculator...
--------------------	------	------	------------------------------

Systems to consider

Simulate systems both with and without the hydro turbine
 Include the hydro turbine in all simulated systems

Help Cancel OK

Εικόνα 4.3.11 Πεδίο δεδομένων υδροηλεκτρικού σταθμού

Υπολογίζεται λοιπόν ότι για 47 μέτρα υδατόπτωσης και 60 lt/s ροή, ο υδροηλεκτρικός σταθμός έχει ονομαστική ισχύ 20.7 kW. Έτσι το κόστος τίθεται στα 42000 €. Ακόμη επιλέξαμε 35% ποσοστό ελάχιστης ροής, 100% μέγιστης και απόδοση 75%.

4.3.8 Περιορισμοί συστήματος και λοιπές μεταβλητές

Οι περιορισμοί που θέτει ο σχεδιαστής του συστήματος και με βάση των οποίων το Homer λαμβάνει τις αποφάσεις φαίνονται στην εικόνα 4.3.12.

Constraints

File Edit Help

Constraints are conditions that systems must meet to be feasible. Infeasible systems do not appear in the sensitivity and optimization results. Operating reserve provides a margin to account for intra-hour deviation from the hourly average of the load or renewable power output. HOMER calculates this margin for each hour based on the operating reserve inputs.

Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

Maximum annual capacity shortage (%) 1 {}

Minimum renewable fraction (%) 0 {}

Operating reserve

As percent of load

Hourly load (%) 10 {}

Annual peak load (%) 0 {}

As percent of renewable output

Solar power output (%) 25 {}

Wind power output (%) 40 {}

Note:
HOMER calculates the total required operating reserve for each hour by multiplying each of these four inputs by the load or output value for that hour and adding the results.

Primary energy savings

Minimum primary energy savings (%) 10 {}

Reference electrical efficiency (%) 33 {}

Reference thermal efficiency (%) 75 {}

Help Cancel OK

Εικόνα 4.3.12 Πεδίο περιορισμών

Για τη συγκεκριμένη προσομοίωση έχουμε επιλέξει 1% μέγιστη ετήσια έλλειψη παραγωγικής ικανότητας (maximum annual capacity shortage). Η έλλειψη παραγωγικής ικανότητας υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ της απαιτούμενης λειτουργικής ικανότητας (operating capacity), η οποία είναι η ζήτηση του φορτίου μαζί με το ποσοστό εφεδρείας που έχουμε ορίσει, και της λειτουργικής ικανότητας που το σύστημα μπορεί να αποδώσει.

Έχουμε θέσει ποσοστό εφεδρείας ως το 10% του φορτίου και το 25% της ηλιακής και 40% της αιολικής παραγωγής.

Δίνεται η δυνατότητα στο σχεδιαστή να επιλέξει και ποσοστό διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών, εάν θέλει να σχεδιάσει κάποιο σύστημα που να τηρεί τέτοιο κριτήριο. Για την προσομοίωσή μας, ο περιορισμός αυτός δεν υπολογίζεται.

Στις εικόνες 4.3.13 και 4.3.14 φαίνονται οι υπόλοιπες μεταβλητές που πρέπει να συμπληρωθούν. Μπορεί να γίνει επιλογή φόρου για εκπομπές στην ατμόσφαιρα για το διοξείδιο του άνθρακα, για το μονοξείδιο του άνθρακα και άλλα. Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε 20\$/τόνο ποινή στο διοξείδιο του άνθρακα. Επιλέξαμε η

προσομοίωση να γίνεται σε βήματα των 60 λεπτών και να υπολογιστούν συστήματα και για τις δύο στρατηγικές φόρτισης των μπαταριών.

Emissions Inputs

File Edit Help

Costs resulting from emissions penalties appear as 'Other O&M cost'. HOMER discards systems that exceed the specified emissions limits.
Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Emissions penalties

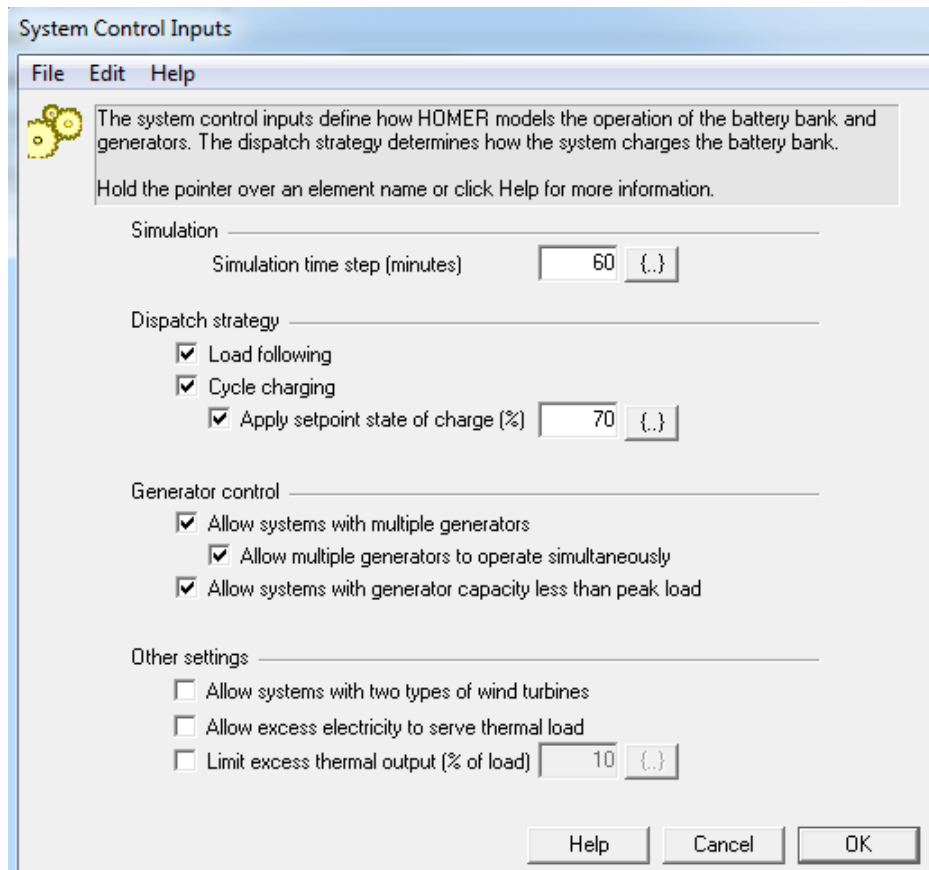
Carbon dioxide (\$/t)	<input type="text" value="20"/>	<input type="button" value="({)"/>
Carbon monoxide (\$/t)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="({)"/>
Unburned hydrocarbons (\$/t)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="({)"/>
Particulate matter (\$/t)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="({)"/>
Sulfur dioxide (\$/t)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="({)"/>
Nitrogen oxides (\$/t)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="({)"/>

Limits on emissions

<input type="checkbox"/> Carbon dioxide (kg/yr)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="({)"/>
<input type="checkbox"/> Carbon monoxide (kg/yr)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="({)"/>
<input type="checkbox"/> Unburned hydrocarbons (kg/yr)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="({)"/>
<input type="checkbox"/> Particulate matter (kg/yr)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="({)"/>
<input type="checkbox"/> Sulfur dioxide (kg/yr)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="({)"/>
<input type="checkbox"/> Nitrogen oxides (kg/yr)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="({)"/>

Help Cancel OK

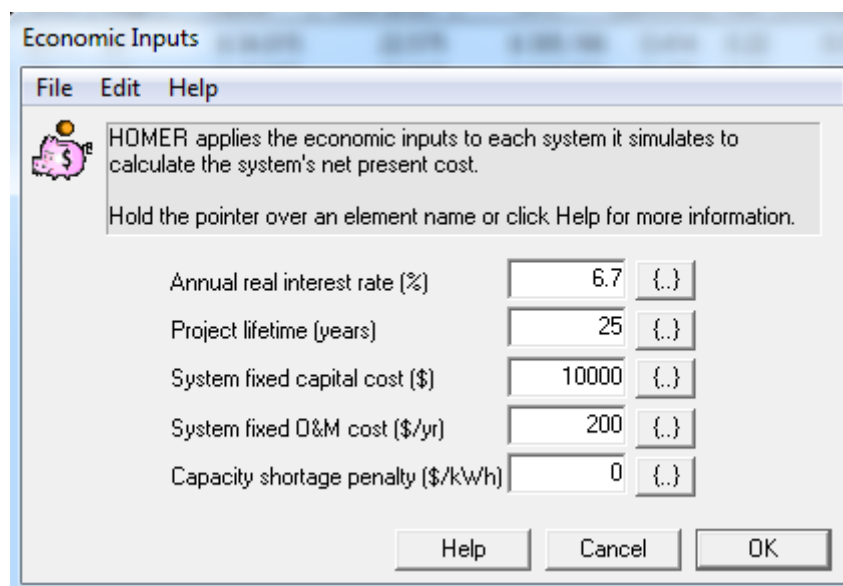
Εικόνα 4.3.13 Πεδίο εκπομπών.



Εικόνα 4.3.14 Πεδίο ελέγχου συστήματος.

4.3.9 Οικονομικές Μεταβλητές και Κριτήρια Κόστους

Το Homer λαμβάνει απόφαση για τα συστήματα που προσομοιώνει με βάση το κριτήριο του κόστους. Οι οικονομικές μεταβλητές που εισάγει ο χρήστης είναι οι ακόλουθες:



Εικόνα 4.3.15 Πεδίο Οικονομικών μεταβλητών.

Βλέπουμε ότι ο χρήστης καλείται να εισάγει το ετήσιο επιτόκιο, 6.7% στην περίπτωση μας, τη συνολική ζωή του έργου, 25 χρόνια, το σταθερό κόστος του συστήματος ανεξαρτήτως μεγέθους και αρχιτεκτονικής, 10000 € στην περίπτωση μας, το σταθερό ετήσιο κόστος συντήρησης του συστήματος, 200 € και την ποιινή σε €/ kWh όταν υπάρχει έλλειψη στην παραγωγική ικανότητα.

Τα μεγέθη αυτά είναι σημαντικά για τον υπολογισμό του Συνολικού Καθαρού Παρόντος Κόστους (Total Net Present Cost- Total NPC) και του Κόστους ανά μονάδα Ενέργειας (COE), δείκτες όπου βασίζονται οι αποφάσεις του λογισμικού.

Πιο αναλυτικά, το Συνολικό Καθαρό Παρόν Κόστος (NPC) περιλαμβάνει όλες τις δαπάνες και τα εισοδήματα που εμφανίζονται στο σύνολο της διάρκειας ζωής του συστήματος. Το συνολικό καθαρό παρόν κόστος περιλαμβάνει το κόστος του αρχικού κεφαλαίου των τμημάτων του συστήματος, το κόστος οποιονδήποτε δεδομένων αντικατάστασης που εμφανίζονται μέσα στη διάρκεια ζωής του έργου, το κόστος της συντήρησης και των καυσίμων. Εάν υπήρχε εισόδημα από την πώληση της ενέργειας στο δίκτυο, αυτό θα μείωνε το συνολικό NPC. Επίσης χρησιμοποιώντας το NPC θεωρούμε πως όλα τα κόστη είναι θετικά και όλα τα έσοδα αρνητικά.

Το Homer θεωρεί πως αποδοτικότερο από θέμα κόστους είναι αυτό που έχει το μικρότερο NPC. Ο λόγος που τα ταξινομεί με βάση αυτό το κριτήριο είναι γιατί το NPC είναι πιο αξιόπιστο από το COE.

Το κόστος ανά μονάδα ενέργειας ορίζεται ως το μέσο κόστος ανά kWh ωφέλιμης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το σύστημα. Η εξίσωση του COE είναι η ακόλουθη:

$$COE = \frac{C_{ann,tot} - c_{boiler} E_{thermal}}{E_{prim,AC} + E_{prim,DC} + E_{def} + E_{grid,sales}}$$

- Όπου $C_{ann,tot}$ = συνολικό ετήσιο κόστος του συστήματος [\$/yr]
- c_{boiler} = οριακό κόστος λέβητα [\$/kWh]
- $E_{thermal}$ = συνολικό θερμικό φορτίο που εξυπηρετείται [kWh/yr]
- $E_{prim,AC}$ = AC πρωτεύον φορτίο που εξυπηρετείται [kWh/yr]
- $E_{prim,DC}$ = DC πρωτεύον φορτίο που εξυπηρετείται [kWh/yr]
- E_{def} = defferable φορτίο που εξυπηρετείται [kWh/yr]
- $E_{grid,sales}$ = συνολικές πωλήσεις του δικτύου [kWh/yr]

Κεφάλαιο 5: Προσομοίωση Μικροδικτύου στην Αιθιοπία

5.1 Η παρούσα κατάσταση στην Αιθιοπία

Η Αιθιοπία είναι μία χώρα που βρίσκεται στη βορειοανατολική Αφρική με πληθυσμό πάνω από 93 εκατομύρια [51]. Βρίσκεται στην 174 από τις 179 θέσεις με βάση το κατά κεφαλήν εισόδημα των πολιτών της.

Το 85% του πληθυσμού ζει σε αγροτικές περιοχές και μόλις το 16% του συνόλου έχει πλήρη πρόσβαση σε ηλεκτρισμό. Όσοι ζούν σε αγροτικές περιοχές έχουν μέση ετήσια κατανάλωση μικρότερη από 50 kWh, με την ηλεκτρική κάλυψη των αγροτικών περιοχών να αγκίζει μόλις το 2%.

Την τελευταία δεκαετία ξεκίνησε προσπάθειες για να επιταχύνει την ανάπτυξη και να δώσει τέλος στη φτώχεια. Υπολογίστηκε ότι οικονομική ανάπτυξη 7-10% δημιουργεί αύξηση της ζήτησης ενέργειας της τάξεως του 17%. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει έλλειψη προσφοράς ενέργειας, με το κεντρικό δίκτυο να μην μπορεί να ανταποκριθεί [43].

Στις αγροτικές περιοχές η κατάσταση είναι πολύ δυσχερή. Δεν υπάρχουν σχέδια για επέκταση του κεντρικού δικτύου στο άμεσο μέλλον. Η μόνη λύση είναι επομένως η χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας. Η Αιθιοπία έχει μεγάλη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρισμού από μικρά υδροηλεκτρικά, φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες σε αυτόνομα μικροδίκτυα καθώς διαθέτει πλούσιες ανανεώσιμες πηγές.

Στην περιοχή Dejen όπου λαμβάνει χώρα η προσομοίωσή μας, υπάρχουν 14 χωριά των 63000 κατοίκων, όπου όχι μόνο δεν ηλεκτροδοτούνται, αλλά δεν υπάρχουν και μελλοντικά σχέδια για την ηλεκτροδότησή τους, εξαιτίας της απρόσιτης γεωγραφικής τους θέσης [43]. Η λύση γι'αυτά τα χωριά είναι η εγκατάσταση μικροδικτύων ανανεώσιμων πηγών.

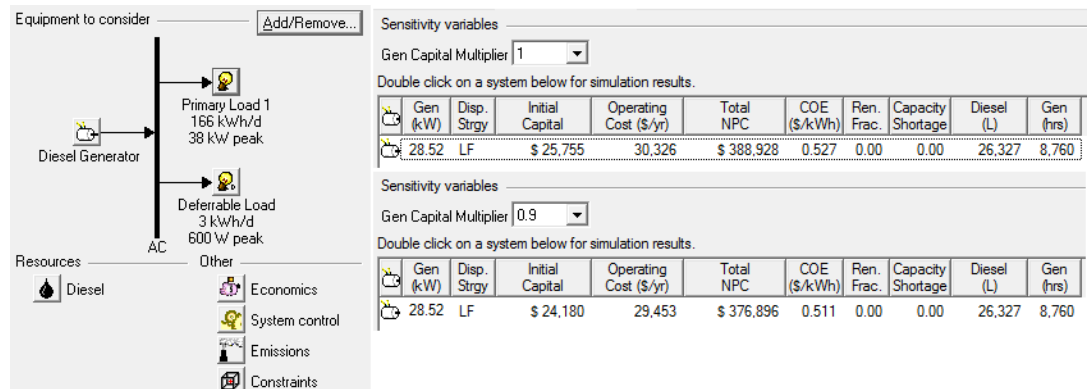
Ο σκοπός της μελέτης που ακολουθεί είναι ο σχεδιασμός ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας που να αποτελείται από μεγάλο ποσοστό διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών και να μπορεί να ηλεκτροδοτήσει ικανοποιητικά ένα από τα 14 χωριά της περιοχής.

5.2 Σενάρια προσομοίωσης

5.2.1 Σενάρια με γεννήτρια Diesel σε συνεχή λειτουργία

5.2.1.1 Γεννήτρια Diesel

Στο πρώτο αυτό σενάριο η γεννήτρια Diesel καλείται να καλύψει εξ'ολοκλήρου και αποκλειστικά όλο το φορτίο. Στην Εικόνα 5.1.1.1 φαίνεται η διάταξη του συστήματος και το αποτέλεσμα της προσομοίωσης.



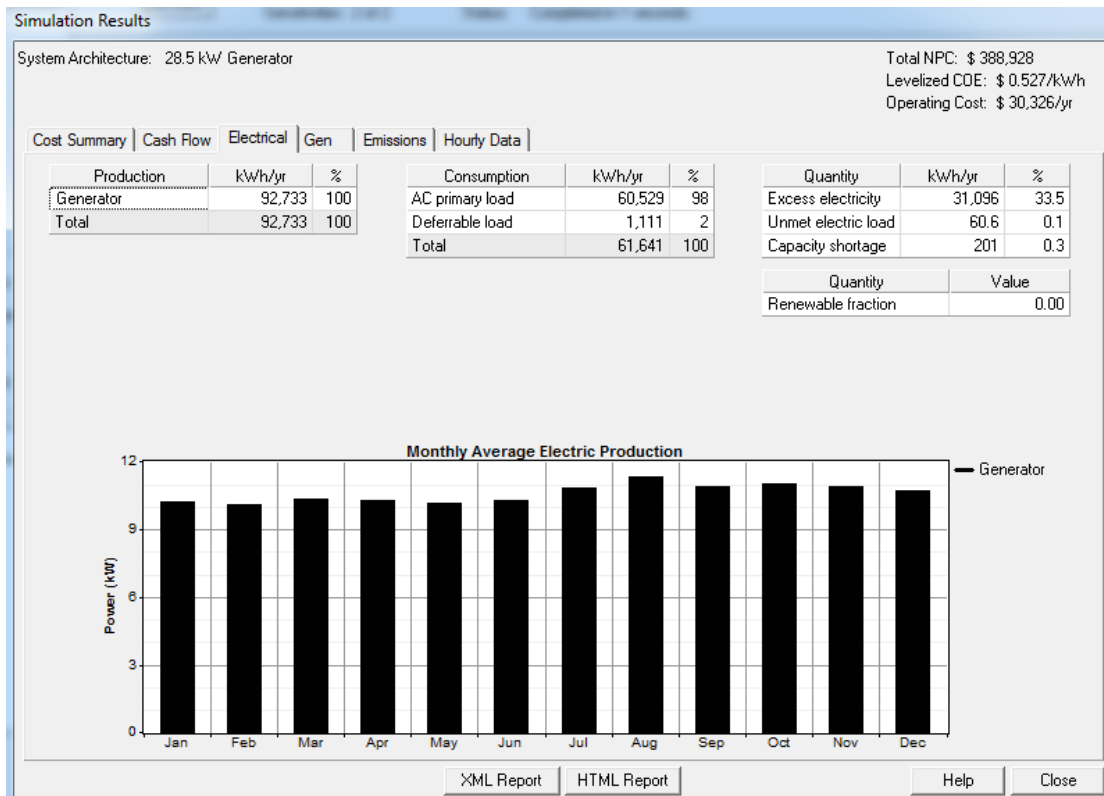
Εικόνα 5.1.1.1 Σύστημα με γεννήτρια Diesel σε συνεχή λειτουργία.

Παρατηρούμε ότι το Homer υπολογίζει ότι για να ικανοποιηθούν πλήρως οι ανάγκες της κοινότητας απαιτούνται 4 γεννήτριες Diesel 28.52 kW συνολικής ισχύος. Οι γεννήτριες Diesel θα λειτουργούν διαρκώς, με ελάχιστη κατάσταση λειτουργίας το 30% της ονομαστικής τους. Στις περιπτώσεις που υπάρχει επιπλέον παραγωγή ενέργειας από τη ζήτηση, το Homer αρχικά προμηθεύει το δευτερεύον φορτίο, και όταν ικανοποιηθεί και αυτό, προυποθέτει ότι υπάρχουν αντιστάσεις ή συστοιχίες λαμπτήρων όπου θα απορροφηθεί η επιπλέον παραγωγή (dump load).

Επίσης παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευσταθίας που έγινε σε μεταβολή της τιμής της γεννήτριας Diesel κατά 10% για καλύτερη πρόβλεψη μελλοντικών αλλαγών.

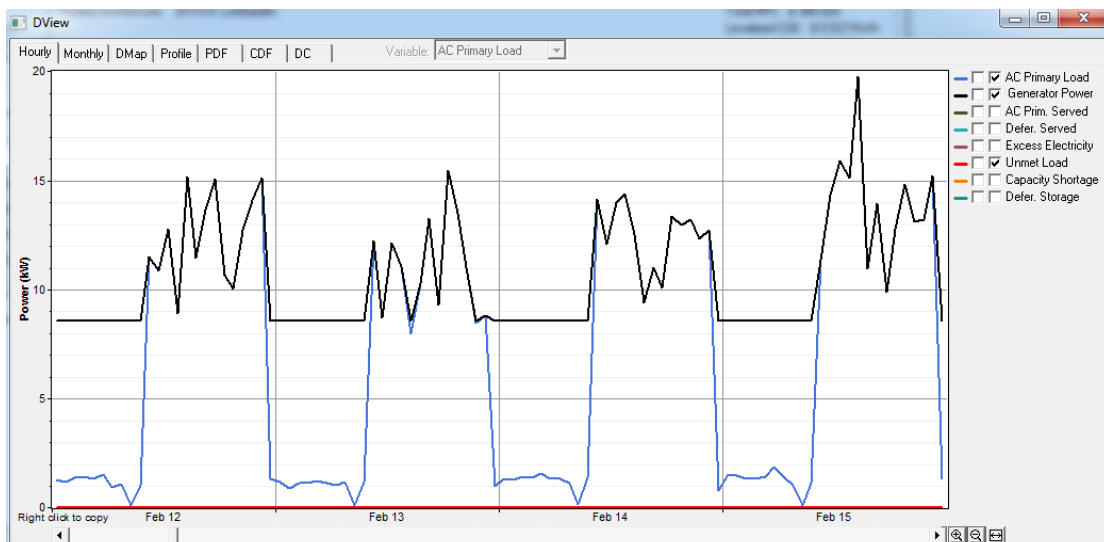
Το Συνολικό Καθαρό Παρόν Κόστος (NPC) του έργου, είναι 388,928 € και το κόστος ανά μονάδα ενέργειας είναι 0.527 €/kWh.

Στις εικόνες 5.1.1.2 και 5.1.1.3 βλέπουμε αναλυτικά τη λειτουργία του συγκεκριμένου σεναρίου.



5.1.1.2 Παραγωγή ενέργειας του συστήματος.

Η εικόνα 5.1.1.2 παρουσιάζει τα ποσοτικά μεγέθη του συστήματος. Η συνολική ετήσια παραγωγή των γεννητριών Diesel είναι 92,733 kWh και στο διάγραμμα φαίνεται η μέση μηνιαία παραγωγή. Το σύστημα αυτό έχει μόνο 0,1% ακάλυπτο φορτίο, ποσό αμελητέο καθώς συμπεριλαμβάνεται στο 15% των μεταβλητών τυχαιότητας που έχουμε θέσει από μέρα σε μέρα και βήμα σε βήμα.



5.1.1.3 Καμπύλες Ισχύος για τέσσερις τυχαίες μέρες.

Η 5.1.1.3 μας δείχνει τη λειτουργία του συστήματος για 4 τυχαίες μέρες του έτους. Παρατηρούμε ότι οι γεννήτριες Diesel λειτουργούν στο ελάχιστο όσο το φορτίο είναι χαμηλό, δηλαδή κατά τη διάρκεια των βραδινών ωρών. Στη συνέχεια, καθώς αυξάνεται η ζήτηση, αυξάνεται αναλόγως και η παραγωγή από αυτές ώστε να καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις των φορτίων.

5.2.1.2 Γεννήτρια Diesel και Φωτοβολταϊκά

Το δεύτερο σενάριο συνδυάζει γεννήτρια Diesel και παραγωγή από Φωτοβολταϊκά. Η συνδεσμολογία είναι η ακόλουθη (Εικόνα 5.2.1):

The screenshot shows a software interface for system configuration and simulation. On the left, there is a diagram of the system architecture with a PV array and a Diesel generator connected to an AC bus, which then feeds into a Primary Load (166 kWh/d, 38 kW peak) and a Deferrable Load (3 kWh/d, 600 W peak). Below the diagram are resource icons for Solar and Diesel, and other system parameters like Economics, System control, Emissions, and Constraints.

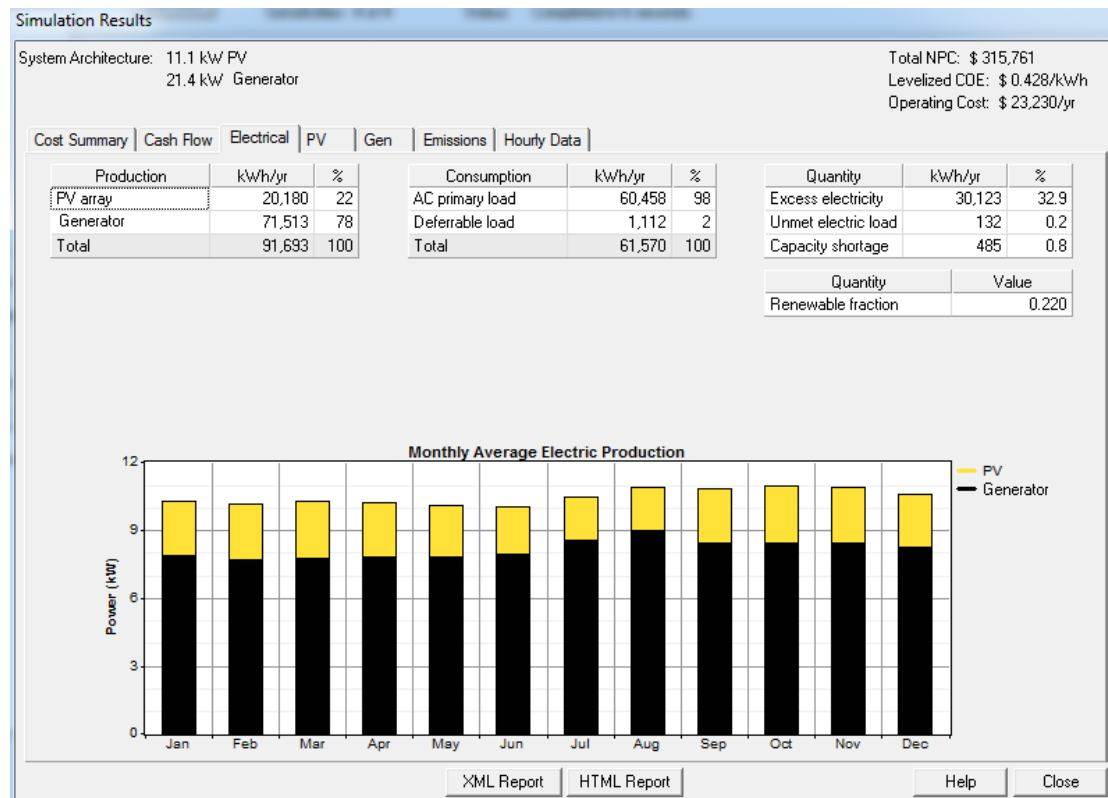
Two simulation result tables are shown. The top table is for PV Capital Multiplier 1 and Gen Capital Multiplier 1. The bottom table is for PV Capital Multiplier 0.9 and Gen Capital Multiplier 1.

PV (kW)	Gen (kW)	Disp. Strgy	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	Gen (hrs)
11.1	21.38	LF	\$ 37,573	23,230	\$ 315,761	0.428	0.22	0.01	20,192	8,760
	28.52	LF	\$ 25,755	30,326	\$ 388,928	0.527	0.00	0.00	26,327	8,760

PV (kW)	Gen (kW)	Disp. Strgy	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	Gen (hrs)
11.1	21.38	LF	\$ 35,997	23,230	\$ 314,185	0.426	0.22	0.01	20,192	8,760
	28.52	LF	\$ 25,755	30,326	\$ 388,928	0.527	0.00	0.00	26,327	8,760

Εικόνα 5.1.2.1 Σύστημα με γεννήτρια Diesel σε συνεχή λειτουργία και PV.

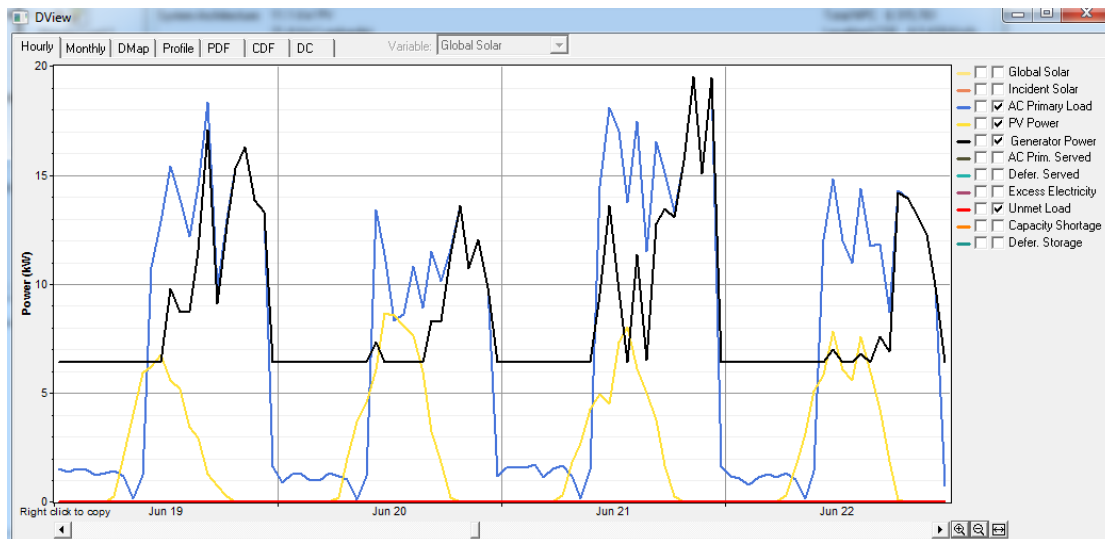
Το προτεινόμενο σύστημα που να συνδυάζει Diesel και φωτοβολταϊκά αποτελείται από 11.1 kW PV με 21.38 kW Diesel (από 4 που είχαμε προηγουμένως σε 3 γεννήτριες). Η προσθήκη των φωτοβολταϊκών οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, από 26,327 λίτρα σε 20,192, εξοικονομώντας τη διαφορά. Πιο συγκεκριμένα, το Συνολικό Καθαρό Παρόν Κόστος μειώνεται σε 315,761 € από 388,928 € και το ανά μονάδα κόστος καταλήγει σε 0.428 €/ kWh.



5.1.2.2 Παραγωγή ενέργειας του συστήματος.

Όπως παρατηρούμε από την εικόνα 5.1.2.2, η διείσδυση των φωτοβολταϊκών ανέρχεται σε 22%. Το υπόλοιπο 78% καλύπτεται από την γεννήτρια. Από το μηνιαίο διάγραμμα μπορούμε να παρατηρήσουμε την αυξομείωση της λειτουργίας της

γεννήτριας Diesel ανάλογα με την μεταβολή της παραγωγής των Φωτοβολταϊκών και προφανώς και του φορτίου. Στους μήνες της περιόδου των βροχοπτώσεων (Ιούνιος-Σεπτέμβριος) η παραγωγή των φωτοβολταϊκών είναι μειωμένη, οπότε η γεννήτρια καλύπτει μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης.

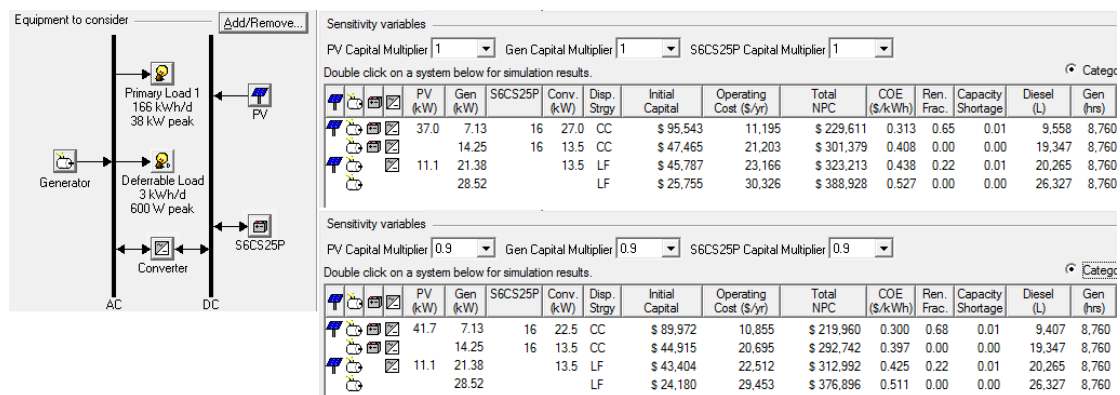


5.1.2.3 Καμπύλες Ισχύος για τέσσερις τυχαίες μέρες.

Η 5.1.2.3 μας δείχνει και πάλι την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Οι γεννήτριες Diesel λειτουργούν στο ελάχιστο δυνατό όριο (30%) όταν έχουμε χαμηλή ζήτηση, ή όταν η παραγωγή των Φωτοβολταϊκών είναι αρκετή (μεσημεριανές ώρες). Αντίθετα, μετά τη δύση του ηλίου, η παραγωγή των γεννητριών αυξάνεται ώστε να ικανοποιηθεί πλήρως το φορτίο. Οι τέσσερις μέρες του Ιουνίου που επιλέχθηκαν χαρακτηρίζονται από χαμηλή ηλιοφάνεια και είναι ενδεικτικές για την περίοδο με πιο αυξημένη λειτουργία των γεννητριών Diesel.

5.2.1.3 Γεννήτρια Diesel με Φωτοβολταϊκά Στοιχεία και Μπαταρίες

Στο συγκεκριμένο σενάριο, έχουμε συνδέσει τα Φωτοβολταϊκά στο DC ζυγό, μαζί με τις μπαταρίες. Η γεννήτρια συνεχίζει και λειτουργεί συνεχώς, παίζοντας τον κυρίαρχο ρόλο στην ηλεκτροδότηση του μικροδικτύου. Η συνδεσμολογία και τα αποτελέσματα είναι τα εξής (Εικόνα 5.1.3.1):



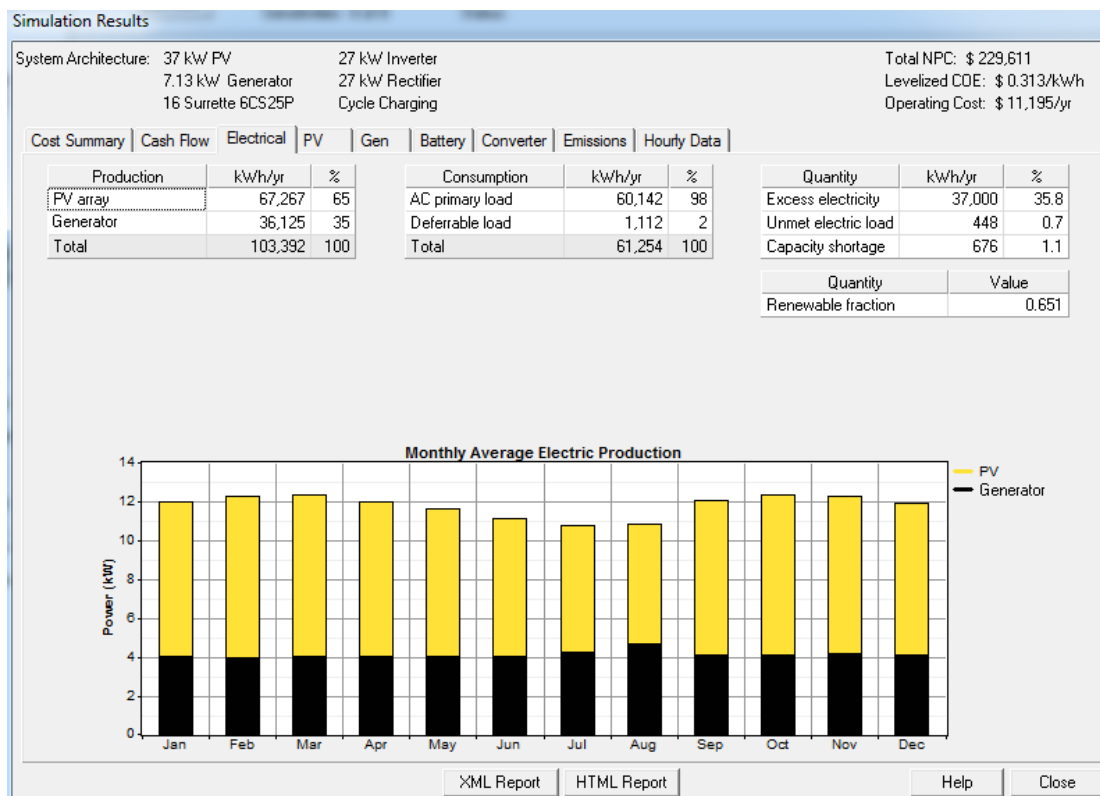
Εικόνα 5.1.3.1 Σύστημα με γεννήτρια Diesel, PV και μπαταρίες.

Το Homer προτίνει δύο επιπλέον σενάρια. Στο πρώτο συνδυάζονται 37 kW PV, 7.13 kW Diesel, 16 μπαταρίες (2 παράλληλες σειρές από 8 μπαταρίες των 6V η κάθε μια,

σύνολο 111 kWh) και 27 kW μετατροπέα. Το Συνολικό Καθαρό Παρών Κόστος είναι 229,960 € και το κόστος ανά μονάδα ενέργειας 0.313 €/ kWh.

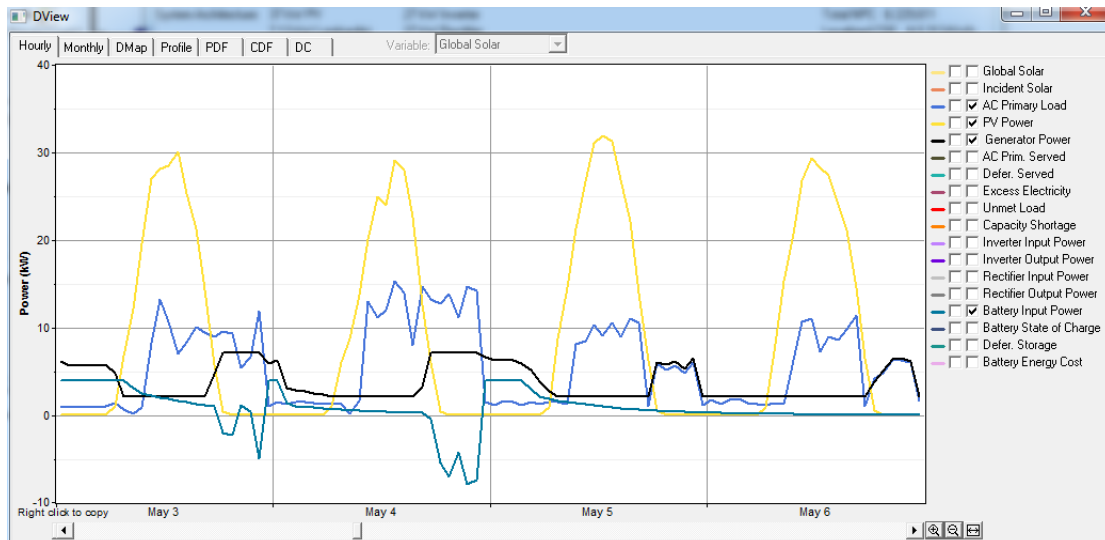
Το δεύτερο περιλαμβάνει 14.25 kW Diesel (2 γεννήτριες), 16 μπαταρίες και 13.5 kW μετατροπέα. Το Συνολικό Καθαρό Παρόν Κόστος ανέρχεται σε 301,379 € και το κόστος ανά μονάδα ενέργειας σε 0.408 €/kWh.

Και στις δύο περιπτώσεις η μπαταρίες φορτίζονται αποκλειστικά όταν υπάρχει επιπλέον ενέργεια από την γεννήτρια (κεφάλαιο 4.3.3- στρατηγικές φόρτισης μπαταριών). Ωστόσο, πιο οικονομικό είναι το πρώτο σενάριο που συνδυάζει και τα τρία στοιχεία. Οι λεπτομέριες του συστήματος φαίνονται στις ακόλουθες εικόνες.



Εικόνα 5.1.3.2 Παραγωγή ενέργειας του συστήματος.

Στο σύστημα αυτό η διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ανέρχεται στο 65% της παραγωγής οπότε η προσθήκη μπαταριών επιτρέπει μεγαλύτερη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών. Προκύπτει 1.1% έλλειψη παραγωγικής ικανότητας, έλλειμμα δηλαδή ανάμεσα στη ζητούμενη ικανότητα λειτουργίας (η ζήτηση του φορτίου συν την εφεδρεία, που έχουμε ορίσει ως 10% του φορτίου) και στην πραγματική ικανότητα λειτουργίας. Είναι κοντά στα αποδεκτά όρια του 1% οπότε και το σενάριο αυτό είναι υλοποιήσιμο.

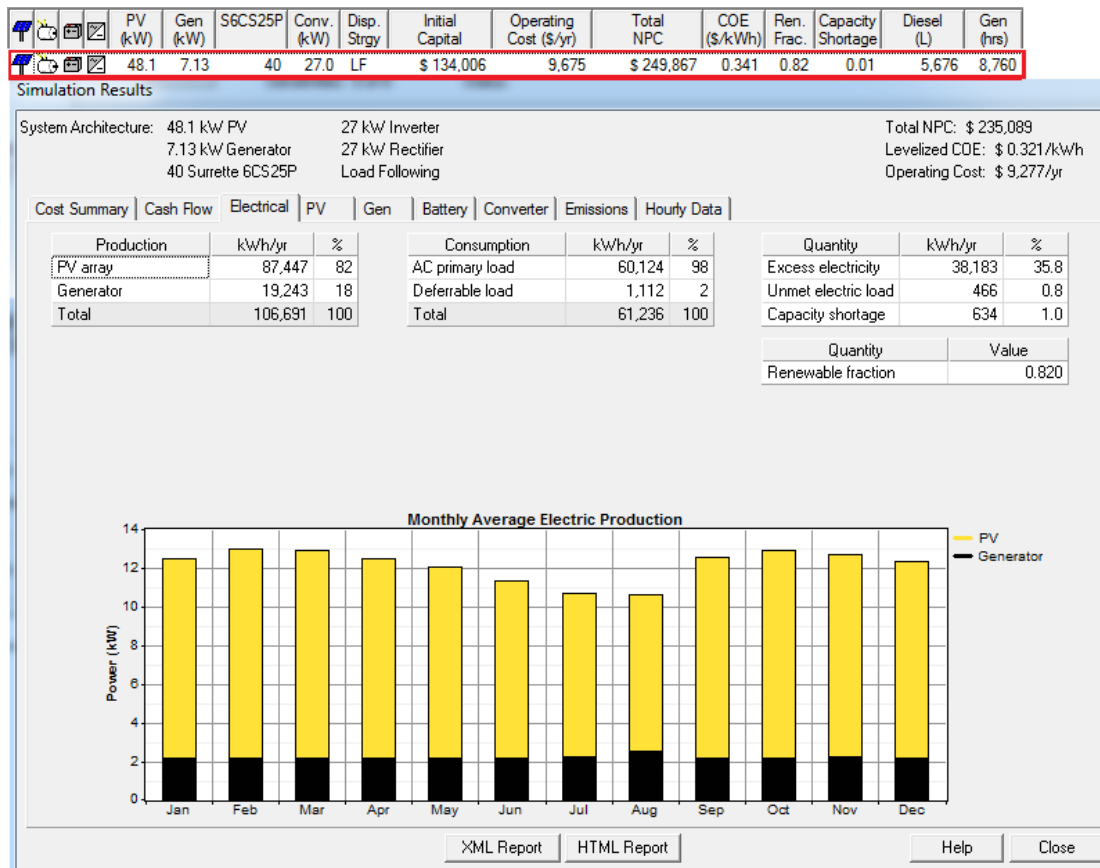


Εικόνα 5.1.3.3 Καμπύλες Ισχύος για τέσσερις τυχαίες μέρες.

Στην Εικόνα 5.1.3.3 παρατηρούμε την συμπεριφορά των στοιχείων στις αλλαγές της ζήτησης φορτίου. Οι μπαταρίες και η γεννήτρια παρέχουν ισχύ κυρίως κατά τις βραδινές ώρες που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Όταν φτάσουν στο ελάχιστο ποσοστό φόρτισης (40%) τότε σταματούν να συμβάλλουν και η γεννήτρια καλύπτει αποκλειστικά την ζήτηση. Οι μπαταρίες φορτίζονται μόνο από τη γεννήτρια, αφού πρώτα έχει καλυφθεί το φορτίο είτε από τα φωτοβολταϊκά είτε από τη γεννήτρια.

- Από τα τρία σενάρια που μελετήθηκαν, παρατηρούμε ότι το πιο οικονομικό είναι εκείνο που συνδυάζει και τα τρία στοιχεία, γεννήτρια Diesel, φωτοβολταϊκά και μπαταρίες.

Εάν θέλουμε να φορτίζονται οι μπαταρίες και από τα φωτοβολταϊκά πρέπει να ακολουθηθεί η στρατηγική Load- Following. Τα αποτελέσματα του σεναρίου για αυτή τη στρατηγική είναι τα ακόλουθα:



Εικόνα 5.1.3.4 Παραγωγή ενέργειας συστήματος Diesel, PV και μπαταριών χρησιμοποιώντας τεχνική Load Following.

Το μέγεθος των φωτοβολταϊκών αυξάνεται από 37.1 kW σε 48.1 kW, το μέγεθος της γεννήτριας Diesel και του μετατροπέα παραμένει σταθερό ενώ αυξάνεται και το μέγεθος των μπαταριών από 16 σε 40 με συνολική ενέργεια 277.4 kWh. Οι αλλαγές συντελούν στη μείωση της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου κατά 3882 λίτρα. Η μείωση αυτή δεν είναι ικανή για να καλύψει το κόστος του επιπλέον μεγέθους που προστέθηκε στο σύστημα. Έτσι παρατηρούμε αύξηση του Συνολικού Καθαρού Παρόντος Κόστους σε 249,867 € και του κόστους ανά μονάδα ενέργειας σε 0,341 €/kWh. Όμως το σύστημά μας έχει 82% διείσδυση ανανεώσιμων έναντι 65% κάνοντάς το πιο οικολογικό για το περιβάλλον. Η λειτουργία του φαίνεται στην επόμενη εικόνα:



Εικόνα 5.1.3.5 Καμπύλες Ισχύος για τέσσερις τυχαίες μέρες.

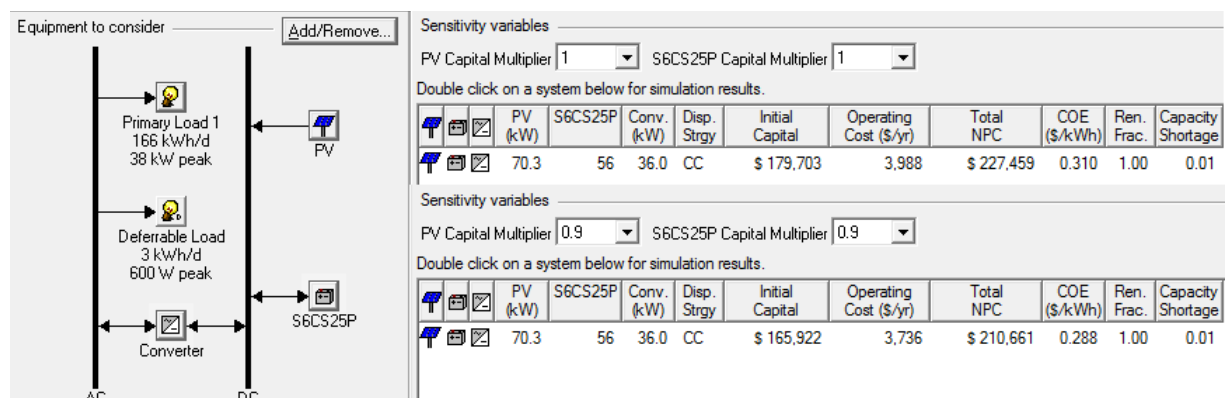
Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών είναι αυξημένη και συμβάλει στην ζήτηση του φορτίου και στη φόρτιση των μπαταριών. Η γεννήτρια Diesel λειτουργεί στο ελάχιστο επιτρεπτό όριο (30%) και συμβάλλει επιπλέον στη ζήτηση μόνο όταν τα φωτοβολταϊκά δεν επαρκούν και οι μπαταρίες φτάνουν στο ελάχιστο όριο εκφόρτισής τους (40%).

5.2.2 Σενάρια με γεννήτρια Diesel σε δευτερόντα ρόλο

Σε αυτό το κεφάλαιο η γεννήτρια Diesel είτε δεν συμπεριλαμβάνεται καθόλου είτε έχει διακοπτόμενη λειτουργία. Ενεργοποιείται δηλαδή όταν τα υπόλοιπα στοιχεία δεν είναι ικανά να καλύψουν το συνολικό φορτίο.

5.2.2.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία και Μπαταρίες

Το πρώτο σύστημα αποτελείται από φωτοβολταϊκά και διαθέτει μπαταρίες για την αποθήκευση της επιπλέον ενέργειας και συμβολή στη κάλυψη της ζήτησης του φορτίου. Η τοπολογία του φαίνεται στην εικόνα 5.2.1.1.



Εικόνα 5.2.1.1 Σύστημα με Φωτοβολταϊκά και Μπαταρίες.

Τόσο τα φωτοβολταϊκά όσο και οι μπαταρίες είναι συνδεδεμένες στον DC ζυγό, με τον μετατροπέα να προμηθεύει τα φορτία. Το Homer προτύνει 70.3 kW PV, 56 μπαταρίες, 7 σειρές των 8 συνόλου 388 kWh, και 36 kW μετατροπέα. Η χαμηλή τιμή

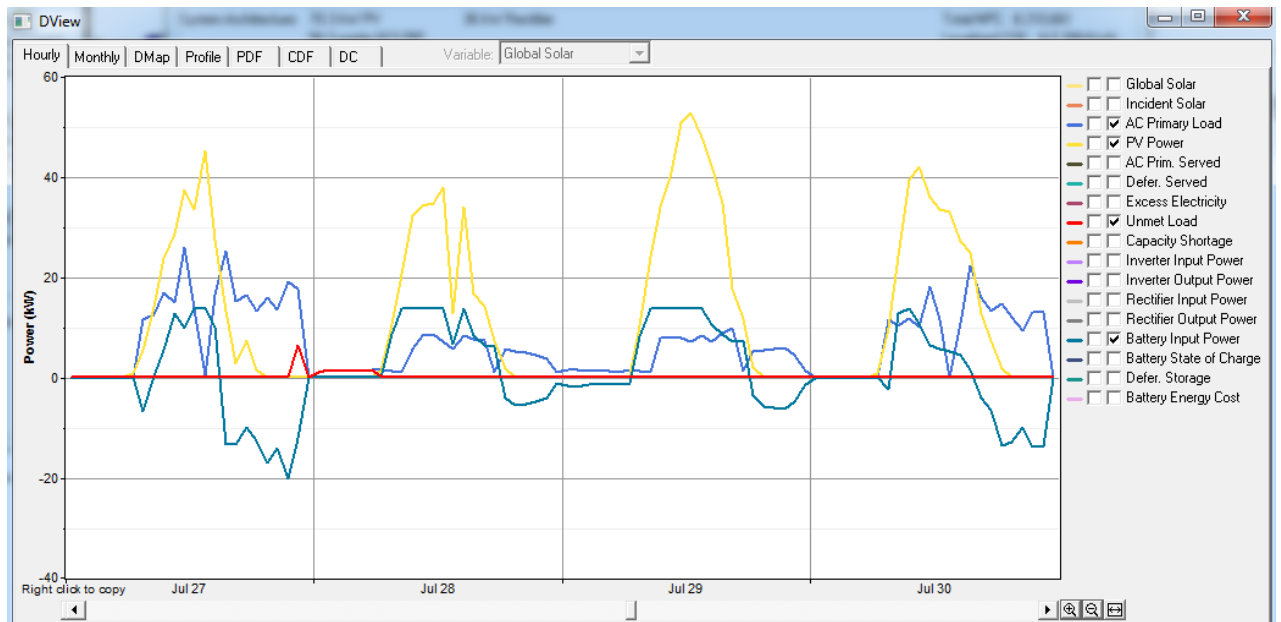
του μετατροπέα σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά σημαίνει ότι η επιπλέον ενέργεια αποθηκεύεται στις μπαταρίες.

Το Συνολικό Καθαρό Παρόν Κόστος ανέρχεται σε 227,459 € και το κόστος ανά μονάδα ενέργειας σε 0.310 €/ kWh.



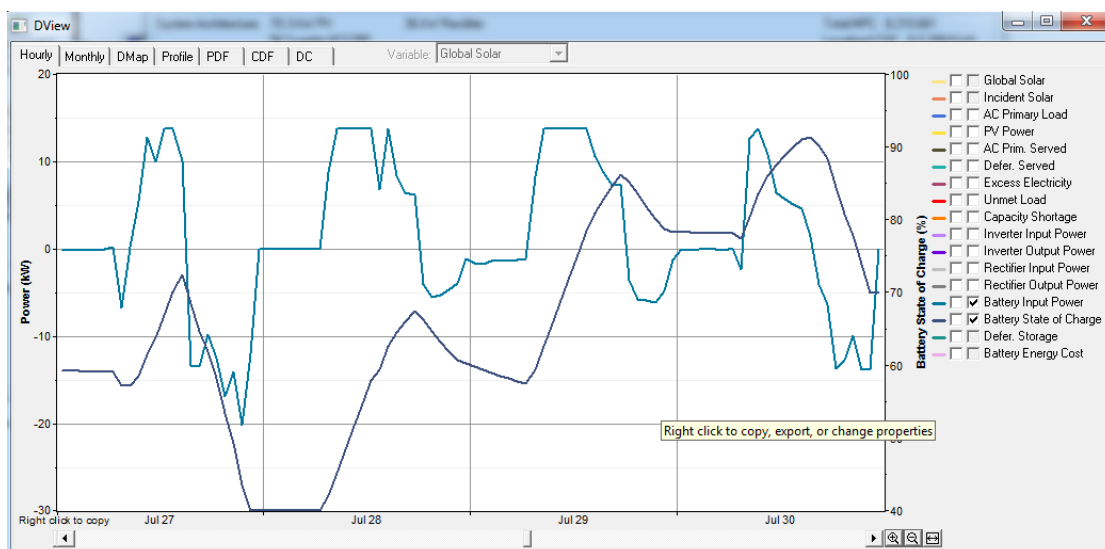
Εικόνα 5.2.1.2 Παραγωγή ενέργειας του συστήματος.

Η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών είναι 100% σε αυτό το σενάριο. Τα φωτοβολταϊκά του συστήματος παράγουν μέση ετήσια ενέργεια 127,808 kWh, καλύπτοντας ικανοποιητικά το φορτίο. Από την μέση μηνιαία παραγωγή βλέπουμε ότι η πιο χαμηλή απόδοση συμβαίνει τον Αύγουστο, λόγω της περιόδου των βροχοπτώσεων.



Εικόνα 5.2.1.3 α Καμπύλες Ισχύος για τέσσερις τυχαίες μέρες.

Στην εικόνα 5.2.1.3 α βλέπουμε τη παραγωγή των στοιχείων του συστήματος στο τέλος του Ιουλίου. Η ελλιπή ηλιοφάνεια οδηγεί σε μη επιτυχή κάλυψη του φορτίου τις βραδινές ώρες μεταξύ 27 και 28 Ιουλίου. Τα φωτοβολταϊκά δεν είχαν παράγει αρκετή ενέργεια τις προηγούμενες ώρες και οι μπαταρίες δεν ήταν αρκετές για να καλύψουν την αυξημένη ζήτηση της ημέρας. Τις επόμενες όμως, οι μπαταρίες φορτίζονται και πάλι σε ικανοποιητικά επίπεδα, και το σύστημα λειτουργεί κανονικά. Στην εικόνα 5.2.1.3 β, φαίνεται η κατάσταση φόρτισης των μπαταριών. Η μη επιτυχής κάλυψη φορτίου ταυτίζεται με το ελάχιστο επιτρεπτό όριο εκφόρτισης των μπαταριών.

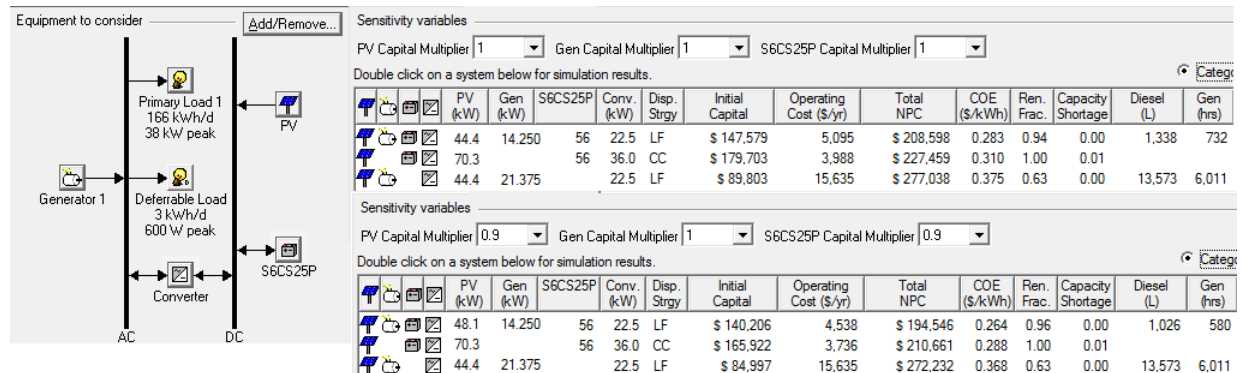


Εικόνα 5.2.1.3 β Καμπύλη φόρτισης μπαταριών.

- Για τη συγκεκριμένη περιοχή, που έχει αυξημένη ηλιοφάνεια, παρατηρούμε ότι συμφέρει η εγκατάσταση περισσότερων φωτοβολταϊκών και λιγότερων συσσωρευτών για να καλύψουν το σύστημα.

5.2.2.2 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία με Μπαταρία και εφεδρική γεννήτρια Diesel

Σε αυτό το σενάριο, εισάγουμε στο προηγούμενο μικροδίκτυο γεννήτρια Diesel, που λειτουργεί μόνο όταν τα φωτοβολταϊκά δεν επαρκούν. Η διασύνδεση των στοιχείων φαίνεται στην Εικόνα 5.2.2.1.



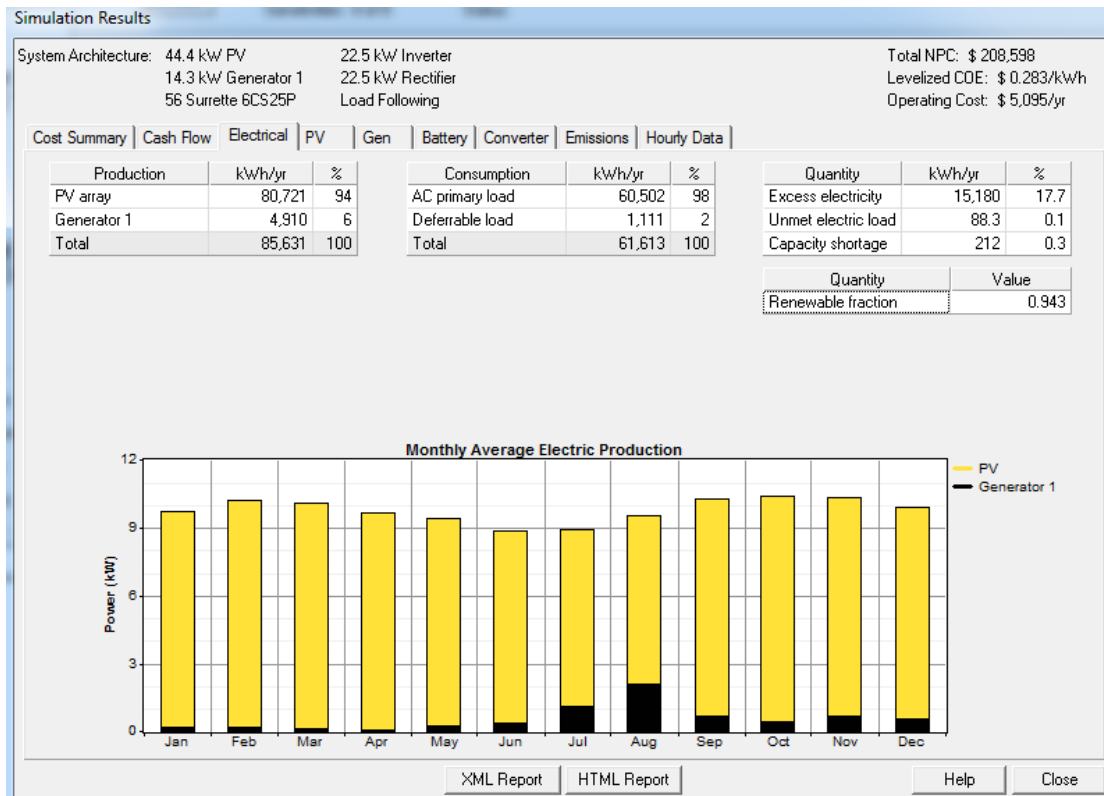
Εικόνα 5.2.2.1 Σύστημα με PV, μπαταρίες και γεννήτρια Diesel σε διακοπτόμενη λειτουργία.

Παρατηρούμε ότι ο ιδανικός συνδυασμός των στοιχείων περιλαμβάνει 44.4 kW PV, 14.25 kW Diesel (2 γεννήτριες), 56 μπαταρίες (6 σειρές των 8, 333 kWh) και 22.5 kW μετατροπέα. Οι δύο γεννήτριες λειτουργούν μόνο 732 ώρες ετησίως και καταναλώνουν 1338 λίτρα καυσίμου. Το Συνολικό Καθαρό Παρόν Κόστος είναι 208,598 € και το κόστος ανά μονάδα ενέργειας υπολογίζεται 0.283 €/ kWh.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η τεχνική που χρησιμοποιείται για την φόρτιση των μπαταριών είναι διαφορετική από προηγουμένως. Η στρατηγική Load-Follow ορίζει ότι οι γεννήτριες θα λειτουργούν με τέτοια απόδοση ώστε να ικανοποιούν πρώτα το φορτίο. Οι μπαταρίες φορτίζουν σε δευτερεύοντα χρόνο, κυρίως από τα φωτοβολταϊκά (βλέπε κεφ. 4.3.3).

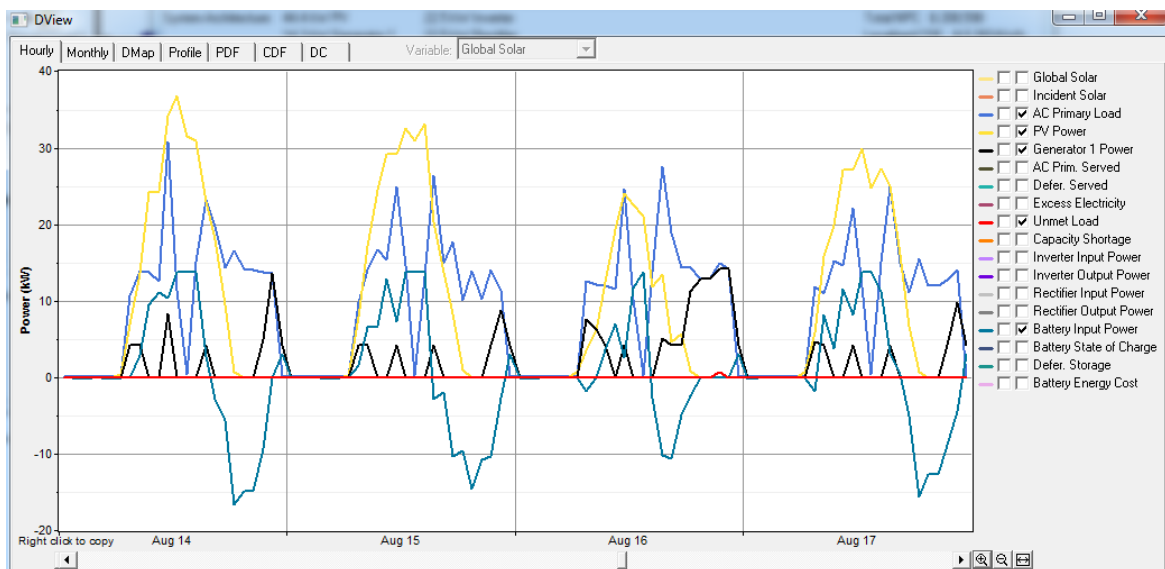
Το Homer παρουσιάζει και ένα εναλλακτικό σενάριο, στο οποίο δεν τοποθετούνται μπαταρίες. Η ισχύς των φωτοβολταϊκών παραμένει σταθερή, προστίθεται όμως μία ακόμη γεννήτρια για να καλύψει το φορτίο. Σε αυτή την περίπτωση οι γεννήτριες λειτουργούν 6,011 ώρες ετησίως και καταναλώνουν 13,573 λίτρα καυσίμου. Ωστόσο, οι δείκτες του κόστους δείχνουν ότι δεν είναι οικονομικά προσοδοφόρο αφού η διαφορά είναι της τάξεως του 32.5%. Επίσης υπάρχουν τεχνικά ζητήματα για το αν είναι εφικτή η λειτουργία της συγκεκριμένης τοολογίας.

Με βάση τον πρώτο συνδυασμό λαμβάνουμε τα παρακάτω στοιχεία:

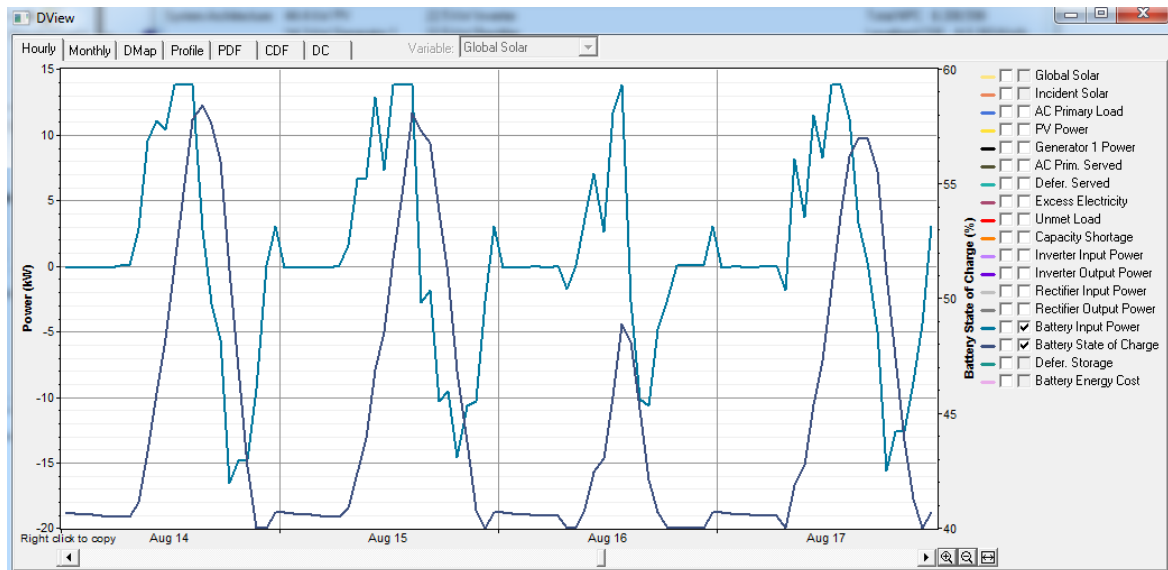


Εικόνα 5.2.2.2 Παραγωγή ενέργειας του συστήματος.

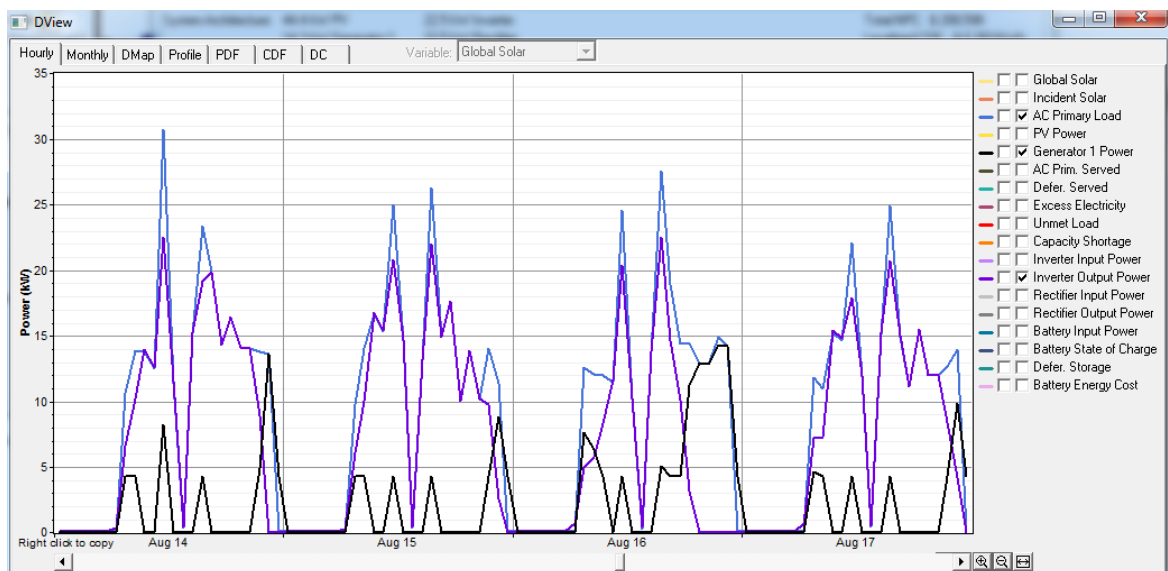
Το σύστημά μας παρουσιάζει 94.3 % διείσδυση φωτοβολταϊκών, με τις γεννήτριες να καλύπτουν μόλις το 6%. Η περισσότερη παραγωγή της γεννήτριας Diesel συμβαίνει κατά τους μήνες της βροχερής περιόδου, όπως και ήταν αναμενόμενο. Έχουμε μόλις 0,1% μη υλοποιήσιμο φορτίο και μόλις 0,3% έλλειψη παραγωγικής ικανότητας. Όπως φαίνεται το σύστημα αυτό μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά.



Εικόνα 5.2.2.3 α Καμπύλες Ισχύος για τέσσερις τυχαίες μέρες.



Εικόνα 5.2.2.3 β Καμπύλη φόρτισης μπαταριών.



Εικόνα 5.2.2.3 γ Καμπύλη παραγωγής μετατροπέα και γεννήτριας Diesel.

Οι τέσσερις μέρες του Αυγούστου που παρουσιάζονται, κάνουν εμφανή την διακοπτόμενη λειτουργία της γεννήτριας. Όταν η παραγωγή των φωτοβολταϊκών δεν επαρκεί, τίθενται σε ισχύ η γεννήτρια και οι μπαταρίες ώστε να καλύψουν τις ανάγκες του φορτίου.

Παρατηρούμε ότι οι μπαταρίες είναι σε πολύ χαμηλό σημείο φόρτισης στην αρχή της 14^{ης} Αυγούστου. Η γεννήτρια Diesel ενεργοποιείται κατά τη διάρκεια της ημέρας διότι το φορτίο ξεπερνάει την μέγιστη παραγωγή που μπορεί να υποστηρίξει ο μετατροπέας (22.5 kW) (Εικόνα 5.2.2.3 γ).

Ο συνδυασμός των στοιχείων αυτών είναι ικανός να καλύψει τη ζήτηση, οπότε εξυπηρετείται ολόκληρο το φορτίο.

- Από τα δύο πιθανά σενάρια που παρουσιάστηκαν, πιο οικονομικό είναι και πάλι ο συνδυασμός και των τριών στοιχείων.
- Εάν θελήσουμε λιγότερη λειτουργία της γεννήτριας, μπορούμε να θέσουμε στους περιορισμούς του συστήματος υψηλότερο ποσοστό διείσδυσης

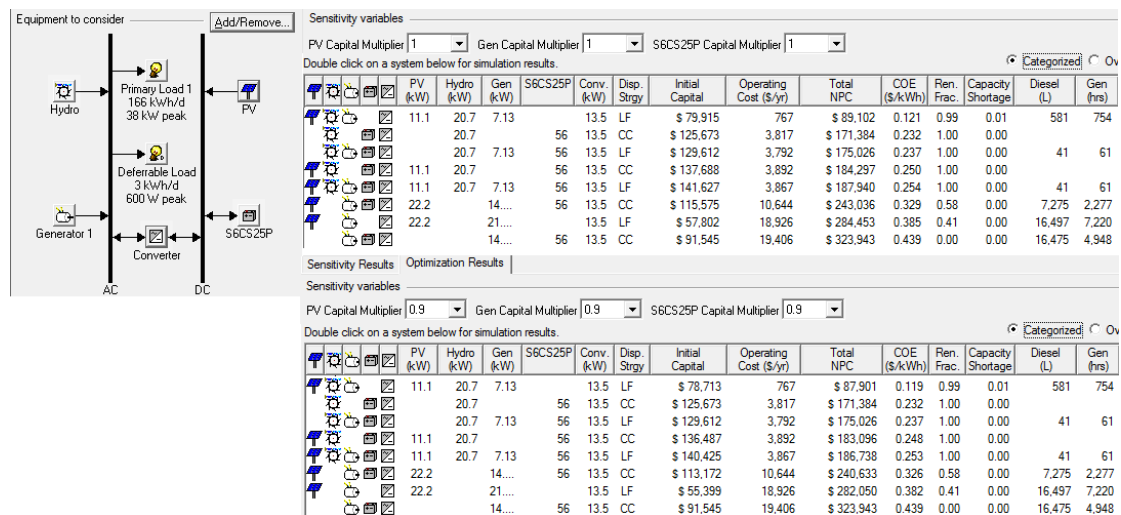
ανανεώσιμων πηγών από το 94.3%, ώστε να καλύπτεται μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης από αυτές (κεφάλαιο 4.3.8).

5.2.3 Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός

Η παρουσία του ποταμού Bechet στην περιοχή καθιστά δυνατή την εγκατάσταση και λειτουργία ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού. Το Homer μπορεί να προσομοιώσει μόνο run-of-the-river τύπους υδροηλεκτρικών και η απόφαση που λαμβάνει είναι για το αν θα συμπεριλάβει ή όχι το υδροηλεκτρικό στο σύστημα.

Στις ενότητες 5.2.1 και 5.2.2 μελετήθηκαν οι πιθανοί συνδυασμοί χωρίς την παρουσία του μικρού υδροηλεκτρικού. Στη συνέχεια θα δούμε τα πιθανά συστήματα που περιλαμβάνουν και υδροηλεκτρικό σταθμό.

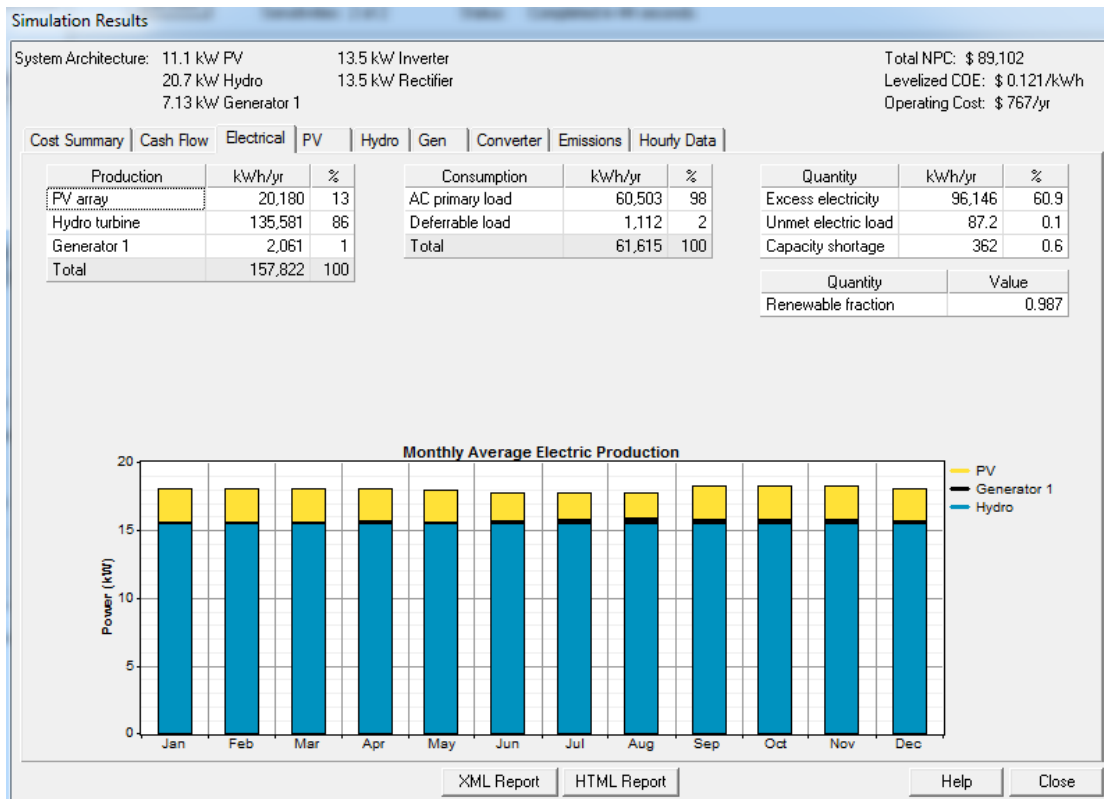
Η συνδεσμολογία και τα πιθανά σενάρια παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.3.1.



Εικόνα 5.3.1 Σύστημα με υδροηλεκτρικό σταθμό, γεννήτρια Diesel, PV και μπαταρίες.

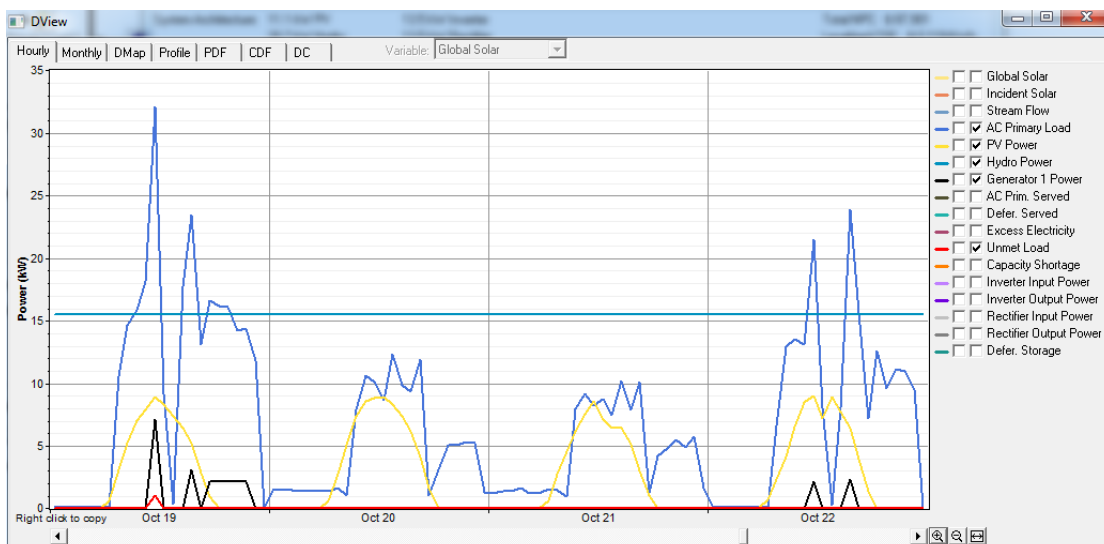
Το πρώτο συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι το υδροηλεκτρικό μειώνει κατά πολύ το κόστος του έργου. Το δεύτερο συμπέρασμα αφορά το γεγονός ότι ο υδροηλεκτρικός σταθμός δεν είναι ικανός να συντηρήσει αποκλειστικά τη ζήτηση φορτίου. Επομένως το βέλτιστο σύστημα περιλαμβάνει εκτός από το υδροηλεκτρικό, φωτοβολταϊκά και γεννήτρια Diesel.

Πιο συγκεκριμένα, το μικροδίκτυο αποτελείται από 20.7 kW μικρό υδροηλεκτρικό, 44.4 kW PV, 7.13 kW γεννήτρια Diesel και ένα μετατροπέα των 22.5 kW (η μη τάυτιση της ισχύος των φωτοβολταϊκών και του μετατροπέα χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση). Η γεννήτρια χρησιμοποιείται μόλις 454 ώρες και καταναλώνει 304 λίτρα. Το Συνολικό Καθαρό Παρόν Κόστος είναι 123,934 € και το κόστος ανά μονάδα ενέργειας ανέρχεται σε 0,178 €/ kWh.



Εικόνα 5.3.2 Παραγωγή ενέργειας του συστήματος.

Από την Εικόνα 5.3.2 προκύπτει ότι το σύστημά μας παρουσιάζει 99,5% διείσδυση ανανεώσιμων πηγών, με το 62% να οφείλεται στο μικρό υδροηλεκτρικό και το 37% στα φωτοβολταϊκά. Υπάρχει μεγάλη ποσότητα περισσευούμενης ενέργειας γεγονός που οφείλεται στην συνεχή ροή του ποταμού και στις χαμηλές απαιτήσεις του δικτύου τις βραδινές ώρες. Στην Εικόνα 5.3.3 φαίνεται καθαρά το συγκεκριμένο σημείο.



Εικόνα 5.3.3 Καμπύλες Ισχύος για τέσσερις τυχαίες μέρες.

Ο μήνας Οκτώβριος ανήκει στην περίοδο της ξηρασίας, όπου μειώνεται η ροή του ποταμού. Το υδροηλεκτρικό κατέχει το κυρίαρχο ρόλο, με τα φωτοβολταϊκά σε δευτερεύοντα και η γεννήτρια σε δευτερεύοντα βοηθούν στην ικανοποίηση της ζήτησης.

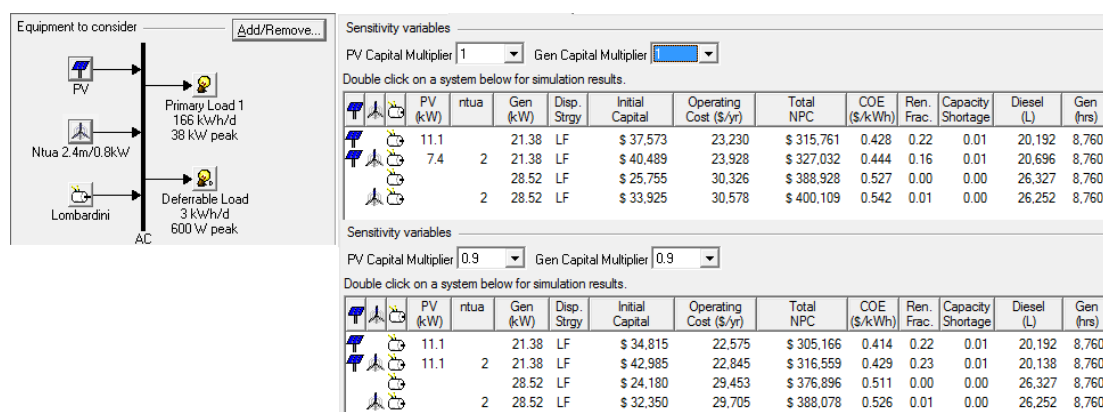
Το υδροηλεκτρικό καλύπτει το φορτίο βάσης και τα φωτοβολταϊκά για την υποστήριξη του φορτίου αιχμής.

- Το αποτέλεσμα αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι μπαταρίες δεν χρειάζονται όταν υπάρχει το υδροηλεκτρικό. Ιδιαίτερα αποτελέσματα μπορεί να προκύψουν εάν τοποθετηθούν και τα Φωτοβολταϊκά στον AC ζυγό, όπως έγινε στο παράδειγμα 5.2.1.2. Το σενάριο αυτό ενδέχεται μελλοντική διερεύνηση με βάση τα αποτελέσματα που πήραμε στην παρούσα φάση.

5.2.4 Ανεμογεννήτρια

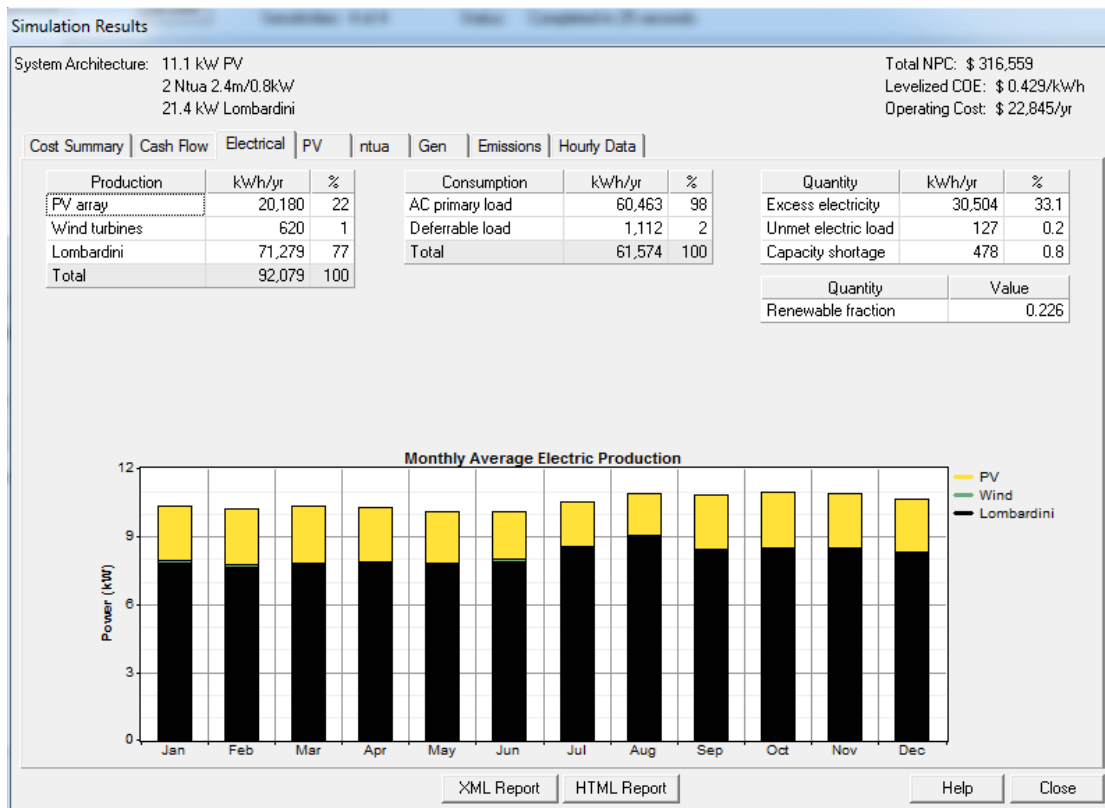
Ύστερα από αλληπάληλες προσομοιώσεις, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή, μέση ετήσια μόλις 3.17 m/s, καθώς και η έντονη ηλιοφάνεια, κάνει ένα σύστημα με ανεμογεννήτριες οικονομικά ασύμφορο. Τα ακόλουθα δύο παραδείγματα ενισχύουν την άποψη αυτή.

- Γεννήτρια Diesel με Φωτοβολταϊκά και Ανεμογεννήτρια (Diesel σε συνεχή λειτουργία).



Εικόνα 5.4.1 Σύστημα με ανεμογεννήτρια, PV και γεννήτρια Diesel.

Η εικόνα 5.4.1 παρουσιάζει τη συνδεσμολογία του συστήματος. Από τα πιθανά σενάρια που προκύπτουν είναι εμφανές ότι η είσοδος Ανεμογεννήτριας στο σύστημα δεν προδίδει κάτι ουσιαστικό. Μειώνεται το μέγεθος των φωτοβολταϊκών από 11.1 σε 7.4 kW, εισάγονται 2 ανεμογεννήτριες των 0,8 kW η κάθεμία, αλλά τα κάουσιμα αυξάνονται από 20,192 σε 20,696. Το συνολικό καθαρό παρόν κόστος επίσης αυξάνεται κατά 11,271 € που μεταφράζεται σε αύξηση 0,016 €/ kWh του κόστους ανά μονάδα ενέργειας.

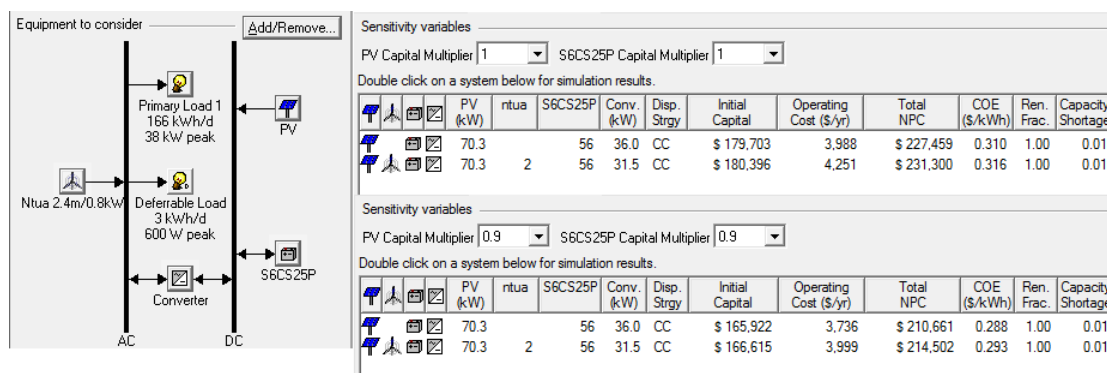


Εικόνα 5.4.2 Παραγωγή ενέργειας του συστήματος.

Η εικόνα 5.4.2 δείχνει ότι μόλις το 1% της ετήσιας παραγωγής, 620 kWh, οφείλεται στις δυο ανεμογεννήτριες του συστήματος όπου φαίνεται να έχουν μέγιστη παραγωγή τον Ιούνιο.

- ο Φωτοβολταϊκά στοιχεία, Ανεμογεννήτρια και Μπαταρίες

Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια και με την απουσία γεννήτριας στο σύστημα. Τα φωτοβολταϊκά σε αυτή την περίπτωση συνδέονται στον DC ζυγό.



Εικόνα 5.4.3 Σύστημα με ανεμογεννήτρια, PV και μπαταρίες.

Παρατηρούμε ότι η προσθήκη ανεμογεννήτριας συμβάλει μόνο στην μείωση του μεγέθους του μετατροπέα που όμως δεν είναι ικανό για να οδηγήσει σε μείωση του συνολικού κόστους. Δηλαδή η ανεμογεννήτρια είναι πιο ακριβή από 4.5 kW επιπλέον του μετατροπέα.



Εικόνα 5.4.4 Παραγωγή ενέργειας του συστήματος.

Η Εικόνα 5.4.4 δείχνει ότι το σύνολο σχεδόν της παραγωγής (99,9%) καλύπτεται από τα φωτοβολταϊκά και η ανεμογεννήτρια δεν προσφέρει κάτι ουσιαστικό στο σύστημα.

5.3 Συμπεράσματα

Επεξεργάζοντας όλα τα προηγούμενα παραδείγματα καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

- Ο πιο οικονομικός σχεδιασμός για τη κάλυψη του φορτίου της περιοχής περιλαμβάνει μικρό υδροηλεκτρικό, φωτοβολταϊκά και γεννήτρια Diesel.
- Το κόστος ενέργειας ανά kWh στην Ελλάδα είναι αυτή τη στιγμή 0,96 €/ kWh για κατανάλωση μεγαλύτερη των 2000 kWh σε διάστημα δύο μηνών. Στην Αιθιοπία η αντίστοιχη τιμή το 2012 ήταν 0,06 €/ kWh. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το μικροδίκτυο που προτείνεται δεν μπορεί να ανταγωνιστεί την τιμή του κεντρικού δικτύου. Όμως στις αγροτικές περιοχές, η ένωση με το κεντρικό δίκτυο δεν είναι εύκολη ούτε φθηνή διαδικασία και μπορεί να περάσουν αρκετά χρόνια μέχρι να ηλεκτροδοτηθεί το χωριό. Το σύστημα που μελετήθηκε αποτελεί άμεση και αξιόπιστη επίλυση του προβλήματος.
- Το μικρό υδροηλεκτρικό σύστημα ενισχύει οποιοδήποτε μικροδίκτυο και αποτελεί την πιο οικονομική λύση σε σχέση με τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές.
- Η ταχύτητα του ανέμου της περιοχής δεν είναι ικανή να υποστηρίξει ουσιαστική χρήση ανεμογεννήτριας.
- Για τη συγκεκριμένη περιοχή, σε σύστημα που διαθέτει φωτοβολταϊκά και μπαταρίες, όταν προσθέσουμε γεννήτρια Diesel σε διακοπτόμενη λειτουργία, μπορούμε να έχουμε χαμηλότερο κόστος με ταυτόχρονη μείωση του μεγέθους των φωτοβολταϊκών. Οι καλές συνθήκες ηλιοφάνειας προσδίδουν μεγάλη απόδοση στο σύστημα φωτοβολταϊκών.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών έχει θέσει το έτος 2030 ως στόχο για την επίτευξη καθολικής πρόσβασης σε μοντέρνες μορφές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένου και του ηλεκτρισμού.

Τα μικροδίκτυα είναι ικανά να προσφέρουν οικονομική και αξιόπιστη παροχή ενέργειας σε περιοχές όπου το κεντρικό δίκτυο δεν μπορεί να τις καλύψει, συμβάλλοντας στην επίτευξη του στόχου των Ηνωμένων Εθνών.

Στην εργασία αυτή συμπεραίνεται ότι μια πιθανή λύση στο ενεργειακό πρόβλημα μπορεί να δοθεί μέσω των διαφόρων τεχνολογιών των μικροδικτύων, τα οποία μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες κάθε περιοχής.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που γίνεται για την ηλεκτροδότηση αγροτικής περιοχής στην Αιθιοπία είναι αρκετά ενδιαφέροντα.

Αρχικά, σε σύστημα με γεννήτρια Diesel σε συνεχή λειτουργία, είναι πιο οικονομικό η προσθήκη ανανεώσιμων πηγών. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προστίθονται φωτοβολταϊκά διότι η περιοχή Dejen έχει καλές συνθήκες ηλιοφάνειας. Η γεννήτρια Diesel παρουσιάζει μεγάλο κόστος λειτουργίας και αντικατάστασης.

Για σύστημα με γεννήτρια Diesel σε διακοπτόμενη λειτουργία πιο οικονομική λύση είναι η προσθήκη γεννήτριας Diesel στο συνδυασμό φωτοβολταϊκών και μπαταριών. Πάλι η καλή κατάσταση ηλιοφάνειας καθ'όλη τη διάρκεια του χρόνου οδηγεί σε μεγάλη απόδοση των φωτοβολταϊκών. Η μείωση του μεγέθους των φωτοβολταϊκών για την εισαγωγή της γεννήτριας Diesel δεν επηρεάζει την αποτελεσματικότητα του συστήματος.

Από όλα τα σενάρια που μελετήθηκαν το πιο οικονομικό είναι το σενάριο που εμπεριέχει το υδροηλεκτρικό. Συνδυάζει μικρό υδροηλεκτρικό, τύπου run of the river, φωτοβολταϊκά, γεννήτρια Diesel και μετατροπέα. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι είναι η πιο οικονομική μορφή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, γεγονός που ήταν αναμενόμενο.

Οι συνθήκες του ανέμου δεν είναι καλές για την περιοχή που εξετάζεται και έτσι η εισαγωγή ανεμογεννήτριας στο σύστημα είναι ασύμφορα. Παρουσιάζουν χαμηλή απόδοση και το κόστος τους κάνει την χρήση τους απαγορευτική.

Το κόστος ανά μονάδα ενέργειας δεν είναι ανταγωνιστικού του κεντρικού δικτύου, ωστόσο το μικρόδίκτυο που προτείνεται είναι άμεσα υλοποιήσιμο και λειτουργικό. Για τις δύσβατα και απομακρυσμένα χωριά της περιοχής Dejen, είναι ιδανικό.

Σε όλα τα συστήματα παρατηρούμε αρκετή περισσευούμενη ενέργεια. Αυτή η ενέργεια χάνεται από το σύστημα. Το Homer δεν προτείνει σενάρια με μικρότερα μεγέθη από αυτά που παρουσιάστηκαν διότι η ενέργεια αυτή παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές, για παράδειγμα η επιπλέον ενέργεια που παράγει το υδροηλεκτρικό τις βραδυνές ώρες όταν η ζήτηση είναι χαμηλή. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι το σύστημά μας είναι δυνατό να καλύψει ορισμένα επιπλέον φορτία από αυτά που έχουν μοντελοποιηθεί και υπάρχει μεγάλη δυνατότητα βελτίωσης.

Μελλοντική μελέτη ενδείκνυται για διάφορα ενδιαφέροντα σημεία. Αρχικά για την αντιστοίχιση του μετατροπέα με τα φωτοβολταϊκά. Δυστυχώς το Homer δεν δίνει την

δυνατότητα αυτή, αλλά θα μπορούσε να επιτευχθεί αλλάζοντας κάποιες από τις υπόλοιπες παραμέτρους. Επίσης επιπλέον ανάλυση θα μπορούσε να γίνει στο οικονομικότερο σενάριο που περιέχει το υδροηλεκτρικό, τα φωτοβολταϊκά και τη γεννήτρια Diesel. Εφόσον οι μπαταρίες δεν έχουν θέση στο σύστημα, τα φωτοβολταϊκά θα ήταν δυνατό να συνδεθούν στον AC ζυγό απ'ότι στον DC που βρίσκονται στο σενάριο αυτό, γλυτώνοντας τη διαφορά κόστους των δύο συνδεσμολογιών αλλά και την απώλεια ενέργειας που συμβαίνει λόγω της αναντιστοιχίας της ισχύος του μετατροπέα και των φωτοβολταϊκών.

Τέλος, περαιτέρω διερεύνηση θα μπορούσε να γίνει στα αποτελέσματα της προσομοίωσης για μεγαλύτερο εύρος στα δεδομένα των συστημάτων που έχουν θεωρηθεί για τις ανανεώσιμες πηγές. Πρέπει να ληφθεί υπ'όψιν ότι το κόστος των φωτοβολταϊκών για παράδειγμα, δεν είναι γραμμικό. Τα αποτελέσματα θα ήταν ενδιαφέροντα με αλλαγή στην κλιμάκωση των στοιχείων.

Βιβλιογραφία

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_resource
- [2] <http://aicps.eng.uci.edu/research/CPES/>
- [3] M. Soshinskaya, W.H.J. Crijns-Graus, J.M. Guerrero, J.C. Vasquez, "Microgrids: Experiences, barriers and success factors", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol 40, 2014, pp. 659-672.
- [4] International Energy Outlook 2013, International Energy Agency
- [5] International Energy Outlook Africa 2014, International Energy Agency
- [6] N. Hatziargyriou, "Microgrids: Architectures and Control", Wiley-IEEE Press, January 2014.
- [7] G. Lena, "Rural Electrification with PV hybrid Systems", Photovoltaic Power Systems Programme, International Energy Agency, IEA PVPS Task 9, Subtask 4, Report T9-13, July 2013
- [8] D. Yamegueu, Y. Azoumah, X. Py, N. Zongo, "Experimental study of electricity generation by Solar PV/diesel hybrid systems without battery storage for off-grid areas", *Renewable Energy Journal*, Dec. 2010.
- [9] B.U. Kansara, B.R. Parekh, "Modelling and simulation of distributed generation system using HOMER software", *International Conference in Recent Advancements in Electrical, Electronics and Control Engineering*, 2011, 15-17 Dec. 2011, pp. 328-332
- [10] K. Latoufis, G. Messinis, P. Kotsampopoulos, N. Hatziargyriou "Axial flux permanent magnet generator design for low cost manufacturing of small wind turbines", *Wind Engineering*, Volume 36, No. 4, pp.411-432, August 2012
- [11] http://en.wikipedia.org/wiki/Cost_of_electricity_by_source
- [12] F. Ogg, "The Wind Turbines of Saint Helena", 5th World Summit for Small Wind 2014 (WSSW), March 2014
- [13] <http://sainthelena.island.info/renewableenergy.htm>
- [14] I. Sharif, M. Mithila "Rural Electrification using PV: the Success Story of Bangladesh", *Energy Procedia* 33 (2013), pp. 343-354, PV Asia Pacific Conference 2012
- [15] P. Kotsampopoulos, V. Kleftakis, G. Messinis, N. Hatziargyriou, "Design, development and operation of a PHIL environment for Distributed Energy Resources", 38th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON'2012), October 25-28 2012, Montreal, Canada
- [16] S.A. Chowdhury, M. Mourshed, S.M. Raiyan Kabir, M. Islam, T. Morshed, M. Rewan Khan, M.N. Patwary, "Technical appraisal of solar home systems in Bangladesh: A field investigation", *Renewable Energy*, Vol. 36, Issue 2, February 2011, pp. 772-778
- [17] J. Leary, A. While, R. Howell, "Locally manufactured wind power technology for sustainable rural electrification", *Energy Policy*, Vol. 43 (2012), pp173-183, Jan 2012
- [18] Grameen Shakti, 2009b. Yearwise Installation of SHS. <http://www.gshakti.org>
- [19] T. Urmee, D. Harries "Determinants of the success and sustainability of Bangladesh's SHS program", *Renewable Energy* 36 (2011), pp. 2822-2830, November 2011
- [20] "Solar Power Mini-Grid Opens Energy Access to Rural Laos", retrieved from <http://www.sunlabob.com/news-2013/solar-power-mini-grid-opens-energy-access-to-rural-laos.html>
- [21] M.A. Egido Aguilera, "Luz en casa, Access to sustainable energy in rural communities in Peru", *Innovation and Technology for Human Development Centre*, July 2014. [Online]. Available: <http://www.itd.upm.es/investigacion->

- [aplicada/partnerships-innovation-access-basic-services-five-case-studies/luz-en-casa-access-tu-sustainable-energy-rural-communities-peru/](#)
- [22] R. Pode, "Financing LED solar home systems in developing countries", Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol 25 (2013), pp 596-629, June 2013
- [23] Solar Lantern, retrieved from: <http://www.licbd.com/packages/>
- [24] S. Henshel, A. Schroeter, L. Gaillard "Solar Lantern Rental System: Paying for the service, not the Hardware", Proceedings of the International Conference on Energy and Sustainable Development: Issues and Strategies (ESD) 2010, June 2-4 2010, Chiang Mai, Thailand
- [25] O.Y. Castro, "Life Cycle Assessment of a small Garden Drip Irrigation System in Benin", Master Thesis, Michigan Technological University, 2009
- [26] <http://web.stanford.edu/group/solarbenin/solarirrigation.html>
- [27] Practical Action (2014), 'Practical Action's position on small-scale hydropower'. Retrieved from <http://practicalaction.org/small-scale-hydro-power-2>
- [28] E.F. Schumacher, "Small is beautiful", Harper Perennial Publications, 1973
- [29] Sharma R.H., Awal R., "Hydropower Development in Nepal", Renewable and Sustainable Energy Reviews Journal, Feb. 2013
- [30] D. Adhikari, "Hydropower Development in Nepal", Nepal Rastra Bank, Research Department, 2006, Vol 18, P 70-94
- [31] <http://practicalaction.org/simple-ideas-micro-hydro>
- [32] Growth Trend of MH Electrification Scheme, retrieved from: http://www.aepc.gov.np/?option=statistics&page=substatistics&mid=6&sub_id=50&id=1
- [33] Alternative Energy Promotion Centre, Government of Nepal, Report 2009-2010
- [34] B. Mainali, S. Silveira, "Renewable energy markets in rural electrification: Country case Nepal", Energy for Sustainable Development Vol 16 (2012), pp 168-178, April 2012
- [35] B. Bhandari, K. Lee, S. Lee, C. Song, R. Maskey, S. Ahn "A novel off-grid hybrid power system comprised of solar photovoltaic, wind and hydro energy sources", Applied Energy 133 (2014), pp. 236-242, August 2014
- [36] P.A. Salam, S. Kumar, M. Siriwardhana, "The Status of Biomass Gasification in Thailand and Cambodia", Asian Institute of Technology, 2010
- [37] S. Dasappa, "Potential of biomass energy for electricity generation in Sub-Saharan Africa", Energy for Sustainable Development, Vol. 15, Issue 3, September 2011, pp. 203-213
- [38] O. Akgün, J. Luukkanen, "Extension of rice husk gasification technology for electricity generation in Cambodia", Energy Procedia, Vol. 14, 2012, pp. 1244-1249
- [39] A. Hitofumi, "Summary of Biomass Power Generation in India", Japan International Cooperation Agency, 2005
- [40] G.Y. Obeng, F.O. Akuffo, I. Braimah, H.-D. Evers, E. Mensah "Impact of solar photovoltaic lighting on indoor air smoke in off-grid rural Ghana", Energy for Sustainable Development, Vol. 2, Issue 1, March 2008, pp. 55-61
- [41] G.Y. Obeng, H.-D. Evers "Impacts of public solar PV electrification on rural micro-enterprises: The case of Ghana", Energy for Sustainable Development, Vol.14, Issue 3, September 2010, pp. 223-231
- [42] Σ.Α. Μπάρδης, Σ.Ε. Ευαγγελάτος, "Σύγκριση και ανάλυση μοντέλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Εφαρμογή σε μικρή ανεμογεννήτρια με χρήση του πακέτου Homer", Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π. 2014
- [43] G. Bekele, G. Tadesse, "Feasibility study of small Hydro/PV/Wind hybrid system for off-grid rural electrification in Ethiopia", Applied Energy Vol 97 (2012), pp. 5-15, December 2012
- [44] "Micropower System Modeling with Homer" retrieved from <http://www.homerenergy.com/>

- [45] <https://www.dei.gr/Documents2/TIMOLOGIA/TIMOL25072014/OIKG1XORISXRONO.pdf>
- [46] <http://www.wholesalesolar.com/>
- [47] <http://sunelec.com/>
- [48] A. Dimitriou, P. Kotsampopoulos, N. Hatziargyriou, "Best Practices of Rural Electrification in Developing Countries", 9th Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission Distribution and Energy Conversion (MedPower), Athens, November 2014
- [49] http://www.globalpetrolprices.com/diesel_prices/
- [50] <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/homer.cgi?email=htya91@kaist.ac.kr>
- [51] <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B9%CE%B8%CE%B9%CE%BF%CF%80%CE%AF%CE%B1>