

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΜΠΕΙΡΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Αι. Μπαξεβάνου^{1*}, Δ. Φείδαρος¹, Π. Τσίντζος², Χ. Σχοινιάς²

¹Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης - Ινστιτούτο Έρευνας Τεχνολογίας & Ανάπτυξης Θεσσαλίας, Δημητριάδος 95 & Παύλου Μελά, Βόλος, ΤΚ 38333 , cbaxe@ireteth.certh.gr, dfeid@ireteth.certh.gr

²SHELTER ABEE, 6ο χλμ Λαρίσης – Συκουρίου, ΤΚ 41500, shelter@lar.forthnet.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια έχει ανανεωθεί το ενδιαφέρον για υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας και όχι μόνο για χρήση σε απομονωμένες περιοχές λόγω αφενός μεν μείωσης του κόστους αγοράς μονάδων παραγωγής ενέργειας ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά πλαίσια-ΦΒ, μικρές ανεμογεννήτριες-ΑΓ κλπ) και αφετέρου λόγω της αύξησης του κόστους αγοράς ενέργειας (ορυκτά καύσιμα και ηλεκτρική ενέργεια). Παρά το γεγονός ότι έχει υπάρξει έρευνα και ανάπτυξη αριθμητικών μοντέλων διαστασιολόγησης τέτοιων συστημάτων, είναι χρήσιμο να μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει και τους εμπειρικούς κανόνες διαστασιολόγησης που είχαν αναπτυχθεί κατά το παρελθόν και αφορούσαν κυρίως αυτόνομα συστήματα. Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε κατά πόσο κάποιες από αυτές τις μεθόδους θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν στον αρχικό σχεδιασμό υβριδικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας με περισσότερες από μία πηγές ΑΠΕ, σύστημα αποθήκευσης και σύστημα παραγωγής ενέργειας από ορυκτό καύσιμο. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν τα αναλυτικά μοντέλα για τον προσδιορισμό του μεγέθους της κάθε συνιστώσας ξεχωριστά και στη συνέχεια γίνεται βελτιστοποίηση του σχεδιασμού με χρήση του λογισμικού HOMER και οικονομοτεχνικά κριτήρια, έτσι ώστε να προσδιοριστεί ποια μέθοδος είχε δώσει το καλύτερο αποτέλεσμα. Εξετάστηκαν δύο τύποι φορτίου που πρέπει να καλυφθεί: α) σταθερό ετήσιο φορτίο, β) ημερήσια και εποχιακά μεταβαλλόμενο φορτίο. Εξετάστηκαν συνδυασμοί τριών ηλιακών δυναμικών και δύο αιολικών δυναμικών καθώς και συστήματα που δε συμπεριλάμβαναν ΑΓ σε περίπτωση πολύ χαμηλού αιολικού δυναμικού. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι η επιλογή της βέλτιστης μεθόδου εξαρτάται από α) το χρονικό προφίλ του φορτίου και κυρίως από το αν υπάρχει σημαντική διακύμανση ημερήσια ή/και εποχιακή, β) από τη σύνθεση του ΥΣΗ και γ) από διαθέσιμο δυναμικό ΑΠΕ. Σε ότι αφορά τα ΦΒ ως βέλτιστη αποδείχθηκε η μέθοδος Ah ή/και Wh. Η καλύτερη μέθοδος πρόβλεψης αριθμού συσσωρευτών είναι η μέθοδος Ah ή/και Wh θεωρώντας μόνο μια μέρα αυτονομίας. Αντίστοιχα αποδεικνύεται πιο αποτελεσματική η διαστασιολόγηση HZ μόνο για φόρτιση συσσωρευτών, μέθοδος η οποία δίνει εξαιρετική προσέγγιση στην περίπτωση σταθερού φορτίου αλλά σημαντικές διαφοροποιήσεις για κυμαινόμενο φορτίο. Τέλος η εξεταζόμενη μέθοδος διαστασιολόγησης ΑΓ δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα στον προσδιορισμό της καμπύλης λειτουργίας σε περίπτωση χαμηλού αιολικού δυναμικού αλλά αδυνατεί να προβλέψει την ισχύ της ΑΓ.

Λέξεις Κλειδιά: Υβριδικό Σύστημα Παραγωγής Ενέργειας, ΑΠΕ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Έχει αποδειχθεί ότι η χρήση υβριδικών συστημάτων ενέργειας (ΥΣΗ) μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος κύκλου ζωής των αυτόνομων παρόχων ισχύος ειδικά στην περίπτωση που είναι stand-by, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζουν τη συνεχή τροφοδοσία με ενέργεια στις απομονωμένες περιοχές. Ένα πλήρες ΥΣΗ μπορεί να αποτελείται από Φωτοβολταϊκά πλαίσια (ΦΒ), Ανεμογεννήτρια (ΑΓ), Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος (ΗΖ) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Δεδομένου του πολυπαραμετρικού χαρακτήρα του προβλήματος, του στοχαστικού χαρακτήρα του διαθέσιμου δυναμικού ΑΠΕ και της μη-γραμμικής συμπεριφοράς της λειτουργίας των συνιστωσών, μέχρι σήμερα δεν έχει προταθεί μια ολοκληρωμένη θεωρία ή ένα ολοκληρωμένο μοντέλο – κώδικας για το σχεδιασμό του βέλτιστου συστήματος συναρτήσει των κλιματολογικών συνθηκών. Ο σχεδιασμός των υβριδικών συστημάτων γίνεται με τρεις βασικές μεθόδους. Τη χρήση αναλυτικών ή ημιεμπειρικών σχέσεων, την χρήση μοντέλων προσομοίωσης της λειτουργίας των ΥΣΗ και τη χρήση αλγορίθμων προσδιορισμού βασικών στοιχείων των συνιστωσών.

Στην πρώτη περίπτωση συνήθως χρησιμοποιούνται αναλυτικές ή ημιεμπειρικές μέθοδοι όπως είναι η μέθοδος των Ah [1], οι οποίες όμως συνήθως έχουν αναπτυχθεί για συγκεκριμένους συνδυασμούς αυτόνομων συστημάτων και δε δύνανται να λάβουν υπόψη την ταυτόχρονη χρήση περισσότερων της μιας ΑΠΕ.

Η δεύτερη μέθοδος είναι έμμεση. Ξεκινώντας από έναν αρχικό σχεδιασμό και με επαναλαμβανόμενες προσομοιώσεις καλύπτεται ένα ευρύ φάσμα διαφοροποίησης των συνιστωσών του αρχικού σχεδιασμού με σκοπό τη βελτιστοποίησή του. Σε αυτή τη διαδικασία τα κριτήρια βελτιστοποίησης είναι συνήθως οικονομοτεχνικά καθώς και κριτήρια που αφορούν την αξιοπιστία του σχεδιαζόμενου συστήματος όπως η μέθοδος loss of power supply probability (LSPS) [2], η μέθοδος Loss of Load Probability (LOLP) [3], η μέθοδος System Performance Level (SPL) [4] και η μέθοδος Loss of Load Hours (LOLH) [5]. Ως μέθοδοι βελτιστοποίησης έχουν προταθεί κατά καιρούς γραφικές [6], στατιστικές και επαναληπτικές μέθοδοι [7] καθώς και μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης [8]. Τα λογισμικά αυτά διακρίνονται σε λογιστικά μοντέλα, σε μοντέλα χρονικής σειράς ή ημισταθερά, σε στατιστικά μοντέλα σε μοντέλα χρονικής σειράς/ στατιστικά, σε δυναμικά μοντέλα και σε μοντέλα δυναμικά μηχανικά μόνιμης κατάστασης ηλεκτρικά. Δύο άλλες κατηγορίες μοντέλων που έχουν πρόσφατα αναπτυχθεί είναι τα μοντέλα dispatch και τα μεταβατικά μοντέλα.

Η τρίτη μέθοδος απαιτεί την ανάπτυξη και προγραμματισμό ενός αλγορίθμου ο οποίος χρησιμοποιώντας αναλυτικές σχέσεις και επαναληπτικές διαδικασίες αυτοματοποιεί τις διαδικασίες της πρώτης κατηγορίας λαμβάνοντας υπόψη και κριτήρια αξιολόγησης όπως στη δεύτερη κατηγορία. Οι μέθοδοι που προτείνονται συνήθως αφορούν τη συμμετοχή μιας μόνο ΑΠΕ και στην καλύτερη περίπτωση περιλαμβάνουν τη χρήση ΗΖ και συσσωρευτών[9], ή δύο ΑΠΕ χωρίς τη χρήση ΗΖ [10] ενώ συχνά αφορούν συγκεκριμένες εφαρμογές. Έτσι έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι για το σχεδιασμό και βελτιστοποίηση συστημάτων που περιλαμβάνουν ΑΓ, ΗΖ και συσσωρευτές όπως οι WIND-REMOTE II, WIND-DIESEL I και WINDENEREJ [11, 12, 13]. Άλλοι αλγόριθμοι για το σχεδιασμό και βελτιστοποίηση συστημάτων που περιλαμβάνουν ΦΒ, ΗΖ και συσσωρευτές ή μόνο ΦΒ και συσσωρευτές όπως ο PHOTOV-III, ο PHOTOV-IV και ο PV-DIESEL III [14, 15, 16]. Και τέλος αλγόριθμοι για συστήματα που περιλαμβάνουν ΦΒ και ΑΓ, όπως ο WT-PV-II [17].

Και η δεύτερη και η τρίτη κατηγορία μεθόδων απαιτούν είτε την ανάπτυξη πηγαίου κώδικα, είτε τη χρήση εμπορικού κώδικα και έτσι δε μπορούν να εξυπηρετήσουν τις σχεδιαστικές ανάγκες ενός κατασκευαστή τουλάχιστο σε ότι αφορά την πρώτη προσέγγιση. Από την άλλη οι αναλυτικές ή/και ημιεμπειρικές σχέσεις της πρώτης κατηγορίας έχουν αναπτυχθεί για απλά αυτόνομα συστήματα και όχι για πλήρη ΥΣΗ. Στην παρούσα εργασία επιχειρείται να αξιολογηθεί η δυνατότητα αξιοποίησης αυτών των μεθόδων, που κατ' αρχήν έχουν σχεδιαστεί για άλλα συστήματα, στην αρχική διαστασιολόγηση πλήρων υβριδικών συστημάτων. Για το λόγο αυτό μια σειρά αναλυτικών σχέσεων χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών ΥΣΗ για δύο διαφορετικές εφαρμογές, τρία διαφορετικά ηλιακά δυναμικά,

δύο διαφορετικά αιολικά δυναμικά και δύο διαφορετικές συνθέσεις ΥΣΗ. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται ο κώδικας HOMER για την προσομοίωση της λειτουργίας αυτών των συστημάτων. Με επαναληπτική μέθοδο και με κριτήρια το κόστος της παραγόμενης ενέργειας και τη δυνατότητα απόκρισης των συστημάτων προσδιορίζεται η βέλτιστη σύνθεση των ΥΣΗ. Συγκρίνοντας με τις αρχικές εκτιμήσεις αξιολογείται η δυνατότητα κάθε αναλυτικής ή/και ημιεμπειρικής μεθόδου να χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό ενός πλήρους ΥΣΗ.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Ακολούθως παρουσιάζονται οι αναλυτικές ή/και ημιεμπειρικές μέθοδοι διαστασιολόγησης των συνιστωσών ΥΣΗ που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και η μέθοδος προσομοίωσης της λειτουργίας ΥΣΗ που χρησιμοποιήθηκε για τις παραμετρικές μελέτες προσδιορισμού της βέλτιστης επιλογής.

2.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΙΣΧΥΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Πρόκειται ίσως για την πλέον διερευνημένη συνιστώσα ΑΠΕ ενός ΥΣΗ, με τη διαφορά ότι τα προτεινόμενα μοντέλα αφορούν κυρίως αυτόνομα συστήματα. Έτσι χρησιμοποιήθηκαν 5 μέθοδοι. Η πρώτη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε (ΦΒ-α), είναι η γνωστή μέθοδος των Ah [1] όπως αυτή προτάθηκε από τα Sandia National Laboratories. Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής απαιτείται ο προσδιορισμός του ημερήσιου ρεύματος φορτίου σε A-h/day, η επιλογή τύπου ΦΒ πλαισίου και ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών λειτουργίας τους στις εξεταζόμενες συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος και ο προσδιορισμός των εν σειρά συνδεδεμένων ΦΒ πλαισίων ανάλογα με την τάση εισόδου του αντιστροφέα (ή του ρυθμιστή φορτίου) ενώ ο αριθμός των παράλληλα συνδεδεμένων από το ημερήσιο φορτίο. Δεδομένης της ευελιξίας που παρέχουν οι σύγχρονοι αντιστροφείς σύνδεσης διαφορετικών αριθμών πλαισίων σε διαφορετικές θύρες στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε μια τροποποιημένη μορφή της μεθόδου των Ah, η μέθοδος των Wh (ΦΒ-β) στην οποία προσδιορίζεται το ημερήσιο φορτίο σε Wh και στη συνέχεια προσδιορίζεται ο συνολικός αριθμός ΦΒ πλαισίων συναρτήσει του φορτίου αυτού. Και στις δύο περιπτώσεις κάθε μήνας εκπροσωπήθηκε από μια τυπική μέρα για την οποία υπολογίστηκαν αναλυτικά τα φορτία.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν πιο απλοποιημένες μέθοδοι. Η πρώτη εξ αυτών (ΦΒ-γ) είναι μια μέθοδος αρχικής εκτίμησης της συνολικής επιφάνειας που πρέπει να καλύπτουν τα ΦΒ πλαίσια από τη σχέση [18].

$$A = \frac{L}{H \cdot n_r \cdot n_p \cdot n_T \cdot n_d}$$

Όπου, A το εμβαδό επιφάνειας ΦΒ [m²], L το φορτίο (μέση ετήσια τιμή) [kWh/day], H η διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια (μέση ετήσια τιμή) [kWh/(m².day)], n_r ο ονομαστικός βαθμός απόδοσης ΦΒ, n_p ο παράγοντας ρύπανσης, n_T ο παράγοντας θερμοκρασίας και n_d ο παράγοντας γήρανσης. Μετά χρησιμοποιήθηκε ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης [19] της απαιτούμενης επιφάνειας (ΦΒ-δ) η οποία θα πρέπει να βρισκεται μεταξύ δύο τιμών A₁ και A₂.

$$A_1 = \frac{1}{12} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{12} \left(L_{id} + \frac{L_i - L_{id}}{n_b} \right)}{n_{WV} \cdot n_{\alpha} \cdot n_R \cdot n_K}$$

$$A_2 = \frac{\left(\frac{L_{id} + \frac{L_i - L_{id}}{n_b}}{n_w \cdot n_{\alpha} \cdot n_R \cdot n_k} \right)}{H_i \cdot n_r \cdot n_T \cdot n_d \cdot n_p}$$

Όπου, L_i η μέση μηνιαία ημερήσια ενέργεια που απαιτείται κατά τη διάρκεια του 24ώρου κατά το μήνα i [kWh/day], L_{id} η μέση μηνιαία ημερήσια ενέργεια που απαιτείται κατά τη διάρκεια

της ημέρας κατά το μήνα i [kWh/day], H_i η μέση μηνιαία ημερήσια ηλιακή ενέργεια στο επίπεδο των συλλεκτών [kWh/(m².day)], n_w οι απώλειες των καλωδιώσεων, n_a ο συντελεστής προσαρμογής της ΦΒ συστοιχίας στη μονάδα ισχύος του συστήματος, n_R ο βαθμός απόδοσης ρυθμιστή φόρτισης, n_k ο βαθμός απόδοσης μετατροπέα DC/AC και n_b ο βαθμός απόδοσης συσσωρευτών. Τέλος χρησιμοποιήθηκε ένας αλγόριθμος προσδιορισμού του βέλτιστου αριθμού ΦΒ πλαισίων (ΦΒ-ε) μεταξύ μιας μέγιστης και μιας ελάχιστης τιμής [16].

$$z_{\min} = \frac{E_0 / (n_{cc} \cdot n_{inv} \cdot n_{καλ})}{(H_T \cdot n_{pv}) \cdot S_{πλαισ} \cdot n_{θερμ} \cdot n_{καθ} \cdot n_{γηρ}} \quad z_{\max} = \frac{z_{\min}}{n^*}$$

Όπου, E_0 το μηνιαίο φορτίο [kWh/mo], H_T η μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία [kWh/(mo.m²)], $S_{πλαισ}$ το εμβαδό πλαισίου [m²], n_{cc} η μέση μηνιαία απόδοση του ρυθμιστή φορτίου, n_{inv} η μέση μηνιαία απόδοση του αντιστροφέα, $n_{καλ}$ οι απώλειες των καλωδίων μεταφοράς, n_{pv} η απόδοση των ΦΒ πλαισίων, $n_{θερμ}$ η μεταβολή απόδοσης των ΦΒ πλαισίων λόγω θερμοκρασίας, $n_{καθ}$ η μεταβολή απόδοσης λόγω επικαθήσεων, $n_{γηρ}$ η μεταβολή απόδοσης λόγω γήρανσης και n^* ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος αποθήκευσης

2.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Σε πρώτη φάση η απαιτούμενη χωρητικότητα των συσσωρευτών προσδιορίστηκε με τη μέθοδο των Ah (Σ-α) και με τη μέθοδο των Wh (Σ-β) και στις δύο περιπτώσεις οι υπολογισμοί γίνονται για κάθε μήνα και η χωρητικότητα των συσσωρευτών θα πρέπει να είναι: Χωρητικότητα [Ah] = max {υπολοιπόμενο φορτίο που δεν καλύπτεται από ΦΒ, φορτίο ημερών νεφοκάλυψης}. Στη συνέχεια προσδιορίστηκαν τα όρια μεταξύ των οποίων θα πρέπει να βρίσκεται η χωρητικότητα των συσσωρευτών (Σ-γ) από τις σχέσεις [11].

$$Q_{\max} = h_0 \cdot \left(\frac{E_y}{8760 \cdot \eta_{dc}} \right) \cdot \left(\frac{1}{DOD_L} \cdot V_b \right) \quad Q_{\min} = (1 - DOD_L) \cdot Q_{\max}$$

Όπου, h_0 οι ετήσιες ώρες αυτονομίας, E_y η ετήσια κατανάλωση ενέργειας [kWh], η_{dc} η απόδοση παραγωγής απόδοσης ενέργειας από το συσσωρευτή, DOD_L το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης, V_b η τάση λειτουργίας του συσσωρευτή : $n_{dc} = n_b \cdot n_w \cdot n_k$

Όπου, n_b ο βαθμός απόδοσης συσσωρευτή, n_w ο βαθμός απόδοσης καλωδιώσεων και n_k ο βαθμός απόδοσης αντιστροφέα. Τέλος, και δεδομένου ότι οι προηγούμενες μέθοδοι αγνοούν την ύπαρξη ΗΖ και ΑΓ στο σύστημα χρησιμοποιήθηκε ένας γενικός κανόνας σχεδιασμού ΥΣΗ [20] ο οποίος λέει ότι σε ένα ΥΣΗ οι συσσωρευτές θα πρέπει να παρέχουν τουλάχιστο μια ημέρα αυτονομίας με τις μεθόδους Ah και Wh προσδιορίστηκε ένα ελάχιστος αριθμός συσσωρευτών [Σ-δ].

2.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΟΥ ΖΕΥΓΟΥΣ

Σύμφωνα με το [21] το ΗΖ θα πρέπει να είναι σε θέση να καλύψει ταυτόχρονα το μέγιστο φορτίο και τη φόρτιση των συσσωρευτών [ΗΖ-α]: $P_{ED} = P_L + CR$, $CR = [(C_{120} \times V)/(120 \text{ h})] \times n$

Όπου, P_{ED} η ενεργός ηλεκτρική ισχύς ΗΖ, P_L το μέγιστο ηλεκτρικό φορτίο (ενεργός ισχύς), CR ο μέγιστος ρυθμός φόρτισης συσσωρευτών και n ο αριθμός των συσσωρευτών. Σύμφωνα με το [20] αρκεί να καλύπτει το μέγιστο φορτίο [ΗΖ-β]: $P_{ED} = P_L$

Και στις δύο περιπτώσεις θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η άεργος ισχύς έτσι ώστε να υπολογίζεται τελικά φαινόμενη ισχύς του ΗΖ, N_{ED} .

Τέλος σύμφωνα με μια άλλη λογική προσέγγιση το ΗΖ θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για φόρτιση των συσσωρευτών [ΗΖ-γ], , σε αυτήν την περίπτωση δεν υπάρχει άεργος ισχύς.

$$N_{ED} = [(C_{10} \times V)/(120 \text{ h})] \times n$$

2.4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Για τις ΑΓ θα πρέπει να προσδιοριστούν εκτός από την ονομαστική ισχύ (P_r) και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους, δηλ. ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας, ταχύτητα έναρξης και λήξης λειτουργίας (U_r , U_{ci} , U_{co}). Για το σχεδιασμό χρησιμοποιήθηκαν οδηγίες που αφορούν αυτόνομα συστήματα που συνδυάζουν ΑΓ με ΗΖ [21, 22]. Έτσι η εγκατεστημένη ισχύς θα πρέπει να μην είναι σημαντικά μεγαλύτερη από το φορτίο και να κυμαίνεται μεταξύ 20 και 30% του ονομαστικού φορτίου του ΗΖ. Η τιμή της ταχύτητας εκκίνησης (U_{ci}) θα πρέπει χοντρικά να είναι $U_{ci} > 0.6 U_{av}$, η ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας (U_r) θα πρέπει να είναι $U_r < 2 U_{av}$ και η ταχύτητα παύσης λειτουργίας $U_{co} < 3 U_{av}$ και επιπλέον να εξασφαλίζει ότι το 90% του χρόνου η διαθέσιμη τοπικά ταχύτητα ανέμου θα είναι μικρότερη από αυτή.

2.5. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΥΣΗ

Η προσομοίωση της ετήσιας λειτουργίας των ΥΣΗ έγινε με τον κώδικα HOMER 2 [23], κάνοντας τις ακόλουθες παραδοχές: α) πραγματικό επιτόκιο δανεισμού 8%, β) χρόνος ζωής του συστήματος 20 έτη, γ) χρονικό βήμα προσομοίωσης 60 min, δ) ελάχιστο επίπεδο φόρτισης συσσωρευτών 40%, ε) μέγιστη αποδεκτή έλλειψη δυνατότητας κάλυψης φορτίου 0 και 10% ανάλογα με την εφαρμογή και στ) τιμή συμβατικού καυσίμου ΗΖ 1.3 €/lt.

3. ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

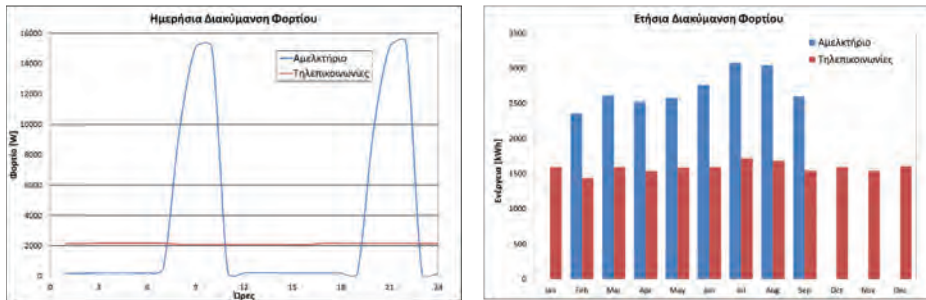
3.1. ΦΟΡΤΙΑ

Επιλέχθηκε να εξεταστούν δύο χαρακτηριστικές εφαρμογές οι οποίες αντιστοιχούν σε δύο διαφορετικούς τύπους φορτίων. Η πρώτη αφορά την τροφοδοσία μονάδας τηλεπικοινωνιών 2 kW, η οποία χαρακτηρίζεται από σχεδόν σταθερό φορτίο σε όλη τη διάρκεια του 24ωρου και σε όλη τη διάρκεια του έτους. Η δεύτερη εφαρμογή αφορά τροφοδοσία αμελκτήριου 12 θέσεων για μονάδα 200 ζώων η οποία χαρακτηρίζεται από εντονότατη ημερήσια και εποχιακή διακύμανση φορτίου. Στον πίνακα 3.1 δίνεται η εγκατεστημένη ισχύς και η συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας για χαμηλό ηλιακό δυναμικό. Σε κάθε περίπτωση έχει προστεθεί φορτίο 1.334 kW που αντιστοιχεί στις μονάδες διαχείρισης ενέργειας του ΥΣΗ και τον εξοπλισμό διαχείρισης εσωτερικού μικροκλίματος του οικίσκου, δεδομένου ότι η θερμοκρασία του θαλάμου εγκατάστασης των συσσωρευτών πρέπει να διατηρείται εντός συγκεκριμένων ορίων [15], δηλ. ανεμιστήρες, κλιματιστικό και φώτα.

Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικά φορτία των εξεταζόμενων εφαρμογών		
Εφαρμογή	Σταθμός τηλεπικοινωνιών	Αμελκτήριο
Εγκατεστημένη Ισχύς [kW]	3.334	23.15
Ετήσια κατανάλωση ενέργειας [kWh]	19000	21500

Ο προσδιορισμός των θερμικών και ψυκτικών φορτίων του θαλάμου των συσσωρευτών και της κατοικίας έγινε με προσομοίωση σε ετήσια βάση με χρονικό βήμα 10 min με το λογισμικό Energy+ [24]. Στο σχήμα 3.1 δίνονται οι ημερήσιες και οι ετήσιες διακυμάνσεις φορτίου.

Εξετάστηκαν συνολικά 18 ΥΣΗ, 9 για κάθε εφαρμογή, συνδυάζοντας τις τρεις περιπτώσεις ηλιακού δυναμικού, τις δύο περιπτώσεις αιολικού δυναμικού και την περίπτωση μη χρήσης ΑΓ στο ΥΣΗ.



Σχήμα 3.1 Ημερήσια και εποχιακή διακύμανση φορτίου των δύο εφαρμογών

3.2. ΗΛΙΑΚΟ ΚΑΙ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Εξετάστηκαν τρία ηλιακά δυναμικά τα οποία στο εξής θα χαρακτηρίζονται ως χαμηλό, μέσο και υψηλό και καλύπτουν τον Ελλαδικό χώρο [25] και παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1.

Ηλιακό δυναμικό	Ετήσια ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο [kWh/m ²]	Ετήσιος συντελεστής αιθιρότητας [%]	Μέση ετήσια θερμοκρασία ημέρας [C]	Μέγιστος αρ. διαδοχικών ημερών νεφοκάλυψης
Χαμηλό	1513.58	51	16.60	18
Μέσο	1628.79	54	18.78	8
Υψηλό	1722.60	56	19.52	5

Εξετάστηκαν δύο αιολικά δυναμικά τα οποία στο εξής θα χαρακτηρίζονται χαμηλό και υψηλό και καλύπτουν τον Ελλαδικό χώρο [26] και παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2. Για χαμηλότερο αιολικό δυναμικό θα θεωρείται ότι το σύστημα δε θα περιλαμβάνει ΑΓ.

Παράμετρος	Χαμηλό δυναμικό σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές της ενδοχώρας	Υψηλό δυναμικό σε παραθαλάσσιες και ορεινές νησιωτικές περιοχές
Μέση ετήσια ταχύτητα δεκαλέπτου σε ύψος z=10 m [m/s]	5	7
Γενικευμένη παράμετρος ταχύτητας Weibull, C [m/s]	5.63	7.9
Συντελεστή μορφής κατανομής Weibull, k	1.8	2

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αφού χρησιμοποιήθηκαν οι αναλυτικές ή/και ημιεμπειρικές σχέσεις που αναπτύχθηκαν στην παράγραφο 2 για την εκτίμηση του μεγέθους της κάθε συνιστώσας των εξεταζόμενων ΥΣΗ στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό HOMER για ευρείας έκτασης παραμετρικές μελέτες με στόχο τη βελτιστοποίηση της αρχικής επιλογής. Η βελτιστοποίηση έγινε με

κριτήριο το κόστος της παραγόμενης kWh και την ικανότητα του συστήματος να καλύπτει ικανοποιητικά το φορτίο. Στην περίπτωση της μονάδας τηλεπικοινωνιών ζητήθηκε 100% κάλυψη του φορτίου σε όλο το έτος, ενώ στις περιπτώσεις του αμελκτηρίου και της κατοικίας απαιτήθηκε 90% κάλυψη της ζήτησης. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα των αναλυτικών μεθόδων και των προσομοιώσεων.

4.1. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΒ

Στον πίνακα 4.1 παρατίθενται τα αποτελέσματα που αφορούν τις πέντε (5) αναλυτικές μεθόδους και την προσομοίωση για κάθε εφαρμογή και για κάθε εξεταζόμενο ηλιακό δυναμικό. Τα αποτελέσματα δίνονται με τη μορφή εγκατεστημένης ισχύος σε kW. Στην προσομοίωση δίνονται κάθε φορά τρεις τιμές που αντιστοιχούν στα τρία συστήματα που σχεδιάστηκαν για να καλύψουν το συνδυασμό του συγκεκριμένου ηλιακού δυναμικού με τα δύο εξεταζόμενα αιολικά δυναμικά και την περίπτωση (πρώτη στη σειρά των αποτελεσμάτων) κατά την οποία το αιολικό δυναμικό είναι τόσο χαμηλό που δεν εντάσσεται στο σύστημα ΑΓ. Η παρουσίαση αυτή εφαρμόζεται και στη διαστασιολόγηση του ΗΖ.

Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα διαστασιολόγησης ΦΒ πλαισίων			
Εφαρμογή	Μονάδα Τηλεπικοινωνιών		
Μέθοδος / Ηλιακό Δυναμικό	Χαμηλό ηλιακό δυναμικό	Μέσο ηλιακό δυναμικό	Υψηλό ηλιακό δυναμικό
ΦΒ-α [kW]	10.08	10.8	10.56
ΦΒ-β [kW]	10.08	10.8	9.36
ΦΒ-γ [kW]	15.84	11.28	11.76
ΦΒ-δ [kW]	21.2 – 44.16	20.64-39.3	19.2 – 35.48
ΦΒ-ε [kW]	34.32	31.2	31.2
Προσομοίωση [kW]	11.04/11.04/10.32	11.04/10.32/8.88	11.04/10.32/9.6
Εφαρμογή	Αμελκτήριο		
Μέθοδος / Ηλιακό Δυναμικό	Χαμηλό ηλιακό δυναμικό	Μέσο ηλιακό δυναμικό	Υψηλό ηλιακό δυναμικό
ΦΒ-α [kW]	13.44	13.44	13.44
ΦΒ-β [kW]	14.64	14.4	13.68
ΦΒ-γ [kW]	17.28	16.32	21.36
ΦΒ-δ [kW]	21.36 – 46.08	20.4 – 41.28	19.2 – 40.08
ΦΒ-ε [kW]	40.8	37.92	37.44
Προσομοίωση [kW]	14.88/14.88/14.88	14.88/14.88/14.88	14.88/14.88/14.88

Στις εφαρμογές της μονάδας τηλεπικοινωνιών η καλύτερη προσέγγιση γίνεται με τη μέθοδο των Ah και των Wh (μέθοδοι ΦΒ-α και ΦΒ-β), ανάλογα με το αν το σύστημα περιλαμβάνει ή όχι ΑΓ και τι είδους ΑΓ, οι οποίες έχουν την τάση να υποτιμούν ελαφρώς την απαιτούμενη ισχύ. Καλές είναι και οι εκτιμήσεις της μεθόδου αρχικού προσδιορισμού του εμβαδού της επιφανείας των ΦΒ (μέθοδος ΦΒ-γ), η οποία όμως έχει την τάση να υπερεκτιμά την απαιτούμενη ισχύ. Στην περίπτωση του αμελκτηρίου η βέλτιστη προσέγγιση γίνεται πάντα με τη μέθοδο των Wh η οποία επίσης υποτιμά ελαφρώς την απαιτούμενη ισχύ.

4.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Στον πίνακα 4.2 παρατίθενται τα αποτελέσματα που αφορούν τις τέσσερις (4) αναλυτικές μεθόδους και την προσομοίωση για κάθε εφαρμογή και για κάθε εξεταζόμενο ηλικιακό δυναμικό. Τα αποτελέσματα δίνονται με τον αριθμό συσσωρευτών.

Πίνακας 4.2 Αποτελέσματα διαστασιολόγησης συσσωρευτών			
Εφαρμογή	Μονάδα Τηλεπικοινωνιών		
Μέθοδος / Ηλιακό Δυναμικό	Χαμηλό ηλικιακό δυναμικό	Μέσο ηλικιακό δυναμικό	Υψηλό ηλικιακό δυναμικό
Σ-α [τεμ]	360	336	312
Σ-β [τεμ]	351	188	328
Σ-γ [τεμ]	60 – 300	60 – 300	35 – 158
Σ-δ [τεμ]	24	24	24
Προσομοίωση [τεμ]	24	24	24
Εφαρμογή	Αμελκτήριο		
Μέθοδος / Ηλιακό Δυναμικό	Χαμηλό ηλικιακό δυναμικό	Μέσο ηλικιακό δυναμικό	Υψηλό ηλικιακό δυναμικό
Σ-α [τεμ]	936	648	384
Σ-β [τεμ]	889	581	371
Σ-γ [τεμ]	202 – 1005	92 – 458	57 – 281
Σ-δ [τεμ]	72	72	48
Προσομοίωση [τεμ]	72	72	48

Σε όλες τις εφαρμογές και σε όλα τα συστήματα οι μέθοδοι Ah και Wh (μέθοδοι Σ-α και Σ-β) υπερτιμούν υπερβολικά τον αριθμό των απαιτούμενων συσσωρευτών, κάτι αναμενόμενο εφόσον θεωρούν ότι οι συσσωρευτές πρέπει να καλύψουν όλο το φορτίο που δε μπορεί να καλυφθεί από τα ΦΒ. Επίσης σε όλες τις περιπτώσεις η καλύτερη εκτίμηση γίνεται με τη μέθοδο Σ-δ κατά την οποία χρησιμοποιείται η μέθοδος των Ah αλλά θεωρώντας μόνο 1 ημέρα αυτονομίας (και όχι κάλυψη όλων των διαδοχικών ημερών νεφοκάλυψης).

4.3. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΟΥ ΖΕΥΓΟΥΣ

Στον πίνακα 4.3 παρατίθενται τα αποτελέσματα που αφορούν τις τρεις (3) αναλυτικές μεθόδους και την προσομοίωση για κάθε εφαρμογή και για κάθε εξεταζόμενο ηλικιακό δυναμικό. Τα αποτελέσματα δίνονται με την ισχύ του ΗΖ σε kVA.

Πίνακας 4.3 Διαστασιολόγηση ΗΖ			
Εφαρμογή	Μονάδα Τηλεπικοινωνιών		
Μέθοδος / Ηλιακό Δυναμικό	Χαμηλό ηλικιακό δυναμικό	Μέσο ηλικιακό δυναμικό	Υψηλό ηλικιακό δυναμικό
ΗΖ-α [kVA]	4.882		
ΗΖ-β [kVA]	4.167		
ΗΖ-γ [kVA]	3.072		
Προσομοίωση [kVA]	3		

Εφαρμογή	Αμελκτήριο			
	Μέθοδος / Ηλιακό Δυναμικό	Χαμηλό ηλιακό δυναμικό	Μέσο ηλιακό δυναμικό	Υψηλό ηλιακό δυναμικό
HZ-α [kVA]		14.416	14.416	14.416
HZ-β [kVA]		20.163	20.163	14.987
HZ-γ [kVA]		9.216	9.216	6.144
Προσομοίωση [kVA]		6/5/5	11/5/5	10/4/4

Στην περίπτωση της μονάδας τηλεπικοινωνιών η βέλτιστη πρόβλεψη επιτυγχάνεται με τη μέθοδο HZ-γ δηλαδή όταν η διαστασιολόγηση του HZ γίνεται μόνο για φόρτιση των συσσωρευτών. Όταν η διακύμανση του φορτίου γίνεται πιο έντονη τότε η εκτίμηση της ισχύος του HZ γίνεται πιο περίπλοκη. Πάντα η πιο κοντινή τιμή δίνεται με τη μέθοδο HZ-γ όμως ανάλογα με την εφαρμογή και το σύστημα παρατηρείται σημαντική υπερίμηση ή υποτίμηση της προτεινόμενης ισχύος.

4.4. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Στην περίπτωση της ΑΓ εξετάστηκε μόνο μια μέθοδος, συνεπώς απλά θα παρατεθούν τα αποτελέσματα της εκτίμησης και της προσομοίωσης για τα δύο αιολικά δυναμικά και για κάθε εφαρμογή στον πίνακα 4.4

Πίνακας 4.4 Διαστασιολόγηση ΑΓ					
Εφαρμογή	Μονάδα Τηλεπικοινωνιών				
	Χαμηλό αιολικό δυναμικό		Υψηλό αιολικό δυναμικό		
	Εκτίμηση	Προσομοίωση		Εκτίμηση	Προσομοίωση
Pr [kW]	1.3	3.5	Pr [kW]	1.2	2.6
U _{ci} [m/s]	3	3	U _{ci} [m/s]	5.4	3
U _r [m/s]	10	8	U _r [m/s]	14	9
U _{co} [m/s]	15	16	U _{co} [m/s]	21	25
Εφαρμογή	Αμελκτήριο				
		Εκτίμηση	Προσομοίωση		Εκτίμηση
Pr [kW]	4.2	3.6	Pr [kW]	4.2	2.8
U _{ci} [m/s]	3	3	U _{ci} [m/s]	5.4	3
U _r [m/s]	10	8	U _r [m/s]	14	9
U _{co} [m/s]	15	16	U _{co} [m/s]	21	25

Σε ότι αφορά την εκτίμηση της ισχύος στην περίπτωση του σταθερού φορτίου η εκτίμηση υποτιμά την προβλεπόμενη ισχύ ενώ στην περίπτωση του μεταβαλλόμενου φορτίου την υπερτιμά. Σε ότι αφορά τη μορφή της καμπύλης λειτουργίας ο γενικός κανόνας δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην περίπτωση του χαμηλού αιολικού δυναμικού, ενώ στην περίπτωση του υψηλού αιολικού δυναμικού έχει την τάση να υπερτιμά την προβλεπόμενη ταχύτητες εκκίνησης καθώς και την προβλεπόμενη ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε κατά πόσο αναλυτικές ή/και ημιεμπειρικές μέθοδοι διαστασιολόγησης αυτόνομων συστημάτων παραγωγής ενέργειας μπορούν να αξιοποιηθούν στο σχεδιασμό πλήρων υβριδικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας που περιλαμβάνουν περισσότερες από μία πηγές ΑΠΕ, ΗΖ και συσσωρευτές.

Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι η δυνατότητα των εξεταζόμενων μεθόδων να προβλέψουν ικανοποιητικά το μέγεθος της κάθε συνιστώσας εξαρτάται από: α) το χρονικό προφίλ του φορτίου και κυρίως από το αν υπάρχει σημαντική διακύμανση ημερήσια ή/και εποχιακή, β) από τη σύνθεση του ΥΣΗ και γ) από διατιθέμενο δυναμικό ΑΠΕ.

Σε ότι αφορά την προ-εκτίμηση της ισχύος των ΦΒ στις περισσότερες περιπτώσεις οι μέθοδοι Ah και Wh δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Σε ότι αφορά το μέγεθος των συσσωρευτών σε όλες τις περιπτώσεις η καλύτερη προσέγγιση γίνεται με τη μέθοδο Ah ή Wh θεωρώντας μόνο μία ημέρα αυτονομίας. Η καλύτερη μέθοδος εκτίμησης της ισχύος του ΗΖ δείχνει να είναι αυτή που θεωρεί ότι το ΗΖ χρησιμοποιείται μόνο για φόρτιση συσσωρευτών. Παρόλα αυτά και ενώ για σταθερό ημερήσιο και εποχιακό φορτίο η πρόβλεψη είναι πολύ καλή για μεταβαλλόμενα φορτία υπερτιμιά ή υποτιμιά σημαντικά την προβλεπόμενη ισχύ ανάλογα με το συνδυασμό των δυναμικών ΑΠΕ και τη σύνθεση του συστήματος ΥΣΗ. Τέλος η εξεταζόμενη μέθοδος για τη διαστασιολόγηση της ΑΓ δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ότι αφορά την καμπύλη λειτουργίας για χαμηλό αιολικό δυναμικό, ενώ αποτυγχάνει να εκτιμήσει την ισχύ της ΑΓ υποτιμώντας ή υπερτιμώντας την πρόβλεψη ανάλογα με τη διακύμανση του φορτίου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία έχει υλοποιηθεί στο πλαίσιο του προγράμματος: Ενίσχυση Νέων και Μικρομεσαίων Επιχειρήσεων, ΕΣΠΑ 2007-2013, Έργο: 'Ανάπτυξη αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ και συμβατικά καύσιμα'

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Sandia National Laboratories, 1991, "Stand-alone photovoltaic systems – a handbook of recommended design practices", SAND 87-7023.
- [2] Shrestha, G.B.. and Goel, L., 1998, "A study on optimal sizing of stand-alone photovoltaic stations", IEEE Trans Energy Convers., 13(4), pp. 373-8.
- [3] Al-Ashwal, A.M., and Moghram, I.S., 1997, "Proportion assessment of combined PV-wind generating systems", Renewable Energy, 10(1), pp. 43-51.
- [4] Maghraby, H.A.M., Shwehdi, M.H., and Al-Bassam, G.K., 2001, "Probabilistic assessment of photovoltaic (PV) generation systems", IEEE Trans power Syst., 17(1), pp. 205-8.
- [5] Lorenz, U., 1988, Elektrizitaetsversorgungsplanung for laendliche Gebiete in Entwicklungslaendern – Ein Optimierungsmodel, Springer Verlag, Berlin.
- [6] Markvart, T., 1996, "Sizing of hybrid PV-wind energy systems", Solar Energy, 59 (4), pp. 277-281.
- [7] Yang, H.X., Lu, L., and Zhou, W., 2007, "A novel optimization sizing model for hybrid solar-wind power generation system", Solar Energy, 81(1), pp. 76-84.
- [8] Koutroulis, E., Kolokotsa, D., Potirakis, A., and Kalaitzakis, K., 2006, "Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind –generator systems using genetic algorithms" Solar Energy, 80(9), pp. 1072-88.

- [9] Fragaki, A., and Markvart, T., 2008, "Stand alone PV system design: Result using a new sizing approach", *Renewable Energy*, 33(1), pp. 162-167.
- [10] Deshmukha, M.K., and Deshmukh, S.S., 2008, "Modeling of hybrid renewable energy systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, pp. 235–249.
- [11] Kaldellis, J.K., 2007, "An integrated model for performance simulation of hybrid wind diesel systems", *Renewable Energy*, 32, pp. 1544 –1564.
- [12] Kaldellis, J.K., Kondili, E., and Filios, A., 2006, "Sizing a hybrid wind-diesel stand-alone system on the basis of minimum long term electricity production cost", *Applied Energy*, 83, pp. 1384–1403.
- [13] Kaldellis, J.K., Kavadias, K.A., and Filios, A., 2009, "A new computational algorithm for the calculation of maximum wind energy penetration in autonomous electrical generation systems", *Applied Energy*, 86, pp. 1011-1023.
- [14] Kaldellis, J.K., Ninou, I., and Zafirakis, D., 2011, "Minimum long-term cost solution for remote telecommunication stations on the basis of photovoltaic-based hybrid power systems", *Energy Policy*, 39, pp. 2512–2527.
- [15] Kaldellis, J.K., 2010, "Optimum hybrid photovoltaic-based solution for remote telecommunication stations", *Renewable Energy*, 35, pp. 2307-2315.
- [16] Kaldellis, J.K., Spyropoulos, G.C., Kavadias, K.A., and Koronaki, I.P., 2009, "Experimental validation of autonomous PV-based water pumping system optimum sizing", *Renewable Energy*, 34, pp. 1106–1113.
- [17] Kaldellis, J.K., and Kostas, P., 2009, "Minimization of the Energy Storage Requirements of a Stand-alone Wind Power Installation by Means of Photovoltaic Panels", *Applied Energy*, 86, pp. 163–169.
- [18] Bataineh, K., and Dalalah, D., 2012, "Optimal configuration for design of stand-alone PV systems", *Smart Grid and Renewable Energy*, 3(1), pp 139-147.
- [19] Kolhe, M., 2009, "Techno-Economic Optimum sizing of a Stand-Alone Solar Photovoltaic System", *IEEE, Transactions on energy conversion*, 24(2), pp.511-519.
- [20] Seeling – Hochmuth, G., 1996, 'Small Village Hybrid Systems Performance Workshop', Expert Meeting, NREL, CO, US.
- [21] Hunter, R., and Elliot, G., 1999, *Wind-diesel systems. A guide to the technology and its implementation*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [22] Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., and Bossanyi, E., 2001, *Wind Energy hand book*, Wiley, West Sussex.
- [23] HOMER ENERGY LLC, 2008, *Hybrid optimization model for electric renewables (HOMER)*, <http://www.nrel.gov/international/homer>.
- [24] U.S. Department of energy, 2012, *EnergyPlus Energy Simulation Software*, http://www.apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_testing.cfm.
- [25] TEE, 2010, TOTEΕ 20701-3/2010 : Κλιματικά δεδομένα Ελληνικών περιοχών, Αθήνα.
- [26] Troen, I., and Petersen, E.L. 1989, 'European Wind Atlas', Commission of the European Communities, Directorate – General for Science, Research and Development, Brussels, Belgium.