

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΕΓΗΣ 9,8 kW_p

Βασίλειος Κωνσταντάρας¹, Κωνσταντίνος Κοσμάς¹, Χρήστος Σιδηρόπουλος²,
Γεώργιος Τσιλιγκιρίδης^{*1*}

¹Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΑΠΘ
²Δημόσια Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Βέροιας
*e-mail: tsil@eng.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η λειτουργία φωτοβολταϊκού (ΦΒ) συστήματος ισχύος 9,8kW_p συνδεδεμένου με το δίκτυο και εγκατεστημένου στη στέγη του κτηρίου της ΔΕΥΑ Βέροιας.

Η αξιολόγηση της λειτουργίας του ΦΒ συστήματος βασίζεται στον υπολογισμό συγκεκριμένων, διεθνώς καθιερωμένων, παραμέτρων απόδοσης Φ/Β συστημάτων, που υπολογίστηκαν σε ετήσια, μηνιαία και ημερήσια/ωριαία βάση και βοήθησαν στην εξαγωγή συμπερασμάτων, που αφορούν στη λειτουργία του συστήματος. Παράλληλα γίνεται εκτίμηση των ποσοτήτων των εκπομπών CO₂ που αποσποούνται κατά την περίοδο λειτουργίας του συστήματος. Για τον υπολογισμό των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικά δεδομένα μετρήσεων της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα τηλεμετρίας της εγκατάστασης για την περίοδο 2012-2017, καθώς και δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα, τα οποία προήλθαν από μετρήσεις, που πραγματοποιήθηκαν επιλεγμένες ημέρες κατά την χρονική περίοδο από τον Ιανουάριο 2017 μέχρι και το Σεπτέμβριο του 2017. Τα συμπεράσματα που εξάγονται, σχετικά με την αποδοτικότητα του συστήματος, συγκρίνονται με ανάλογα αποτελέσματα φωτοβολταϊκών συστημάτων από την βιβλιογραφία.

Με βάση τα συμπεράσματα της αξιολόγησης και την εν γένει εξέταση και παρακολούθηση του ΦΒ συστήματος διατυπώνονται προτάσεις, με στόχο τη διατήρηση ή/και βελτίωση της αποδοτικότητας του συστήματος. Οι σημαντικότερες είναι η ανάγκη εγκατάστασης συστήματος αποτελεσματικότερης επιτήρησης της λειτουργίας της ΦΒ εγκατάστασης, ο συστηματικός έλεγχος και συντήρηση των επιμέρους μερών της, καθώς και ο τακτικός καθαρισμός των πλαισίων από επικαθίσεις.

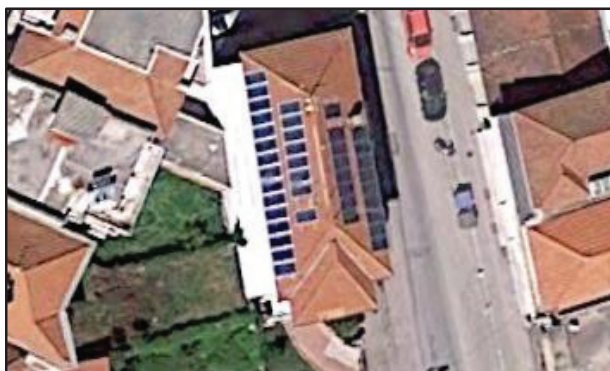
Λέξεις κλειδιά: Φωτοβολταϊκό σύστημα, συνδεδεμένο στο δίκτυο, Φωτοβολταϊκά στέγης, Βόρεια Ελλάδα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι πλέον ευρύτατα διαδεδομένη, εξαιτίας του ευνοϊκού θεσμικού πλαισίου που έχει δημιουργηθεί και των επακόλουθων επενδύσεων με μειωμένο κόστος αγοράς και εγκατάστασής τους, καθώς και τον χρόνο απόσβεσής τους. Λόγω ευνοϊκότερης νομοθεσίας, και ειδικά μετά την Υπουργική Απόφαση 12323, ΦΕΚ Β 1079/04.06.2009, «Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων», έχει αυξηθεί ο αριθμός των συστημάτων που εγκαθίστανται, για παραγωγή ενέργειας και πώληση στο δίκτυο [1]. Μεγάλο μέρος τέτοιου είδους επενδύσεων γίνεται από Οργανισμούς Δημόσιου Συμφέροντος (Σχολεία, Δημοτικές Επιχειρήσεις, κτλ).

Κατά την λειτουργία των συστημάτων αυτών, απαιτείται παρακολούθηση και συντήρησή τους, ώστε να διατηρείται η αποδοτικότητά τους. Λόγω της διεύρυνσης του ενδιαφέροντος για τη χρήση τέτοιου είδους συστημάτων, μεγάλο ποσοστό επενδυτών έχει ελλειπείς γνώσεις επί του αντικειμένου. Πρέπει λοιπόν να αυξηθεί η ενημέρωσή του όσον αφορά στη λειτουργία και συντήρηση των συστημάτων για διατήρηση της αποδοτικότητάς τους για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την εγκατάσταση. Τέτοιου είδους ενέργειες μπορούν να αποφέρουν σημαντικά αποτελέσματα, ενεργειακά και οικονομικά, για τον εκάστοτε ιδιοκτήτη της εγκατάστασης.

Η αξιολόγηση που παρουσιάζεται στην εργασία, αποτελεί μια προσπάθεια αποτίμησης της αποδοτικότητας ενός συστήματος, καθώς και του εντοπισμού πιθανών δυσλειτουργιών. Το σύστημα αυτό βρίσκεται στη στέγη του κτιρίου γραφείων της Δημοτικής Επιχείρησης Ύδρευσης και Αποχέτευσης Βέροιας (ΔΕΥΑΒ) και λειτουργεί τα τελευταία 5 χρόνια. Η στέγη του κτιρίου είναι τετράριχτη και δε σκιάζεται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 1: Φωτοβολταϊκό σύστημα στη στέγη της ΔΕΥΑΒ.

Το σύστημα αποτελείται από 40 φωτοβολταϊκά πλαίσια ισχύος 245 Watt έκαστο, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ ίση με 9,8 kW_p. Τα πλαίσια αυτά, είναι τοποθετημένα σε δύο συστοιχίες, στην ανατολική και τη δυτική πλευρά της στέγης. Στην ανατολική πλευρά με προσανατολισμό 78° βόρεια-βορειοανατολικά, βρίσκονται 17 πλαίσια τοποθετημένα σε σειρά. Στη δυτική πλευρά βρίσκονται τοποθετημένα 23 πλαίσια σε σειρά και με προσανατολισμό 258° νότια-νοτιοδυτικά. Έχουν γωνία κλίσης ίδια με της στέγης, ίση με 23°. Το σύστημα συνδέεται με έναν αντιστροφέα (inverter) υψηλής απόδοσης και ισχύος 10kW και είναι εφοδιασμένο με σύστημα τηλεμετρίας, που καταγράφει συνεχώς την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, που πωλείται στο δίκτυο.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την αξιολόγηση του εξεταζόμενου Φ/Β συστήματος, τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν, είναι η παραγόμενη από το σύστημα ενέργεια, καθώς και η ηλιακή ακτινοβολία. Στη συγκεκριμένη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, λόγω μη ύπαρξης συστήματος μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας χρειάστηκε να γίνουν μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας με φορητό όργανο, για ικανοποιητικό αριθμό επιλεγμένων ημερών.

Συνολικά έγιναν μετρήσεις κατά τη διάρκεια 12 επιλεγμένων ημερών, από τον Ιανουάριο έως και το Σεπτέμβριο του 2017. Κατά τις μετρήσεις αυτές, έλαβε χώρα η καταγραφή της ηλιακής ακτινοβολίας, με φορητό πυρανόμετρο και της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα, με θερμόμετρο τύπου ακίδας, ανά 15 λεπτά, από την ανατολή έως και τη δύση του ήλιου. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στην κλίση και στους δύο προσανατολισμούς, όπως δηλαδή είναι τοποθετημένα τα πλαίσια.

Οι επιδόσεις της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης εξετάζονται κυρίως μέσω του κανονισμού 61724, που ανέπτυξε η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή, στον οποίο περιγράφονται οι παράμετροι αξιολόγησης της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι [2,3,4]:

- **Συντελεστής Τελικής (ενεργειακής) Απολαβής (Final Yield, Y_F)**

Ο συντελεστής τελικής ενεργειακής απολαβής ορίζεται ως η ετήσια, μηνιαία ή και ημερήσια καθαρή ενέργεια που παράγεται από το Φ/Β σύστημα E_{AC} [kWh] διαιρεμένη με την ονομαστική εγκατεστημένη ισχύ P_p [kW_p], σε συνθήκες αναφοράς (συνθήκες STC, $G_o=1.000W/m^2$, $T_{cell}=25^{\circ}C$).

$$Y_F = \frac{E_{AC}}{P_{pv}}, [kWh/kW_p]$$

Ο Y_F αναφέρεται στις kWh που παράγονται ανά έτος/μήνα/ημέρα, ανά kW_p εγκατεστημένης ισχύος.

- **Συντελεστής Απολαβής Αναφοράς (Reference Yield, Y_R)**

Ο συντελεστής απολαβής αναφοράς ορίζεται ως ο λόγος της ολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας H_t [kWh/m²], προς την ακτινοβολία σε συνθήκες STC, G_o [kW/m²].

$$Y_R = \frac{H_t}{G_o}, [kWh/kW]$$

Ο Y_R αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ωρών στη μέγιστη τιμή G_o . Είναι συνάρτηση της θέσης, του προσανατολισμού και της κλίσης του φωτοβολταϊκού καθώς και της μεταβλητότητας του καιρού.

- **Συντελεστής Λειτουργικής Απόδοσης (Performance Ratio, PR)**

Είναι ο λόγος της Τελικής Απολαβής προς την Απολαβή Αναφοράς. Αναφέρεται στην επίδραση των απωλειών στην απόδοση και την ισχύ εξόδου σε σχέση με την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Οι απώλειες μπορεί να οφείλονται στην αυξημένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, στον αντιστροφή, στις καλωδιώσεις, σε κακή συνδεσμολογία, κτλ.

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R}, [%]$$

Αντιπροσωπεύει την απόκλιση από τον ιδανικό βαθμό απόδοσης, εξαιτίας των απωλειών. Είναι μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους για σύγκριση Φ/Β συστημάτων, ανεξαρτήτως θέσης, εγκατεστημένης ισχύος, προσανατολισμού και κλίσης. Ο συντελεστής λειτουργίας είναι υψηλότερος το χειμώνα, λόγω της πιο χαμηλής θερμοκρασίας.

- **Συντελεστής Φόρτισης (Capacity Factor, CF)**

Ως συντελεστής φόρτισης ορίζεται ο λόγος της ετήσιας, μηνιαίας, ή και ημερήσιας παραγόμενης ενέργειας, προς την ενέργεια που θα μπορούσε να παραχθεί, αν το ΦΒ σύστημα λειτουργούσε στην ονομαστική του ισχύ, 24 ώρες την ημέρα, για τον αντίστοιχο αριθμό ημερών.

$$CF = \frac{Y_F}{24h/d * D} = \frac{E_{AC}}{P_{pv} * 24h/d * D}, [-]$$

Όπου D, ο αριθμός ημερών της εξεταζόμενης περιόδου.

- **Βαθμός Απόδοσης Συστήματος (System Efficiency, η_{sys})**

Ως η_{sys} ορίζεται ο λόγος της παραγόμενης ενέργειας E_{AC} [kWh], προς το γινόμενο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας H_t , [kWh/m²] επί την συνολική επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων A_m [m²].

$$\eta_{sys} = \frac{E_{AC}}{H_t * A_m}, [%]$$

- **Αποφυγή εκπομπών CO₂ (Avoided CO₂ emissions, Em_{av}).**

Ως αποφυγή CO₂ ορίζεται η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που θα παραγόταν από το Ηλεκτρικό Σύστημα της χώρας, για την παραγωγή ίδιου ποσού ενέργειας με τη χρήση συμβατικών πηγών κατά την εξεταζόμενη περίοδο.

$$Em_{av} = E_{AC} * F_{CO_2}, \text{ [kg CO}_2\text{]}$$

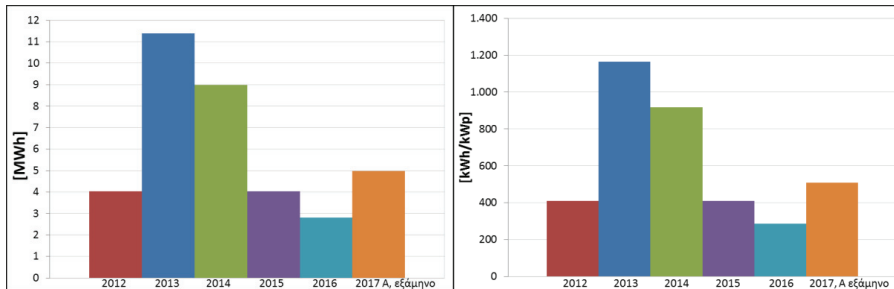
Όπου F_{CO₂} είναι οι εκπομπές CO₂ ανά παραγόμενη kWh[kg/kWh] από συμβατικές πηγές (λιγνίτης, φυσικό αέριο, πετρέλαιο, υδροηλεκτρικά) για το συγκεκριμένο ενεργειακό μίγμα του ηλεκτρικού συστήματος της χώρας, αφαιρουμένων των ΑΠΕ. Ο συντελεστής αυτός υπολογίζεται από την αφαίρεση των εκπομπών CO₂ του κύκλου ζωής του φωτοβολταϊκού συστήματος (οι οποίες υπολογίζονται σε 53g CO₂, eq/kWh για τα συστήματα Poly-Si (πολυκρυσταλλικού πυριτίου) και σε 61g CO₂, eq/kWh για τα συστήματα Mono-Si (μονοκρυσταλλικού πυριτίου) [5,6], και από τον συντελεστή εκπομπών του εθνικού δικτύου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που στα πλαίσια της εργασίας υπολογίσθηκε ότι την περίοδο 2013-2016 κυμάνθηκε από 935 έως 1.160g CO₂/kWh [7,8].

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

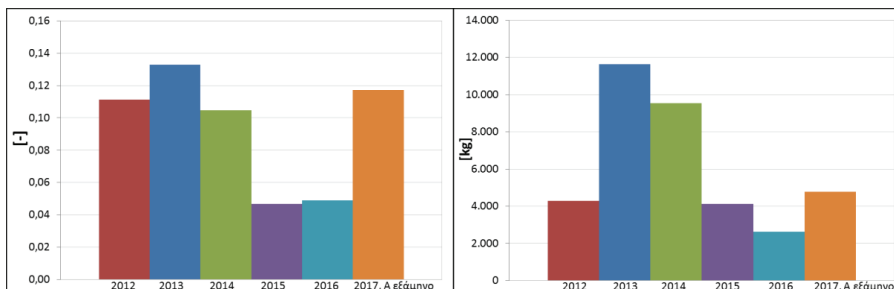
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων ηλιακής ακτινοβολίας, παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και των παραμέτρων αξιολόγησης που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Η παρουσίαση γίνεται σε ετήσια και μηνιαία βάση για την περίοδο λειτουργίας από τον Αύγουστο του 2013 έως τον Απρίλιο του 2017 και σε ημερήσια και ωριαία βάση για τις 12 επιλεγμένες ημέρες μετρήσεων Από Ιανουάριο έως τον Σεπτέμβριο 2017.

3.1. Ετήσια Αποτελέσματα περιόδου Αύγουστος 2013 – Απρίλιος 2017

Στην εικόνα 2 παρατηρείται ότι για τα έτη 2015 και 2016 η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος είναι πολύ χαμηλή. Αυτό οφείλεται σε προβλήματα συνδεσμολογίας, που προέκυψαν εκείνη την περίοδο. Το γεγονός αυτό επηρεάζει επίσης και τους συντελεστές φόρτισης και τελικής ενεργειακής απολαβής, καθώς και την ποσότητα CO₂ που αποσοβήθηκε, οι τιμές των οποίων εξαρτώνται από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (εικόνα 3, εικόνα 4, εικόνα 5).



Εικόνα 2: Ετήσια παραγωγή ενέργειας, E_{AC}. Εικόνα 3: Ετήσιος συντελεστής τελικής απολαβής, Y_f.

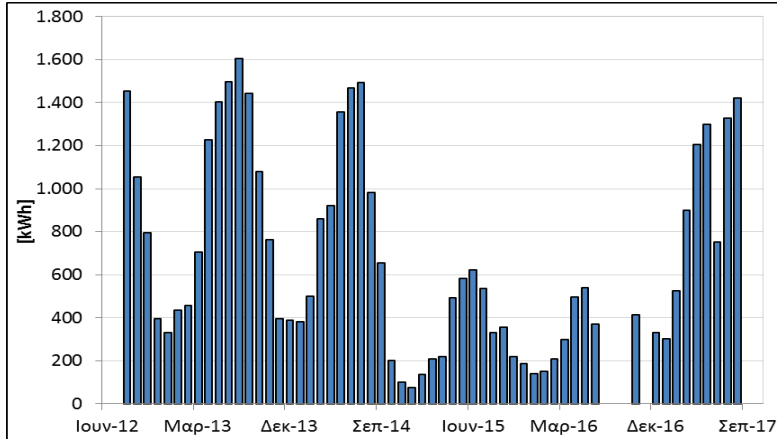


Εικόνα 4: Ετήσιος συντελεστής φόρτισης, CF.

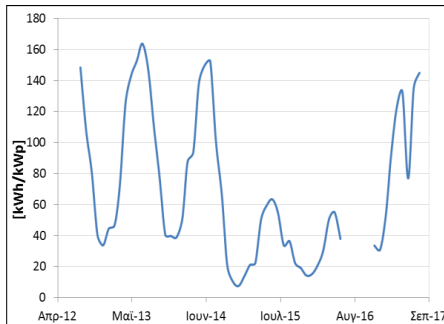
Εικόνα 5: Ετήσια αποσώβηση, CO₂.

3.2. Μηνιαία αποτελέσματα περιόδου Αύγουστος 2013 – Απρίλιος 2017

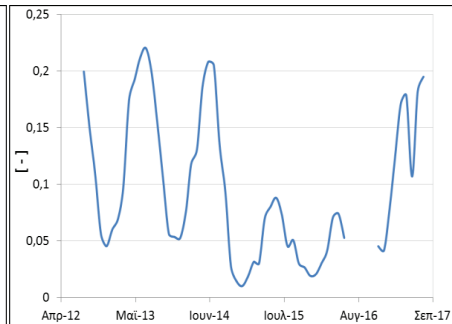
Στις εικόνες 6, 7, 8 και 9 φαίνονται πιο αναλυτικά οι επιπτώσεις στην ηλεκτροπαραγωγή των προβλημάτων συνδεσμολογίας, που προέκυψαν κατά την διάρκεια των ετών 2015 και 2016. Επίσης παρατηρείται η (φυσιολογική) διακύμανση των μεγεθών μεταξύ καλοκαιρινών και χειμερινών μηνών, που οφείλεται στη διακύμανση της διάρκειας ηλιοφάνειας και προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.



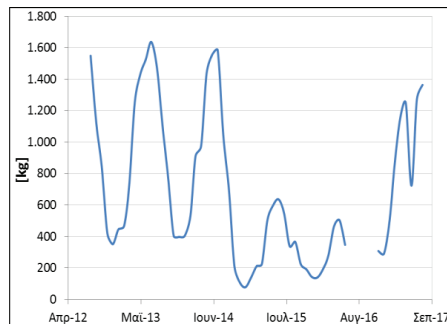
Εικόνα 6: Μηνιαία παραγωγή ενέργειας.



Εικόνα 7: Μηνιαία διακύμανση συντελεστή Y_F .



Εικόνα 8: Μηνιαία διακύμανση συντελεστή CF .



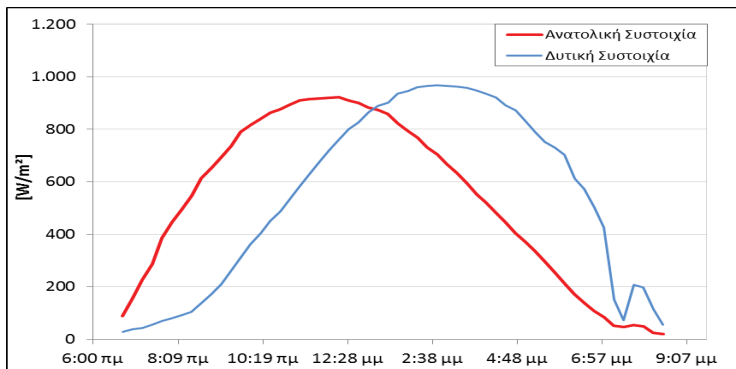
Εικόνα 9: Αποφυγή CO_2 σε μηνιαία βάση.

3.3. Αποτελέσματα κατά τις επιλεγμένες ημέρες μετρήσεων, Ιανουάριος– Σεπτέμβριος 2017

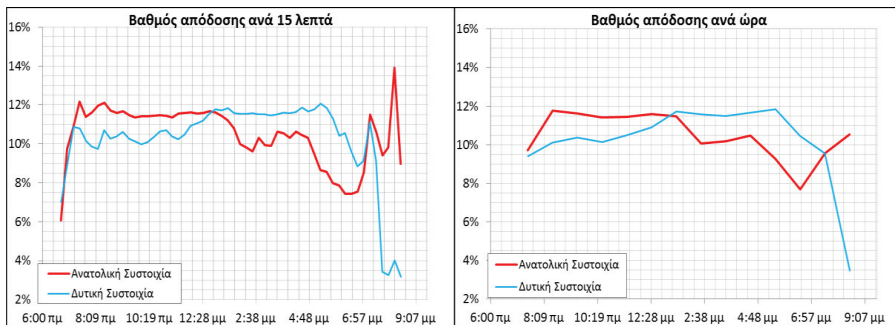
Στη συνέχεια παρουσιάζονται ενδεικτικά διαγράμματα της διακύμανσης της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και του βαθμού απόδοσης για μία από τις ημέρες των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν και συγκεκριμένα την 11^η Ιουλίου 2017.

Στην εικόνα 10 φαίνεται ότι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι μεγαλύτερη τις πρωινές ώρες για την ανατολική συστοιχία, ενώ για τη δυτική συστοιχία οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται μετά τις μεσημβρινές ώρες, όπως αναμενόταν. Απότομες αυξομειώσεις μικρής χρονικής διάρκειας οφείλονται σε παροδικές νεφώσεις.

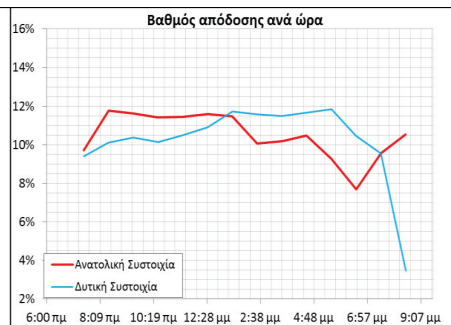
Στην εικόνα 11 παρουσιάζεται ο βαθμός απόδοσης των δύο συστοιχιών του ΦΒ συστήματος υπολογισμένος από μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας [W/m^2] και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [W] ανά 15', γεγονός που οδηγεί σε έντονες διακυμάνσεις λόγω της μη ταύτισης των στιγμιαίων τιμών και σε μεγάλες αποκλίσεις από τις μέσες ημερήσιες τιμές. Στην εικόνα 12 ο βαθμός απόδοσης είναι υπολογισμένος με μέσες ωριαίες τιμές, γεγονός που οδηγεί σε εξομάλυνση των καμπυλών.



Εικόνα 10: Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τις δύο συστοιχίες κατά τη διάρκεια της ημέρας (11-7-2017).

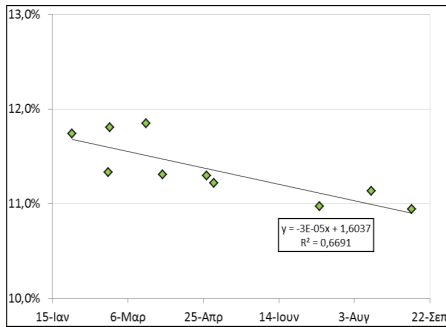


Εικόνα 11: Βαθμός απόδοσης υπολογισμένος ανά 15' (11-7-2017).

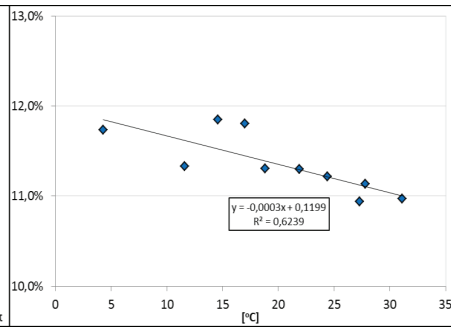


Εικόνα 12: Βαθμός απόδοσης υπολογισμένος ανά 60' (11-7-2017).

Στην εικόνα 13 φαίνεται η απόδοση τις 10 ημέρες των μετρήσεων, ενώ στην εικόνα 14 φαίνεται η απόδοση σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το εύρος τιμών του βαθμού απόδοσης κρίνεται λογικό, καθώς η τιμή του βαθμού απόδοσης του κατασκευαστή σε STC συνθήκες είναι 15%. Παρατηρείται η επίδραση της θερμοκρασίας στο βαθμό απόδοσης, καθώς τους χειμερινούς μήνες η απόδοση εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές, όπως αναμενόταν.

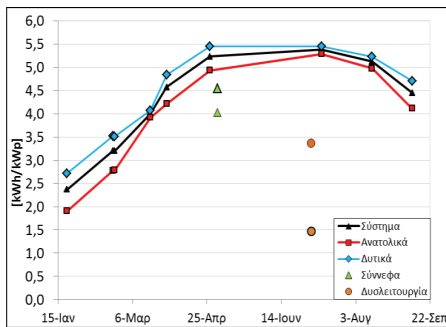


Εικόνα 13: Βαθμός απόδοσης κατά την περίοδο των μετρήσεων.

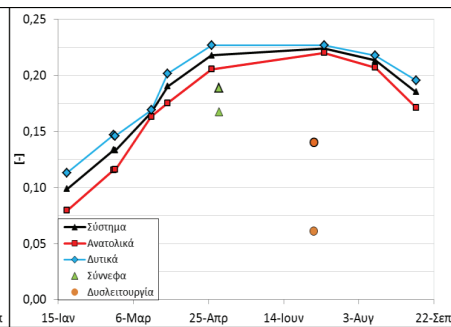


Εικόνα 14: Εξάρτηση του βαθμού απόδοσης από την θερμοκρασία.

Στην εικόνα 15 παρουσιάζεται ο συντελεστής Y_F ενώ στην εικόνα 16 ο CF. Όπως είναι αναμενόμενο οι συντελεστές Y_F και CF παίρνουν τις μέγιστες τιμές τους κατά τους θερινούς μήνες με τη μεγαλύτερη διάρκεια ηλιοφάνειας. Λόγω νέφωσης και δυσλειτουργιών, που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχουν για δύο ημέρες τιμές που αποκλίνουν από την αναμενόμενη εξέλιξη των συντελεστών και για τον λόγο αυτό εμφανίζονται ανεξάρτητα.

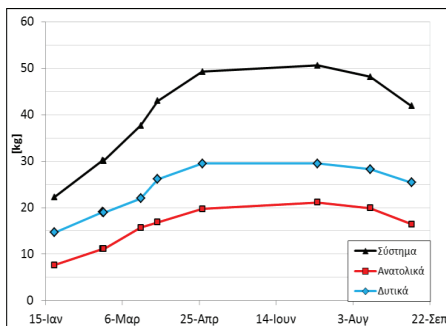


Εικόνα 15: Συντελεστής τελικής απολαβής κατά την περίοδο των μετρήσεων, Y_F .

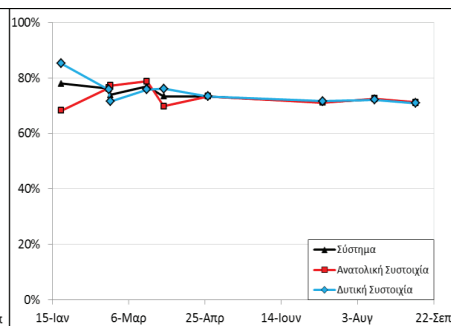


Εικόνα 16: Συντελεστής φόρτισης κατά την περίοδο των μετρήσεων, CF.

Στην εικόνα 17 παρατηρείται ότι η αποφυγή CO_2 αυξάνεται τους μήνες με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, καθώς αυξάνεται και η παραγόμενη ενέργεια.



Εικόνα 17: Αποσόβηση CO_2 κατά την περίοδο των μετρήσεων.



Εικόνα 18: Συντελεστής λειτουργικής απόδοσης κατά την περίοδο των μετρήσεων, PR.

Όσον αφορά τον PR παρατηρείται (εικόνα 18) μείωσή του από τους χειμερινούς προς τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της επίδρασης της αύξησης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στην απόδοση του συστήματος. Καθώς για τον υπολογισμό του PR απαιτούνται δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας, αυτός δεν μπορεί να εκτιμηθεί, παρά μόνο κατά τις ημέρες των μετρήσεων.

4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΔΕΥΑΒ ΜΕ ΆΛΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Για την αξιολόγηση της λειτουργίας του εξεταζόμενου ΦΒ πάρκου έγινε σύγκριση με τις επιδόσεις άλλων συστημάτων συγκρίσιμης ισχύος από τη βιβλιογραφία. Για τη σύγκριση χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές/δείκτες Y_F , n_{sys} , PR και CF. Για το σύστημα της ΔΕΥΑΒ οι παράμετροι αυτοί υπολογίστηκαν αφενός με βάση τα ιστορικά δεδομένα της εξεταζόμενης περιόδου και αφετέρου με βάση τις μετρήσεις κατά τη διάρκεια των 10 επιλεγμένων ημερών. Στα ιστορικά δεδομένα δε συμπεριλήφθηκαν τα έτη 2015-2016, κατά τη διάρκεια των οποίων το σύστημα υπολειποργούσε, λόγω προβλημάτων συνδεσμολογίας (βλ. εικόνα 6). Από τον Πίνακα 1 φαίνεται ότι οι τιμές των συντελεστών του εξεταζόμενου συστήματος κυμαίνονται μέσα στα όρια που εμφανίζουν τα άλλα συστήματα.

Πίνακας 1: Σύγκριση του συστήματος της ΔΕΥΑΒ με άλλα συστήματα από τη βιβλιογραφία [9,10,11,12,13,14,15].

	P_{PV} [kW _p]	$Y_{F,an}$ [kWh/kW _p .yr]	$Y_{F,d}$ [kWh/kW _p .d]	n_{sys} [%]	PR [%]	CF [-]
Eastern India	11,20	-	3,67	12,1	78,0	-
Karnataka State, South India	3,06	1.387,8	-	-	70,0	-
Eastern Cape, South Africa	3,22	1.788,5	4,90	-	84,0	0,20
Ceara, Brazil	2,20	1.679,0	4,60	12,6	82,9	0,19
Dublin, Ireland	1,72	876,0	2,40	12,6	81,5	-
Dublin, Ireland	3,06	-	1,69	5,7	60,0-62,0	-
Meknes, Morocco	2,04	-	4,98	12,3	81,7	-
Malaga, Spain	2,00	1.339,6	-	-	64,5	-
Crete, Greece	171,00	1.335,9	2,00-5,10	-	67,4	0,15
Kavala, Greece	9,84	1.314,0	-	-	84,0	-
Chania, Greece	2,18	1.533,0	4,20	7,3	85,1	-
Trieste, Italy	2,99	1.398,0	-	-	89,1	-
ΔΕΥΑΒ:						
Βάσει των καταγραφών της περιόδου λειτουργίας	9,80	1.020,1	2,51-3,19 (2,79)	-	-	0,12
Βάσει μετρήσεων επιλεγμένων ημερών (Μ.Ο.)			1,9- 5,5 (4,0)	10,9-11,9 (11,4)	72,3-74,3 (73,5)	0,15-0,18 (0,17)

Οι παράμετροι των διαφόρων προς σύγκριση συστημάτων αναφέρονται σε διάρκεια λειτουργίας ενός έτους. Καθώς οι μετρήσεις στο εξεταζόμενο σύστημα της ΔΕΥΑΒ διήρκεσαν από το μήνα Ιανουάριο μέχρι και τον Σεπτέμβριο, παρατηρείται σημαντική διαφορά στις τιμές των συντελεστών CF και Y_F στα αποτελέσματα που προέκυψαν, σε σχέση με τα ετήσια δεδομένα. Αυτό οφείλεται στο ότι δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι μήνες από Οκτώβριο μέχρι και Δεκέμβριο. Μαζί με αυτούς τους μήνες αναμένονταν επίσης μεγαλύτερες τιμές Y_F , λόγω της μεγαλύτερης διάρκειας λειτουργίας (ένα έτος, σε σχέση με τους 9 μήνες που έχουν ληφθεί υπόψη) και μικρότερες τιμές CF, λόγω μειωμένης παραγωγικότητας του συστήματος τους μήνες Οκτ.- Δεκ. σε σχέση με τους καλοκαιρινούς μήνες.

Ο συντελεστής PR, για το σύστημα της ΔΕΥΑΒ, είναι μικρότερος απ' ό,τι στα περισσότερα άλλα συστήματα. Η διαφορά αυτή θεωρείται εντός λογικών πλαισίων. Αυτό δείχνει ότι έχουμε μεγαλύτερη επίδραση των απωλειών στον βαθμό απόδοσης, όποτε και μειωμένη παραγόμενη ενέργεια.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση που έγινε στην παρούσα εργασία, ως σκοπό είχε την αξιολόγηση του Φ/Β συστήματος της ΔΕΥΑ Βέροιας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύστημα λειτουργεί ικανοποιητικά, με τιμές δεικτών απόδοσης συγκρίσιμους με τις τιμές άλλων συστημάτων, αλλά προς τα κατώτερα όρια. Ωστόσο, παρατηρήθηκαν κάποιες «αδυναμίες» στη λειτουργία του συστήματος, οι οποίες επιδρούν αρνητικά στη συνολική παραγωγή ενέργειας.

Οι περιορισμοί της θέσης εγκατάστασης των Φ/Β πλαισίων (στέγη, προσανατολισμός, κλίση) επηρεάζουν αρνητικά την παραγωγικότητα και την εν γένει αποδοτικότητα του συστήματος τόσο άμεσα όσο και έμμεσα λόγω δυσκολίας πρόσβασης σε αυτό (αδυναμία καθαρισμού πλαισίων, επεμβάσεων, συντήρησης, κτλ).

Η σχετικά χαμηλή τιμή του συντελεστή λειτουργίας PR, μπορεί να οφείλεται, εκτός από τους λόγους που έχουν ήδη αναφερθεί, σε προβλήματα συνδεσμολογίας και συντήρησης των επιμέρους εξαρτημάτων του συστήματος. Τέτοιου είδους πρόβλημα συνδεσμολογίας, προέκυψε τα έτη 2015-2016, κατά την διάρκεια των οποίων δούλευε άλλοτε η μία και άλλοτε καμία από τις δύο συστοιχίες.

Επιβάλλεται να ληφθούν μέτρα, για την καλύτερη επιτήρηση του συστήματος. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στην περίοδο Ιουνίου 2017, το σύστημα λόγω βλάβης σταμάτησε να λειτουργεί. Η βλάβη αυτή έγινε αντιληπτή με καθυστέρηση, με αποτέλεσμα να χαθούν παραγωγικές ημέρες σε μια περίοδο υψηλής ακτινοβολίας. Ενδείκνυται η τοποθέτηση ειδικού συστήματος αυτόματης ενημέρωσης/ειδοποίησης σε περιπτώσεις διακοπής λειτουργίας ή εν γένει δυσλειτουργίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] «ΥΠΕΚΑ: Ενεργειακή Πολιτική» Available: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx2> Accessed 9 2017].
- [2] International standard IEC 61724, Photovoltaic system performance monitoring – Guidelines for measurements, data exchange and analysis.
- [3] D. Okello et al (2015), Analysis of measured and simulated performance data of 3.2kWp grid-connected PV system in Port Elizabeth, South Africa, Energy Conversion and Management 100, 10-15.
- [4] A. Allohi et al, 2016, Grid-connected PV systems installed on institutional buildings: Technology comparison, energy analysis and economic performance, Energy and Buildings 130, 188-201.
- [5] J. Peng et al, 2013, Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews 19, 255-274.
- [6] G. Hou et al, 2016, Life Cycle assessment of grid-connected photovoltaic power generation from crystalline silicon solar modules in China, Appl. Energ. 164, 82-890.
- [7] Λ.ΑΓ.Η.Ε., Μηνιαίο Δελτίο Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ Διασυνδεδεμένου Συστήματος και Δικτύου, Δεκέμβριος 2017, <http://www.lagie.gr/systima-egqyimenon-timon/ape-sithya/miniaia-deltia-eidikoy-logarismoy-ape-sithya/>
- [8] U.N. National Inventory Submissions 2017, http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/10116.php
- [9] Kymakis E, Kalykakis S, Papazoglou T. Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete. Energy Convers. Manage. 50 (3) (2009) 433-438.
- [10] D. Okello, E.E. van Dyk, F.J. Vorster, Analysis of measured and simulated performance data of a 3.2 kWp grid-connected PV system in Port Elizabeth, South Africa, Energy Convers. Manage. 100 (2015) 10–15.

- [11] L.M. Ayompe, A. Duffy, S.J. McCormack, M. Conlon, Measured performance of a 1.72 kW rooftop grid connected photovoltaic system in Ireland, *Energy Convers. Manage.* 52 (2) (2011) 816–825.
- [12] A. Allouhi, R. Saadani, T. Kousksou, R. Saidur, A. Jamil, M. Rahmoune, Grid-connected PV systems installed on institutional buildings: Technology comparison, energy analysis and economic performance, *Energy Convers. Manage.* 130 (2016) 188-201.
- [13] Mondol J.D., Yohanis Y., Smyth M., Norton B., Long term performance analysis of a grid-connected PV system in Northern Ireland. *Energy Convers. Manage.* 47 (18) (2006) 2925-2947.
- [14] L. C. de Lima , L. de Araújo Ferreira, F.Hedler Barreto de Lima Morais. Performance analysis of a grid connected photovoltaic system in northeastern Brazil. *En.forSust. Dev.* 37(2017)79–85.
- [15] Renu Sharma, Sonali Goel. Performance analysis of a 11,2kW_p roof top grid-connected PV system in Eastern India. *Energy rep.* 3 (2017) 76-84.