

ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Γ. Πανάρας, Ε. Μαθιουλάκης, Β. Μπελεσιώτης

Εργαστήριο Ηλιακών & άλλων Ενεργειακών Συστημάτων
ΕΚΕΦΕ “ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ”, 15310, ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΑΤΤΙΚΗΣ

Τηλ.: +30 (210) 650-3810; Φαξ: +30 (210) 654-4592; e-mail address: petpan@ipta.demokritos.gr

Περίληψη

Η επιλογή των μεγεθών τα οποία υπεισέρχονται στο λόγο της ωφέλιμης ενέργειας προς την προσδιδόμενη ενέργεια για τη λειτουργία ενός συστήματος, και ο οποίος χρησιμοποιείται για να εκφράσει την αποδοτικότητα των συστημάτων ΑΠΕ, εξαρτάται από τη σκοπιμότητα της ανάλυσης και μπορεί να χαρακτηριστεί και ως υποκειμενική. Στην εργασία εξετάζονται οι κυριότερες αφητηρίες, στη βάση των οποίων οικοδομούνται οι σχετικοί δείκτες μέτρησης της αποδοτικότητας, και διερευνώνται οι τιμές που μπορούν να πάρουν, χρησιμοποιώντας το παράδειγμα των εφαρμογών εκμετάλλευσης της θερμικής ηλιακής ενέργειας, και ειδικότερα της ηλιακής ψύξης. Μέσω της ανάλυσης διερευνάται η ανάδειξη της σχέσης μεταξύ των κριτηρίων επιλογής και της μορφής των δεικτών. Έμφαση δίνεται στη δυνατότητα αξιοποίησης σχετικών δεικτών αποδοτικότητας για την αξιολόγηση της ανταγωνιστικότητας των συστημάτων ΑΠΕ σε σύγκριση με τα αντίστοιχα συμβατικά.

Λέξεις κλειδιά: *Συστήματα ΑΠΕ, αποδοτικότητα, ποσοτικοί δείκτες*

Abstract

The selection of the quantities entering the ratio of useful energy to the required energy for the operation of a system, which is used for the expression of the efficiency of a system, depends on the aim of the analysis, and can be characterized as subjective. In this work, the main starting points for the definition of the relevant efficiency indices are examined, and the potential values the indices might present are investigated, through the paradigm of the solar thermal energy applications, and more specifically these of solar cooling. The relation between the selection criteria and the type of the preferred indices is investigated. Special emphasis is paid on the potential for the exploitation of the relevant efficiency indices for the evaluation of RES systems competitiveness, in comparison to the conventional ones.

Keywords: *RES Systems, efficiency, quantitative indices*

1. Εισαγωγή

Στη σύγχρονη εποχή, το ζήτημα της ενέργειας απασχολεί έντονα και επηρεάζει το παγκόσμιο γίγνεσθαι. Στα θέματα της ασφάλειας και του κόστους της ενεργειακής τροφοδοσίας, έχει προστεθεί και η παράμετρος των περιβαλλοντικών απορυθμίσεων. Η αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) θεωρείται ότι μπορεί να είναι μια

υποσχόμενη λύση, τονίζοντας τη σχεδόν ανεξάντλητη διαθεσιμότητα τους, σε συνδυασμό με την απουσία περιβαλλοντικής επιβάρυνσης από τη χρήση τους.

Η διείσδυση των συστημάτων ΑΠΕ σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την αποδοτικότητα τους, καθώς αυτή αποτελεί δείκτη της ικανότητάς τους να καλύψουν τις επιβαλλόμενα φορτία, αλλά και μέτρο σύγκρισης με τις αντίστοιχες συμβατικές πηγές ενέργειας. Ένας δείκτης αποδοτικότητας, και ανεξάρτητα από τον τύπο ενέργειας που χρησιμοποιεί ένα σύστημα, και από το εάν αυτή χαρακτηρίζεται ως συμβατική ή ανανεώσιμη, επιχειρεί να ποσοτικοποιήσει αυτό ακριβώς που υπονοεί και η ονομασία του, την αποδοτικότητα του συστήματος. Την ικανότητα του δηλαδή να επιτελέσει τη λειτουργία του με τη λιγότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας.

Στη γενική του μορφή, ένας δείκτης αποδοτικότητας παρουσιάζεται συνήθως με τη μορφή ενός λόγου, αυτού της ωφέλιμης ενέργειας, ή ενέργειας εισόδου, προς την προσδιδόμενη ενέργεια για τη λειτουργία του συστήματος, ή ενέργειας εξόδου (εξ.1).

$$\text{Βαθμός απόδοσης} = \frac{\text{Ωφέλιμη ενέργεια}}{\text{Προσδιδόμενη ενέργεια}} \quad (1)$$

Ο τρόπος όμως με τον οποίο επιλέγονται τα μεγέθη που υπεισέρχονται στο συγκεκριμένο λόγο δεν είναι ουδέτερος, αλλά εξαρτάται από τη σκοπιμότητα της ανάλυσης και, συχνά, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και ως υποκειμενικός. Πρόκειται δηλαδή για μια χαρακτηριστική περίπτωση όπου ο ορισμός του μετρούμενου μεγέθους συναρτάται όχι μόνο με τεχνολογικές παραμέτρους, αλλά και - κυρίως - με κοινωνικές ή πολιτικές προτεραιότητες.

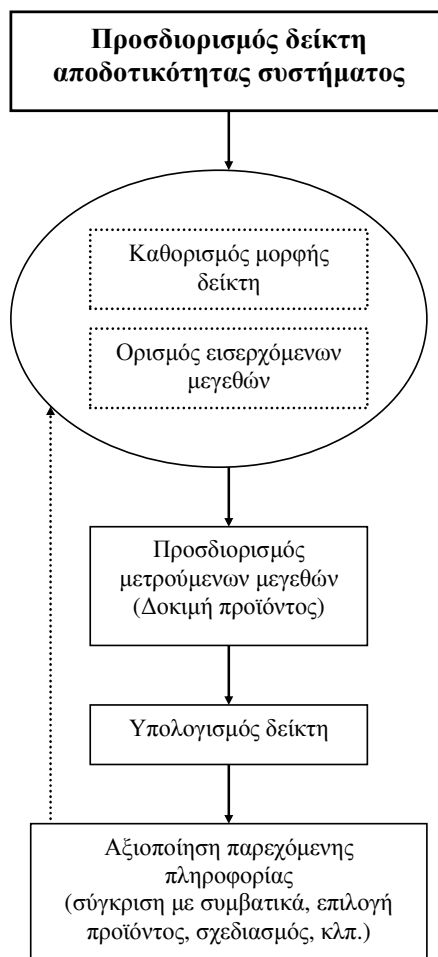
Στην εργασία εξετάζονται οι κυριότερες αφετηρίες, στη βάση των οποίων οικοδομούνται οι σχετικοί συντελεστές, και διερευνώνται οι τιμές που μπορούν να πάρουν, χρησιμοποιώντας το παράδειγμα των εφαρμογών εκμετάλλευσης της θερμικής ηλιακής ενέργειας στον κλιματισμό. Στόχο της ανάλυσης αποτελεί η ανάδειξη της σχέσης μεταξύ των κριτηρίων επιλογής και της μορφής των συντελεστών. Στο πλαίσιο αυτό διερευνάται η δυνατότητα εκμετάλλευσης των εξεταζόμενων συντελεστών με γνώμονα την ανάδειξη των σημαντικών ενεργειακών και περιβαλλοντικών οφελών από τη χρήση των συστημάτων ΑΠΕ, παρέχοντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα ρεαλιστικής αποτίμησης της ικανότητας των συστημάτων.

2. Προσδιορισμός δείκτη αποδοτικότητας – Ένα πρόβλημα μετρολογίας

Ένας δείκτης απόδοσης καλείται, εκ των πραγμάτων, να αποτυπώσει ποσοτικά μια πληροφορία η οποία απορρέει ευθέως από συγκεκριμένα πρωτογενή φυσικά μεγέθη (εισροές και εκροές ενέργειας ή ισχύος). Από την άποψη αυτή, ο προσδιορισμός του «δείκτη απόδοσης» συνιστά κλασική περίπτωση μέτρησης, με ότι αυτό συνεπάγεται ως προς τις προϋποθέσεις καθολικής αποδοχής του αποτελέσματός της από τους δυνητικούς χρήστες του αποτελέσματος αυτού.

Για να προσδιοριστεί ο δείκτης αποδοτικότητας, θα πρέπει καταρχήν να οριστεί (ή συμφωνηθεί) το μοντέλο μέτρησης, δηλαδή το ποια μεγέθη υπεισέρχονται στην εξ. (1). Στη συνέχεια θα πρέπει να οριστούν (ή συμφωνηθούν) οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό τους. Η επιλογή των μεγεθών και της μορφής του δείκτη, χαρακτηρίζει την παρεχόμενη πληροφορία από τον υπολογιζόμενο δείκτη, η οποία

μπορεί να αξιοποιηθεί σε μελέτες, υπολογισμούς, στο χαρακτηρισμό προϊόντων ή επιλογών και στη λήψη αποφάσεων. Στην περίπτωση ειδικότερα των ενεργειακών διεργασιών, ο προσδιορισμός του δείκτη αποδοτικότητας χαρακτηρίζεται από μια διαδικασία όπως αυτή που παρουσιάζεται στο σχ.1, στην οποία τονίζεται η αλληλεξάρτηση μεταξύ της σκοπιμότητας της ανάλυσης και της επιλεγόμενης εκδοχής για το δείκτη.



Σχήμα 1 – Διαδικασία προσδιορισμού δείκτη αποδοτικότητας

Είναι επομένως προφανές πως κατά τη διαδικασία υπολογισμού του δείκτη αποδοτικότητας ενός συστήματος προκύπτει μια σειρά ερωτημάτων, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους, όπως:

- Που αναφέρεται ο δείκτης, στο σύστημα ή τη διεργασία.
- Ποιο ερώτημα καλείται να απαντήσει η χρήση του δείκτη.
- Σε ποιες συνθήκες λειτουργίας θα προσδιοριστεί ο δείκτης.
- Πως μπορεί να αξιοποιηθεί η πληροφορία που παρέχει ο δείκτης.
- Πως διασφαλίζεται η ιχνηλασιμότητα της μέτρησης.

Σύμφωνα με την εξ.(1), και ειδικότερα στην περίπτωση των ΑΠΕ, τίθεται ένα επιπρόσθετο ερώτημα, το αν θα προσμετρηθεί στην προσδιδόμενη ενέργεια η ενέργεια από τις ΑΠΕ.

Παράλληλα, ο δείκτης αποδοτικότητας ενός συστήματος παρουσιάζει, στη γενική περίπτωση, μεταβαλλόμενη τιμή, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας. Η χρήση ενός μέσου ή στιγμιαίου συντελεστή αποτελεί θέμα προς συζήτηση, με δεδομένο ότι οι τεχνολογίες ΑΠΕ χαρακτηρίζονται από διακύμανση (στιγμιαία, ημερήσια ή εποχιακή) όσον αφορά την προσδιδόμενη ενέργεια στο σύστημα.

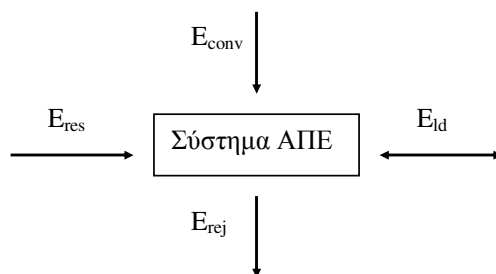
Στη συνέχεια της εργασίας θα επιχειρηθεί μια συζήτηση των παραπάνω προβλημάτων, μέσω της ανάλυσης των διαδοχικών σταδίων της διαδικασίας μέτρησης, υπό το πρίσμα των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των συστημάτων ΑΠΕ. Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα επιλέγεται αυτό του ηλιακού κλιματισμού, κυρίως λόγω του ότι επιτρέπει να αναδειχθούν και να αναλυθούν με μεγαλύτερη σαφήνεια τα προβλήματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Η επιλογή σχετίζεται επιπλέον και με τη μεγάλη διάδοση του χρησιμοποιούμενου για τα συστήματα αυτά δείκτη COP.

3. Σχέση ρόλου δείκτη αποδοτικότητας και διαφορετικών εκδοχών του

3.1 Η περίπτωση των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού

Σύμφωνα με τη λειτουργία ενός συστήματος ΑΠΕ (σχ.2), το σύστημα αξιοποιεί ανανεώσιμη (E_{res}) και (πιθανά) συμβατική ενέργεια (E_{conv}) με στόχο την κάλυψη του επιβαλλόμενου φορτίου (E_{ld}), ενώ απορρίπτει και κάποιο ποσό ενέργειας, συνήθως στο περιβάλλον (E_{rej}).

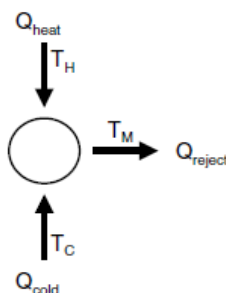
Βέβαια, το σχ. 2 αποτελεί ένα γενικό σχήμα, και ανάλογα με τον τύπο της τεχνολογίας διαφοροποιείται. Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το E_{ld} αποτελεί έξοδο (ενεργειακή) από το σύστημα, ενώ σε μια αντλία θερμότητας το E_{ld} αποτελεί είσοδο στο σύστημα. Ακριβώς λοιπόν γιατί ανάλογα με τον τύπο του συστήματος, τη χρήση και τη μορφή της αξιοποιούμενης ενέργειας διαφέρει η λειτουργία αυτού αλλά και ο τρόπος ορισμού των ενεργειακών εισροών ή εκροών του, η εργασία θα δανειστεί στοιχεία για την ανάλυση του δείκτη αποδοτικότητας από την περίπτωση των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού.



Σχήμα 2 – Ροή ενεργειακών μεγεθών συστήματος ΑΠΕ

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται διάφορες τεχνολογίες οι οποίες εκμεταλλεύονται τη θερμική ηλιακή ενέργεια για την ικανοποίηση φορτίων κλιματισμού (Πανάρας κα., 2011). Ανεξάρτητα από τα χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας, στο σύνολο τους παρουσιάζουν τη δυνατότητα να εκμεταλλευτούν θερμική ενέργεια σε επίπεδα που ευνοούν τη χρήση επίπεδων ηλιακών συλλεκτών. Στο σχ. 3 παρουσιάζεται το βασικό

θερμοδυναμικό σχήμα για αντλία θερμότητας η οποία τροφοδοτείται από θερμική πηγή. Το σύστημα αντλεί θερμότητα από πηγή θερμοκρασιακής στάθμης T_C (ή ισοδύναμα ικανοποιεί φορτίο κλιματισμού στη θερμοκρασία αυτή), καταναλώνοντας για τη λειτουργία του θερμότητα από θερμική πηγή θερμοκρασίας T_H , και απορρίπτει το σύνολο της θερμότητας σε μια καταβόθρα θερμοκρασίας T_M (συνήθως στο περιβάλλον), όπου $T_C < T_M < T_H$.



Σχήμα 3 – Διάταξη συστήματος ηλιακού κλιματισμού (Henning, 2007)

Για την εκτίμηση της αποδοτικότητας των συστημάτων κλιματισμού, το σχετικό με την αξιολόγηση των επιδόσεων κλιματιστικών συσκευών πρότυπο ISO 5151 (ISO, 1994), προτείνει τη χρήση του δείκτη *EER* (Energy Efficiency Ratio) για την ποσοτικοποίηση της αποδοτικότητας σε ψύξη. Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως ο λόγος της ψυκτικής ικανότητας της συσκευής προς την απαιτούμενη ισχύ για τη λειτουργία της, ορισμός που είναι σε συμφωνία με αυτόν της εξ. (1). Παράλληλα, στο συγκεκριμένο πρότυπο, προτείνεται η χρήση του δείκτη *COP* (coefficient of performance ή συντελεστής ενεργειακής αποδοτικότητας) για την αξιολόγηση της ικανότητας των συσκευών κλιματισμού σε θέρμανση. Ο δείκτης αυτός ορίζεται, σε αντιστοιχία με το δείκτη *EER*, ως ο λόγος της ικανότητας της συσκευής σε θέρμανση προς την απαιτούμενη ισχύ για τη λειτουργία της.

Εν τούτοις, στην πράξη το σύνολο σχεδόν της βιβλιογραφίας που ασχολείται με συστήματα ηλιακού κλιματισμού χρησιμοποιεί το δείκτη *COP* για το χαρακτηρισμό τους.

Σύμφωνα λοιπόν με τον ορισμό που δόθηκε για ένα “πλήρη” συντελεστή αποδοτικότητας στην εξ. (1), αυτός θα έχει τη μορφή:

$$COP_{th_cool} = \frac{\dot{Q}_{ld}}{\dot{Q}_{th} + P_{el}} \quad (2)$$

όπου:

- \dot{Q}_{ld} , το φορτίο κλιματισμού το οποίο ικανοποιεί το σύστημα
- \dot{Q}_{th} , η θερμική ισχύς που καταναλώνει το σύστημα για τη λειτουργία του
- P_{el} , η ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνει το σύστημα για τη λειτουργία του

Ο χαρακτηρισμός “πλήρης” αναφέρεται στον υπολογισμό του συνόλου της καταναλισκόμενης ενέργειας, είτε αυτή χρησιμοποιείται για τη διεργασία παραγωγής ψύχους (θερμική ενέργεια), είτε για κάποιες βοηθητικές διεργασίες, όπως η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου, καθώς και η λειτουργία των ανεμιστήρων προσαγωγής και απαγωγής του αέρα προς και από το κτίριο.

Στη βιβλιογραφία εμφανίζονται διάφορες εκδοχές του συντελεστή που παρουσιάζεται στις εξ. (1) ή (2), με τη διαφοροποίηση να έγκειται στη θεώρηση των μεγεθών τα οποία υπεισέρχονται στον παρανομαστή της σχέσης.

Ειδικότερα, σε αρκετές εργασίες προτείνεται σχέση ταυτόσημη με αυτή της εξ. (2), προτείνεται δηλαδή ο συνυπολογισμός της ηλεκτρικής ενέργειας P_{el} (Deng et al, 2011; Kim and Ferreira, 2008; Henning et al, 2007).

Οι Wang et al (2009) προτείνουν την υιοθέτηση δύο συντελεστών, ενός ηλεκτρικού και ενός θερμικού COP,

$$COP_{th} = \frac{\dot{Q}_{ld}}{\dot{Q}_{th}} \quad (3\alpha)$$

$$COP_{el} = \frac{\dot{Q}_{ld}}{P_{el}} \quad (3\beta)$$

Σε αρκετές εργασίες (Ziegler, 2009; Balaras et al, 2007; Henning, 2007; Balaras et al, 2006; Nelson et al, 1978) δεν συμπεριλαμβάνεται η ηλεκτρική ενέργεια στην καταναλισκόμενη από το σύστημα, προτείνεται δηλαδή συντελεστής της μορφής της εξ. (3α).

Στην εργασία των Henning et al (2007) προτείνεται ο υπολογισμός ενός επιπρόσθετου συντελεστή (COP_{sol}), ο οποίος περιγράφει την ικανότητα του συστήματος σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια:

$$COP_{sol} = COP \cdot \eta_{sol} \quad (4\alpha)$$

$$\eta_{sol} = \frac{\dot{Q}_{sol}}{A_c G_T} \quad (4\beta)$$

όπου \dot{Q}_{sol} η προσδιδόμενη από το ηλιακό σύστημα θερμική ενέργεια.

Σύμφωνα με τη μορφή του, ο συντελεστής αυτός συνυπολογίζει την ικανότητα του συστήματος σε παροχή ψυκτικής ισχύος, καθώς και την ικανότητα του συλλέκτη.

Οι Bourdoukan et al (2009), στην πειραματική αξιολόγηση συστήματος ηλιακού κλιματισμού, ορίζουν το δείκτη COP σύμφωνα με την εξ. (3α). Παράλληλα, ορίζουν δύο επιπρόσθετους δείκτες, ένα δείκτη για τον ενεργειακό χαρακτηρισμό της διεργασίας ο οποίος περιλαμβάνει και τις ηλεκτρικές καταναλώσεις (εξ. (2)), καθώς κι ένα δείκτη ο οποίος να χαρακτηρίζει την πραγματική κατανάλωση του συστήματος, μη δηλαδή συμπεριλαμβάνοντας την ηλιακή ενέργεια (εξ. (3β)). Για το χαρακτηρισμό της αποδοτικότητας του ηλιακού συστήματος, εισάγουν δείκτη αντίστοιχο της εξ. (4β), με τη σημαντική διαφορά χρήσης ενεργειακών μεγεθών και όχι ισχύος. Επίσης, στη βάση επίσης ενεργειακών μεγεθών, εισάγουν ένα δείκτη αντίστοιχο της εξ. (4α), για τον χαρακτηρισμό της δυνατότητας του συστήματος να εκμεταλλεύεται τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια, όπου η αποδοτικότητα του ηλιακού συστήματος ορίζεται σύμφωνα με την εξ. (4β), σε ενεργειακό επίπεδο. Αυτή ακριβώς η χρήση ενεργειακών μεγεθών και όχι μεγεθών ισχύος, συνδέεται με την διακύμανση της ηλιακής θερμικής πηγής, και την ανάγκη χρήσης ενός δείκτη ο οποίος να συνυπολογίζει το φαινόμενο αυτό.

Ανεξάρτητα από τη χρήση ΑΠΕ, σημειώνεται η χρήση στη βιβλιογραφία του εποχιακού δείκτη αποδοτικότητας για το χαρακτηρισμό των αντλιών θερμότητας (Eurovent-

certification). Με δεδομένο ότι μια αντλία θερμότητας υπόκειται σε μεταβαλλόμενες συνθήκες λειτουργίας, τόσο όσον αφορά τις κλιματικές συνθήκες (συνθήκες στο συμπυκνωτή), όσο και στην αντιμετώπιση συνθηκών μερικού φορτίου, ο χαρακτηρισμός της αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητάς τους σε σταθερές συνθήκες λειτουργίας χαρακτηρίζεται ελλιπής. Για το λόγο αυτό προτείνεται εποχιακός δείκτης αποδοτικότητας, σε λειτουργία ψύξης ή θέρμανσης (S(easonal)EER, ή Heating Seasonal Performance Factor, HSPF).

3.2 Σχέση ρόλου του δείκτη αποδοτικότητας και διαφορετικών εκδοχών του

Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι εμφανίζονται πολλές προσεγγίσεις για τον υπολογισμό του δείκτη αποδοτικότητας, συχνά με την ίδια ονομασία ή συμβολισμό, κάθε μια από τις οποίες παρέχει πληροφορία για τις συνδεόμενες με το σύστημα διεργασίες. Σε επίπεδο μετρολογίας, αυτό που έχει σημασία είναι να διατυπωθεί μια σαφής σχέση μεταξύ της κάθε εκδοχής και του ρόλου του δείκτη ή αλλιώς να επιχειρηθεί η, κατά το δυνατότερο, αντικειμενική αποτίμηση της πληροφορίας που παρέχει ο δείκτης.

Ο συντελεστής που παρουσιάζεται στην εξ. (2), δίνει μια αντιπροσωπευτική εικόνα για την συνολική ενέργεια που “ξοδεύεται” για την ικανοποίηση του απαιτούμενου φορτίου κλιματισμού, ανεξάρτητα αν αυτή η ενέργεια είναι συμβατική ή ανανεώσιμη.

Στην περίπτωση λοιπόν ενός θερμικού συστήματος κλιματισμού, και το οποίο εκμεταλλεύεται συμβατική θερμική ενέργεια για τη λειτουργία του, ο συντελεστής αυτός παρέχει πλήρη εικόνα της “τεχνολογικής” αποδοτικότητας του συστήματος και συνεπακόλουθα του “ενεργειακού κόστους” που οφείλει ο χρήστης να καταβάλλει. Θα πρέπει στο σημείο αυτό να σημειωθεί πως με δεδομένο ότι η ενέργεια που καταναλώνεται δεν είναι απαραίτητα μιας μορφής, καθώς στη γενική περίπτωση είναι θερμική και ηλεκτρική, για τον επακριβή προσδιορισμό των ενεργειακών μεγεθών απαιτείται λεπτομερέστερη ανάλυση.

Παράλληλα ο συντελεστής της εξ. (2) μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα κλιματισμού (συμπύεσης ατμών). Βέβαια στην περίπτωση αυτή, τίθεται το ερώτημα σε πιο επίπεδο να γίνει η σύγκριση, καθώς θα πρέπει να συγκριθούν διαφορετικές μορφές, ή και πηγές ενέργειας σημειώνοντας ότι ενέργεια της ίδιας μορφής μπορεί να έχει προέλευση πέραν της μιας πηγής (π.χ. ηλεκτρική από λιγνίτη και φυσικό αέριο). Η συζήτηση για το επίπεδο αναφοράς της σύγκρισης, και η οποία συνδέεται με τον ακριβέστερο προσδιορισμό των εννοιών “ενεργειακού κόστους” και “χρήστη” θα γίνει σε επόμενη ενότητα. Στο πλαίσιο σύγκρισης με ένα συμβατικό σύστημα, αποτελεσματική μπορεί να αποδειχθεί και προσέγγιση του τύπου δύο συντελεστών αποδοτικότητας, θερμικού και ηλεκτρικού (εξ. 3α, 3β).

Κυρίως όμως ο συντελεστής της εξ. (2) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση συστημάτων ηλιακού κλιματισμού μεταξύ τους, ή για να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα τεχνολογικών παρεμβάσεων στο ίδιο σύστημα (π.χ. μεταβολή της αποδοτικότητας λόγω αλλαγής ρυθμίσεων).

Στην περίπτωση ηλιακού θερμικού συστήματος κλιματισμού, σημαντικό ποσοστό της θερμικής ενέργειας που χρειάζεται το σύστημα προέρχεται από την ηλιακή πηγή, με το υπόλοιπο να καλύπτεται από συμβατική πηγή (αν και είναι δυνατό να καλύπτονται πλήρως οι ανάγκες από την ηλιακή ενέργεια). Συνεπώς ο χρήστης δεν επιβαρύνεται καθόλου ενεργειακά ή επιβαρύνεται κατά το τμήμα το οποίο καλύπτεται από συμβατική

πηγή. Η σχετική λοιπόν πληροφορία με την ενέργεια που επιβαρύνει το χρήστη δίνεται από ένα συντελεστή αποδοτικότητας του τύπου:

$$COP_{sol_cool} = \frac{\dot{Q}_{ld}}{\dot{Q}_{conv,th} + P_{el}} \quad (5)$$

όπου $\dot{Q}_{conv,th}$, η συμβατική θερμική ισχύς που χρησιμοποιεί το σύστημα.

Η ηλεκτρική κατανάλωση των συστημάτων αναφέρεται σε καταναλώσεις που έχουν να κάνουν με τον κύκλο της ψύξης αυτό καθαυτό (π.χ. αντλίες εργαζόμενων μέσων), ενώ σε συστήματα κλιματισμού και η λειτουργία των ανεμιστήρων απαιτεί ηλεκτρική ισχύ. Ανάλογα λοιπόν με την περίπτωση, είναι πιθανό η κατανάλωση αυτή να είναι πολύ μικρή έως μηδαμινή, δηλαδή:

$$P_{el} \approx 0 \quad (6\alpha)$$

Εάν δε,

$$\dot{Q}_{conv,th} = 0 \quad (6\beta)$$

τότε σύμφωνα με την εξ. (5), $COP_{sol_cool} \rightarrow \infty$!

Η πληροφορία που μπορεί να δώσει ένας συντελεστής με άπειρη τιμή δεν είναι φυσικά υπολογιστικά αξιοποιήσιμη. Από την άλλη τονίζει αυτό ακριβώς το σημαντικότερο όφελος χρήσης ΑΠΕ, που είναι το μηδενικό συμβατικό ενεργειακό κόστος λειτουργίας, για παράδειγμα στην προοπτική της αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία του. Προφανής βέβαια αδυναμία του δείκτη αυτού είναι το ότι δεν εμπεριέχει την πληροφορία που σχετίζεται με τη δυναμικότητα του θερμικού ηλιακού συστήματος και, κατά συνέπεια, του εύρους των πόρων που απαιτούνται, τόσο στο επίπεδο των απαιτούμενων επενδύσεων όσο και σε αυτό των αναγκαίων χώρων.

Στη λογική της μη εισαγωγής της ενέργειας από ηλιακή πηγή είναι και η πρόταση των Lloyd and Kerr (2008), οι οποίοι στον παρανομαστή της σχέσης (1) εισάγουν τη μη περιβαλλοντικά φιλική βοηθητική για τη λειτουργία του συστήματος ενέργεια (“*non environmental boost energy input*”). Στην περίπτωση που το σύστημα δεν αξιοποιεί ενέργεια από πηγή ΑΠΕ, ο δείκτης COP ταυτίζεται με το βαθμό απόδοσης του συστήματος, ενώ στην περίπτωση που όλη η ενέργεια προέρχεται από ΑΠΕ, ο δείκτης COP παρουσιάζει άπειρη τιμή.

Με δεδομένο ότι σε υπολογιστικό επίπεδο η ύπαρξη άπειρης τιμής για το δείκτη αποδοτικότητας δεν είναι διαχειρίσιμη, οι Lloyd and Kerr (2008) αναφέρουν τη χρήση του δείκτη SF (Solar Fraction). Ο δείκτης αυτός εκφράζει το ποσοστό του φορτίου του συστήματος το οποίο καλύπτεται από την ηλιακή θερμική πηγή. Θεωρείται ο πλέον συνήθης δείκτης για την περιγραφή και χαρακτηρισμό της λειτουργίας των ηλιακών θερμικών συστημάτων (Duffie and Beckmann, 1991). Αντίστοιχα, χρησιμοποιείται και ο δείκτης f_R , ο οποίος εκφράζει το ίδιο μέγεθος ως κλάσμα (Morrison and Tran, 1994).

Η χρήση, στην περίπτωση των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού, συντελεστή αποδοτικότητας σύμφωνα με την εξ. (2), και εφόσον είναι μηδενική ή είναι γνωστή η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, παρέχει έμμεσα πληροφορία και για το μέγεθος του ηλιακού πεδίου που απαιτείται. Η πληροφορία γίνεται πιο ακριβής αν είναι διαθέσιμη πληροφορία του τύπου της εξ. (4α) (COP_{sol}), καθώς η πληροφορία αυτή συνυπολογίζει

και την αποδοτικότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σύμφωνα με τον επιλεγόμενο ηλιακό συλλέκτη.

Την ανάγκη χρήσης πολλαπλών συντελεστών αποδοτικότητας για το χαρακτηρισμό της αποδοτικότητας (και αποτελεσματικότητας) ενός συστήματος κλιματισμού τροφοδοτούμενου από ηλιακή ενέργεια αναδεικνύουν οι Bourdoukan et al (2009), οι οποίοι προτείνουν μια σειρά δεικτών, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Παράλληλα, εισάγουν τη χρήση όχι μόνο μεγεθών ισχύος αλλά και ενέργειας, με στόχο την απόκτηση πληροφορίας η οποία να συνυπολογίζει τη μεταβλητότητα της ηλιακής πηγής.

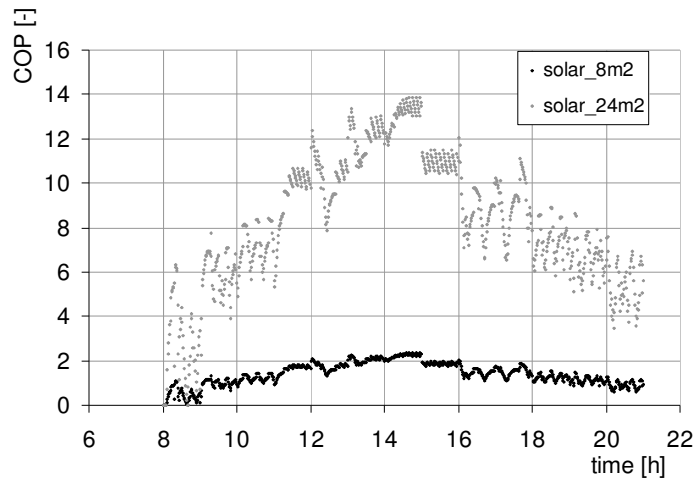
Η παραπάνω συζήτηση κυριαρχείται από τη σχετικότητα που διέπει τις μεθόδους προσδιορισμού της αποδοτικότητας ενός συστήματος. Στο πλαίσιο αυτό θα πρέπει να τονιστεί η σημασία τυποποίησης των αναφερόμενων διαδικασιών, σε επίπεδο ορισμού των δεικτών και των μετρούμενων μεγεθών, των διαδικασιών προσδιορισμού τους (δοκιμή προϊόντος) και πιθανά των μεθοδολογιών αποτίμησης της παρεχόμενης πληροφορίας, ουσιαστικά αναφέροντας μεθοδολογίες σχεδιασμού και αξιολόγησης των συστημάτων ΑΠΕ. Αν και σε επίπεδο συμβατικών συστημάτων, σχετικά πρότυπα προβλέπουν το χαρακτηρισμό των προϊόντων (π.χ. πρότυπα EN/ISO για τις αντλίες θερμότητας), δεν ισχύει το ίδιο και στην περίπτωση των συστημάτων ΑΠΕ. Η ανάγκη είναι σημαντική, συνυπολογίζοντας τις προκύπτουσες από τη φύση της λειτουργίας των συστημάτων ΑΠΕ αβεβαιότητες, αλλά και το γεγονός πως η διείσδυση τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ανταγωνιστικότητα τους με τα συμβατικά συστήματα, και όπως αυτή αξιολογείται στη βάση σχετικών δεικτών.

3.3 Παράδειγμα υπολογισμού δεικτών αποδοτικότητας συστήματος ηλιακού κλιματισμού

Στη βάση της παραπάνω συζήτησης, παρουσιάζεται η περίπτωση ενός συγκεκριμένου συστήματος ηλιακού κλιματισμού, η αποδοτικότητα του οποίου υπολογίζεται με τη βοήθεια κατάλληλου μοντέλου (Πανάρας, 2010; Panaras et al, 2011). Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δεν κρίνεται σκόπιμο να παρατεθούν λεπτομέρειες για το σύστημα αυτό καθώς και το μοντέλο, απλώς σημειώνεται ότι το σύστημα ικανοποιεί τις θερμικές του ανάγκες μέσω δεξαμενής θερμότητας, η οποία τροφοδοτείται από ηλιακό πεδίο, με την ταυτόχρονη παρουσία βοηθητικής πηγής, η οποία ενεργοποιείται όταν η θερμοκρασία αναφοράς του θερμοστάτη πέσει κάτω από τους 75 °C.

Εξετάζονται οι περιπτώσεις σύνδεσης του συστήματος με ηλιακό σύστημα επιφάνειας πεδίου 8 m², το οποίο διασφαλίζει χαμηλή κάλυψη του θερμικού φορτίου από ηλιακή ενέργεια, και σε σύνδεση με ηλιακό σύστημα επιφάνειας πεδίου 24 m² το οποίο διασφαλίζει υψηλή κάλυψη των απαιτήσεων σε θερμική ενέργεια, όπως επιβεβαιώνεται και από τα παρακάτω αποτελέσματα.

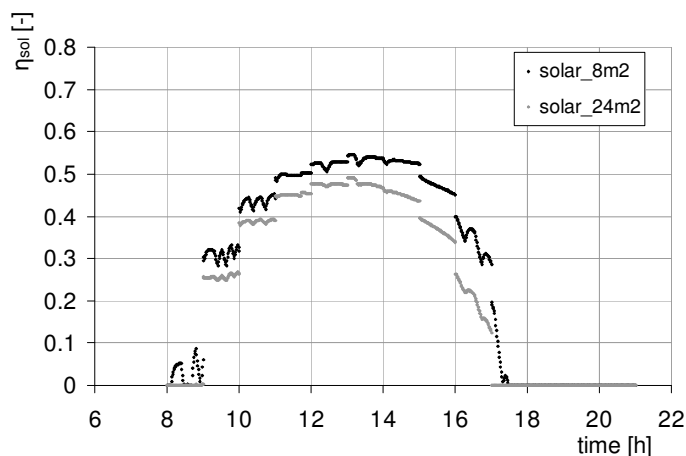
Στη συνέχεια, στο σχ. 4 παρουσιάζεται οι τιμές του συντελεστή απόδοσης COP κατά τη διάρκεια της ημερήσιας λειτουργίας του συστήματος. Για τον υπολογισμό του COP έχει υιοθετηθεί η προσέγγιση της “πλήρους” μορφής (εξ. 5). Δεν έχει συμπεριληφθεί η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν οι ανεμιστήρες προσαγωγής και απαγωγής του αέρα, εφόσον αυτή δε συμπεριλαμβάνεται ούτε στον αντίστοιχο συντελεστή που προτείνεται και στη περίπτωση των συμβατικών αντλιών θερμότητας.



Σχήμα 4 – Συντελεστής αποδοτικότητας κατά την ημερήσια λειτουργία συστήματος θερμικού κλιματισμού, σε σύνδεση με ηλιακό σύστημα

Σύμφωνα με τη λειτουργία της βοηθητικής θερμικής πηγής, αυτή τίθεται σε λειτουργία ανεξάρτητα από τη λειτουργία του συστήματος κλιματισμού. Η ιδιαιτερότητα αυτή θέτει ένα σημαντικό ερώτημα ως προς τον τρόπο εισαγωγής της βοηθητικής ισχύος στο συντελεστή COP, καθώς εμφανίζεται μηδενική εισερχόμενη ισχύς σε περιόδους λειτουργίας του συστήματος (οδηγεί σε απειρισμό του δείκτη), ή σημαντική εισερχόμενη ισχύς σε περιόδους που το σύστημα δε λειτουργεί. Επιλέχθηκε η ενεργειακή συνεισφορά της βοηθητικής πηγής να υπολογίζεται καθ'όλη τη διάρκεια της λειτουργίας και στη συνέχεια να επιμερίζεται ομοιόμορφα ως θερμική ισχύς μέσω της διαίρεσης της συνολικής συμβατικής ενεργειακής ποσότητας με το συνολικό χρόνο λειτουργίας του συστήματος.

Στο σχ. 5 παρουσιάζεται ο δείκτης αποδοτικότητας του ηλιακού συστήματος, ο οποίος υπολογίζεται σύμφωνα με την εξ. (4β).



Σχήμα 5 – Δείκτης αποδοτικότητας ηλιακού συστήματος σε σύνδεση με σύστημα θερμικού κλιματισμού

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται δείκτες αποδοτικότητας στη βάση των ενεργειακών μεγεθών από την ημερήσια λειτουργία και όχι της στιγμιαίας ισχύος.

Πίνακας 1 –Ενεργειακή αποδοτικότητα κατά την ημερήσια λειτουργία συστήματος θερμικού κλιματισμού, σε σύνδεση ή όχι με ηλιακό σύστημα

	Σύστημα θερμικού κλιματισμού σε σύνδεση με συμβατική πηγή	Σύστημα θερμικού κλιματισμού σε σύνδεση με ηλιακό πεδίο: 8 m ²	Σύστημα θερμικού κλιματισμού σε σύνδεση με ηλιακό πεδίο: 24 m ²
SEER	0.75	1.4	8
η_{sol}	-	0.36	0.3
SF	-	0.38	0.96

Παρουσιάζεται ο δείκτης SEER, ο οποίος είναι αντίστοιχος του δείκτη της εξ. 5. Έχει συμπεριληφθεί σύστημα αποκλειστικής χρήσης συμβατικής θερμικής πηγής, για λόγους δυνατότητας σύγκρισης.

Επίσης παρουσιάζεται ο δείκτης η_{sol} , όπως υπολογίζεται στην εξ. 4β, για την αποδοτικότητα του ηλιακού συστήματος.

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν και στη βιβλιογραφία, παρουσιάζεται δείκτης SF, ο οποίος παρέχει πληροφορία για την ικανότητα του ηλιακού πεδίου να ικανοποιήσει τις θερμικές απαιτήσεις του συστήματος. Ο δείκτης ορίζεται ως εξής:

$$SF = \frac{E_{solar}}{E_{th}} \quad (7)$$

όπου:

- E_{solar} η ενέργεια που προσδίδει το ηλιακό σύστημα
- E_{th} η θερμική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος

Κατά τον υπολογισμό των δεικτών SEER και SF, υπολογίζεται η προσδιδόμενη στο σύστημα συμβατική ή ηλιακή θερμική ενέργεια, η οποία θεωρείται ότι χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών του. Με δεδομένο ότι η κάλυψη των αναγκών του συστήματος κλιματισμού γίνεται μέσω της θερμικής δεξαμενής, η υπόθεση αυτή δεν είναι εντελώς αληθής. Θα πρέπει να συγκριθεί το αρχικό και τελικό επίπεδο ενέργειας της δεξαμενής και να προσμετρηθεί το ποσό αυτό ενέργειας (θετικό ή αρνητικό) στους υπολογισμούς, ώστε ο ισολογισμός ενέργειας να είναι πλήρης. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η περίπτωση $SF > 1$, ως συνέπεια της θέρμανσης της δεξαμενής σε υψηλότερο θερμοκρασιακό επίπεδο του αρχικού, ή η απαίτηση λειτουργίας της συμβατικής πηγής ενώ $SF > 1$, ως αποτέλεσμα της συνεργασίας του θερμοστάτη με τη διαστρωματωμένη δεξαμενή.

Σε κάθε περίπτωση, η παραπάνω ανάλυση δε φιλοδοξεί να διατυπώσει συμπεράσματα σε επίπεδο αξιολόγησης της λειτουργίας ή σχεδιασμού του εν λόγω συστήματος, μια τέτοια εργασία απαιτεί τη συστηματική διερεύνηση της επίδρασης πλήθους παραμέτρων. Αντίθετα, στόχο της παρούσας ανάλυσης αποτελεί η παρουσίαση των δυνατοτήτων που παρέχει ο υπολογισμός δεικτών αποδοτικότητας για την λειτουργία ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού, καθώς και τη σημασία που έχει για την αποτίμηση της

πληροφορίας αυτής ο επακριβής ορισμός των δεικτών, με δεδομένη την παρουσία πλήθους παραγόντων που αυξάνουν την αβεβαιότητα στον ορισμό τους.

4. Συζήτηση - Συμπεράσματα

Οι ενεργειακές ροές και η αξιολόγηση των ενεργειακών επιδόσεων των πάσης φύσεως διατάξεων και διεργασιών, επιβάλλει τη χρήση κοινά αποδεκτών, τεχνολογικά ορθών και εννοιολογικά κατάλληλων δεικτών μέτρησης. Ένας από τους βασικούς στόχους στη διατύπωση και αξιολόγηση των δεικτών αποδοτικότητας για τεχνολογίες ΑΠΕ είναι η σύγκριση τους με τις ισοδύναμες ως προς το λειτουργικό αποτέλεσμα συμβατικές τεχνολογίες. Μια τέτοια σύγκριση θα πρέπει να εισάγει στην συζήτηση το σημαντικό πλεονέκτημα των ΑΠΕ που είναι η εξοικονόμηση συμβατικής ενέργειας, με πολλαπλά οφέλη, τόσο σε επίπεδο λειτουργικού κόστους, όσο και σε επίπεδο αξιοποίησης μη ρυπογόνων προς το περιβάλλον, ανανεώσιμων μορφών ενέργειας. Από την άλλη, δεν θα πρέπει να παραβλέψει κάποιος τις απαιτήσεις σε εγκατεστημένη ισχύ, οι οποίες μεταφράζονται σε αρχικό κόστος αλλά και δέσμευση χώρου (διαθέσιμη επιφάνεια).

Παράλληλα, ερωτήματα τίθενται σχετικά με τη σύγκριση αυτή καθαυτή, και το επίπεδο αναφοράς στο οποίο μπορούν να διατυπωθούν κρίσεις για διαφορετικές μορφές ενέργειας οι οποίες παρουσιάζουν διαφορετικά οφέλη και επιπτώσεις, πολλά από τα οποία (όπως τα περιβαλλοντικά) δεν προσμετρούνται στο συμβατικά αποδεκτό επίπεδο λήψης αποφάσεων.

Ένας δείκτης αποδοτικότητας παρέχει πληροφορία για την ικανότητα διαφορετικών τεχνολογιών, οι οποίες χρησιμοποιούν διαφορετικές μορφές ενέργειας. Είναι προφανές πως η σύγκριση τους θα πρέπει να γίνει στη βάση ενός κοινά αναγόμενου μεγέθους. Το μέγεθος αυτό θα μπορούσε να είναι η πρωτογενής απαιτούμενη ενέργεια. Σε μια τέτοια προσέγγιση θα βοηθούσε η χρήση ενός συντελεστή της μορφής της εξ.(4α), δηλαδή συντελεστή όπως ο COP_{sol} για ηλιακά συστήματα, ενώ στην περίπτωση συμβατικής ενέργειας θα μπορούσαν να οριστούν αντίστοιχοι συντελεστές (π.χ. COP_{oil}), οι οποίοι να συνυπολογίζουν την αποδοτικότητα μετατροπής του συμβατικού καυσίμου σε ωφέλιμη θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια. Μια τέτοια ανάλυση μπορεί να δώσει χρήσιμα συμπεράσματα για την αποδοτικότητα της διαχείρισης των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων, και σε τελική ανάλυση για την πιθανή κατασπατάληση τους.

Ποιο όμως μπορεί να είναι το κριτήριο της σύγκρισης μεταξύ x MWh πετρελαίου vs y MWh λιγνίτη και z MWh ήλιου? Θα μπορούσε ίσως στην περίπτωση αυτή να τεθούν κάποια κριτήρια, όπως το κόστος από τη χρήση αυτών των μορφών ενέργειας, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ή συνδυασμός αυτών με κάποιο συντελεστή βαρύτητας. Η τελική απόφαση δηλαδή δεν θα ληφθεί στο επίπεδο του μεγέθους της πρωτογενούς ενέργειας, αλλά σε κάποιο άλλο ισοδύναμο μέγεθος. Παράλληλα, η σύγκριση στο επίπεδο της πρωτογενούς ενέργειας μπορεί να είναι χρήσιμη σε επίπεδο εθνικής ή παγκόσμιας οικονομίας, η πρωτογενής ενέργεια δεν είναι όμως ένα μέγεθος που αφορά τον κοινό χρήστη - ιδιώτη, διότι δεν είναι συνδεδεμένο με επιπτώσεις ή οφέλη τα οποία αφορούν άμεσα το χρήστη.

Η διατύπωση του κόστους/οφέλους σε χρηματικές μονάδες μπορεί να προσφέρει ένα κοινό μέγεθος αναφοράς, υπό την έννοια ότι αφενός η αξία σε χρηματικές μονάδες αποτελεί το κυρίαρχο κριτήριο στη λήψη αποφάσεων στο σύγχρονο κοινωνικοοικονομικό περιβάλλον, ενώ δίνει τη δυνατότητα αναγωγής διαφορετικών μεγεθών σε ένα ισοδύναμο. Παράλληλα επιτρέπει την ανάλυση λήψης απόφασης υπό το πρίσμα διαφορετικών

οπτικών γωνιών, δυνατότητα η οποία συνάδει με το πολυδιάστατο θέμα των ΑΠΕ, και τις πολιτικές, οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές πτυχές του.

Η αποτίμηση της πληροφορίας που παρέχει ο δείκτης αποδοτικότητας μια τεχνολογίας, σε χρηματικές μονάδες κόστους/οφέλους, μπορεί να δανειστεί στοιχεία από την ανάλυση κόστους οφέλους για την αξιολόγηση επενδύσεων, και όπως αυτή εφαρμόζεται στην περίπτωση επενδύσεων τεχνολογιών ΑΠΕ (Diakoulaki et al, 2001). Στο επιστημονικό πεδίο της περιβαλλοντικής οικονομίας, η οποία επικεντρώνεται στην αποτελεσματικότερη και όσο το δυνατόν αντικειμενικότερη αποτίμηση των οφελών και επιπτώσεων από την υιοθέτηση μια τεχνολογικής παρέμβασης, διατυπώνονται τρεις διαφορετικές οπτικές γωνίες ως προς την αξιολόγηση της σκοπιμότητας μιας παρέμβασης: ιδιωτική (financial), οικονομική (economical) και κοινωνική (social) (Diakoulaki et al, 2001).

Σύμφωνα με όσα έχουν διατυπωθεί, η αξιολόγηση της αποδοτικότητας τεχνολογιών ΑΠΕ και η σύγκριση τους με συμβατικές τεχνολογίες αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα, το οποίο παρουσιάζει αντικειμενικές δυσκολίες ως προς την επιλογή και προσδιορισμό των κατάλληλων δεικτών, και υποκειμενικές ως προς την αξιολόγηση των οφελών και επιπτώσεων από μια τέτοια παρέμβαση. Ο πολυδιάστατος χαρακτήρας της παρέμβασης που συνεπάγεται η επιλογή και χρήση ενός συστήματος ΑΠΕ, θα μπορούσε να οδηγήσει στην πρόταση χρήσης παράλληλων δεικτών αποδοτικότητας με διαφορετική λειτουργία και σκοπιμότητα. Σε μια τέτοια προσέγγιση, βασική προϋπόθεση αποτελεί η μέγιστη δυνατή σαφήνεια στον ορισμό των δεικτών και η αυστηρή τους τυποποίηση, όπως άλλωστε συμβαίνει σε όλες τις περιπτώσεις που η ανάγκη ποσοτικού προσδιορισμού ενός μεγέθους επιβάλλει τη χρήση κοινά αποδεκτών μονάδων μέτρησής του.

Σύμβολα

A_c	Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη/πεδίου	[m ²]
COP	Coefficient of Performance - Δείκτης ενεργειακής αποδοτικότητας αντλίας θερμότητας (λειτουργία θέρμανσης)	[-]
EER	Energy Efficiency Ratio - Δείκτης ενεργειακής αποδοτικότητας αντλίας θερμότητας (λειτουργία ψύξης)	[-]
G_T	Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη	[W/m ²]
HSPF	Heating Seasonal Performance Factor – Εποχιακός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Αντλίας θερμότητας (λειτουργία θέρμανσης)	[-]
P_{el}	Ηλεκτρική ισχύς	[W]
\dot{Q}	Θερμική ισχύς	[W]
$SEER$	Seasonal Energy Efficiency Ratio – Εποχιακός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Αντλίας θερμότητας (λειτουργία ψύξης)	[-]
SF	Δείκτης κάλυψης ενεργειακού φορτίου από ηλιακό πεδίο	[-]
η_{sol}	Βαθμός απόδοσης ηλιακού συλλέκτη/πεδίου	[-]
<i>Δείκτες</i>		
conv	Συμβατική ισχύς /ενέργεια	
conv,th	Συμβατική θερμική ισχύς /ενέργεια	
cold	Απαγόμενη θερμότητα από ψυχρή πηγή	
el	Δείκτης αποδοτικότητας ως προς τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας	

heat	Προσδιδόμενη θερμότητα από θερμή πηγή
ld	Φορτίο που ικανοποιεί το σύστημα
rej	Απορριπτόμενη ισχύς/ενέργεια από το σύστημα
res	Ενέργεια/ισχύς από ανανεώσιμη πηγή
sol	Δείκτης αποδοτικότητας ως προς τη χρήση ηλιακής ενέργειας ή Ενέργεια/ισχύς που αποδίδει το ηλιακό σύστημα
sol_cool	Δείκτης αποδοτικότητας συστήματος ηλιακού κλιματισμού
th	Δείκτης αποδοτικότητας ως προς τη χρήση θερμικής ενέργειας ή θερμική ισχύς
th_cool	Δείκτης αποδοτικότητας συστήματος κλιματισμού το οποίο αξιοποιεί θερμική ενέργεια για τη λειτουργία του

Βιβλιογραφία

- Balaras C.A., Grossman G., Henning H.-M., Infante Ferreira C.A., Podesser E., Wang L., Wiemken E., “*Solar air-conditioning in Europe - An overview*”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 11, p.p.299-314, 2007
- Balaras C.A., Henning H.-M., Wiemken E., Grossman G., Podesser E., Ferreira C.I., “*Solar Cooling, An overview of European Applications & Design Guidelines*”, ASHRAE Journal, June 2006, p.p.14-21
- Deng J., Wang R.Z., Han G.Y., “*A review of thermally activated cooling technologies for combined cooling, heating and power systems*”, Progress in Energy and Combustion Science 37, p.p.172-203, 2011
- Bourdoukan P., Wurtz E., Joubert P., “*Experimental investigation of a solar desiccant cooling installation*”, Solar Energy 83, p.p.2059–2073, 2009
- Diakoulaki D., Zervos A., Sarafidis J., Mirasgedis S., “*Cost benefit analysis for solar water heating systems*”, Energy Conversion and Management 42, p.p.1727-1739, 2001
- Duffie J.A., Beckmann W.A., “*Solar Engineering of Thermal Processes (3rd edition)*”. Wiley-Interscience, 2006, New York
- Eurovent-certification. <http://www.eurovent-certification.com>
- Gupta Y., Metchop L., Frantzis A., Phelan P.E., “*Comparative analysis of thermally activated, environmentally friendly cooling systems*”, Energy Conversion and Management 49, p.p.1091-1097, 2008.
- Henning, H.-M., “*Solar assisted air conditioning of buildings - An overview*”, Applied Thermal Engineering 27, p.p.1734-1749, 2007
- Henning, H.-M., Pagano, T., Mola S., Wiemken E.. “*Micro tri-generation system for indoor air conditioning in the Mediterranean climate*”, Applied Thermal Engineering 27, p.p.2188-2194, 2007
- ISO 5151-1994, “*Non-ducted air conditioners and heat pumps - Testing and rating for performance*”
- Kim D.S., Infante Ferreira C.A., “*Solar refrigeration options - A state-of-the-art review*”, International Journal of Refrigeration 32, p.p.566-576, 2008
- Lloyd C.R., Kerr A.S.D., “*Performance of commercially available solar and heat pump water heaters*”, Energy Policy 36, p.p.3807-3813, 2008
- Morrison G.L., Anderson T., Behnia M., “*Seasonal performance rating of heat pump water heaters*”, Solar Energy 76, p.p.147–152, 2004
- Panaras G., Mathioulakis E., Belessiotis V., “*Proposal of a control strategy for desiccant air-conditioning systems*”, Energy 36(9), p.p.5666-5766, 2011

Πανάρας Γ., “*Θεωρητική και πειραματική διερεύνηση συστήματος ηλιακού κλιματισμού με στερεά αφυγραντικά μέσα*”, Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ, 2010

Πανάρας Γ., Μαθιουλάκης Ε., Μπελεσιώτης Β., “*Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια με τη χρήση τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού – Προβλήματα και προοπτικές*”, 1^ο Εθνικό Συνέδριο Αρχιτεκτονική, Ενέργεια και Περιβάλλον στα Κτίρια και στις Πόλεις, ΚΑΠΕ, 2011, Αθήνα

Wang R.Z., Ge T.S., Chen C.J., Ma Q., Xiong Z.Q., “*Solar sorption cooling systems for residential applications: Options and guidelines*”, International Journal of Refrigeration 32, p.p.638-660, 2009

Ziegler F., “*Sorption heat pumping technologies: Comparisons and challenges*”, International Journal of Refrigeration 32, p.p.566-576, 2009