



Α ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ / ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ-ΙΣΧΥΟΣ / ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ



A.1 Η έννοια της ενέργειας

Η **ενέργεια** είναι ο παράγοντας που (κατά τη Φυσική) ενοποιεί διαφορετικά (σε πρώτη όψη) μεταξύ τους φαινόμενα, όπως η φόρτιση ενός συσσωρευτή, η καύση των ξύλων, η λειτουργία ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης, η προώθηση των αυτοκινήτων, η λειτουργία ενός υδρόμυλου ή ανεμόμυλου κ.λπ. Όλες αυτές οι διαδικασίες μπορούν να περιγραφούν ως μετατροπές της ενέργειας σε διάφορες μορφές (κινητική, χημική, δυναμική, ηλεκτρική κ.λπ.).

Η έννοια της ενέργειας στη Φυσική είναι *πρωταρχική* και για αυτό δεν μπορεί να οριστεί χρησιμοποιώντας άλλες έννοιες. Ωστόσο ένας ορισμός που συχνά χρησιμοποιείται σε εκπαιδευτικά βιβλία είναι ο ακόλουθος: «Ένα σώμα περιέχει μια μορφή ενέργειας όταν υπό ορισμένες προϋποθέσεις μπορεί να παράγει έργο»¹. Αυτός ο ορισμός υπονοεί ότι η ενέργεια είναι κάτι που, όταν ένα σώμα το έχει, μπορεί, τελικά, να θέσει σε κίνηση το ίδιο ή άλλο σώμα ή γενικότερα να προκαλέσει μια *εξωτερική* δράση. Ανεξάρτητα από το αν ο προηγούμενος ορισμός βοηθά στην κατανόηση της έννοιας ενέργεια, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η ενέργεια είναι μια *φυσική ποσότητα* που έχει δύο βασικές ιδιότητες:

1. **Μετατρέπεται** από μια μορφή σε άλλη *χωρίς να καταστρέφεται* (δηλαδή το συνολικό ποσό της κατά τις διάφορες μετατροπές παραμένει σταθερό (διατηρείται)).

¹ Στις πρακτικές ενεργειακές συσκευές η παραγωγή έργου γίνεται ορατή όταν έχουμε την εμφάνιση δύναμης, θερμότητας ή φωτός. Υπενθυμίζεται ότι (στη Φυσική) μια δύναμη F παράγει έργο W όταν μετακινεί ένα σώμα κατά μετατόπιση Δx παράλληλα με το σημείο εφαρμογής της ($W = F \cdot \Delta x$).



2. Κατά τις διάφορες μετατροπές μέρος της μετατρέπεται σε θερμότητα (ή θερμική ενέργεια²) που είναι η πιο υποβαθμισμένη μορφή ενέργειας, συνεπώς δεν μπορεί ποτέ να υπάρξει 100% μετατροπή μιας μορφής ενέργειας σε μια άλλη, καθώς πάντα ένα μέρος της θα χάνεται υπό τη μορφή της θερμότητας.

Οι παραπάνω δύο βασικές ιδιότητες εκφράζουν ουσιαστικά τους δύο βασικούς νόμους (1^ο και 2^ο) που διέπουν τη θερμοδυναμική και αποτελούν νόμους της φύσης (όπως τους αντιλαμβάνεται η επιστήμη της Φυσικής).

A.2 Μορφές ενέργειας

Η έννοια *ενέργεια* χρησιμοποιείται ως ενοποιητικός παράγοντας στην περιγραφή διαφόρων φυσικών φαινομένων αλλά και τεχνολογικών εφαρμογών. Στο γνωστό χώρο των ΑΠΕ, καθώς και στη σχετική βιβλιογραφία εμφανίζονται αναφορές για πάρα πολλές μορφές ενέργειας. Εδώ θα αναφερθούν περιληπτικά ορισμένα βασικά στοιχεία για ορισμένες απ' αυτές τις μορφές ενέργειας (όπως αναφέρονται στα βιβλία κυρίως της Φυσικής), καθώς και το είδος ή η τεχνολογία των ΑΠΕ που εμφανίζονται. Σκοπός μας είναι να γίνουν όσο το δυνατόν πιο διακριτές αυτές οι έννοιες και να περιοριστούν φαινόμενα ελλιπούς κατανόησης λόγω σύγχυσης μεταξύ των διαφορετικών εννοιών.

A.2.1 Ηλιακή ενέργεια [Solar Energy]

Είναι η ενέργεια που προέρχεται από τον Ήλιο. Ουσιαστικά είναι ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που *εμπεριέχει* ένα φάσμα από διαφορετικά μήκη κύματος λ (ή συχνότητες f [frequencies]). Διακρίνεται στο *ορατό* φάσμα [visible spectrum], που γίνεται αντιληπτό από το ανθρώπινο μάτι και είναι το μικρότερο τμήμα της (με μήκη κύματος μεταξύ των ~400 nm και ~700 nm), και το *αόρατο* τμήμα της [invisible spectrum], που περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τις υπέρυθρες και υπεριώδεις ακτινοβολίες. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια (ή ακτινοβολία) εκπέμπεται και διαδίδεται ασυνεχώς υπό τη μορφή στοιχειωδών ποσοτήτων ενέργειας που ονομάζονται *κβάντα* [quantum] και το καθένα περιέχει ενέργεια ανάλογη της συχνότητας:

$$\text{ενέργεια κάθε κβάντα } E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

² Οι έννοιες της θερμικής ενέργειας (thermal energy) και της θερμότητας (heat) δεν είναι ταυτόσημες στη Φυσική (η θερμική είναι ενέργεια που «περιέχει» ένα σώμα, ενώ η θερμότητα είναι ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας), αλλά στα πλαίσια του βιβλίου χρησιμοποιούνται χωρίς διάκριση όπου δε μεταβάλλουν την ουσία του κειμένου.

όπου:

E : η ενέργεια μετρημένη σε J (SI)³

h : η σταθερά του Planck = $6,63 \cdot 10^{-34}$ J sec (SI)

f : η συχνότητα της ακτινοβολίας μετρημένη σε Hz (SI)⁴

c : η ταχύτητα του φωτός = $3 \cdot 10^8$ m/sec (SI)

λ : το μήκος κύματος μετρημένο σε m (ή nm = 10^{-9} m ή $\mu\text{m} = 10^{-6}$ m)

Η ηλιακή ενέργεια είναι ουσιαστικά η πηγή των περισσότερων ειδών ΑΠΕ (ηλιοθερμική, φωτοβολταϊκή, βιομάζα, αιολική, υδροηλεκτρική, θαλάσσιων κυμάτων κ.λπ.).

A.2.2 Κινητική ενέργεια [Kinetic Energy]

Κινητική ενέργεια μεταφοράς έχει ένα σώμα όταν κινείται (π.χ., μια μάζα αέρα ή νερού που κινείται με ταχύτητα v). Η σχέση που δίνει την κινητική ενέργεια είναι:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

όπου

E_k ή K : η κινητική ενέργεια σε J (SI)

m : η μάζα του σώματος σε kg (SI)

v : η ταχύτητα του σώματος σε m/s (SI)

Επίσης κινητική ενέργεια έχει ένα σώμα όταν περιστρέφεται. Τότε η κινητική του ενέργεια συνδέεται με τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής. Η σχέση είναι:

$$E_{k(\text{περ})} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

όπου

$E_{k(\text{περ})}$: η κινητική ενέργεια λόγω περιστροφής

I : η ροπή αδράνειας του σώματος

ω : η γωνιακή ταχύτητα του σώματος

Η κινητική ενέργεια ενός σώματος εμφανίζεται κυρίως στην αιολική ενέργεια [wind energy], στην υδροηλεκτρική ενέργεια [hydro electrical energy], στην ενέρ-

³ Πιο συχνά η ενέργεια των κβάντα εκφράζεται σε μια άλλη μονάδα ενέργειας που ονομάζεται ηλεκτρονιοβόλτ (eV) ή στα πολλαπλάσιά της KeV, MeV. Η σχέση μετατροπής είναι $1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

⁴ SI (Système Internationale) Διεθνές Σύστημα Μονάδων.

⁵ Η κινητική ενέργεια στην αγγλική βιβλιογραφία συμβολίζεται με K [Kinetic energy], ενώ στην ελληνική πολλές φορές με E_k (Ενέργεια κινητική).

για των θαλάσσιων κυμάτων [wave energy] και στην ενέργεια της παλίρροιας [tidal energy].

A.2.3 Βαρυτική δυναμική ενέργεια [Potential energy]

Δυναμική είναι η ενέργεια που «περιέχει» ένα σώμα εξαιτίας της θέσης του ή της κατάστασής του (π.χ., μια μάζα νερού σε ένα ύψος h). Συνήθως η βαρυτική δυναμική ενέργεια (η δυναμική ενέργεια που έχει το σώμα λόγω θέσης) ενός σώματος μετατρέπεται πολύ εύκολα σε κινητική ενέργεια (π.χ., η βαρυτική δυναμική ενέργεια μιας μάζας νερού που πέφτει από ύψος h μετατρέπεται στη βάση της υδατόπτωσης σε κινητική ενέργεια της ίδιας μάζας νερού). Η σχέση που δίνει τη βαρυτική δυναμική ενέργεια είναι:

$$E_{\delta} = mgh^6$$

όπου

E_{δ} : η βαρυτική δυναμική ενέργεια σε J (SI)

m : η μάζα του σώματος σε kg (SI)

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας σε m/s^2 (SI)

h : το ύψος σε m (SI)

Η βαρυτική δυναμική ενέργεια εμφανίζεται συνήθως στην υδροηλεκτρική ενέργεια [hydro electrical energy].

A.2.4 Μηχανική ενέργεια [Mechanical Energy]

Το άθροισμα της κινητικής και δυναμικής ενέργειας ονομάζεται μηχανική ενέργεια.

A.2.5 Ηλεκτρική ενέργεια [Electrical energy]

Είναι η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι υψηλής ποιότητας ενέργεια και μπορεί να μετατραπεί σε θερμική, φωτεινή, κινητική κ.λπ. Η σχέση που δίνει την ηλεκτρική ενέργεια είναι

$$E_{\eta\lambda} = VIt$$

⁶ E_{δ} είναι ο ελληνικός συμβολισμός για τη δυναμική ενέργεια (ο αντίστοιχος αγγλικός είναι U). Επίσης το γινόμενο mg είναι το βάρος του σώματος που συμβολίζεται με B στα ελληνικά και w [weight] στα αγγλικά.

όπου

$E_{\eta\lambda}$: η ηλεκτρική ενέργεια σε J (SI)

V : η τάση ή διαφορά δυναμικού σε V (SI)

I : η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος σε A (SI)

t : ο χρόνος ή το χρονικό διάστημα (Δt) σε sec (SI)

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι η τελική μορφή ενέργειας που συνήθως χρειάζεται να «αντληθεί» από τις ΑΠΕ.

A.2.6 Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια [Electromagnetic Energy]

Συχνά χρησιμοποιείται ο όρος *ηλεκτρομαγνητική ενέργεια* όταν γίνεται αναφορά στην ενέργεια που προέρχεται από τον Ήλιο. Όμως η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια δεν περιορίζεται μόνο στην ηλιακή ενέργεια αλλά εκτείνεται σε ένα ευρύτερο φάσμα που περιλαμβάνει τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, την ακτινοβολία Χ, την ακτινοβολία γ κ.λπ.

Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια (ως ηλιακή ενέργεια γενικά αλλά και ως υπέρυθρη, ορατή ή υπεριώδη) εμφανίζεται κυρίως στα φωτοβολταϊκά συστήματα αλλά και στα θερμικά ηλιακά συστήματα.

A.2.7 Φωτεινή ενέργεια [Light Energy]

Είναι το τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που είναι ορατό στον άνθρωπο και μπορεί να είναι είτε ηλιακή ενέργεια είτε ενέργεια που εκπέμπεται από λαμπτήρες ή άλλα φωτεινά αντικείμενα. Η φωτεινή ενέργεια εμφανίζεται στα φωτοβολταϊκά συστήματα αλλά και στα θερμικά ηλιακά συστήματα.

A.2.8 Χημική ενέργεια [Chemical Energy]

Είναι η ενέργεια που είναι «αποθηκευμένη» στους χημικούς δεσμούς μεταξύ των ατόμων στις διάφορες χημικές ενώσεις. Στα στερεά καύσιμα (όπως το πετρέλαιο ή το στερεό άνθρακα) αλλά και στη βιομάζα η ενέργεια που αξιοποιείται είναι η χημική ενέργεια που μετατρέπεται σε θερμότητα με την καύση και στη συνέχεια (ανάλογα με την περίπτωση) σε άλλης μορφής ενέργεια, όπως, π.χ. ηλεκτρική, κινητική κ.λπ.

Η χημική ενέργεια εμφανίζεται, κυρίως, στη βιομάζα.

A.2.9 Θερμική ενέργεια [Thermal Energy] – Θερμότητα [Heat]

Θερμική ενέργεια είναι η ενέργεια που περιέχει ένα σώμα εξαιτίας της εσωτερικής κίνησης των δομικών στοιχείων του (δηλαδή των ατόμων και των μορίων του).

Ένας μετρήσιμος παράγοντας που καθορίζει το μέγεθος της θερμικής ενέργειας ενός σώματος είναι η θερμοκρασία του. Συχνά συγχέεται η θερμική ενέργεια με τη θερμότητα, η οποία είναι ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο όταν μεταξύ τους υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας. Στο παρόν βιβλίο δε γίνεται αυστηρή διάκριση μεταξύ θερμικής ενέργειας και θερμότητας, καθώς και στις δύο περιπτώσεις γίνεται αναφορά σε ενέργεια που συνδέεται με τη θερμοκρασία.

Η ενέργεια που μεταφέρεται στα ηλιακά θερμικά συστήματα (π.χ., ηλιακοί συλλέκτες), καθώς και στη γεωθερμία είναι θερμότητα, ενώ η θερμότητα εμφανίζεται και στην καύση της βιομάζας. Επίσης, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, κατά τη μετατροπή μιας μορφής ενέργειας σε μια άλλη ένα μέρος της ενέργειας που μετατρέπεται καταλήγει τελικά σε θερμότητα που μεταφέρεται στο περιβάλλον (Σύμφωνα με το 2^ο θερμοδυναμικό νόμο η θερμότητα εμφανίζεται σε οποιαδήποτε μετατροπή ενέργειας).

ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ [NUCLEAR ENERGY]

Είναι η ενέργεια που είναι «αποθηκευμένη» στο εσωτερικό των πυρήνων των ατόμων και μπορεί να απελευθερωθεί κατά τη διάσπαση των πυρήνων (αφορά κυρίως τους πυρήνες κάποιων ισοτόπων του ουρανίου και του πλουτωνίου). Μερικές φορές στη βιβλιογραφία η πυρηνική ενέργεια παρουσιάζεται ως εναλλακτική πηγή ενέργειας (όχι όμως ανανεώσιμη) απέναντι στα στερεά καύσιμα [fossil fuels] υπερτονίζοντας τη μειωμένη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου [greenhouse gases] (σε σχέση με τα στερεά καύσιμα) που εκπέμπονται από τα πυρηνικά εργοστάσια παραγωγής και υποβαθμίζοντας τους τεράστιους περιβαλλοντικούς κινδύνους που εμπεριέχει η λειτουργία τους (ιδιαίτερα όσον αφορά τη διαχείριση των ραδιενεργών αποβλήτων αλλά και τις περιπτώσεις πυρηνικού ατυχήματος – Τσερνόμπιλ, Φουκουσίμα κ.λπ.)⁷. Σε κάθε περίπτωση (και ανεξάρτητα από την πολιτική κάθε χώρας για την ένταξή της στο ενεργειακό της μείγμα) η πυρηνική ενέργεια δεν ανήκει στις ΑΠΕ.

⁷ Προφανώς αυτή η εκτίμηση δεν μπορεί να συγκαλύπτει το γεγονός ότι σε πολλές χώρες η πυρηνική ενέργεια αποτελεί βασικό συστατικό του ενεργειακού μείγματός τους (π.χ., στη Γαλλία είναι πάνω από 70%) και γίνεται συζήτηση (π.χ., στη Μ. Βρετανία) για παραπέρα επέκτασή της ως εναλλακτική απέναντι στα στερεά καύσιμα. Αντίθετα η Γερμανία μετά το πυρηνικό ατύχημα της Φουκουσίμα (2011) προγραμματίζει το κλείσιμο πολλών πυρηνικών εργοστασίων μέχρι το 2020 και κινείται στην κατεύθυνση της ενεργειακής αλλαγής [Energiewende], δηλαδή στη μετατροπή του ενεργειακού της μείγματος σε όφελος των ΑΠΕ, έτσι ώστε μέχρι το 2020 το ποσοστό ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ να φτάσει το 35% (από 22% που ήταν το 2012) και η μείωση των αερίων θερμοκηπίου (σε σχέση με το 1990 που ορίζει το πρωτόκολλο του Κιότο) να φτάσει το 40% το 2020 και το 80% το 2050.

Α.3 Διάκριση μεταξύ ενέργειας [energy] και ισχύος [power]

Συχνά στη βιβλιογραφία υπάρχει σύγχυση μεταξύ των εννοιών *ενέργεια* και *ισχύς*, καθώς και μια τάση χρησιμοποίησης των όρων εναλλάξ ακόμα και στην ίδια πρόταση χωρίς να γίνεται διάκριση μεταξύ τους (αυτό γίνεται πολλές φορές στον προφορικό λόγο για συντομία ή από απροσεξία ή ακόμα και γιατί η διάκριση μεταξύ τους είναι δευτερεύουσα σε σχέση με αυτό που χρειάζεται να επισημανθεί). Ανεξάρτητα από το αν μερικές φορές (στον προφορικό λόγο) δεν έχει σημασία η αδιάκριτη χρησιμοποίηση των δύο εννοιών, στο γραπτό λόγο είναι απαραίτητο να γίνεται αυστηρή διάκριση.

Η ισχύς διαφέρει από την ενέργεια καθώς είναι ο *ρυθμός* παραγωγής (ή κατανάλωσης) της ενέργειας ή διαφορετικά το ποσό της ενέργειας που παράγεται (ή καταναλώνεται) σε δεδομένο χρονικό διάστημα. Παρ' όλο που στον ορισμό της ισχύος υπάρχει η μεταβλητή του χρόνου, το αποτέλεσμα του πηλίκου (δηλαδή η ισχύς) είναι *ανεξάρτητο του χρόνου*.

Στη Φυσική η ισχύς [power] ορίζεται ως το πηλίκο της ενέργειας ΔE^8 που παράγεται (ή καταναλώνεται) σε χρονικό διάστημα Δt προς αυτό το χρονικό διάστημα Δt :

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

P: Ισχύς μετρημένη σε W (Watt) (SI)

ΔE : Ενέργεια που παράγεται (ή «καταναλώνεται») σε χρονικό διάστημα Δt μετρημένη σε J (SI)

Δt : Χρονικό διάστημα μετρημένο σε sec (SI)

Δηλαδή $1 \text{ W} = 1 \text{ J/sec}$

Απ' το παρακάτω παράδειγμα της καθημερινής ζωής μπορεί να γίνει κατανοητή η διαφορά μεταξύ ενέργειας και ισχύος.

⁸ Ο συμβολισμός ΔE για την ενέργεια σημαίνει μεταβολή της ενέργειας στο χρονικό διάστημα Δt . Γενικά στη Φυσική το γράμμα δέλτα (Δ) μπροστά από κάποιο σύμβολο φυσικού μεγέθους (π.χ., t , E , a κ.λπ.) χρησιμοποιείται για να δηλώσει τη μεταβολή αυτού του μεγέθους (δηλαδή τη διαφορά μεταξύ τελικής και αρχικής τιμής).

Παράδειγμα

Ένας ηλεκτρικός λαμπτήρας είναι 60 W. Αυτό σημαίνει ότι έχει ισχύ 60 W. Δηλαδή ότι αυτός ο λαμπτήρας καταναλώνει 60 J ηλεκτρική ενέργεια μέσα σε ένα δευτερόλεπτο (1 sec) ή διαφορετικά ότι ο ρυθμός με τον οποίο καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια είναι 60 J ανά δευτερόλεπτο⁹. Αυτό που χρειάζεται να επισημανθεί είναι ότι ο λαμπτήρας έχει ισχύ 60 W ανεξαρτήτως του χρονικού διαστήματος που λειτουργεί. Αν υπολογιστεί η ενέργεια που καταναλώνει ο λαμπτήρας σε μια ημέρα, αρκεί να πολλαπλασιαστεί η ισχύς του (60 W) με το χρονικό διάστημα των 24 h:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

$$\Delta E = P \cdot \Delta t = 60 \text{ W} \cdot 3.600 \text{ s (24 h = 3.600 s)} = 216.000 \text{ J}$$

Ή αν εκφραστεί η ενέργεια σε κιλοβατώρες

$$\Delta E = P \cdot \Delta t = 60 \text{ W} \cdot 24 \text{ h} = 1.440 \text{ Wh} = 1,44 \text{ kWh}$$

Ανακεφαλαιώνοντας χρειάζεται να τονιστεί ότι η ισχύς είναι ανεξάρτητη του χρόνου, ενώ η ενέργεια έχει σχέση με το χρόνο λειτουργίας της συσκευής ή της εγκατάστασης.

A.3.1 Μονάδες μέτρησης για την ενέργεια και την ισχύ**α) Ενέργεια**

Η μονάδα μέτρησης για την ενέργεια στο SI είναι το 1 J (Joule).

Εκτός όμως απ' αυτήν χρησιμοποιούνται ανάλογα με την περίπτωση¹⁰ διαφορετικές μονάδες μέτρησης της ενέργειας, που όμως όλες συνδέονται με το 1 J αλλά

⁹ Το 60 W είναι ο ρυθμός με τον οποίο καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια ο λαμπτήρας κι όχι ο ρυθμός με τον οποίο παράγει (ακτινοβολεί) φωτεινή ενέργεια. Έτσι, στον κοινό λαμπτήρα πυρακτώσεως μεγάλο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται μετατρέπεται σε θερμότητα πάνω στο σύρμα πυρακτώσεως (για αυτό και η λάμπα έχει υψηλή θερμοκρασία) και το υπόλοιπο προσφέρεται ως φωτεινή ενέργεια, ενώ στον ηλεκτρονικό λαμπτήρα (λαμπτήρας οικονομίας) ένα πολύ μικρότερο τμήμα γίνεται θερμότητα και το μεγαλύτερο μέρος μετατρέπεται σε φωτεινή ενέργεια. Αυτός είναι και ο λόγος που ένας λαμπτήρας οικονομίας, π.χ., 9 W δίνει την ίδια φωτεινή ενέργεια με ένα λαμπτήρα πυρακτώσεως 60 W.

¹⁰ Εξαρτάται σε ποια περιοχή των ανανεώσιμων βρισκόμαστε (π.χ., στα φωτοβολταϊκά ή στη γεωθερμία) και πόσο μεγάλες είναι οι ποσότητες της ενέργειας που θέλουμε να εκφράσουμε. Επίσης εξαρτάται και από τη χώρα στην οποία αναφερόμαστε (είναι γνωστό ότι η Μ. Βρετανία και οι ΗΠΑ (λιγότερο), για ιστορικούς λόγους, χρησιμοποιούν διαφορετικές μονάδες μέτρησης από τον υπόλοιπο κόσμο στην καθημερινή ζωή).

και μεταξύ τους¹¹.

Παρακάτω θα αναφερθούν ορισμένες μονάδες μέτρησης από αυτές (οι πιο συνηθισμένες).

Βατώρα (1 Wh) και κιλοβατώρα (1 kWh)

Η μαθηματική σχέση που συνδέει την ενέργεια με την ισχύ είναι αυτή που αναφέρθηκε παραπάνω, δηλαδή:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

από την οποία προκύπτει ότι η ενέργεια μπορεί να δοθεί από τη σχέση:

$$\Delta E = P \cdot \Delta t$$

Από την παραπάνω σχέση μπορεί να οριστεί ως μονάδα μέτρησης της ενέργειας η μια βατώρα (1 Wh) αν η ισχύς είναι το 1 W και το χρονικό διάστημα είναι 1 h.

$$1 \text{ Wh} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ h}$$

Δηλαδή 1 Wh είναι η ενέργεια που παράγεται (ή καταναλώνεται) από μία συσκευή με ισχύ 1 W και λειτουργεί για 1 h.

Προφανώς μια κιλοβατώρα (1 kWh) είναι ίση με 10^3 Βατώρες Wh

$$1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ Wh} \text{ και } 1 \text{ Wh} = 10^{-3} \text{ kWh}$$

Θερμίδα (cal) και χιλιοθερμίδα (kcal¹²)

Η θερμίδα (ή χιλιοθερμίδα) είναι μια μονάδα μέτρησης της ενέργειας που έχει επικρατήσει όταν γίνεται αναφορά στη θερμότητα.

$$1 \text{ kcal} = 10^3 \text{ cal} = 4.190 \text{ J}^{13}$$

¹¹ Παρακάτω θα βρείτε πίνακες που έχουν αυτές τις μετατροπές. Επίσης μπορείτε να αναζητήσετε οποιαδήποτε μετατροπή μονάδων ενέργειας (ή ισχύος) στο διαδίκτυο [internet] σε κατάλληλους ιστότοπους (κυρίως ξενόγλωσσους), π.χ., <http://www.unitconversion.org> ή <http://www.onlineconversion.com/energy.htm>.

¹² Στην ελληνική προφορική γλώσσα (κυρίως όταν γίνεται αναφορά στην ενέργεια που περιέχουν οι διάφορες τροφές) έχει επικρατήσει ο όρος θερμίδα να αναφέρεται στο kcal κι όχι στο cal, όπως είναι το επιστημονικά ορθό.

¹³ Η ακρίβεια με την οποία δίνονται οι σχέσεις μετατροπής μεταξύ των μονάδων είναι δύο δεκαδικά ψηφία. Για μεγαλύτερη ακρίβεια μπορείτε να συμβουλευτείτε εξειδικευμένους πίνακες.

Ηλεκτρονιοβόλτ (eV)

Το ηλεκτρονιοβόλτ είναι μια μονάδα μέτρησης της ενέργειας που χρησιμοποιείται όταν γίνεται αναφορά στην ηλιακή και γενικότερα στην ηλεκτρομαγνητική ενέργεια¹⁴.

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Ισοδύναμος τόνος πετρελαίου (toe) [tones of oil equivalent] και ισοδύναμος τόνος άνθρακα (tce) [tones of coal equivalent]

Οι μονάδες μέτρησης ενέργειας toe και tce χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που υπολογίζεται το ενεργειακό δυναμικό ενός καυσίμου ή μιας μονάδας κ.λπ. Το toe είναι η ενέργεια που απελευθερώνεται όταν καεί ένας τόνος πετρελαίου (συγκεκριμένης σύστασης-ποιότητας), ενώ το tce είναι αντίστοιχα η ενέργεια που απελευθερώνεται όταν καεί ένας τόνος άνθρακα (συγκεκριμένης σύστασης-ποιότητας).

$$(1 \text{ toe} \approx 42 \cdot 10^9 \text{ J}) \quad (1 \text{ tce} \approx 28 \cdot 10^9 \text{ J})^{15}$$

Είναι φανερό ότι οι μονάδες μέτρησης toe και tce είναι τεράστιες σε σχέση με το 1 J.

Βρετανική Θερμική Μονάδα (Btu) [British thermal unit]

Είναι παλαιά μονάδα μέτρησης της ενέργειας που χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στις εφαρμογές θέρμανσης και ψύξης¹⁶ και προέρχεται από τη βρετανική παράδοση μετρητικών μονάδων.

$$1 \text{ Btu} = 1,06 \cdot 10^3 \text{ J}$$

¹⁴ Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, η ενέργεια που έχουν τα φωτόνια (τα κβάντα ενέργειας) διαφορετικών συχνοτήτων του φωτός (ή διαφορετικού μήκους κύματος λ) δίνεται από τη σχέση $E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda$. Φωτόνια διαφορετικής συχνότητας (και συνεπώς χρώματος όταν πρόκειται για το ορατό φάσμα) έχουν διαφορετική ενέργεια, π.χ., το φωτόνιο με μήκος κύματος $\lambda = 695 \text{ nm}$ (στο κόκκινο φάσμα) έχει ενέργεια 1,784 eV, ενώ το φωτόνιο με μήκος κύματος $\lambda = 445 \text{ nm}$ (στο μπλε φάσμα) έχει ενέργεια 2,787 eV.

¹⁵ Όπως φαίνεται από τους αριθμούς, η ενεργειακή πυκνότητα του πετρελαίου είναι πολύ μεγαλύτερη απ' αυτήν του άνθρακα.

¹⁶ Συνήθως στα κλιματιστικά γράφεται στη θέση της ισχύος ψύξης (και θέρμανσης) ως μονάδα μέτρησης το Btu (π.χ., 14.000 Btu). Προφανώς κάτι τέτοιο είναι λανθασμένο και προκαλεί σύγχυση, καθώς το Btu είναι μονάδα μέτρησης της ενέργειας κι όχι της ισχύος. Οι κατασκευαστές, ενώ γράφουν Btu, εννοούν Btu/h (μπιτιγιού ανά ώρα), δηλαδή μονάδα μέτρησης της ισχύος (π.χ., 14.000 Btu σημαίνει, για τους κατασκευαστές, ότι το κλιματιστικό αποδίδει 14.000 Btu χρήσιμη ψυκτική ενέργεια σε χρονικό διάστημα μιας ώρας. Συχνά σε διάφορες τεχνολογικές εφαρμογές γίνεται σύγχυση μεταξύ των εννοιών της ενέργειας και της ισχύος και κάτι τέτοιο δε δικαιολογείται όταν πρόκειται για επιστημονική βιβλιογραφία.

Β) Ισχύς

Μονάδα μέτρησης της ισχύος στο (SI) είναι το 1 W (Watt) = 1 J/s

Εκτός όμως απ' αυτήν¹⁷ χρησιμοποιούμε συχνά ανάλογα με την περίπτωση διαφορετικές μονάδες μέτρησης της ισχύος, που όμως όλες συνδέονται με το βατ (1 W) αλλά και μεταξύ τους. Παρακάτω θα αναφέρουμε ενδεικτικά ορισμένες (τις πιο συνηθισμένες) από αυτές.

Ίππος (βρετανικός) hp/HP [horse power]

Παλαιά μονάδα μέτρησης της ισχύος η οποία, όταν δημιουργήθηκε, συνέκρινε την ισχύ των καινούριων (τότε) ατμομηχανών με την ισχύ (μεταφορική συνήθως) ενός αλόγου (το οποίο αντικαθιστούσε). Η μονάδα μέτρησης του ίππου απέκτησε διαφορετικά σύμβολα σε άλλες κεντροευρωπαϊκές χώρες (Γαλλία, Γερμανία κ.λπ.) με (ελαφρά) διαφορετικές τιμές από αυτήν του βρετανικού ίππου.

$$1 \text{ HP} = 745,7 \text{ W}$$

Ίππος (γερμανικός) PS [PferdeStärke = horse strength]

Είναι το αντίστοιχο του βρετανικού ίππου στη Γερμανία με ελαφρά μικρότερη τιμή απ' αυτήν του βρετανικού.

$$1 \text{ PS} = 735,5 \text{ W}$$

Ίππος (ιταλικός - ισπανικός) CV [Cavalli - Caballos]

Είναι το αντίστοιχο του γερμανικού ίππου στην Ιταλία και στην Ισπανία.

$$1 \text{ CV} = 735,5 \text{ W}$$

Ίππος (γαλλικός) cv [chevaux]

Είναι το αντίστοιχο του γερμανικού ίππου στη Γαλλία.

$$1 \text{ cv} = 735,5 \text{ W}$$

¹⁷ Προσοχή!! Επισημαίνεται ξανά ότι το 1 W (ή τα πολλαπλάσιά του 1 kW, 1 MW) είναι μονάδες μέτρησης της **ισχύος**, ενώ η Βατώρα 1 Wh (ή τα πολλαπλάσιά της kWh, MWh) είναι μονάδα μέτρησης της **ενέργειας**.

Α.3.2 Προθέματα μονάδων και μετατροπές

Υπενθυμίζεται ότι πολλές μονάδες της ενέργειας ή της ισχύος είναι μικρές ή μεγάλες για διάφορες εφαρμογές, συνεπώς χρησιμοποιούνται υποπολλαπλάσια ή πολλαπλάσιά τους. Γι' αυτό είναι χρήσιμο να αναφερθούν τα (κυριότερα) προθέματα.

Υποπολλαπλάσια

Πρόθεμα	Ονομασία	Δύναμη του 10
d	deci	10^{-1}
c	centi	10^{-2}
m	milli	10^{-3}
μ	micro	10^{-6}
n	nano	10^{-9}
p	pico	10^{-12}
f	femto	10^{-15}
a	atto	10^{-18}

Πολλαπλάσια

Πρόθεμα	Ονομασία	Δύναμη του 10
da	deca	10^1
h	hecto	10^2
k	kilo	10^3
M	Mega	10^6
G	Giga	10^9
T	Tera	10^{12}
P	Peta	10^{15}
E	Exa	10^{18}

Στους παρακάτω πίνακες θα βρείτε συγκεντρωμένες τις βασικότερες ενεργειακές μετατροπές.

	MJ	GJ	kWh	toe	tce
1 MJ	1	0,001	0,2778	$2,4 \times 10^{-5}$	$3,6 \times 10^{-5}$
1 GJ	1.000	1	277,8	0,024	0,036
1 kWh	3,60	0,0036	1	$8,6 \times 10^{-5}$	$1,3 \times 10^{-4}$
1 toe	42.000	42	12.000	1	1,5
1 tce	28.000	28	7.800	0,67	1

Ρυθμός ενέργειας	Τζάουλ ανά ώρα (J/h)	Τζάουλ ανά έτος (J/yr)	Κιλοβατώρες ανά έτος (kWh/yr)	Ισοδύναμο πετρέλαιο ανά έτος (toe/yr)	Ισοδύναμος άνθρακας ανά έτος (tce /yr)
1 W ¹⁸	3.600 J	31,54 MJ	8,76	$0,75 \times 10^{-3}$ toe	$1,1 \times 10^{-3}$ tce
1 kW	3,6 MJ	31,54 GJ	8760	0,75 toe	1,1 tce
1 MW	3,6 GJ	31,54 TJ	$8,76 \times 10^6$	750 toe	1.100 tce
1 GW	3,6 PJ	31,54 PJ	$8,76 \times 10^9$	0,75 Mtoe	1,1 Mtce
1 TW	3,6 TJ	31,54 EJ	$8,76 \times 10^{12}$	750 Mtoe	1.100 Mtce

¹⁸ Ο πίνακας αυτός διαβάζεται με τον ακόλουθο τρόπο: π.χ., η πρώτη γραμμή σημαίνει ότι μια ενεργειακή μηχανή που έχει ισχύ 1 W (δηλαδή παρέχει ενέργεια με ρυθμό 1 J/sec) δίνει συνολική ενέργεια 3.600 J σε μια ώρα ή 31,54 MJ σε ένα έτος ή 8,76 kWh σε ένα έτος ή $0,75 \times 10^{-3}$ toe σε ένα έτος ή $1,1 \times 10^{-3}$ tce σε ένα έτος.

Α.4 Ονομασίες και έννοιες

Συχνά στη βιβλιογραφία η ίδια φυσική έννοια (που συχνά αντιστοιχεί στο ίδιο φυσικό μέγεθος, όπως, π.χ., η ενέργεια) εμφανίζεται με διαφορετικό όνομα¹⁹ ή σύμβολο²⁰. Αυτό συμβαίνει για μια σειρά από λόγους, εκ των οποίων οι κυριότεροι αναφέρονται παρακάτω:

- Επειδή οι περισσότεροι επιστημονικοί και τεχνολογικοί όροι και σύμβολα δημιουργήθηκαν πρωτογενώς σε ξένες γλώσσες (κυρίως αγγλικά, γαλλικά και γερμανικά), κατά τη μετάφρασή τους στα ελληνικά, διαφορετικοί συγγραφείς-μεταφραστές ξένης βιβλιογραφίας χρησιμοποιούν διαφορετικά ονόματα. Καθώς λοιπόν δεν υπάρχει πάντα μια κοινώς αποδεκτή ονομασία (καθώς συχνά υπάρχουν διαφωνίες για το ποιος ελληνικός όρος αποδίδει καλύτερα τον αντίστοιχο ξενόγλωσσο), εμφανίζονται περισσότερες της μιας ορολογίες.
- Σε διαφορετικές επιστημονικές ή τεχνολογικές περιοχές η ίδια φυσική έννοια αποδίδεται με διαφορετικό σύμβολο. Αυτό έχει επικρατήσει για ιστορικούς λόγους ή για λόγους τονισμού της ιδιαιτερότητας της έννοιας στο συγκεκριμένο πλαίσιο [context]. Για την επιστημονική περιοχή στην οποία αναφέρεται το παρόν βιβλίο το καλύτερο παράδειγμα είναι η έννοια της *ενέργειας* η οποία εμφανίζεται με διαφορετικό όνομα ή σύμβολο σε διαφορετικά πλαίσια. Στο πλαίσιο των ηλεκτρικών δικτύων ή σε εφαρμογές θέρμανσης-ψύξης η ενέργεια συχνά εμφανίζεται με την ονομασία *φορτίο* και μπορεί να γραφεί με το σύμβολο L ή άλλο σύμβολο. Στο πλαίσιο των ηλιακών εφαρμογών χρησιμοποιείται ο όρος *ηλιακή ακτινοβολία* εννοώντας την ηλιακή ενέργεια και μπορεί να γραφεί με το σύμβολο G ή I .
- Μερικές φορές και σε ξενόγλωσσα βιβλία εμφανίζεται η ίδια φυσική έννοια με διαφορετική ορολογία ή μια ορολογία χρησιμοποιείται για διαφορετικές φυσικές έννοιες²¹.

¹⁹ Για παράδειγμα, στη βιβλιογραφία η έννοια της ενέργειας μπορεί να εμφανιστεί είτε ως φορτίο είτε ως ηλιακή ακτινοβολία.

²⁰ Για παράδειγμα, η κινητική ενέργεια μπορεί να εμφανιστεί στη βιβλιογραφία με το συμβολισμό E_k ή K , ενώ η δυναμική ενέργεια μπορεί να εμφανιστεί με το συμβολισμό E_d ή U . Επίσης η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να εμφανιστεί με το συμβολισμό G_d ή I_d , ενώ η ηλιακή σταθερά μπορεί να εμφανιστεί με το συμβολισμό E_{sc} (Kaltschmitt et al, 2007, σελ. 33) ή με το συμβολισμό B_0 (Luque et al, 2003, σελ. 912).

²¹ Χαρακτηριστικό παράδειγμα στην περιοχή των ΑΠΕ είναι οι όροι *radiance*, *radiation*, *irradiation*, *irradiance*. Στην ελληνική βιβλιογραφία μπορούν να βρεθούν μεταφρασμένοι ως ακτινοβολία, πυκνότητα ακτινοβολίας, πυκνότητα ενέργειας, πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας, ροή ακτινοβολίας, ροή ενέργειας, ροή ισχύος ακτινοβολίας. Πέρα από λάθη ή παραλείψεις ή προτιμήσεις των Ελλήνων μεταφραστών-συγγραφέων



Επειδή πολλές φορές αυτή η κατάσταση δημιουργεί σύγχυση, το καλύτερο που πρέπει να κάνει κάποιος όταν βρίσκεται αντιμέτωπος με μια έννοια, μια ονομασία ή ένα σύμβολο που αντιστοιχεί σε κάποια ποσότητα ή μονάδα μέτρησης, είναι να συνδέει αυτό που βλέπει με κάτι που είναι ήδη γνωστό και στην συνέχεια να βρίσκει την ακριβή σχέση σύνδεσης.

υπάρχει μερικές φορές και πρόβλημα στην ξενόγλωσση βιβλιογραφία (και τα τελευταία χρόνια στον ηλεκτρονικό γραπτό λόγο (διαδίκτυο)), καθώς οι όροι χρησιμοποιούνται (σε μερικές περιπτώσεις) αδιακρίτως για να εκφράσουν ενέργεια ή ενέργεια ανά μονάδα χρόνου (δηλαδή ισχύ) ή ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας ή ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας. Προφανώς είναι κατανοητό ότι κάθε ένας από τους παραπάνω ελληνικούς (και ξενόγλωσσους) όρους είναι διαφορετικός (επιστημονικά), καθώς εκφράζει διαφορετικά (αν και στενά συνδεδεμένα μεταξύ τους) φυσικά μεγέθη που έχουν διαφορετικές μονάδες μέτρησης. Η ενέργεια έχει μονάδα μέτρησης το J (SI), η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου έχει μονάδα μέτρησης το $W = J/s$ (SI), η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας έχει μονάδα μέτρησης το J/m^2 (SI), η ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας έχει μονάδα μέτρησης το $W/m^2 = J/s \cdot m^2$. Σύμφωνα με το Luque et al, 2003, σελ. 913-14, ο όρος irradiance σημαίνει πυκνότητα ισχύος που προσπίπτει σε μια επιφάνεια και μετρείται σε W/m^2 (SI) [«...Irradiance means density of power falling on a surface and is measured in W/m^2 ...»], ενώ irradiation είναι η πυκνότητα της ενέργειας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου, για παράδειγμα, ωριαία ή ημερήσια πυκνότητα ενέργειας, και μετρείται σε Wh/m^2 [«...Irradiation is the density of the energy that falls on a surface over some period of time, for example, hourly irradiation or daily irradiation, and is measured in Wh/m^2 »].



