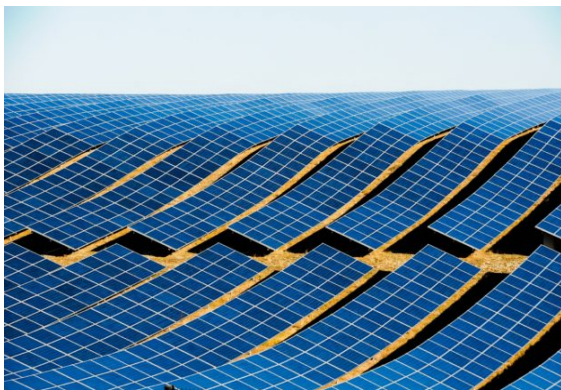
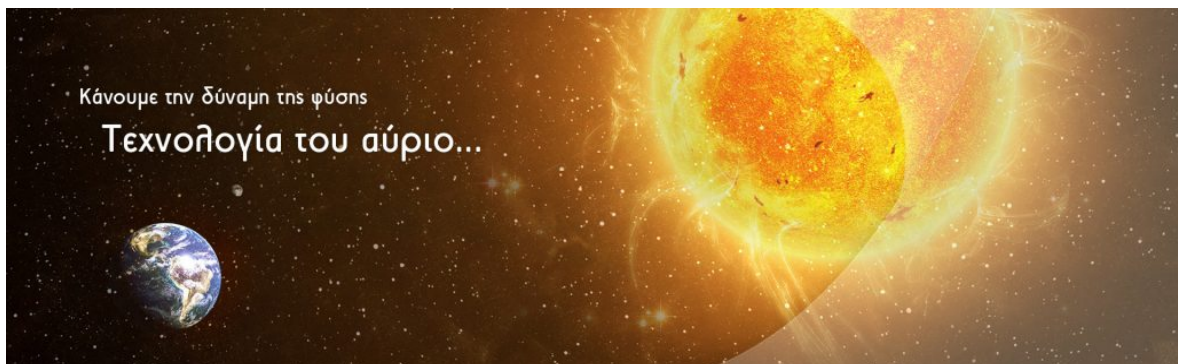




Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Τίτλος Πτυχιακής Εργασίας

*Ανάλυση Κύκλου Ζωής και Αειφορίας Φωτοβολταϊκών Συστημάτων –
η περίπτωση της Ελλάδας*



Επιβλέπων Καθηγητής: Μαραβελάκης Εμμανουήλ

Χανιά, Μάρτιος 2021

Βασίλης Κρυστάλλης



Βασίλης Κρυστάλλης, Ανάλυση Κύκλου Ζωής και Αειφορίας
Φωτοβολταϊκών Συστημάτων – η περίπτωση της Ελλάδας

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Hellenic Mediterranean University

School of Applied Sciences

Department of Natural Resources and Environmental Engineering

Thesis Title

Life Cycle Analysis and Sustainability of Photovoltaic Systems –

The Case of Greece



Βασίλης Κρυστάλλης, Ανάλυση Κύκλου Ζωής και Αειφορίας
Φωτοβολταϊκών Συστημάτων – η περίπτωση της Ελλάδας

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Ευχαριστίες

Η συγκεκριμένη πτυχιακή θα είναι πρακτική όπως και το τμήμα μας



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένας από τους κύριους στόχους του τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος είναι η *Ορθολογική διαχείριση των Φυσικών Πόρων με έμφαση στην “Αειφορική Οικονομία” μέσω Διεπιστημονικών Προσεγγίσεων.*

Η εργασία αυτή αποσκοπεί στην ανάλυση/τεκμηρίωση του κύκλου ζωής μίας τεχνολογίας η οποία καλύπτει μεγάλο κομμάτι και αποτελεί πυλώνα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), των Φωτοβολταϊκών (Φ/Β) Συστημάτων. Έχει γίνει επιλογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας ΑΠΕ εξαιτίας των ταχύτατων ρυθμών ανάπτυξης της διεθνούς αγοράς Φ/Β Συστημάτων και της ευρείας χρήσης που αυτά συναντούν. Η τεχνολογία αυτή αντλεί ενέργεια από τον ήλιο, ο οποίος είναι υπεύθυνος και πρωτεργάτης στην διαμόρφωση των υπόλοιπων πρωτογενών/ήπιων πηγών ενέργειας του πλανήτη μας (άνεμος, βιομάζα, αέναη κυκλοφορία του νερού, μετατροπή θερμικής ενέργειας των ωκεανών κα.). Έχει ως σκοπό τον τρόπο βελτιστοποίησης της συνολικής διαχείρισης, από την εξόρυξη των πρωτογενών υλικών, την παραγωγή των Φ/Β Συστημάτων, την εγκατάσταση & λειτουργία αυτών μέχρι και την τελική διάθεση ενός συστήματος μετά το τέλος ζωής του, όπως και στην εξοικονόμηση ενέργειας σε όσα στάδια “αναδίπλωσης του συστήματος” είναι αυτό δυνατόν. Γίνεται σφαιρική ανασκόπηση της επιβάρυνσης της συγκεκριμένης τεχνολογίας στο περιβάλλον (έδαφος, νερό, αέρας) σε σύγκριση με τις λοιπές τεχνολογίες/συστήματα παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ καθώς και το μέρος (τοποθεσία, γεωμορφολογία, κλίμα) που ενδείκνυται η εκάστοτε με σκοπό την υψηλότερη απόδοση και βέλτιστη λειτουργία. Η σημαντικότητα της κυκλικής οικονομίας, της ανάδρασης ενός προϊόντος σε όλα τα στάδια ζωής του, της βιωσιμότητας και αειφορίας, είναι πολύ σημαντικοί όροι, οι οποίοι υπάγονται σε αυτή την εργασία και αναλύονται ως προς τα Φ/Β Συστήματα. Σήμερα είναι φθηνότερο να κατασκευάσεις από την αρχή ένα Αιολικό ή ένα Φ/Β πάρκο από το να παράγεις ρεύμα από ορυκτά καύσιμα. Ο καταναλωτής δεν χρειάζεται να επιβαρύνεται με επιπλέον κόστος για να χρηματοδοτούνται νέες επενδύσεις σε ΑΠΕ, οι οποίες είναι απολύτως ανταγωνιστικές, αναφέρει ο πρόεδρος και διευθύνων σύμβουλος της ΔΕΗ.

Η περίπτωση της Ελλάδας εισάγεται σε αυτή την εργασία εξαιτίας του υψηλού δυναμικού που παρουσιάζει η χώρα μας στην αφομοίωση των Φ/Β Συστημάτων με κύρια παράμετρο την γεωγραφική της θέση, καθώς και στο γεγονός ότι πρέπει να επιτύχουμε εθνική αυτονομία στις ενεργειακές μας ανάγκες και ανεξαρτησία από την εισαγωγή ενεργειακών πόρων και υπηρεσιών.

Λέξεις - κλειδιά

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Αποθήκευση Ενέργειας, Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Φυσικοί Πόροι, Αειφορία, Πολυπαραμετρικότητα, Αποδοτικότητα, Βελτιστοποίηση



SUMMARY

One of the main targets our department, Environmental Engineering and Natural Resources performs is *Rational Management of Natural Resources with emphasis at "Sustainable Economy" through Multidisciplinary Approaches*.

This project intends to analyze/document the life cycle of a technology which covers a large part and is a pillar of Renewable Energy Sources (RES), Photovoltaic (PV) Systems. The choice has been made for this technology of RES because of the rapid growth rates of the international market of PV Systems and the widespread use they encounter. This technology derive energy from the sun, the celestial body who is responsible and leader to configure the other primary/gentle energy sources of our planet (wind, biomass, uninterrupted circulation of water, ocean thermal energy conversion etc.). Furthermore, this project intend to improve the total management, from the extraction of raw materials, production of PV Systems, installation & operation, up to the final disposal after the end of a system's lifetime, as well as, saving energy in as many stages of "system folding" as possible. A spherical review is been made of the burden this specific technology occurs at the nature (soil, water, air), in comparison with other technologies/systems of energy production from Renewable Energy Sources and the place (location, geomorphology, climate) which is best suited in each case for the purpose of highest efficiency and optimal operation. The importance of circular economy, feedback of a product through all stages of its life, sustainability, are some very important terms which are subject to this work and analyzed as for PV Systems. Today it is cheaper to build a wind farm or a PV plant from scratch than to generate electricity from fossil fuels. The consumer does not need to incur additional costs to finance new investments in RES, which are completely competitive, says the president and CEO of PPC.

The case of Greece is introduced in this work due to the high potential our country presents in the assimilation of PV Systems, having as main parameter our geographic location, as well as in the fact that we must achieve national autonomy in our energy needs and independence from the import of energy resources and services.

Keywords

Renewable Energy Sources, Photovoltaic Systems, Energy Storage, Lifecycle Analysis, Natural Resources, Sustainability, Multidisciplinary, Efficiency, Optimization



Περιεχόμενα

Περίληψη, Λέξεις κλειδιά	4
Summary, Keywords	5
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων	234
Κατάλογος Πινάκων	239
Σημαντικές σχέσεις / εξισώσεις	8
Συνομογραφίες & Ακρωνύμια	11

ΚΕΦΑΛΑΙΑ

1. Σκοπός/Στόχος και δομή της εργασίας	13
1.1. Εισαγωγή	13
1.2. Βασικές έννοιες	15
1.2.1. Ηλιακή Μηχανική	21
1.2.2. Χρήσιμοι Όροι και Δείκτες.....	46
1.3. Σύνθεση Φ/Β μονάδων και Επιμέρους Συστήματα	65
1.4. Βελτίωση απόδοσης των Φ/Β συναρτήσει διαφόρων παραμέτρων	101
1.5. Ισχύον Νομικό Πλαίσιο / Διατάξεις (Κανονισμοί και Οδηγίες ΕΕ)	125
1.6. Θεσμικοί Μηχανισμοί	140
2. Σύγκριση Τεχνολογιών ΑΠΕ	151
2.1. Απαραίτητος εξοπλισμός Ενεργειακών Συστημάτων.....	154
2.2. Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα των Φ/Β	169
2.3. Χωροταξικός Σχεδιασμός	184
2.4. Καταλληλότητα Εγκατάστασης	194

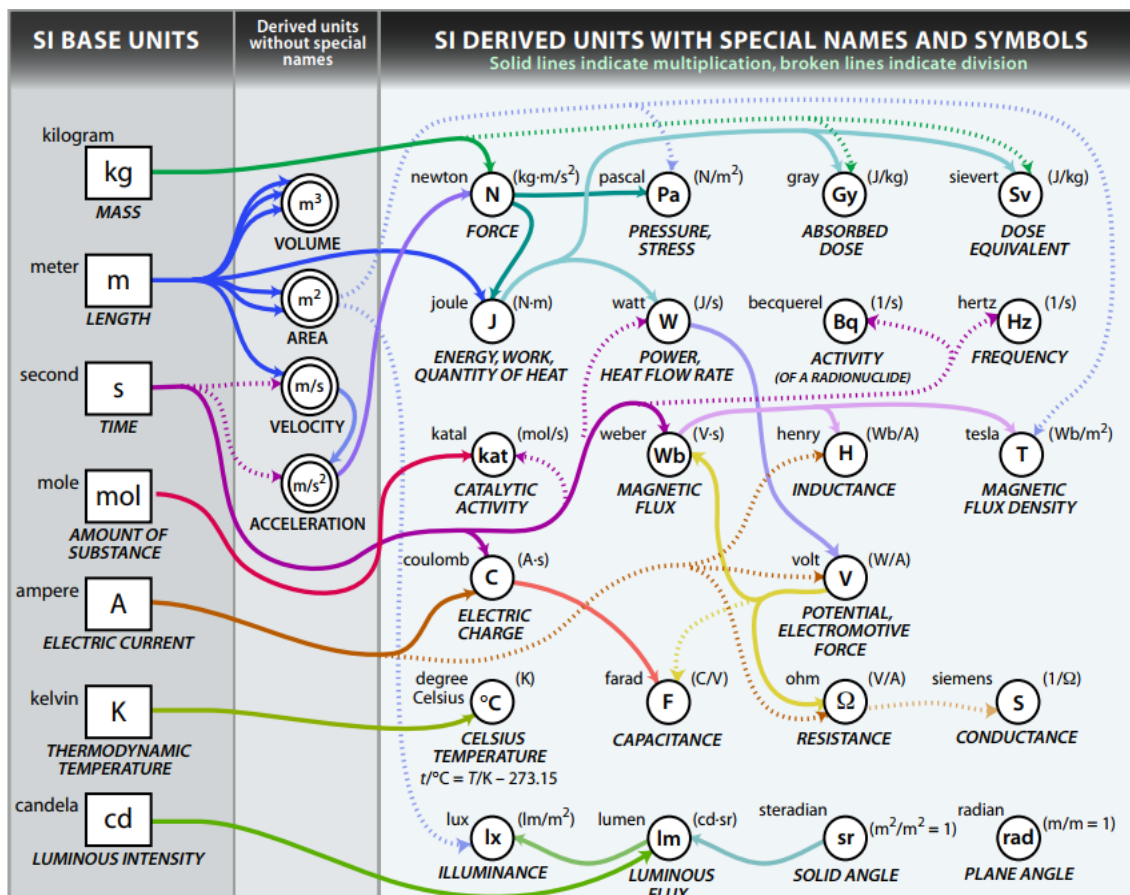


3. Ανάλυση Κύκλου Ζωής Φ/Β Συστημάτων	198
3.1. Πληροφορίες για Λογισμικά ΑΚΖ.....	207
4. Δυναμικό Παραγωγής στην Ελλάδα.....	212
4.1. Εθνική Αυτονομία	214
4.2. Μείωση Μεταφορικών	218
4.3. Απόσυρση Φωτοβολταϊκών και κατάλληλη διαχείριση	220
4.4. Η ανακύκλωση στην Ελλάδα	224
.....	
<i>Συμπεράσματα / Προτάσεις</i>	<i>230</i>
<i>Βιβλιογραφία</i>	<i>240</i>



Σημαντικές Σχέσεις / Εξισώσεις

Κατά το Διεθνές σύστημα μονάδων (Système International – SI)



Σχήμα Α. Οι 7 θεμελιώδεις μονάδες μέτρησης (αριστερή στήλη) και οι εξ' αυτών παράγωγες

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΟΝΟΜΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΟΝΟΜΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ
Y	Yotta	10^{24}	y	yokto	10^{-24}
Z	Zetta	10^{21}	z	zepto	10^{-21}
E	Exa	10^{18}	a	atto	10^{-18}
P	Peta	10^{15}	f	femto	10^{-15}
T	Tera	10^{12}	p	pico	10^{-12}
G	Giga	10^9	n	nano	10^{-9}
M	Mega	10^6	μ	micro	10^{-6}
k	Kilo	10^3	m	milli	10^{-3}
h	Hecto	10^2	c	centi	10^{-2}
d	Deka	10^1	d	deci	10^{-1}

Πίνακας Α. Πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια



- Τύπος Ενέργειας: $E = h \cdot \nu$, όπου $\nu = \frac{c}{\lambda}$,

Ενδεικτικά, για τον υπολογισμό της ενέργεια σε J (W/s) ενός φωτονίου με μήκος κύματος (λ) = 500nm (ορατή περιοχή του Η/Μ φάσματος), βάση του τύπου:

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

όπου η σταθερά του Planck (h) ισούται με $6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s$

(ν) η συχνότητα σε Hz

η ταχύτητα του φωτός στο κενό (c) είναι περίπου $3 \cdot 10^8$ m/s

το μήκος κύματος (λ) θα μετατραπεί σε μέτρα $\rightarrow 5 \cdot 10^{-7} m$

θα έχουμε $E_{\lambda=500nm} = 3,9756 \cdot 10^{-19} J$

- Νόμος του Ohm: Τάση = Αντίσταση επί το Ρεύμα

$$V(Volt) = R(\Omega) \cdot I(Amp)$$

Τάση (διαφορά δυναμικού ή ηλεκτρεγερτική δύναμη): $V(Volt) = \frac{dE}{dq}$

Αντίσταση (φορτίο): $R(\Omega) = \rho \frac{l}{A}$, όπου

(ρ) είναι ειδικά αντίσταση υλικού (π.χ. καλώδιο μεταφοράς ηλ. ρεύματος)

(l) είναι το μήκος του υλικού &

(A) η διατομή του υλικού

Ρεύμα (ένταση): $I(Amp) = \frac{dq}{dt}$

- **Ισχύς** (Watt), ως $(V) \frac{dE}{dq} \times (I) \frac{dq}{dt} = (W) \frac{dE}{dt}$ (κανόνας της αλληλουχίας), όπου

το Watt είναι μονάδα Ισχύος, ή αλλιώς ο Ρυθμός Ενέργειας στον χρόνο

W_{peak} (Wp): Εγκατεστημένη/Ονομαστική Ισχύς

- **Ενέργεια** (σε Wh όσον αφορά το Ηλεκτρικό ρεύμα), $E = W \cdot h$,

δηλαδή η Ισχύς επί τον χρόνο :

$$1Wh = 3600J = 860cal$$

- **Συχνότητα** (Hz) : είναι αντιστρόφως ανάλογο μέγεθος του χρόνου (1/sec), μετράται μόνο στο εναλλασσόμενο ρεύμα ,
50Hz (συχνότητα δικτύου) = 3000rpm

Εναλλασσόμενο Ρεύμα (AC) \rightarrow σε κυκλώματα αντιστάσεων AC, η ηλεκτρική ισχύ υπολογίζεται ως :

$$P(W) = V(Volt) \cdot I(Amp)$$

\leftrightarrow Κατ' αντιστοιχία από τον νόμο του Ohm :



$$V = I \cdot R \leftrightarrow P = I^2 \cdot R$$

Όπου V =Τάση, I =Ένταση Ρεύματος, R =Αντίσταση και P =Ισχύς

- ✓ Για μείωση των απωλειών κατά την μεταφορά ρεύματος απαιτείται η μείωση της έντασης (I), βάση του τύπου :

$$P_{\text{loss}} = I^2 R$$

- Βαθμός απόδοσης Φ/Β πλαισίου (η): Είναι αδιάστατος, ορίζεται ως ο λόγος της Μέγιστης Ισχύος εξόδου (P_{max}) προς το γινόμενο της επιφάνειας του πλαισίου επί την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας :

$$\eta = \frac{P_{\text{max}}(W)}{A(m^2) \cdot G(\frac{W}{m^2})} \times 100\%$$

- Παράγων Πλήρωσης (FF): Η τιμή αναφοράς του παράγοντα πλήρωσης αναφέρεται σε πρότυπες συνθήκες δοκιμής και όσο πιο κοντά στην μονάδα είναι, τόσο η λειτουργία του Φ/Β πλαισίου πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά μιας πηγής σταθερού ρεύματος στην περιοχή $[0-V_{oc}]$. Είναι αδιάστατος, ορίζεται ως ο λόγος της Μέγιστης Ισχύος του Φ/Β προς το γινόμενο της τάσης ανοιχτοκύκλωσης επί το ρεύμα βραχυκύκλωσης :

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{P_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}, \text{ ισχύει ότι } FF < 1 \text{ και } FF > 0$$

- Συντελεστής Χρησιμοποίησης (ΣΧ): Η πραγματική αποδοτικότητα ενός Φ/Β Συστήματος υπολογίζεται μέσω του Συντελεστή Χρησιμοποίησης, ο οποίος είναι αδιάστατος. Ο ετήσιος ΣΧ διαιρεί την ενέργεια που παράγει το Φ/Β Σύστημα σε έναν χρόνο με την ενέργεια που θα παρήγαγε θεωρητικά, εάν λειτουργούσε στην ονομαστική του ισχύ (P_m) και για τις 8760 ώρες του έτους :

$$\text{Ετήσιος } \Sigma X = \frac{E_{PV \text{ year}}}{P_m \cdot 8760 \text{ h}}$$

Βασικές μετατροπές ενέργειας (kWh)

1 kWh = 3.600 kJ (Joule)

1 kWh = 3.412 BTU (British Thermal Units)

1 kWh = 859,84 kcal (calorie)

1 kWh = $0,86 \times 10^{-4}$ toe (ton of oil equivalent), 1 toe = 1.630 kWh (χωρίς τις απώλειες)



Συνομογραφίες & Ακρωνύμια

ΑΚΖ: Ανάλυση Κύκλου Ζωής

LCA: Life Cycle Analysis (Assessment)

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

RES: Renewable Energy Sources

Φ/Β: Φωτοβολταϊκό

PV: Photovoltaic

Μονοκρυσταλλικά: Μονο-Si (Φ/Β Τεχνολογία)

Πολυκρυσταλλικά: Poly-Si (Φ/Β Τεχνολογία)

Αρσενικούχου Γαλλίου: GaAs (Φ/Β Τεχνολογία)

Άμορφα: a-Si (Φ/Β Τεχνολογία)

Χαλκού-Ινδίου(-Γαλλίου)-Σεληνίου: CIGS (Φ/Β Τεχνολογία)

Τελλουριούχου Καδμίου: CdTe (Φ/Β Τεχνολογία)

Οργανικά Εύκαμπτα Φ/Β: Organic Curved PV (Φ/Β Τεχνολογία)

ΑτΘ: Αέρια του Θερμοκηπίου

GHG: Greenhouse Gases

ΣΕΦ: Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών

HELAPCO: Hellenic Association of Photovoltaic Companies

ΣΠΕΦ: Σύνδεσμος Παραγωγών Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά

ΠΟΣΠΗΦ: Πανελλήνια Ομοσπονδία Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά

ΠΑΣΥΦΩΣ: Πανελλήνιος Σύλλογος Φωτοβολταϊκών Στέγης

HOPE-A: Ελληνικός Σύνδεσμος Οργανικών & Εκτυπωμένων Ηλεκτρονικών

ΓΠΣ: Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο

ΓΥΠ: Γη Υψηλής Παραγωγικότητας

ΥΠΕΝ: Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας

ΑΗΣ: Ατμοηλεκτρικός Σταθμός Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

IEA: International Energy Agency



ΔΕΗ: Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού

ΔΕΔΔΗΕ: Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΑΔΜΗΕ: Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ή ΕΣΜΗΕ)

ΛΑΓΗΕ: Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΔΑΠΕΕΠ: Διαχειριστής ΑΠΕ & Εγγυήσεων Προέλευσης (πρώην ΛΑΓΗΕ)

ΡΑΕ: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

ΚΑΠΕ: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

ΕΣΕΚ: Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα

ΜΠΕ: Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

ΠΠΔ: Πρότυπες Περιβαλλοντικές Δεσμεύσεις

ΕΟΑ: Ειδική Οικολογική Αξιολόγηση

ΑΕΠΟ: Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων

ΚΥΑ: Κοινή Υπουργική Απόφαση

ΦΕΚ: Φύλλο Εφημερίς της Κυβερνήσεως

ΕΛΑΠΕ: Ειδικός Λογαριασμός ΑΠΕ

ΕΤΜΕΑΡ: Ειδικό Τέλος Μείωσης Εκπομπών Αέριων Ρύπων

ΟΤΣ: Οριακή Τιμή Συστήματος

ΧΥΤ(Α)Υ: Χώροι Υγειονομικής Ταφής (Απορριμμάτων) Υπολειμμάτων



1. Σκοπός/Στόχος και δομή της εργασίας

1.1. Εισαγωγή

Από την ιστορία, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η ενέργεια έπαιξε καθοριστικό ρόλο για την διατήρηση και επέκταση των μεγάλων πολιτισμών. Η ενέργεια αυτή, όπου διατηρούσε και μπορούσε να επεκτείνει τις μεγάλες αυτοκρατορίες ανά τους αιώνες μπορεί να μην είχε την μορφή ορυκτών πόρων με βάση τον άνθρακα ως πρωτογενή πηγή (όπου αποτελεί τον μεγαλύτερο παίχτη στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα τις τελευταίες δεκαετίες), αλλά κυρίως την βιομάζα (ξυλεία και τροφή) όπου προσέδιδε το απαραίτητο ενεργειακό περιεχόμενο στα ζώα και στους ανθρώπους για την διατήρηση και ανάπτυξή τους. Το παραπάνω αποτελεί ένα πολύ απλό παράδειγμα για την χρησιμότητα των ενεργειακών πόρων στην διατήρηση και ανάπτυξη του σύγχρονου τρόπου ζωής, όπου μπορεί οι διατάξεις παραγωγής και διανομής ενέργειας (με έμφαση κυρίως τον ηλεκτρισμό και την θερμότητα) να γίνονται όλο και πιο αποδοτικές, αλλά και οι απαιτήσεις του μέσου πληθυσμού είναι διαρκώς αυξανόμενες εξαιτίας της τεχνολογικής έξαρσης, όπου δεν σταματάει να εξελίσσεται και της συνεχούς αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού. Όπως προαναφέρθηκε, τα ορυκτά καύσιμα με βάση τον άνθρακα, μέχρι και σήμερα κατέχουν την μερίδα του λέοντος στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα, με κυριότερα βροντερά παραδείγματα όπου υπεισέρχονται: την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, τις μετακινήσεις, την θέρμανση & την βιομηχανία. Τα ορυκτά αυτά (π.χ. πετρέλαιο, φυσικό αέριο¹, λιγνίτης) είναι πεπερασμένα με συγκεκριμένα αποθέματα στον πλανήτη μας, ενώ η υπερεκμετάλλευσή τους και οι γεωλογικοί αιώνες που απαιτούνται για την διαμόρφωσή τους, τα καθιστά ακόμα πιο σπάνια. Παράλληλα, η εξόρυξη, η μεταφορά και η ενεργειακή μετατροπή των ορυκτών καυσίμων έχουν προκαλέσει σημαντικές μεταβολές στην ποιότητα του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με ολοένα αυξανόμενες ενδείξεις, η χρήση των ορυκτών καυσίμων συνδέεται άμεσα με την κλιματική κρίση και με την επιτάχυνση της εξέλιξης του φυσικού φαινομένου του θερμοκηπίου (ΦΤΘ). Η παγκόσμια ενεργειακή αγορά βρίσκεται σε κρίσιμο ιστορικά σημείο, καθιστώντας αναγκαία τη μεταστροφή του συμβατικού ενεργειακού μοντέλου προς καθαρότερες/ηπιότερες μορφές ενέργειας. Ωστόσο, η συμμετοχή των ΑΠΕ στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο παραμένει ακόμα και σήμερα περιορισμένη, κυρίως λόγω της στοχαστικής συμπεριφοράς τους, καθώς η παραγωγή ενέργειας εξαρτάται από μια σειρά μετεωρολογικών, γεωλογικών και εν γένει φυσικών παραγόντων που ο άνθρωπος δεν μπορεί να ελέγξει στο βαθμό που τον ικανοποιεί (ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, ταχύτητα ανέμου, παροχή ποταμού κλπ.). Οι ΑΠΕ αποτελούν τεχνολογίες όπου εκμεταλλεύονται την φυσική ροή ενέργειας που βρίσκεται στον πλανήτη μας και ουσιαστικά είναι απεριόριστη. Μία τεχνολογία εξ' αυτών είναι τα Φωτοβολταϊκά (Φ/Β), τα οποία λειτουργούν δεσμεύοντας τις ακτίνες του ήλιου, προσδίδοντας ηλεκτρική ενέργεια (Εηλ.), η οποία στην συνέχεια μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε οποιαδήποτε άλλη μορφή.

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής και Αειφορίας Φωτοβολταϊκών (Φ/Β) Συστημάτων με προσέγγιση την Ελλάδα αφορά την τεκμηρίωση των σταδίων όπου διέρχονται τα Φ/Β συστήματα, από την αρχική πρώτη ύλη που απαιτείται και τον τρόπο που δεσμεύεται, όλα τα ενδιάμεσα στάδια παραγωγικής διαδικασίας, εγκατάστασης και λειτουργίας έως το τέλος

¹ Το Φυσικό Αέριο αν και καύσιμο που βασίζεται στον άνθρακα, είναι πολύ φιλικότερο προς το περιβάλλον και μπορεί να θεωρηθεί ως καταλύτης στην ενεργειακή μετάβαση από τις συμβατικές ρυπογόνες πηγές ενέργειας προς τις ΑΠΕ (βάση της παγκόσμιας επιστημονικής κοινότητας)



ωφέλιμης ζωής τους. Η κατάλληλη διαχείριση και εναπόθεση του εξοπλισμού αυτού κατά την χρονική στιγμή όπου δεν είναι πλέον ωφέλιμος είναι το επόμενο στάδιο, εξίσου σημαντικό με τα προηγούμενα, έτσι ώστε η Φ/Β τεχνολογία ως σύνολο να υπάγεται στο μοντέλο της Κυκλικής Οικονομίας και της Αειφόρου Ανάπτυξης. Η πετρελαϊκή κρίση του 1973 τόνωσε την έρευνα, οδηγώντας στην διερεύνηση και χρήση καινοτόμων υλικών και μεθόδων παραγωγής για την μείωση του κόστους και την αύξηση της απόδοσης των Φ/Β. Επιπλέον, η διεθνής αγορά τα τελευταία χρόνια άρχισε να κινείται με πολύ γοργούς ρυθμούς ανάπτυξης, με αποτέλεσμα να υπάρχει ουσιαστική πρόοδος στην παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού, με πρωτεργάτριες χώρες σε αυτήν την προσπάθεια την Κίνα, την Ιαπωνία, την Γερμανία, την Ισπανία και τις ΗΠΑ (Εναλλακτικές μορφές ενέργειας, Μπιτζιώνης 2011). Το κόστος για την αγορά και εγκατάσταση ενός Φ/Β Συστήματος δεν είναι παντού το ίδιο, αλλά εξαρτάται από την ωριμότητα της αγοράς, το είδος και το μέγεθος της εφαρμογής. Σύμφωνα με τα μέχρι τώρα στοιχεία, το κόστος των Φ/Β πλαισίων μειώνεται κατά 4-5% τον χρόνο τα τελευταία 25 χρόνια. Με γνώμονα τα προαναφερθέντα, τα Φ/Β Συστήματα έχουν τεράστια προοπτική ώστε να διαδραματίσουν πρωταγωνιστικό ρόλο στο κομμάτι της σταδιακής μετάβασης από τις συμβατικές, ενεργοβόρες και ρυπογόνες μονάδες παραγωγής ενέργειας που βασίζονται στον άνθρακα και στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα προς καθαρότερες και πιο φιλικές μορφές ενέργειας προς την φύση. Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η σφαιρική κάλυψη της Φ/Β τεχνολογίας σε τεχνικά, κοινωνικοοικονομικά και εθνικά ζητήματα με μεγαλύτερη έμφαση στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας μας, την απεξάρτηση από εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους και συμβατικά ρυπογόνα καύσιμα που βασίζονται στην εξόρυξη πεπερασμένων φυσικών πόρων.

Η γενικότερη αντίληψη του κόσμου όταν συναντάει Φ/Β Συστήματα, είναι η πράσινη ανάπτυξη με φιλοπεριβαλλοντικές βλέψεις προς την παραγωγή ενέργειας. Ακόμη, γίνεται προσέγγιση της δυναμικής που υπάρχει στον Ελλαδικό χώρο για χωροθέτηση και εγκατάσταση Φ/Β Συστημάτων, αναδεικνύοντας τις τοποθεσίες όπου ενδείκνυται καταλληλότερα μία εγκατάσταση συναρτήσει διαφόρων κριτηρίων (τεχνικών, τοπογραφικών, οικονομικών κλπ.) και τον βέλτιστο τρόπο λειτουργίας, με σκοπό να κατανοήσουμε την επάρκεια και την απόδοση που υπάρχει στην Ελληνική Επικράτεια για την αφομοίωση αυτής της τεχνολογίας. Γίνεται εμβάθυνση στις θεμελιώδεις πρώτες ύλες που συνθέτουν ένα Φ/Β πλαίσιο ή αλλιώς πάνελ, σύγκριση μεταξύ τεχνολογιών διαφορετικής γενιάς, ανάλυση των πρώτων υλών που συνθέτουν τα βασικά περιφερειακά μέρη που απαρτίζουν τα Φ/Β Συστήματα, όπως είναι οι συσσωρευτές, τα καλώδια μεταφοράς του ηλιακού ηλεκτρισμού, οι βάσεις στήριξης κλπ.



1.2. Βασικές Έννοιες

Ορισμός των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είτε αλλιώς ήπιες μορφές ενέργειας, νέες πηγές ενέργειας, πράσινη ενέργεια είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, με σημαντικότερες την ηλιακή ακτινοβολία, τον άνεμο, την γεωθερμία, την κυκλοφορία του νερού και την αξιοποίηση της βιομάζας. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, ως ενέργεια παραγόμενη από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές θεωρείται η αιολική, ηλιακή, αεροθερμική, γεωθερμική, υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών, υδροηλεκτρική, από βιομάζα, από τα εκλυόμενα αέρια στους χώρους υγειονομικής ταφής, από αέρια μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και από βιοαέρια.

Ο όρος "ήπιες" αναφέρεται σε δύο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως συμβαίνει με τις συμβατικές χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας που καλύπτουν την μεγαλύτερη μερίδα του ενεργειακού μείγματος, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στην φύση. Δεύτερον, πρόκειται για "καθαρές" μορφές ενέργειας, πιο "φιλικές" προς την φύση, όπου δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες (HCs), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες συμβατικές πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι θεωρούνται από πολλούς μια αφετηρία για την επίλυση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει ο πλανήτης μας.

Ως ΑΠΕ θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του λιγνίτη), όπως η ηλιακή και η αιολική που αποτελούν πλέον ώριμες τεχνολογίες. Ο χαρακτηρισμός "ανανεώσιμες" είναι κάπως καταχρηστικός, αφού ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια, δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των πεπερασμένων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Τελευταία, από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για την προώθηση και χρήση των ΑΠΕ, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη-μέλη (π.χ. επιδότηση Συστημάτων ΑΠΕ για χρήση στο δομημένο περιβάλλον). Οι ΑΠΕ αποτελούν την βάση του μοντέλου οικονομικής ανάπτυξης της πράσινης οικονομίας και κεντρικό σημείο εστίασης των σχολών που ασχολούνται με την αειφορική οικονομία, οι οποίες με την σειρά τους έχουν κάποια επιρροή στο μέλλον του ενεργειακού γίγνεσθαι και ταυτόχρονα στην διατήρηση της βιοποικιλότητας, της άγριας φύσης και του φυσικού περιβάλλοντος.

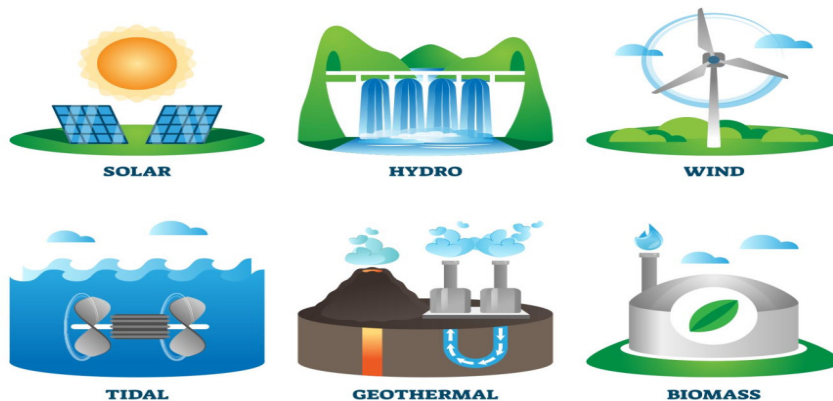
Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται ως επί το πλείστον στην ηλιακή ενέργεια, εξαίρεση αποτελεί η γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό της γης (φλοιού), και την ενέργεια από τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται την βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, εφόσον δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ήλιος, δηλαδή για μερικά ακόμα δισεκατομμύρια χρόνια. **Ουσιαστικά αποτελούν ηλιακή ενέργεια "συσκευασμένη"** κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο: η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική ενέργεια εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται από την θέρμανση του αέρα, ενώ αυτές που βασίζονται στο νερό, εκμεταλλεύονται τον



κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του (αένη κίνηση του νερού). Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ανανεώσιμη, εφόσον βέβαια δεν γίνεται υπεραντίληση (υπερεκμετάλλευση).

Χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για σκοπούς θέρμανσης) είτε μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας, κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια. Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό από τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν να κάνουν με την διατήρηση του παρόντος στάτους στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους του υπάρχοντος δυναμικού.

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ανακινήθηκε την δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των απαντών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από την χρήση των συμβατικών, βασισμένων στον άνθρακα πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών (και εν μέρει των αναπτυσσόμενων) για την ενέργεια και το κλίμα, με στόχο την ολοένα αυξανόμενη αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και αν όχι όλες, οι περισσότερες ΑΠΕ ανταγωνίζονται στα ίσα παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια.



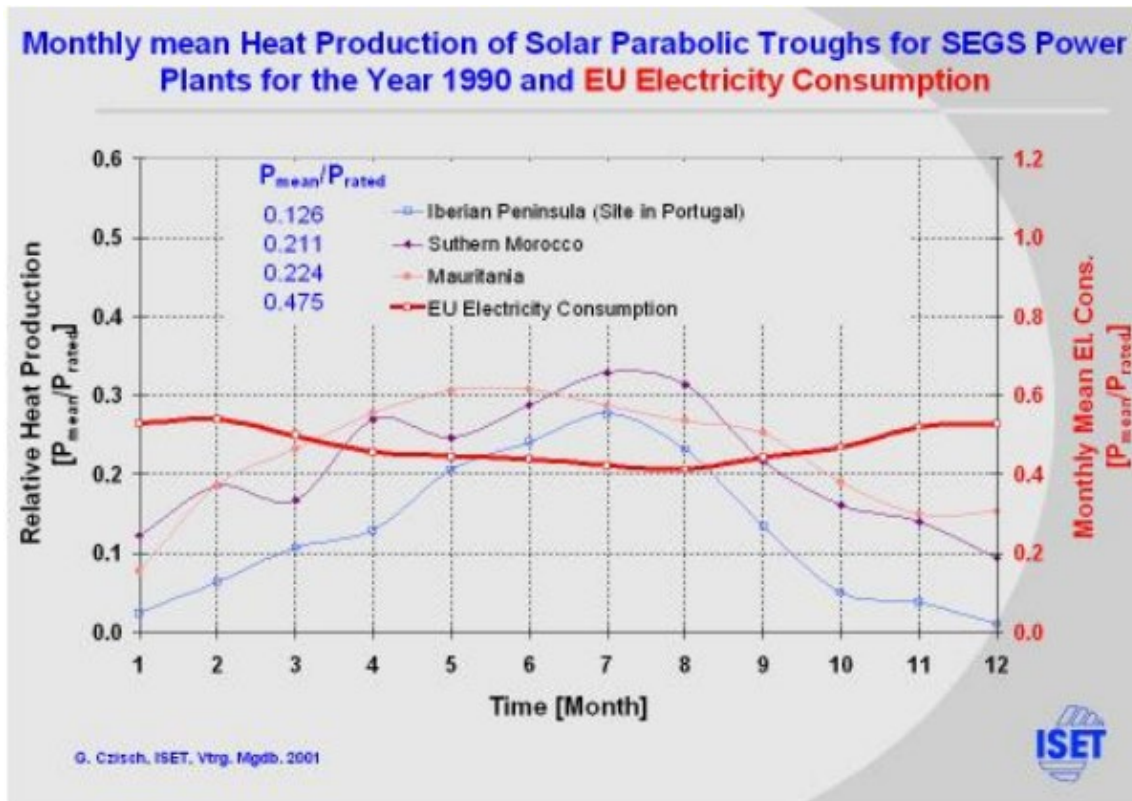
Σχήμα 1.1 Βασικότερες Μορφές ΑΠΕ

Χρονική κατανομή των ΑΠΕ

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των ΑΠΕ είναι η μεταβολή που παρουσιάζουν στην διάρκεια του χρόνου. Για τις διάφορες τεχνολογίες ΑΠΕ υπάρχει σημαντικά διαφοροποιημένη μεταβολή της διαθεσιμότητάς τους στην διάρκεια του χρόνου, μήνα, ημέρας ακόμα και ώρας. Για παράδειγμα, η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη αποκλειστικά κατά την διάρκεια της ημέρας και πιο άφθονη κατά την διάρκεια του θέρους. Ο άνθρωπος γενικά δεν μπορεί να επηρεάσει αυτή την χρονική μεταβλητότητα, θα πρέπει να βρούμε μεθοδολογίες που να επιτρέπουν το συνταίριασμα αυτής της μεταβλητότητας με τις δικές μας συνήθειες ή ανάγκες ενεργειακής κατανάλωσης (ζήτησης). Έχουν γίνει διάφορες μελέτες σχετικά με την χρονική μεταβολή των ΑΠΕ και το ταίριασμα με την ανθρώπινη ενεργειακή ζήτηση (demand). Στο παρακάτω σχήμα (βλ. Σχήμα 1.2) φαίνεται για παράδειγμα η συσχέτιση της δυνατότητας παραγωγής Εηλ. από ηλιακούς



σταθμούς με παραβολικά κάτοπτρα για διάφορες τοποθεσίες – Ιβηρική χερσόνησος/Νότιο Μαρόκο/Μαυριτανία σε σχέση με την μέση ζήτηση που επικρατεί στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



Σχήμα 1.2 Συσχέτιση της δυνατότητας παραγωγής Εηλ. από ηλιακούς σταθμούς με παραβολικά κάτοπτρα για διάφορες τοποθεσίες – Ιβηρική χερσόνησος/Νότιο Μαρόκο/Μαυριτανία σε σχέση με την μέση κατανάλωση Εηλ. που επικρατεί στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Αειφορία και αειφορική οικονομία

Η λέξη αειφορία προέρχεται από τα συνθετικά (αεί) & (φέρω), πάντοτε φέρω δηλαδή. Μπορεί να θεωρηθεί συνώνυμη με τις έννοιες: άνθηση, πρόοδος και ανάπτυξη. Ως ουσιαστικό μεταφράζεται ως η εσκεμμένη παραγωγή ενός αγαθού που προσλαμβάνεται από κάποιο οικοσύστημα, με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην μειώνεται, αλλά να βελτιώνεται η παραγωγική ικανότητα και να μην επηρεάζονται οι σχέσεις του με το περιβάλλον. Επιπλέον μπορεί να ορισθεί και ως η χρήση των φυσικών οικοσυστημάτων και των πηγών ενέργειας, ώστε να εξασφαλίζεται η μελλοντική ποιότητα και ισορροπία.

Η αειφόρος ανάπτυξη ή αλλιώς βιώσιμη ανάπτυξη αναφέρεται στην οικονομική ανάπτυξη που σχεδιάζεται και υλοποιείται με γνώμονα την προστασία της φύσης. Βασική αρχή της αειφορίας είναι η μέγιστη δυνατή απολαβή αγαθών από το περιβάλλον, χωρίς όμως να διακόπτεται η φυσική παραγωγή αυτών των προϊόντων σε ικανοποιητική ποσότητα (αλλά και ποιότητα), ώστε να μπορούν να τα απολαμβάνουν και οι επόμενες γενιές. Η



βιωσιμότητα υπονοεί ότι οι φυσικοί πόροι υφίστανται εκμετάλλευση με ρυθμό μικρότερο από αυτόν με τον οποίο ανανεώνονται, ενώ σε διαφορετική περίπτωση λαμβάνει χώρα η υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Θεωρητικά, με το μακροπρόθεσμο αποτέλεσμα της περιβαλλοντικής υποβάθμισης συνεπάγεται η ανικανότητα του γήινου οικοσυστήματος να υποστηρίξει την ανθρώπινη ζωή.

Τεχνολογίες ΑΠΕ

- **Ηλιακή ενέργεια.** Η πηγή ενέργεια που διατηρεί τον πλανήτη μας στην σωστή θερμοκρασία, ενεργοποιεί τον υδρολογικό κύκλο, δημιουργεί τον άνεμο και τον καιρό και παρέχει την τροφή μας είναι ένας σχετικά ασήμαντος αστέρας νάνος περίπου 93 εκατομμύρια μίλια μακριά. Έχει χρησιμοποιηθεί περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει και κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των ΑΠΕ από το Ελληνικό κράτος και την ΕΕ.
- **Αιολική ενέργεια.** Χρησιμοποιήθηκε παλαιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π.χ. την άλεση σε ανεμόμυλους). Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως για ηλεκτροπαραγωγή.
- **Υδραυλική ενέργεια.** Είναι τα γνωστά Υδροηλεκτρικά έργα (ΥΗΕ), όπου στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας συγκαταλέγονται τα μικρά υδροηλεκτρικά (συνήθως έως 10MW εγκατεστημένης ισχύος). Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ΑΠΕ, με την μεγαλύτερη απόδοση.
- **Βιομάζα.** Αξιοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση ενέργειας που δεσμεύτηκε από το φυτό μέσω της φωτοσύνθεσης. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα (πάσης φύσεως απόβλητα). Μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές, που θα χρησιμοποιηθεί πλατιά στο μέλλον.
- **Γεωθερμική ενέργεια.** Η επιστημονική κοινότητα ταξινομεί συνήθως την γεωθερμία στις ΑΠΕ. Προέρχεται από την θερμότητα που παράγεται από την ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανέρχεται με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια (π.χ. θερμοπίδακες ή πηγές ζεστού νερού/ιαματικές). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές, είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η Ισλανδία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών της αναγκών, όσον αφορά την θέρμανση, και περίπου το 20% όσον αφορά τον ηλεκτρισμό, με την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας. Το υπόγειο νερό ή ο ατμός που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της Εηλ. είτε για την κάλυψη θερμικών αναγκών (άμεσες χρήσεις γεωθερμίας), με την κατάλληλη χρήση δεν θα ελαττωθεί, επειδή η κατείσδυση των επιφανειακών υδάτων θα συνεχίσει να επανατροφοδοτεί τους γεωθερμικούς ταμιευτήρες, ενώ δεν απαιτούνται μεγάλοι γεωλογικοί χρόνοι (περίοδοι) για αναγέννηση αρκεί να μην γίνεται υπεράντληση. Όμως, επειδή οι δεξαμενές γεωθερμίας είναι τεράστιες σε μέγεθος συγκριτικά με τις ανάγκες του ανθρώπου, η γεωθερμική ενέργεια είναι πρακτικά ανανεώσιμη.
- **Ενέργεια από την θάλασσα**



Παλίρροιες: εκμεταλλεύεται την βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό.

Ενέργεια από κύματα: Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.

Ενέργεια από τους Ωκεανούς: Εκμεταλλεύεται την διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων.

- **Ωσμωτική ενέργεια:** η ανάμειξη γλυκού και θαλασσινού νερού απελευθερώνει τεράστια ποσά ενέργειας, όπως συμβαίνει όταν ένα ποτάμι εκβάλει στον ωκεανό. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται ωσμωτική και ανακτάται όταν το νερό του ποταμού και το θαλασσινό νερό διαχωρίζονται από μία ημιπερατή μεμβράνη και το γλυκό νερό διέρχεται μέσω αυτής.

Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα

1. Φιλικές προς το περιβάλλον, παρουσιάζοντας στην ουσία μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα
2. Ανεξάντλητες, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα
3. Ικανότητα να προάγουν την ενεργειακή αυτονομία και επάρκεια μικρών - αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την βιομηχανία (οικονομία) του πετρελαίου
4. Είναι ευέλικτες εφαρμογές, που δύναται να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επιτόπιου πληθυσμού, ακυρώνοντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής (αρχικά για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις
5. Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και την συντήρηση και έχει αρκετά υψηλό προσδόκιμο ζωής (αναλογικά πάντα με την εκάστοτε τεχνολογία)
6. Είναι επιδοτούμενες από τις περισσότερες κυβερνήσεις

Μειονεκτήματα



- I. Αρκετά μικρός συντελεστής απόδοσης, της τάξης του 30% ή και πιο (πέραν τον Υδροηλεκτρικών έργων όπου έχουν πολύ μεγαλύτερο συντελεστή απόδοσης). Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής που να καλύπτει μεγάλη επιφάνεια της γης. Για αυτό τον λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας. Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων



- II. Η παροχή και η απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους, αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται
- III. Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητικές πλευράς και ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί
- IV. Για τα ΥΗΕ λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό και έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (ΦΤΘ)

Κατηγορίες Συστημάτων Αξιοποίησης της Ηλιακής Ενέργειας

Διακρίνουμε δύο κατηγορίες συστημάτων για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας :

-  Τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα
-  Τα Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι κατά κύριο λόγο δομικά στοιχεία των κτιρίων, που αξιοποιούν τους νόμους μεταφοράς θερμότητας. Συγκεκριμένα συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και στην συνέχεια την διανέμουν στον χώρο. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα, που με την βοήθεια του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού εγκλωβίζουν την θερμότητα σε εσωτερικούς χώρους, ενώ μπορούν να συνδυαστούν και με τεχνικές φωτισμού, καθώς και με τεχνικές για τον φυσικό δροσισμό των κτιρίων το καλοκαίρι. Εφαρμόζονται σε νεοσύστατα αλλά και σε ήδη υπάρχοντα κτίρια. Αποτελούν την πρωταρχική και βασικότερη φιλοσοφία του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού Κτιρίων.

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα και ειδικότερα τα Φ/Β Συστήματα μετατρέπουν (με την βοήθεια συγκεκριμένων διατάξεων που θα δούμε στην συνέχεια) την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, αλλά και σε θερμική με την χρήση ηλιακών συλλεκτών (θερμοσίφωνες). Για να μετατραπεί η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης σε Εηλ., χρησιμοποιούμε τα φ/β στοιχεία (ή αλλιώς κύτταρα, κυψέλες, κελιά – PV cells). Η απόδοση των φ/β κυττάρων σήμερα έχει ξεπεράσει το 15%, με δυναμικές προϋποθέσεις για ακόμα μεγαλύτερη αύξηση. Πρακτικά αυτό σημαίνει πως 1000 W² ηλιακής ενέργειας μετατρέπονται σε 150 W Εηλ. ανά ώρα και ανά τετραγωνικό μέτρο φ/β στοιχείων. Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε όλη την επιφάνεια της γης σε μία ώρα, καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη μας για όλο τον χρόνο (Βασίλειος Δ. Μπιτζιώνης κα. 2015).

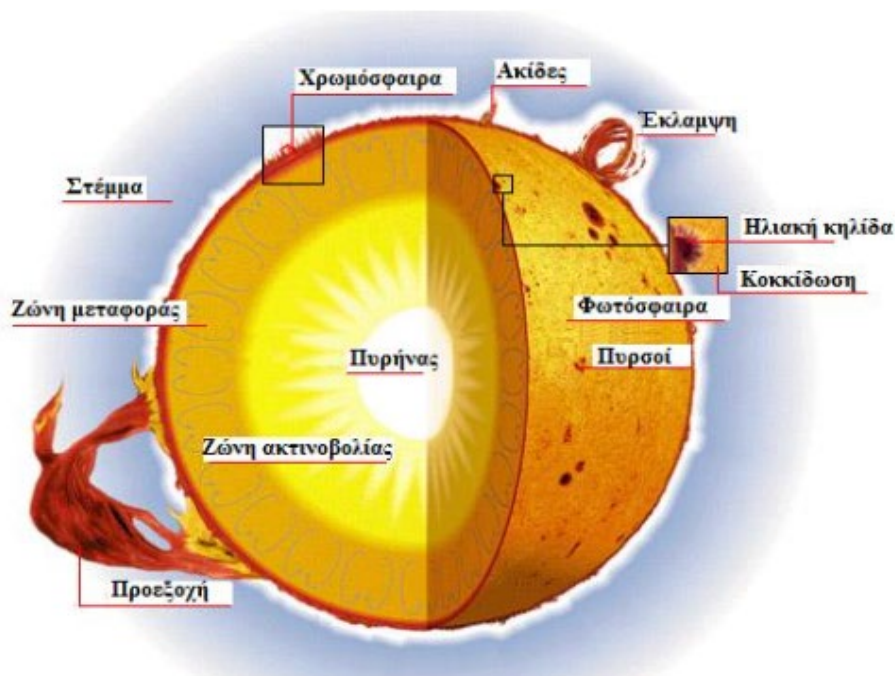
² Ισχύς ενός ηλίου = 1 kW/m²

1.2.1. Ηλιακή Μηχανική

Ο Ήλιος

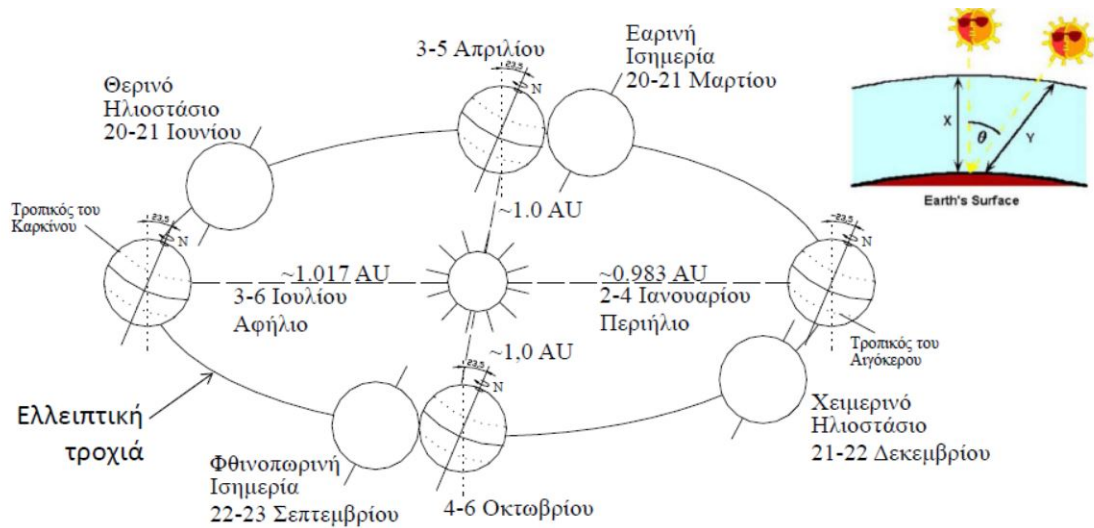
Είναι η κινητήρια δύναμη όλων των οικοσυστημάτων.

Ο ήλιος μπορεί να θεωρηθεί ως μια μεγάλη σφαίρα αερίων υψηλής θερμοκρασίας, με διάμετρο 1.39×10^6 km και μάζα 2×10^{30} kg. Είναι το άστρο του ηλιακού μας συστήματος και το λαμπρότερο σώμα του ουρανού, ενώ αποτελεί το 99,86% της συνολικής μάζας του ηλιακού μας συστήματος.



Σχήμα 1.3 Δομή του Ήλιου

Ο Ήλιος έχει ασαφή επιφάνεια όπως οι γήινοι πλανήτες. Η πυκνότητα των αερίων μειώνεται σε συνάρτηση με την ακτίνα του με έναν νόμο αντιστρόφου τετραγώνου. Η δομή του ήλιου περιλαμβάνει από μέσα προς τα έξω: τον πυρήνα, την ζώνη ακτινοβολίας, την ζώνη μεταφοράς, την φωτόσφαιρα, την χρωμόσφαιρα και το στέμμα. Η ακτίνα του Ήλιου μετριέται από το κέντρο του άστρου έως την φωτόσφαιρα, έξω από την οποία δεν λαμβάνει χώρα η πυρηνική σύντηξη.



Μέση απόσταση Ήλιου-Γης : 1 Astronomical Unit (AU) = 149,597,870,691 ±30 μέτρα

Σχήμα 1.4 Μέση Απόσταση μεταξύ Ήλιου – Γης, 1 Astronomic Unit (1 AU)

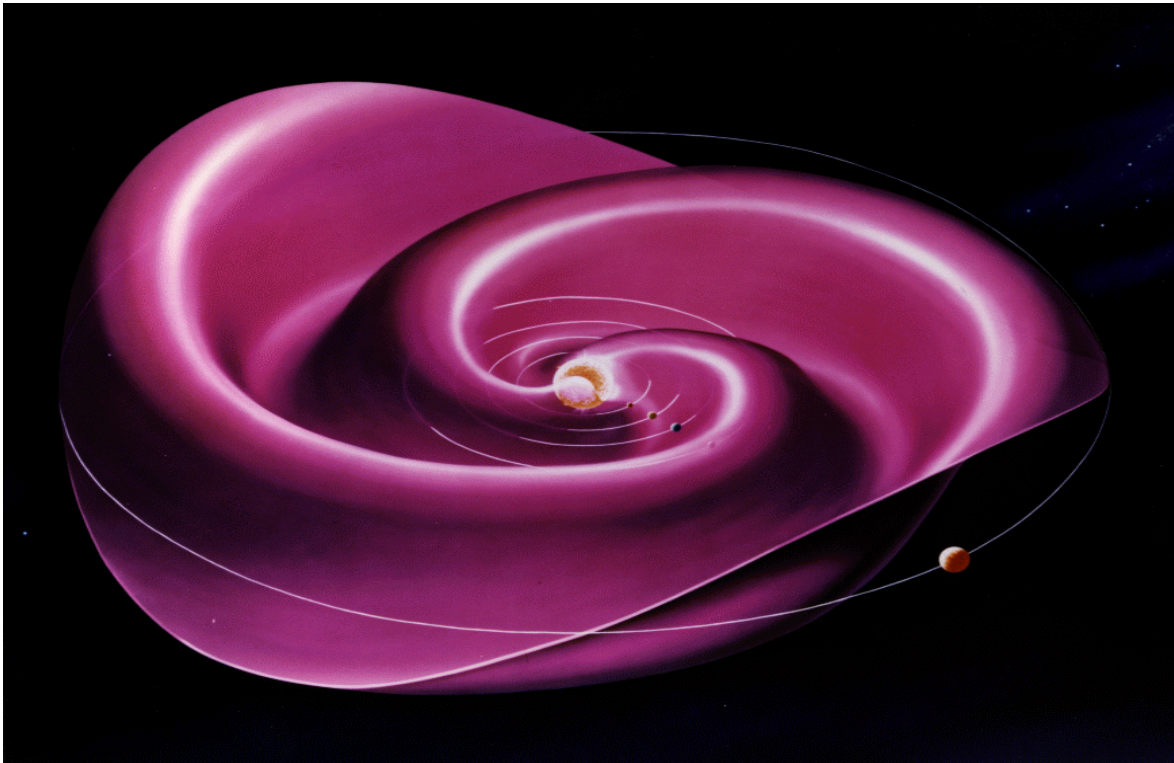
- ✓ Αποτελείται από 74% Υδρογόνο (H_2), 25% Ήλιο (He) και το υπόλοιπο 1% είναι μείγμα με περισσότερα από 100 χημικά στοιχεία.
- ✓ Η θερμοκρασία κοντά στο κέντρο του ήλιου είναι της τάξης των 15×10^6 °K, σε αυτήν την περιοχή η ενέργεια που ακτινοβολεί παράγεται από αντιδράσεις θερμοπυρηνικής σύντηξης όπου το υδρογόνο μετατρέπεται σε ήλιο.
- ✓ Σε αυτήν την περιοχή τα άτομα υδρογόνου βρίσκονται σε κατάσταση πλάσματος και σε συνδυασμό με τις τρομερά υψηλές θερμοκρασίες κινούνται με μεγάλες ταχύτητες και συγκρούονται σφοδρά προς τον σχηματισμό σταθερών ατόμων ήλιου. Τα τέσσερα μεμονωμένα άτομα υδρογόνου ζυγίζουν περισσότερο, πριν την συγχώνευση, από ένα άτομο ήλιου που δημιουργήθηκε κατά την συγχώνευση. Η υπόλοιπη μάζα μετατρέπεται σε ενέργεια, σύμφωνα με την εξίσωση του Αϊνστάιν:

$$E=mc^2 \quad 3$$

Σύμφωνα με την θεωρία του Αϊνστάιν το έλλειμα μάζας της πυρηνικής αντίδρασης δικαιολογεί την εκλυόμενη ενέργεια, κατά την οποία, η μετατροπή ενός γραμμαρίου Υδρογόνου σε Ήλιο εκλύει ενέργεια ίση με 167 MWh.

- ✓ Αυτή η διαδικασία απελευθερώνει ενέργεια στον πυρήνα, η οποία ενέργεια μεταφέρεται προς τα εξωτερικά στρώματα του ήλιου με ακτινοβολία και μετάδοση θερμότητας ενώ στη συνέχεια ακτινοβολείται προς στο διάστημα.
- ✓ Ο χρόνος που χρειάζεται για τα ταξιδέψει η ακτινοβολία (ένα πακέτο ενέργειας) από τον ήλιο ως τη γη είναι περίπου 8 λεπτά.

³ όπου E η Ενέργεια (σε J), m η μάζα (σε kg) και c² η ταχύτητα του φωτός στο τετράγωνο (σε m²/s²)



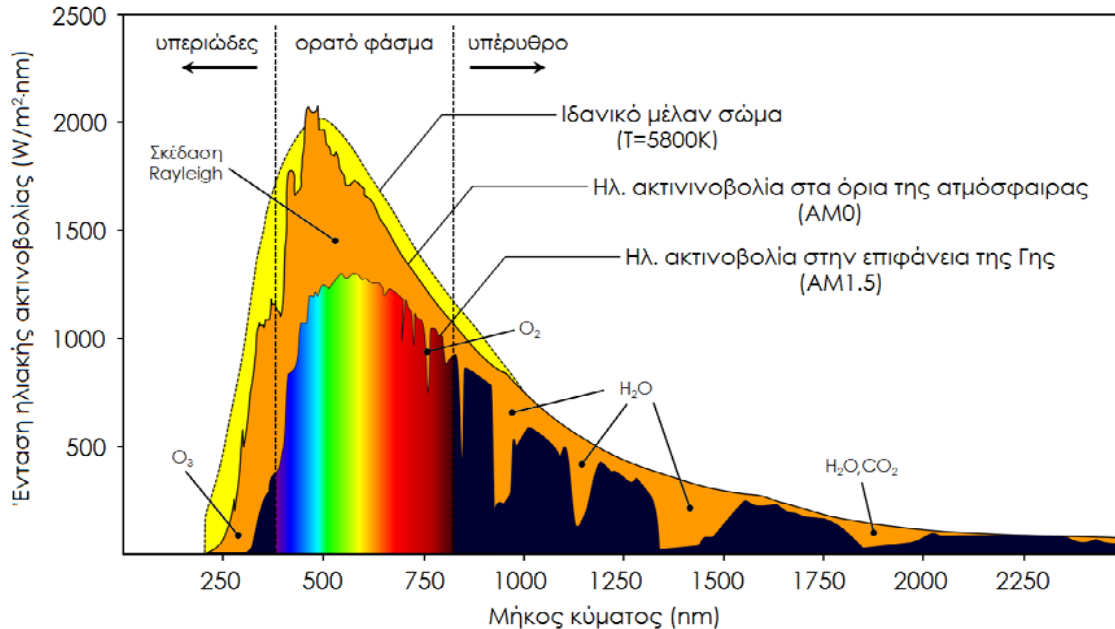
Σχήμα 1.5 Απεικόνιση του ηλιακού μαγνητικού πεδίου. Η σπειροειδής μορφή οφείλεται στην διαφορετική περιστροφή του ήλιου, μεταξύ του Ισημερινού και των Πόλων του

- Ο ήλιος είναι ένα μαγνητικά ενεργό αστέρι. Οι επιπτώσεις της ηλιακής δραστηριότητας (όπως ο ηλιακός άνεμος) στην Γη περιλαμβάνουν το σέλας καθώς και την διακοπή των ραδιοφωνικών επικοινωνιών και πολλές φορές της Εηλ.

ΗΛΙΑΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ

Η ολική εκπεμπόμενη ισχύς από τον ήλιο ισούται με $L_s = 3,839 \times 10^{26} \text{ W}$, θεωρώντας ότι η ισχύς αυτή εκπέμπεται από την σφαιρική επιφάνειά του (ακτίνας $R_s = 6,96 \times 10^8 \text{ m}$), από τον νόμο των Stefan – Boltzmann προκύπτει η θερμοκρασία ήλιου T_s που αντιστοιχεί στην επιφάνειά του, θεωρώντας τον ήλιο μέλαν σώμα:

$$L_s = 4\pi R_s^2 \sigma T_s^4 \rightarrow T_s = \left(\frac{L_s}{4\pi R_s^2 \sigma} \right)^{1/4} \approx 5800 \text{ K}$$



Σχήμα 1.6 Φασματική αφετική ικανότητα ιδανικού μέλανος σώματος συναρτήσει του μήκους κύματος (λ). Με την αύξηση της θερμοκρασίας, η κορυφή της κατανομής της ακτινοβολούμενης ενέργειας μετατοπίζεται σε μικρότερα μήκη κύματος υψηλότερης ενεργειακής πυκνότητας

Η ενέργεια αυτή από τον ήλιο φτάνει στην Γη και θεωρώντας ομοιόμορφη σφαιρική κατανομή ακτίνες R_{ES} (μέση απόσταση Γης-Ήλιου ίση με $1,496 \times 10^{11}$ km), η ολική εκπεμπόμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας σε αυτή την απόσταση (με μερικές διορθώσεις), θα ισούται με:

$$\left(\frac{L_s}{4\pi R_s^2 \sigma} \right) = \frac{3,839 \times 10^{26} W}{4\pi (1,496 \times 10^{11})^2 m^2} = 1367 W/m^2$$

Πιο αναλυτικά, είναι η ηλιακή ενέργεια ολόκληρου του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας που διέρχεται στη μονάδα του χρόνου και ανά μονάδα επιφάνειας, κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας, τοποθετημένη έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα και σε απόσταση από τον ήλιο, τη μέση απόσταση μεταξύ Ήλιου-Γης, δηλαδή 1Αστρονομική Μονάδα (AU), όπου είναι ίση με $1,496 \times 10^{11}$ km.

Τιμή που αποδέχεται ο Παγκόσμιος Οργανισμός Μετεωρολογίας (WMO, 1978):

Ηλιακή σταθερά, $G_{sc}=1367W/m^2$

- Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι η εισερχόμενη ενέργεια στην Γη προέρχεται εξ' ολοκλήρου από τον Ήλιο αφού η μεταφερόμενη ενέργεια (υπό την μορφή θερμότητας κυρίως) από το εσωτερικό της Γης με μηχανισμούς συναγωγής είναι αμελητέα.



Σημαντικές εξισώσεις H/M ακτινοβολίας:

Η περιοχή κάτω από την καμπύλη του Planck μεταξύ δύο οποιονδήποτε μηκών κύματος είναι η ισχύς που εκπέμπεται μεταξύ αυτών των μηκών κύματος, οπότε η ολική επιφάνεια κάτω από την καμπύλη είναι η ολική ισχύς ακτινοβολίας που εκπέμπεται. Αυτή εκφράζεται εύκολα από τον νόμο ακτινοβολίας του Stefan-Boltzmann:

$$E = \sigma \cdot A \cdot T^4 ,$$

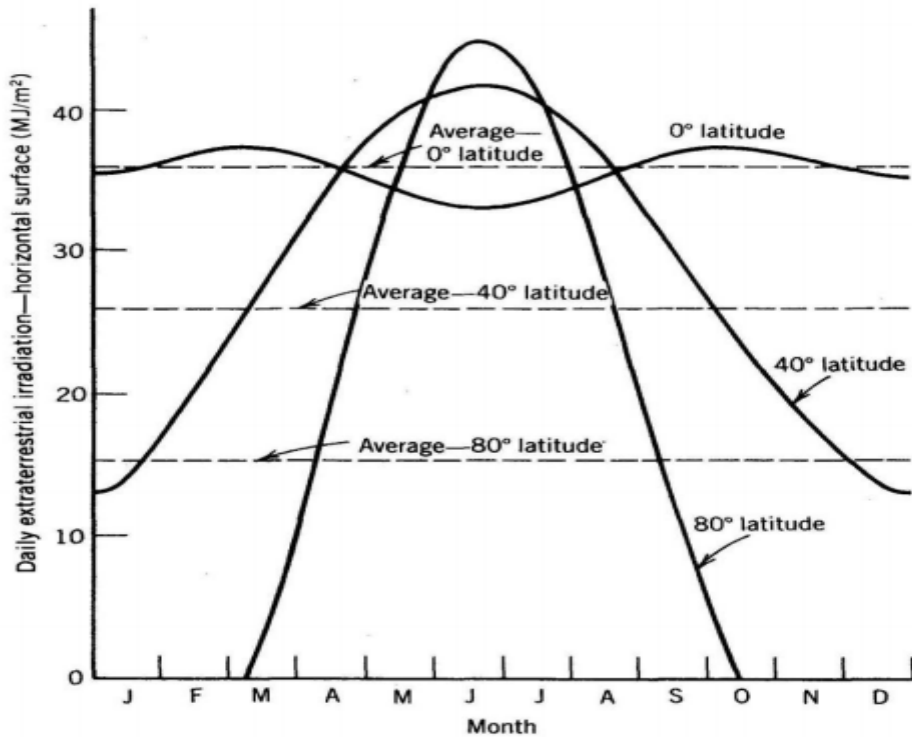
Όπου E είναι ο συνολικός ρυθμός εκπομπής του μέλανος σώματος (W), σ είναι η σταθερά του Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$), T είναι η απόλυτη θερμοκρασία του μέλανος σώματος (K) και A είναι η επιφάνεια του σώματος (m^2)

Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό της καμπύλης ακτινοβολίας του μέλανος σώματος δίνεται από τον νόμο μετατόπισης του Wien, ο οποίος μας δίνει το μήκος κύματος στο οποίο το φάσμα φτάνει στο μέγιστο σημείο του:

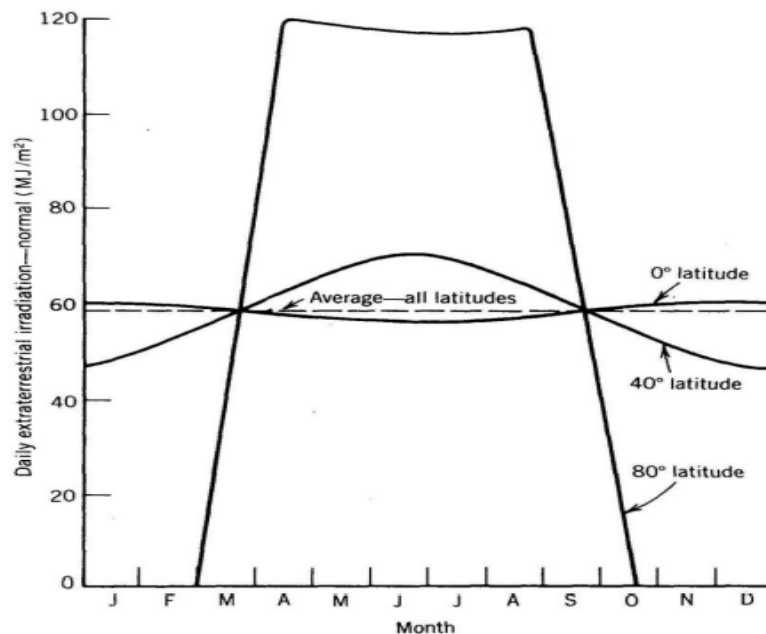
$$\lambda_{\max}(\mu\text{m}) = \frac{2898}{T(\text{K})}$$

Όπου το μήκος κύματος είναι σε (μm) και η θερμοκρασία είναι σε βαθμούς (K)

Στα παρακάτω σχήματα (βλ. Σχήμα 1.7 & 1.8) παρατηρούμε ότι όσο πιο κοντά στον Ισημερινό βρίσκεται η υπό εξέταση περιοχή ενδιαφέροντος Βορείου Ημισφαιρίου, δηλαδή για γεωγραφικά πλάτη όσο πιο κοντά στις 0° , τόσο αυξάνεται η μέση ετήσια ολική ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε επίπεδο παράλληλο με την επιφάνεια της γης αμέσως έξω από την γήινη ατμόσφαιρα και ο μέσος όρος ημερήσιας ηλιακής ενέργειας για γεωγραφικά πλάτη από 0° έως 80° είναι στα 60 MJ/m^2 , η οποία προσπίπτει σε επίπεδο κάθετο στις ακτίνες του ήλιου αμέσως έξω από την γήινη ατμόσφαιρα, ενώ για γεωγραφικά πλάτη κοντά στις 80° παρατηρούμε ότι για 4,5 περίπου μήνες τον χρόνο η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία είναι αμελητέα έως μηδενική.



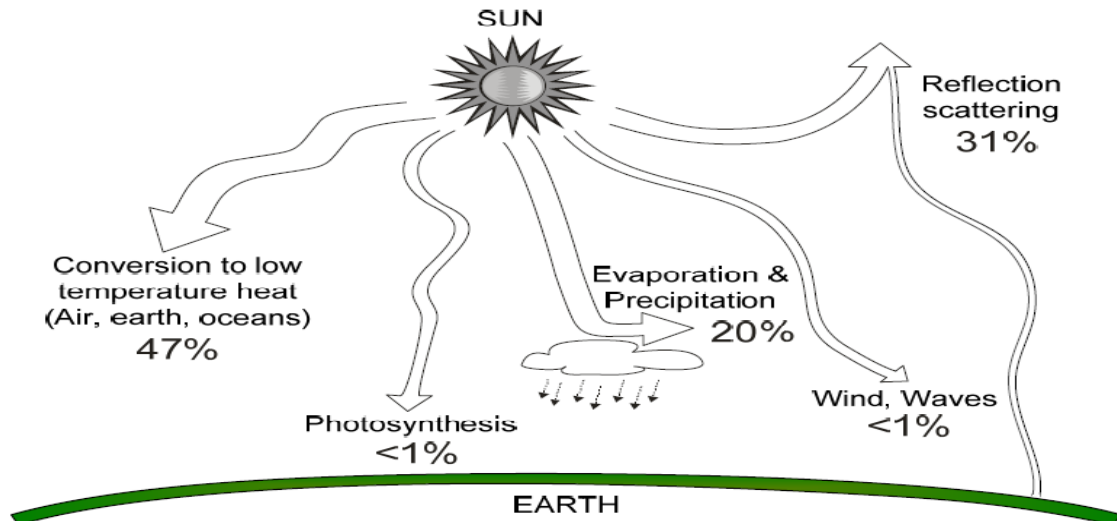
Σχήμα 1.7 Συνολική ημερήσια ηλιακή ενέργεια (MJ/m²) η οποία προσπίπτει σε επίπεδο παράλληλο με την επιφάνεια της γης αμέσως έξω από την γήινη ατμόσφαιρα, Βόρειο Ημισφαίριο



Σχήμα 1.8 Συνολική ημερήσια ηλιακή ενέργεια (MJ/m²) η οποία προσπίπτει σε επίπεδο κάθετο στις ακτίνες του ήλιου αμέσως έξω από την γήινη ατμόσφαιρα, Βόρειο Ημισφαίριο (πηγή ΑΠΕ Κατσανεβάκης Αναστάσιος, ανοιχτά ακαδημαϊκά μαθήματα)



Ηλιακή Ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης



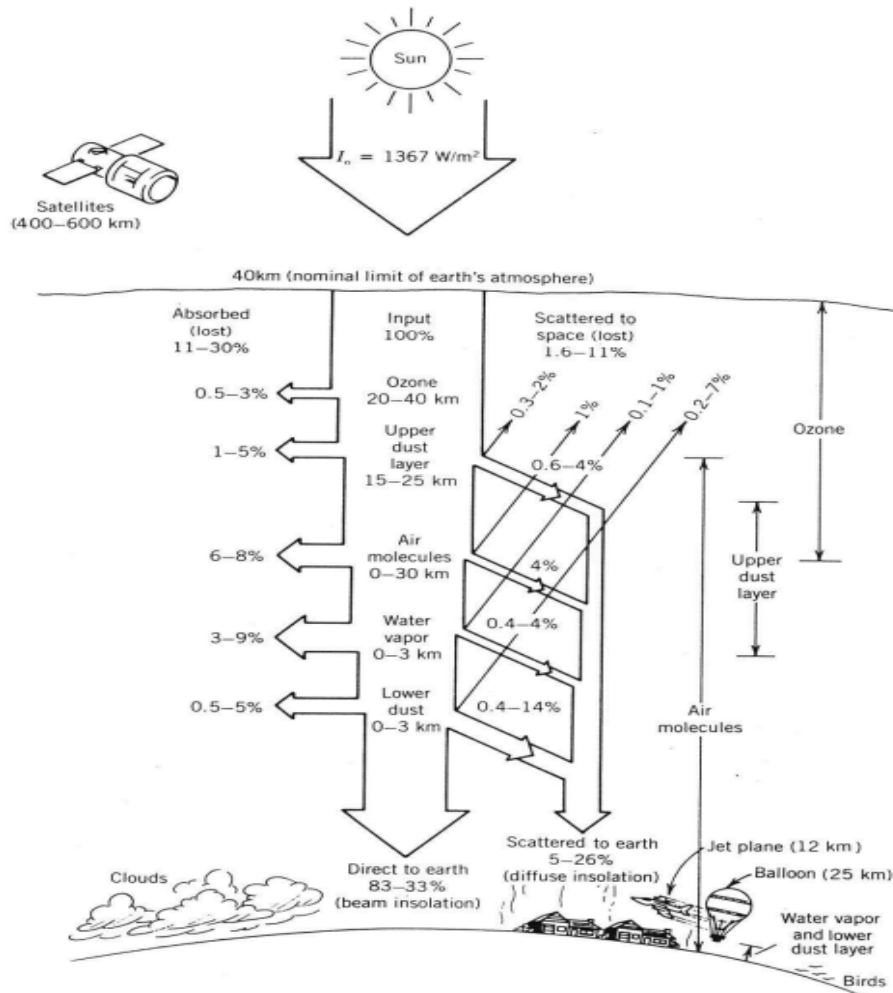
Σχήμα 1.9 Εισερχόμενη Ηλιακή Ακτινοβολία στην Ατμόσφαιρα και η πορεία της

Επεξηγηματικά και πιο αναλυτικά, περίπου:

- ✚ Το 23% ανακλάται και διαχέεται από τα σύννεφα
- ✚ Το 8% ανακλάται από την επιφάνεια της γης
- ✚ Το 47% μετατρέπεται σε θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας και ακτινοβολείται πίσω στο διάστημα
- ✚ Το 20% τροφοδοτεί την εξάτμιση και τον κύκλο βροχόπτωσης της βιόσφαιρας
- ✚ Λιγότερο από 1% μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια με τη μορφή ανέμου και κυμάτων και επίσης χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση των φυτών

Μόνο ένα **ποσοστό της ακτινοβολίας φτάνει στο έδαφος**, το οποίο μπορεί να είναι:

Μέγιστο 85% τις μέρες με πολύ καθαρή ατμόσφαιρα χωρίς καθόλου αιθαλομίχλη και **ελάχιστο 5%** σε μια πολύ συννεφιασμένη ημέρα.



Σχήμα 1.10 Η απομείωση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διέλευσή της μέσα από την γήινη ατμόσφαιρα

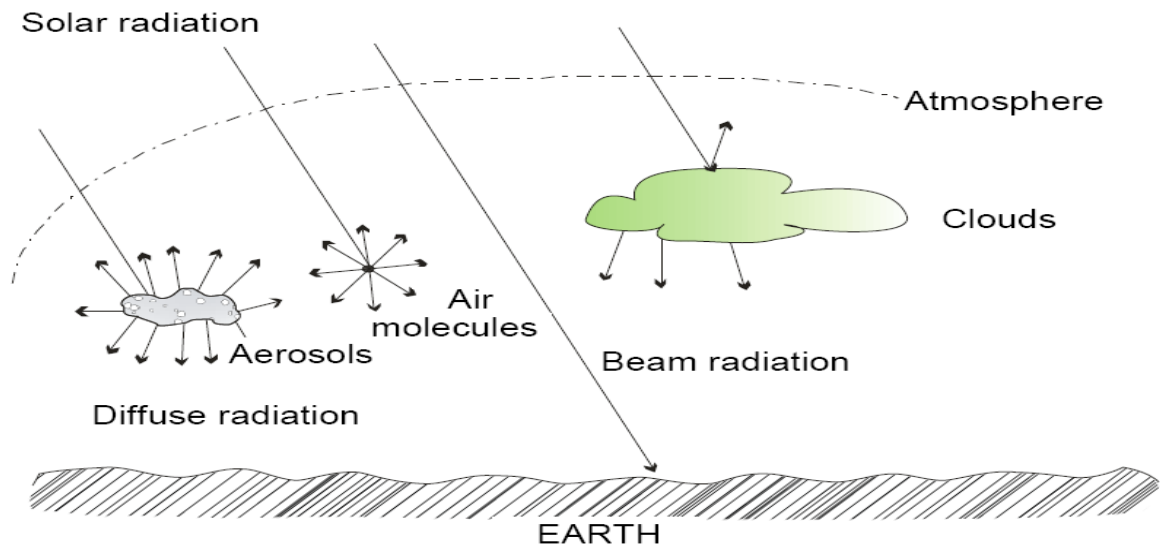
Η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης και προέρχεται από όλα τα σημεία του ουρανού, εκτός όμως άμεσα από τον ίδιο τον ήλιο, ονομάζεται **διάχυτη ακτινοβολία G_d** . Σε συννεφιασμένες μέρες, σχεδόν όλη η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος είναι διάχυτη (βλ. Σχήμα 1.11).

Σε μέρες με καθαρό ουρανό σχεδόν το 15-20% της ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος είναι διάχυτη.

Η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης κατευθείαν από τον ηλιακό δίσκο ονομάζεται **άμεση ακτινοβολία G_b** .

Όταν ο ουρανός είναι καθαρός, περίπου το 80% της ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος είναι άμεση.

Το άθροισμα της άμεσης " G_b " και διάχυτης ακτινοβολίας " G_d " σε μια οριζόντια επιφάνεια ονομάζεται **ολική ακτινοβολία (G)**.



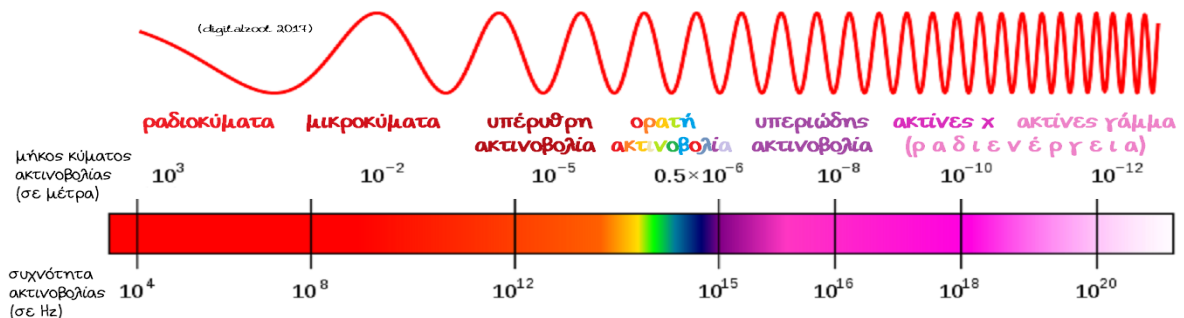
Σχήμα 1.11 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία δια μέσου της ατμόσφαιρας και των σωματιδίων που περιέχει

Η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από την θερμοκρασία του ήλιου που είναι περίπου 5800 °K και θεωρείται ως **ιδανικό (μέλαν) σώμα**. Μέλαν σώμα ορίζεται ως ένας τέλειος εκπομπός όπως επίσης ως ένας τέλειος απορροφητής. Απορροφάει όλα τα μήκη κύματος της Η/Μ ακτινοβολίας και η φασματική εκπέμπουσα ενέργειά του είναι ανάλογη της θερμοκρασίας του.

Περίπου το 99% της ηλιακής ενέργειας εμφανίζεται σε μήκη κύματος από 0.25 μm έως 4.0 μm ή αλλιώς από 250 nm έως 4000 nm

Σύμφωνα με την κατανομή της ηλιακής – ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας:

- ✚ Ορατό [0.39-0.77] μm περιέχει περίπου το 46,41% της ενέργειας
- ✚ Υπεριώδες [$\lambda < 0.4 \mu\text{m}$] μm περιέχει περίπου το 2,03% της ενέργειας
- ✚ Υπόλοιπο [$\lambda > 0.77 \mu\text{m}$] μm περιέχει περίπου το 51 % της ενέργειας



Σχήμα 1.12 Ηλεκτρομαγνητικό (Η/Μ) φάσμα



Γεωμετρική Οπτική

Η οπτική αποτελεί το κομμάτι εκείνο της Φυσικής που πραγματεύεται τα φαινόμενα τα σχετικά με το φως και τη διάδοσή του, καθώς και την αλληλεπίδρασή του με την ύλη, δηλαδή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που γίνεται αντιληπτή από το αισθητήριο της όρασης. **Σήμερα είναι αποδεκτό ότι το φως συμπεριφέρεται με δυϊκό χαρακτήρα, δηλαδή ως κύμα αλλά και ως σωματίο (φωτόνιο).** Σε κάποια φαινόμενα επικρατεί η κυματική φύση του φωτός ενώ σε κάποια άλλα η σωματιδιακή του φύση. Η κυματική φύση του φωτός ερμηνεύεται από την ηλεκτρομαγνητική θεωρία που διατυπώθηκε από τον Maxwell (σκωτσέζος θεωρητικός φυσικός), σύμφωνα με την οποία το φως είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο εκπέμπεται από φωτεινές πηγές και διαδίδεται στο χώρο με ταχύτητα που για το κενό έχει την τιμή :

$$c = 299.792.458 \text{ m/s} \sim 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα αποτελούνται από δύο χωροχρονικά μεταβαλλόμενα πεδία, ενός ηλεκτρικού πεδίου με ένταση E και ενός μαγνητικού πεδίου με ένταση B τα οποία είναι κάθετα μεταξύ τους. Τα δύο αυτά κύματα, στην περίπτωση διάδοσης του φωτός στο κενό, έχουν την ίδια φάση και διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα c . Εντός της ύλης, η ταχύτητα διάδοσης του φωτός (και κατ' επέκταση όλων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων) είναι μικρότερη του c και εξαρτάται από το μήκος κύματος λ (διασκεδασμός).

Το πηλίκο της ταχύτητας του φωτός στο κενό (c) δια της ταχύτητας εντός του υλικού (v) ονομάζεται *δείκτης διάθλασης του υλικού*

$$n = \frac{c}{v}$$

Οι σκουρόχρωμες επιφάνειες έχουν μεγαλύτερο συντελεστή εκπομπής, σε σχέση με τις ανοιχτόχρωμες επιφάνειες. Ένα σώμα που απορροφά εύκολα την ακτινοβολία, ακτινοβολεί επίσης εύκολα. Μια ιδανική επιφάνεια με συντελεστή εκπομπής $e=1$, απορροφά όλη την ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω της. Μια τέτοια ιδανική, τελείως απορροφητική επιφάνεια, ονομάζεται μέλαν σώμα και η εκπεμπόμενη από αυτή ακτινοβολία, ονομάζεται ακτινοβολία μελανού σώματος. Μια καλή προσέγγιση μελανού σώματος είναι η εσωτερική κοιλότητα ενός κοίλου αντικειμένου που έχει ένα μικρό άνοιγμα. Το εισερχόμενο στην οπή φως, ύστερα από διαδοχικές ανακλάσεις, θα απορροφηθεί πλήρως και δε θα εξέλθει καθόλου από την οπή.

Το φως (Υλοενέργεια) αποτελείται από στοιχειώδη πακέτα, τα φωτόνια και σύμφωνα με την Εξίσωση του Αϊνστάιν :

$$E=mc^2, \text{ Η ενέργεια και η μάζα είναι ταυτόσημες}$$

Έτσι, όταν φως πέφτει πάνω σε ένα μέταλλο, τότε μεταφέρεται ενέργεια από το ένα φωτόνιο σε ένα από τα ηλεκτρόνια του ατόμου του μετάλλου. Δηλαδή το φωτόνιο αλληλοεπιδρά με την ύλη ως σωματίδιο. Επαληθεύεται πάλι η δυϊκή φύση του φωτός, Σωματιδιακή και Κυματική.

Όπου μάζα είναι το μέτρο της ποσότητας της ύλης (*ερμηνεία μέτρησης: σύγκριση μιας ποσότητας με μια ομοειδή, πρότυπη μονάδα). Κατ' αντιστοιχία, η ενέργεια εκπέμπεται είτε απορροφάτε από ένα σώμα με τρόπο όχι συνεχή αλλά με "πακέτα ενέργειας ή κβάντα", η

τιμή των οποίων εξαρτάται από την συχνότητα της ακτινοβολίας είτε από το μήκος κύματος, καθώς τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντιστρόφως ανάλογα.

Ανάκλαση και Διάθλαση του φωτός

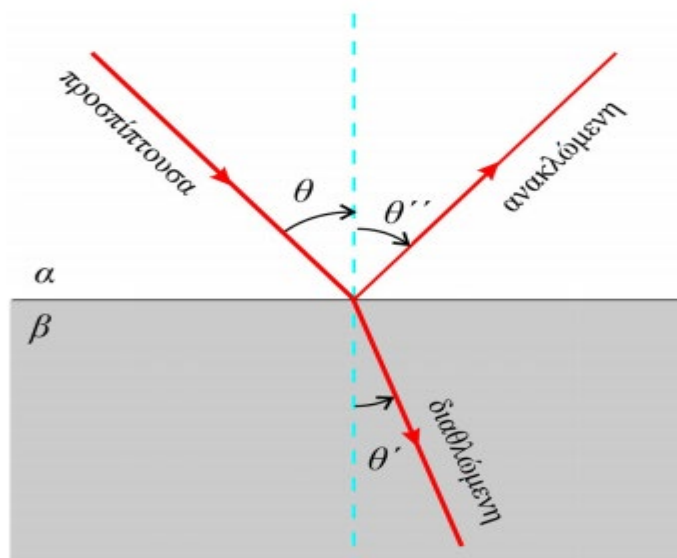
Όταν μια φωτεινή ακτίνα προσπίπτει σε μια ομαλή επιφάνεια η οποία διαχωρίζει δύο διαφανή υλικά (π.χ. αέρα και γυαλί ή νερό και γυαλί), η ακτίνα αφού διαδοθεί διαμέσου του πρώτου υλικού, εν μέρει θα ανακλαστεί και εν μέρει θα διαδοθεί (διαθλαστεί) στο δεύτερο υλικό (βλ. Σχήμα 1.). Αν θ , θ'' και θ' είναι οι γωνίες που σχηματίζουν η προσπίπτουσα, η ανακλώμενη και η διαθλώμενη ακτίνα αντίστοιχα, ως προς την κάθετη στην διαχωριστική επιφάνεια των δύο υλικών, ισχύουν οι ακόλουθοι νόμοι.

(α) Οι ευθείες που αντιστοιχούν στην προσπίπτουσα, την ανακλώμενη και την διαθλώμενη ακτίνα κείτονται όλες στο ίδιο επίπεδο στο οποίο βρίσκεται και η κάθετος γωνία.

(β) Η γωνία ανάκλασης θ'' είναι ίση με την γωνία πρόσπτωσης θ , για όλα τα μήκη κύματος και για οποιοδήποτε ζεύγος υλικών με κοινή διαχωριστική επιφάνεια

$$\theta = \theta''$$

Η παραπάνω σχέση σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η προσπίπτουσα, η ανακλώμενη και η κάθετος στην διαχωριστική επιφάνεια βρίσκονται όλες στο ίδιο επίπεδο, αποτελούν τον νόμο της ανάκλασης.



Σχήμα 1.13 Η προσπίπτουσα φωτεινή δέσμη στην διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών α και β , εν μέρει θα ανακλαστεί υπό γωνία θ'' ίδια με την γωνία πρόσπτωσης και εν μέρει θα διέλθει στο δεύτερο υλικό σχηματίζοντας ως προς την κάθετο μικρότερη γωνία από την γωνία πρόσπτωσης.⁴

⁴ Στην περίπτωση των Φ/Β πάνελ, η μέριμνα των κατασκευαστών είναι το υπερκείμενο γυαλί να αποτελείται από αντί-ανακλαστικό υλικό με σκοπό να το διαπερνάει το σύνολο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και να απορροφάτε από τους ημιαγωγούς προς παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού



(γ) Για συγκεκριμένο ζεύγος υλικών και μονοχρωματικό φως (συγκεκριμένο μήκος κύματος), έχει βρεθεί πειραματικά ότι ο λόγος των ημιτόνων των γωνιών θ και θ' ισούται με το αντίστροφο του λόγου των δύο δεικτών διάθλασης των υλικών, δηλαδή

$$\frac{\sin\theta}{\sin\theta'} = \frac{n_\beta}{n_\alpha} \quad \text{ή} \quad n_\alpha \sin\theta = n_\beta \sin\theta'$$

Η παραπάνω σχέση συνδυαζόμενη με το γεγονός ότι η προσπίπτουσα, η διαθλώμενη και η κάθετος στην διαχωριστική επιφάνεια βρίσκονται όλες στο ίδιο επίπεδο, ονομάζεται **νόμος διάθλασης ή νόμος του Snell**, προς τιμήν του W.Snell που το ανακάλυψε.

Ηλιακή Γεωμετρία

Όταν οποιοδήποτε υλικό εκτεθεί σε ηλιακό φως (H/M ακτινοβολία) ή σε φως κάποιας άλλης πηγής, ένα μέρος του φωτός ανακλάται, ένα απορροφάτε και τέλος, ένα μέρος του μπορεί να περάσει μέσα από το υλικό εφόσον αυτό είναι διαφανές. Ισχύει ότι: $\tau + \rho + \alpha = 1$, όπου (τ) ο συντελεστής διαπερατότητας, (ρ) ο συντελεστής ανακλαστικότητας και (α) ο συντελεστής απορρόφησης.

Φωτοαπορροφητική επιφάνεια λέγεται η επιφάνεια που απορροφά το μέρος της H/M ακτινοβολίας η οποία πέρασε από μία διάφανη επιφάνεια. Δεδομένου ότι η επιφάνεια αυτή είναι αδιαφανής ($\tau=0$), ισχύει $\rho + \alpha = 1$.

Επειδή η Φωτοαπορροφητική αυτή επιφάνεια βρίσκεται σε μια θερμοκρασία της τάξης των 200°C \rightarrow εκπέμπει με συντελεστή εκπομπής (ϵ) ένα μέρος της H/M ακτινοβολίας που απορροφά υπό μορφή θερμικής ακτινοβολίας (υπέρυθρης). Τα H/M αυτά κύματα που εκπέμπονται έχουν κατά 99% μήκη κύματος (λ) $> 3\mu\text{m}$, αντίθετα τα H/M κύματα της ηλιακής ακτινοβολίας περιέχουν μήκη κύματος (λ) $< 3\mu\text{m}$ κατά 90-98% (Σημειώσεις μαθήματος του ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ, 2018).

Για τον προσδιορισμό της θέσης του ήλιου, οι πέντε σημαντικότερες παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι οι εξής:

- **Γεωγραφικό πλάτος (ϕ):** $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$, μετράτε από τον Ισημερινό ως προς Β-N, δεν μεταβάλλεται και εξαρτάται από την τοποθεσία. Σε περιοχές του Βορείου Ημισφαιρίου αντιστοιχεί θετική τιμή του γεωγραφικού πλάτους.
- **Κλίση (β):** η γωνία ($^\circ$) που σχηματίζεται σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο.
- **Αζιμούθιο (γ):** $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$, προσανατολισμός/κατεύθυνση επιφάνειας ως προς τον Ισημερινό. Για επιφάνειες που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο με προσανατολισμό προς τον νότο (ενδεικτικά 0° κάθετα προς τον νότο) έχουμε θετικές τιμές.
- **Ηλιακή απόκλιση (δ):** $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$, οι γωνίες που σχηματίζουν οι ακτίνες του ήλιου σε σχέση με τον Ισημερινό, λαμβάνει την υψηλότερη και την χαμηλότερη τιμή στις 21/06 και στις 21/12 αντίστοιχα, ενώ παίρνει τιμή 0° στις Ισημερίες.
- **Γωνία ώρας (ω):** η απόκλιση ($^\circ$) από το ηλιακό μεσημέρι (το πραγματικό ως προς την κατακόρυφη θέση του ήλιου σε έναν τόπο).



Συμπληρωματικά γεωγραφικά μεγέθη και γωνίες στην ηλιακή γεωμετρία:

Το γεωγραφικό μήκος (L) μιας τοποθεσίας είναι η γωνία μεταξύ του επιπέδου του μεσημβρινού της τοποθεσίας αυτής και αντίστοιχα του Greenwich, όπου το γεωγραφικό μήκος σε αυτή την ζώνη έχει οριστεί ίσο με μηδέν.

Το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος αποτελούν τις γεωγραφικές συντεταγμένες ενός τόπου.

Η γωνία πρόσπτωσης (θ) μιας επιφάνειας ορίζεται ως η γωνία μεταξύ των ηλιακών ακτινών και της καθέτου στην επιφάνεια.

Συμπληρωματικές γωνίες: (α_z) γωνία ύψους του ήλιου, όσο πιο κάθετα είναι ο ήλιος τείνει προς το ηλιακό μεσημέρι (κατακόρυφα) και (θ_z) γωνία ζενίθ του ήλιου, όπου $\alpha_z + \theta_z = 90^\circ$
(γ_z): γωνία αζιμούθιου του ήλιου → η προβολή της σκιάς ενός αντικειμένου στο οριζόντιο επίπεδο ή αλλιώς η γωνία που σχηματίζει η προβολή των ηλιακών ακτινών στο οριζόντιο επίπεδο.

N : διάρκεια της μέρας σε ώρες, συναρτήσει της γωνίας ώρας δύσης του ήλιου (ω_c).

Η διαφορά (σε λεπτά) μεταξύ του ηλιακού χρόνου t_s και της τοπικής ώρας t_c δίνεται από τη σχέση:

$$t_s - t_c = \pm 4(L_{st} - L_{loc}) + E$$

όπου L_{st} είναι το γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού που ορίζει τη ζώνη ώρας της περιοχής (μεσημβρινός αναφοράς, $L_{st} \text{ Ελλάδος} = 30^\circ$) και L_{loc} το γεωγραφικό μήκος της περιοχής. Στην παραπάνω σχέση το πρόσημο (+) αναφέρεται σε περιοχές δυτικά του μεσημβρινού Greenwich και το πρόσημο (-) αναφέρεται σε περιοχές ανατολικά του μεσημβρινού Greenwich. Για την περίπτωση θερινής ώρας, η οποία αλλάζει την τελευταία Κυριακή του Μαρτίου και ισχύει έως την τελευταία Κυριακή του Οκτωβρίου, αφαιρούνται 60 λεπτά (1 ώρα) από την τιμή της τοπικής ώρας t_c .

Η παράμετρος E περιγράφει τη διαφορά μεταξύ μιας ημέρας 24 ωρών και μιας ηλιακής ημέρας (σε λεπτά), όπου η μέγιστη τιμή του E ισούται με $E_{max} = 16,45 \text{ min}$.

Η εξωγήινη κάθετη ακτινοβολία G_{on} (σε W/m^2) ορίζεται ως η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια κάθετη στις ηλιακές ακτίνες η οποία βρίσκεται στο ανώτατο σημείο της γήινης ατμόσφαιρας, υπολογίζεται συναρτήσει της ηλιακής σταθεράς G_{sc} (1367 W/m^2) και της ημέρας του έτους (n).

Η εξωγήινη οριζόντια ακτινοβολία G_o (σε W/m^2) ορίζεται ως η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια που βρίσκεται στο ανώτατο σημείο της γήινης ατμόσφαιρας, και υπολογίζεται συναρτήσει της εξωγήινης κάθετης ακτινοβολίας (G_{on}), της γωνίας ζενίθ του ήλιου (θ_z), της ηλιακής σταθεράς (G_{sc}), του γεωγραφικού πλάτους (ϕ) και της ηλιακής απόκλισης (δ).

Η ολοκλήρωση της παραπάνω εξίσωσης για μια χρονική περίοδο μεταξύ των γωνιών ώρας ω_1 και ω_2 , που ορίζουν την αρχή και το τέλος της χρονικής περιόδου ($\omega_1 < \omega_2$), χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολίας I_o σε μία οριζόντια επιφάνεια στο ανώτατο σημείο της ατμόσφαιρας (σε J/m^2) για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Σημείωση πρέπει να γίνεται στο γεγονός ότι λόγω της ελλειπτικής τροχιάς που

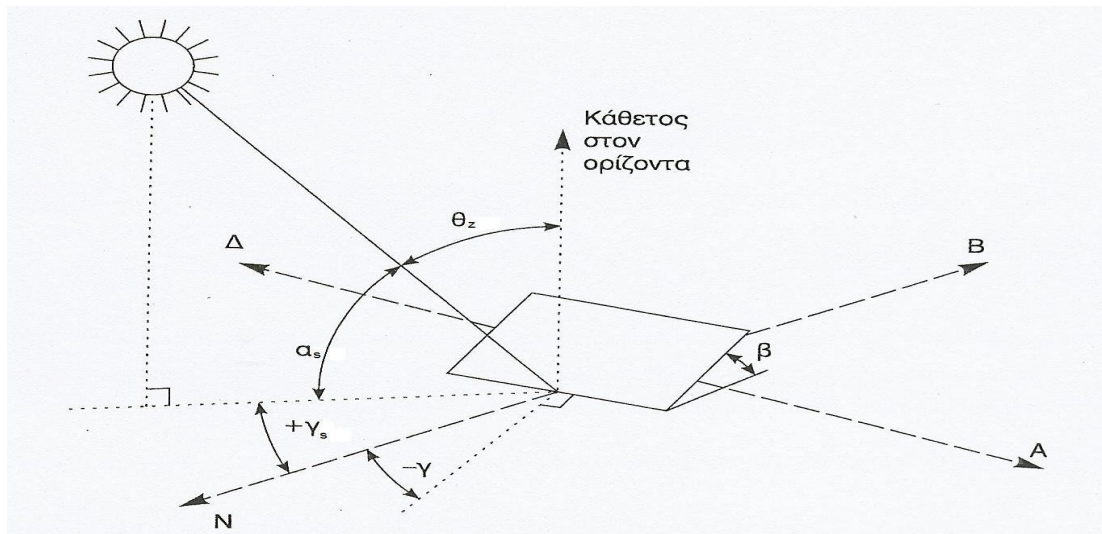
διαγράφει η $\Gamma\eta$ γύρω από τον ήλιο μεταβάλλεται η ένταση της ακτινοβολίας που προσπίπτει στα διάφορα στρώματα της επιφάνειας της $\Gamma\eta$.

Ο δείκτης αιθριότητας k_t μιας περιοχής ορίζεται ως ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια προς την αντίστοιχη εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία μιας οριζόντιας επιφάνειας. Ο k_t είναι αδιάστατος και μπορεί να οριστεί σε στιγμιαία, ωριαία, ημερήσια ή μηνιαία βάση (ο μηνιαίος k_t για διάφορες περιοχές δίνεται από πίνακες), είναι μικρότερος της μονάδας και έχει υψηλή τιμή για αίθριες, ηλιόλουστες συνθήκες και χαμηλή τιμή για συννεφιασμένες συνθήκες. Τυπικά εύρη τιμών του μηνιαίου k_t κυμαίνονται στο διάστημα $[0,25 - 0,75]$.

Σε πολλές περιπτώσεις χρειάζεται να υπολογιστεί η ωριαία ακτινοβολία σε μια κεκλιμένη επιφάνεια από μετρήσεις ή εκτιμήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια.

Ο δείκτης R_b δίνει το λόγο της άμεσης ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια κεκλιμένη επιφάνεια προς την άμεση ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια:

$$R_b = \cos\theta / \cos\theta_z$$



Σχήμα 1.14 Γωνία ζενίθ του ήλιου θ_z , γωνία ύψους του ήλιου α_s , γωνία αζιμούθιου του ήλιου γ_s , γωνία αζιμούθιου γ , και κλίση β για κεκλιμένη επιφάνεια με συγκεκριμένο προσανατολισμό

Σε αρκετές περιπτώσεις, τεχνολογίες που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία (π.χ. Φωτοβολταϊκά) **ακολουθούν την τροχιά του ήλιου** για να μειώσουν τη γωνία πρόσπτωσης θ και επομένως να μεγιστοποιήσουν την άμεση προσπίπτουσα ακτινοβολία. Για μια επιφάνεια που παρακολουθεί συνεχώς την τροχιά του ήλιου (**tracking systems**) χρησιμοποιώντας δύο άξονες (έναν οριζόντιο για τη ρύθμιση της κλίσης, x-axis & έναν κατακόρυφο για τη ρύθμιση του αζιμούθιου, y-axis), πρέπει να ικανοποιούν τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\cos(\theta) = 1 \leftrightarrow \theta = 0^\circ$$



Βασίλης Κρυστάλλης, Ανάλυση Κύκλου Ζωής και Αειφορίας Φωτοβολταϊκών Συστημάτων – η περίπτωση της Ελλάδας

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Οπότε με βάση το παραπάνω σχήμα (βλ. εικόνα 1.9) προκύπτει ότι τινύουμε προς:

$$\beta = \theta_z$$

$$\gamma = \gamma_s$$

- ✓ Ισχύουν τα πρόσημα: (+)Απόγευμα, Δύση και (-)Πρωί, Ανατολή (ως προς το Greenwich)
- ✓ Χειμερινό ηλιοστάσιο: μικρότερη διάρκεια ημέρας του έτους
- ✓ Κατά τις ισημερίες (2 μέρες τον χρόνο) ο ήλιος ανατέλλει ακριβώς από την ανατολή και δύει ακριβώς προς την δύση
- ✓ Ηλιακή ώρα διαφορετική της τοπικής ώρας
- ✓ Ιδανικό η γωνία πρόσπτωσης (θ) να βρίσκεται κοντά στις 0°
- ✓ Περιστροφή της Γης : $360^\circ/24\text{h} \rightarrow 15^\circ/\text{h}$
- ✓ Μέγιστη απόσταση ήλιου-γης στο ελλειψοειδές $\sim 152 \times 10^6 \text{ km}$

Κατά την χημεία, η **ενέργεια ιονισμού** ορίζεται ως η ενέργεια που απαιτείται (π.χ. υπό μορφή H/M ακτινοβολίας) για την απόσπαση ενός ηλεκτρονίου ενός ατόμου. Στον περιοδικό πίνακα μειώνεται από πάνω προς τα κάτω στις ομάδες και αυξάνεται από αριστερά προς τα δεξιά στις περιόδους.

PERIODIC TABLE																																																																																																						
Atomic Properties of the Elements																																																																																																						
National Institute of Standards and Technology Technology Administration, U.S. Department of Commerce																																																																																																						
Physics Laboratory Data Group www.nist.gov/ird																																																																																																						
Standard Reference Data Group www.nist.gov/srd																																																																																																						
<p>Frequently used fundamental physical constants</p> <p>For the most accurate values of these and other constants, visit physics.nist.gov/constants</p> <p>1 second = 9 192 631 770 periods of radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of ^{133}Cs</p> <p>speed of light in vacuum c 299 792 458 m s⁻¹ (exact)</p> <p>Planck constant h 6.626 070 15 × 10⁻³⁴ J s (exact)</p> <p>elementary charge e 1.602 176 634 × 10⁻¹⁹ C (exact)</p> <p>electron mass m_e 9.109 383 56 × 10⁻³¹ kg</p> <p>proton mass m_p 1.672 621 9 × 10⁻²⁷ kg</p> <p>fine-structure constant α 1/137.035 999 084</p> <p>Rydberg constant R_∞ 10 973 731.752 m⁻¹</p> <p>$R_\infty c$ 3.289 842 × 10¹⁵ Hz</p> <p>$R_\infty hc$ 13.605 698 eV</p> <p>Boltzmann constant k 1.380 658 × 10⁻²³ J K⁻¹</p>																																																																																																						
<p>Legend: Solids (blue), Liquids (green), Gases (red), Artificially Prepared (yellow)</p>																																																																																																						
Group 1 IA	2 IIA	3 IIB - 10 VIII										11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA																																																																																			
1 H	2 He	3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
<p>Atomic Number, Symbol, Name, Atomic Weight, Ground-state Configuration, Ionization Energy (eV)</p>																																																																																																						
<p>Based upon ^{12}C. () indicates the mass number of the most stable isotope.</p>																																																																																																						
<p>For a description of the data, visit physics.nist.gov/data</p>																																																																																																						
<p>NIST SP 966 (September 2003)</p>																																																																																																						

Σχήμα 1.15 Περιοδικός Πίνακας Στοιχείων – Ατομικές Ιδιότητες Στοιχείων (πηγή NIST.gov)

Όπως και στην χημεία, όπου όμοια διαλύουν όμοια, η H/M ακτινοβολία (φωτόνια), έχοντας ως θεμελιώδη δύναμη της φύσης των Ηλεκτρομαγνητισμό (ο οποίος είναι υπεύθυνος για την σταθερότητα των ατόμων), όταν προσπίπτει σε κάποιο υλικό (χημική ένωση ατόμων) το αποσταθεροποιεί \rightarrow το οποίο στην συνέχεια και ανάλογα την συχνότητα μιας



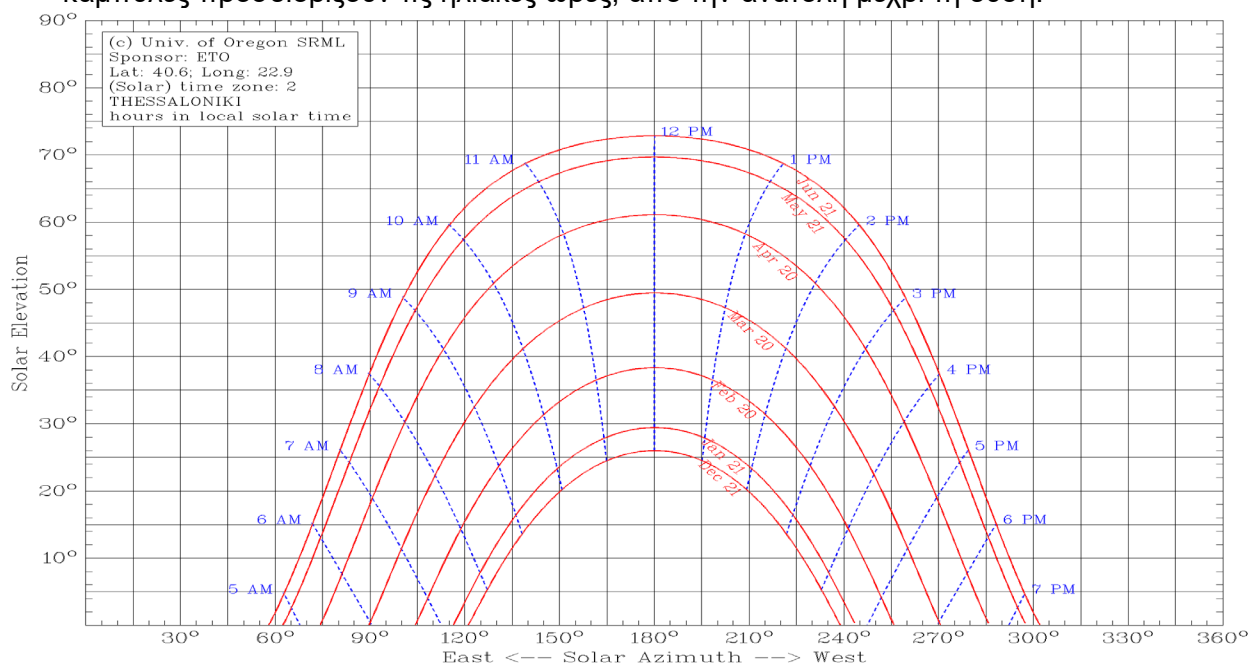
συγκεκριμένης δέσμης φωτονίων μεταβαίνει σε διεγερμένη κατάσταση ή ακόμα και σε αποβολή ηλεκτρονίων (αρχή λειτουργίας Φ/Β φαινομένου).

Ηλιακός χάρτης

Πρακτική εφαρμογή σε περιπτώσεις Ηλιακών Συστημάτων συναρτήσε: του περιβάλλον χώρου (π.χ. γειτονικά δομικά εμπόδια) / της τοπογραφίας και της γεωμορφολογίας ενός τόπου.

Ηλιακοί χάρτες λέγονται τα διαγράμματα, τα οποία αναδεικνύουν τις φαινόμενες τροχιές του ήλιου στο επίπεδο ορθής προβολής για συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος (ϕ). Με τα διαγράμματα αυτά προσδιορίζεται η θέση του ήλιου (ύψος και αζιμουθιο) για κάθε μήνα (συνήθως την 21^η του μήνα) για όλες τις ώρες της ημέρας. Έχουν δημιουργηθεί ηλιακοί χάρτες για όλα τα γεωγραφικά πλάτη. Σε κάθε ηλιακό χάρτη απεικονίζονται επτά (7) φαινόμενες τροχιές του ήλιου, από τις οποίες αυτή του Δεκεμβρίου έχει τη χαμηλότερη τροχιά (21^η Δεκεμβρίου όπου παρατηρείται το χειμερινό ηλιοστάσιο), ενώ του Ιουνίου έχει τη μεγαλύτερη (21^η Ιουνίου όπου παρατηρείται το θερινό ηλιοστάσιο). Οι υπόλοιπες φαινόμενες τροχιές ανήκουν σε δύο μήνες (Ιανουάριος και Νοέμβριος έχουν την ίδια φαινόμενη τροχιά, αντίστοιχα Φεβρουάριος και Οκτώβριος κοκ).

Την 21^η Μαρτίου και 21^η Σεπτεμβρίου παρατηρείται η ισημερία, εαρινή και φθινοπωρινή αντίστοιχα. Η εκάστοτε θέση του ήλιου ορίζεται από τη γωνία αζιμουθίου και τη γωνία ύψους. Στην οριζόντια άξονα-τεταμημένη (άξονας x) του ηλιακού χάρτη καταγράφονται οι γωνίες αζιμουθίου ως προς τον ηλιακό νότο, που βρίσκεται στο κέντρο, με γωνία 0°. Αριστερά του νότου, στη γωνία των 90° ορίζεται η ανατολή και δεξιά, πάλι στη γωνία των 90°, ορίζεται η δύση. Ο κάθετος άξονας-τεταμημένη (άξονας y) προσδιορίζει τις γωνίες ύψους του ήλιου, για όλες τις ώρες της ημέρας και για όλους τους μήνες. Οι διακεκομμένες καμπύλες προσδιορίζουν τις ηλιακές ώρες, από την ανατολή μέχρι τη δύση.



Σχήμα 1.16 Ηλιακός χάρτης για την περιοχή της Θεσσαλονίκης (40.6°,22.9°), οι ώρες απεικονίζονται σε τοπικό ηλιακό χρόνο (χρήση λογισμικού Πανεπιστημίου του Oregon)



Με την αξιοποίηση μακροχρόνιων χρονοσειρών μετεωρολογικών παραμέτρων, έχουν δημιουργηθεί Τυπικά Μετεωρολογικά Έτη (ΤΜΕ) για κάθε έναν από τους σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ). Τα ΤΜΕ εμπεριέχουν ωριαίες τιμές άμεσης, διάχυτης και ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, θερμοκρασίας αέρα, σχετικής υγρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης. Από τα ΤΜΕ δημιουργήθηκε **επικαιροποιημένος ηλιακός χάρτης της Ελλάδας**, με μηνιαίες και ετήσιες τιμές ηλιακής ενέργειας στις θέσεις των επιλεγμένων μετεωρολογικών σταθμών της ΕΜΥ. Ο χάρτης αυτός αποτελεί μια σύγχρονη αποτύπωση του ηλιακού δυναμικού στην ελληνική επικράτεια και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς η γεωφυσική θέση της Ελλάδας την καθιστά μία από τις περιοχές της Ευρώπης με εξαιρετικό ενδιαφέρον στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Παράλληλα, ο επιμερισμός της Ελλάδας σε κλιματικές ζώνες ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί βασική παράμετρο για την προκαταρκτική αξιολόγηση και μοντελοποίηση των ηλιακών συστημάτων παραγωγής ενέργειας (Διδακτορική Διατριβή Καβαδία, 2016).

Υπολογισμός Ηλιακής Ακτινοβολίας

Η απόδοση σε όρους ενέργειας ενός ηλιακού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας, αλλά και οι απαιτούμενοι ενεργειακοί υπολογισμοί για την εκτίμηση του θερμικού ισοζυγίου ενός κτιρίου, απαιτούν την ύπαρξη ανοιχτών-διαθέσιμων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή εγκατάστασης. Η διαθεσιμότητα μακροχρόνιων και αξιόπιστων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας σε ευρύ φάσμα περιοχών αποτελεί έως και σήμερα μείζον πρόβλημα για τους μελετητές, καθώς το ενδιαφέρον υλοποίησης μιας ηλιακής ενεργειακής εγκατάστασης μπορεί να προκύψει σε οποιαδήποτε περιοχή, υπό την προϋπόθεση ύπαρξης κατάλληλου ηλιακού δυναμικού. Ως συνέπεια των παραπάνω και λόγω της μικρής πυκνότητας ηλιακών σταθμών ανά τον κόσμο, προέκυψε αυξημένο ερευνητικό ενδιαφέρον στην ανάπτυξη μοντέλων ικανών να εκτιμήσουν την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της Γης.

Τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

A. Εμπειρικά μοντέλα

Τα εμπειρικά μοντέλα υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του εδάφους, έχουν ως βάση την συσχέτιση δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας με αστρονομικές και μετεωρολογικές παραμέτρους για τις περιοχές στις οποίες εφαρμόζονται. Τα περισσότερα εμπειρικά μοντέλα βασίζονται στον συσχετισμό των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας με τιμές διάρκειας ηλιοφάνειας ή νέφωσης. Οι συνηθέστερες παράμετροι συσχετισμού είναι η σχετική ηλιοφάνεια⁵, καθώς και ο βαθμός νέφωσης. Οι μετρήσεις διάρκειας ηλιοφάνειας συμπεριλαμβάνονται στις παραμέτρους που καταγράφονται στους περισσότερους μετεωρολογικούς σταθμούς και παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη ακρίβεια, σε αντίθεση με τον βαθμό νέφωσης ο οποίος εκτιμάται οπτικά. Πρέπει να τονιστεί ότι οι συντελεστές συσχέτισης των εμπειρικών μοντέλων έχουν καθαρά τοπική ισχύ. Μερικά από τα πιο γνωστά εμπειρικά μοντέλα υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας είναι αυτά που προτάθηκαν από τους Page (1964), Reddy (1971), Hottel (1976), Barra (1983), ASHRAE (1981) και Ångström (1924).

⁵ Η σχετική ηλιοφάνεια υπολογίζεται ως ο λόγος των μετρούμενων ωρών ημερήσιας ηλιοφάνειας προς τον μέγιστο αριθμό ωρών ηλιοφάνειας για την συγκεκριμένη μέρα



B. Στοχαστικά μοντέλα

Ένα στοχαστικό μοντέλο υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας στηρίζεται στην στατιστική επεξεργασία δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας της υπό μελέτη περιοχής, χωρίς να απαιτούνται κλιματικά δεδομένα του τόπου. Η βασική λειτουργία των μοντέλων αυτών βασίζεται στην ανάπτυξη μιας διαδικασίας πρόβλεψης της τιμής, για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (π.χ. μια ώρα ή μια βδομάδα), με την προϋπόθεση ότι είναι γνωστές οι αντίστοιχες τιμές της προηγούμενης περιόδου. Η πρόβλεψη βασίζεται στην στατιστική επεξεργασία των διαδοχικών τιμών του δείκτη αιθριότητας- k_t (clearness index). Κατά συνέπεια, ένα στοχαστικό μοντέλο κρίνεται με βάση το μέγεθος της πιστότητας που μπορεί να αναπαράγει τιμές της φαινόμενης διαπερατότητας σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Μερικά από τα πιο γνωστά στοχαστικά μοντέλα πρόβλεψης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το μοντέλο ARMA (Auto-Regressive Moving Average) που χρησιμοποιήθηκε από τους Goh & Tan (1977), η μέθοδος παραγοντικής ανάλυσης (Principal Component Analysis Method) που προτάθηκε από τον Harmen (1960) και η μέθοδος των πινάκων Markov.

C. Ατμοσφαιρικά μοντέλα

Ως ατμοσφαιρικά μοντέλα χαρακτηρίζονται τα μοντέλα υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος, τα οποία βασίζονται στον υπολογισμό της απορρόφησης και της σκέδασης της ηλιακής ακτινοβολίας από κάθε συστατικό της ατμόσφαιρας. Για την επίτευξη της εκτίμησης, είναι απαραίτητη η γνώση διαφόρων ατμοσφαιρικών παραμέτρων, όπως η υγρασία, η θερμοκρασία αέρα, η ατμοσφαιρική πίεση, ο βαθμός θόλωσης της ατμόσφαιρας, η ποσότητα του ατμοσφαιρικού όζοντος, το ποσοστό νέφωσης, η σύσταση των ατμοσφαιρικών σωματιδίων/ρύπων κα. Κύριο χαρακτηριστικό των ατμοσφαιρικών μοντέλων είναι η μεγάλη ακρίβεια υπολογισμού, για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα, δυνατότητα η οποία δεν παρέχεται από τα εμπειρικά μοντέλα, ενώ είναι σχεδόν αδύνατο να επιτευχθεί με στοχαστικές διαδικασίες. Μερικά από τα σημαντικότερα ατμοσφαιρικά μοντέλα υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας είναι εκείνα που προτάθηκαν από τους Atwater & Ball (1978), Davies & Hay (1978), Watt (1978), Hoyt (1978), Lacis & Hansen (1974), Bird & Hulstrom (1981), Barbaro et.al. (1979), Lyons & Edwards (1982), Gueymard (1989), Psiloglou et.al. (2000) και Kampepidis et.al. (1998).

Τα κλιματικά δεδομένα έχουν καταστεί ιδιαίτερα σημαντικά στους κλάδους των μηχανικών, κυρίως για την εκπόνηση αξιόπιστων μελετών ενεργειακής απόδοσης των διαφόρων συστημάτων. Για παράδειγμα, κατά τον σχεδιασμό κτιρίων, σημαντικό ρόλο αποτελεί η διατήρηση ικανοποιητικών εσωτερικών συνθηκών θερμικής άνεσης με όσο το δυνατόν χαμηλότερο λειτουργικό κόστος. Επίσης, με την ραγδαία ανάπτυξη των ΑΠΕ, η πρόβλεψη των μέσων κλιματικών συνθηκών στις περιοχές ενδιαφέροντος, αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της ενεργειακής και οικονομικής μελέτης που τα διέπει.

Τα προγράμματα προσομοίωσης κτιρίων και ενεργειακών εγκαταστάσεων ΑΠΕ χρειάζονται απαραίτητα πληροφορίες σχετικά με το κλίμα της περιοχής ενδιαφέροντος, είτε για τον υπολογισμό θερμικών και ψυκτικών φορτίων στην περίπτωση των κτιρίων, είτε στην εκτίμηση της ενεργειακής παραγωγής Φ/Β εγκαταστάσεων στην περίπτωση των ΑΠΕ, υπό την μορφή ωριαίων τιμών για ένα υποθετικά τυπικό έτος, όπου περιλαμβάνει διάφορες κλιματικές παραμέτρους. Η χρήση μιας οποιασδήποτε ετήσιας χρονοσειράς δεδομένων για την ενεργειακή αξιολόγηση ενός συστήματος, μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα αποτελέσματα λόγω της πιθανότητας να περιλαμβάνει ακραίες καιρικές τιμές με μικρή

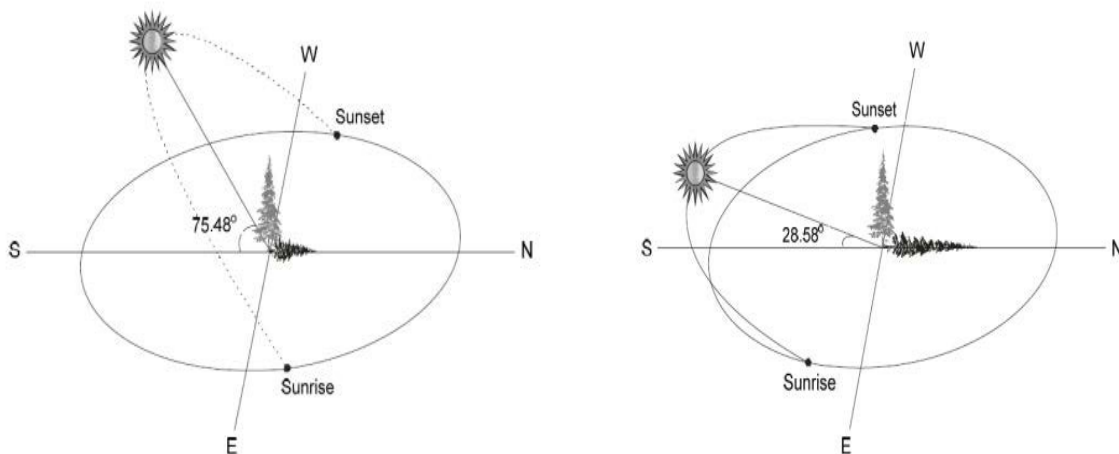
συχνότητα εμφάνισης, διάσπαρτες σε μια μακρά χρονική περίοδο. Για τον λόγο αυτό είναι σκόπιμη η χρήση ετήσιων χρονοσειρών, οι οποίες απεικονίζουν την μετεωρολογική ταυτότητα της περιοχής ενδιαφέροντος εγκατάστασης ενός συστήματος.

Μεταξύ των ετών 2001 και 2005, αναπτύχθηκε η Ευρωπαϊκή βάση δεδομένων ηλιακής ενέργειας, χρησιμοποιώντας τιμές ηλιακής ακτινοβολίας, οι οποίες υπολογίζονται από μοντέλα και κλιματικά δεδομένα. Τα δεδομένα της βάσης έχουν ενσωματωθεί στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών Φωτοβολταϊκών (Photovoltaic Geographic Information System – PVGIS) με χωρική ανάλυση (διακριτική ικανότητα) 1km^2 (Huld et.al. 2012), παρέχοντας μέσες μηνιαίες και ετήσιες τιμές ηλιακού δυναμικού, όπως προκύπτουν από τα δεδομένα της χρονικής περιόδου 1981-1990 που περιέχονται στην βάση.

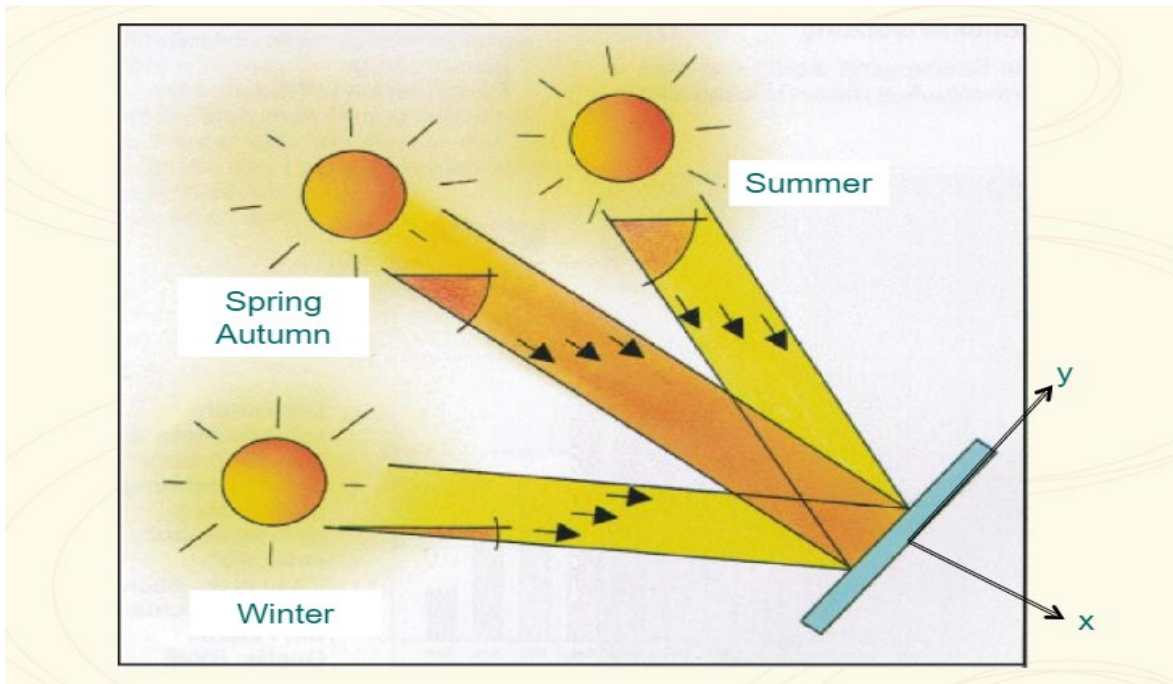
Ο ηλιακός χρόνος δε συμπίπτει με τον τοπικό χρόνο των ρολογιών για δύο λόγους:

- A. Ο πρώτος είναι οι αλλαγές στην περιστροφική και τροχιακή γωνιακή ταχύτητα της γης, η οποία μπορεί να καθοριστεί από την εξίσωση του χρόνου και
- B. Ο δεύτερος είναι η διαφορά στο γεωγραφικό μήκος μεταξύ της θέσης (L_{loc}) και του μεσημβρινού στον οποίο είναι βασισμένος ο τυποποιημένος χρόνος (L_{st}), π.χ. στην Ελλάδα τα ρολόγια μας δείχνουν τον χρόνο του κεντρικού μεσημβρινού της δεύτερης ατράκτου, όπου είναι κατά δύο ώρες μεγαλύτερος του χρόνου του Greenwich (χρόνος μηδενικής ατράκτου).

Ηλιακή τροχιά κατά το θερινό ηλιοστάσιο Ηλιακή τροχιά κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο



Σχήμα 1.17 Ηλιακές τροχιές κατά το θερινό και το χειμερινό ηλιοστάσιο, 21/06 & 21/12 αντίστοιχα



Σχήμα 1.18 Αντίστοιχα, η θέση (ύψος) του ήλιου στον ουράνιο θόλο για διαφορετικές εποχές και πως αυτή επιδρά σε μια προσπίπτουσα επιφάνεια

Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία. Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια ανεξάντλητη μορφή ενέργειας. Έτσι, όταν υλοποιηθεί κάποιο σύστημα εκμετάλλευσής της για την παραγωγή ωφέλιμης ενέργειας (ηλεκτρικής είτε θερμικής για παράδειγμα), η πρώτη ύλη-καύσιμο είναι δωρεάν και δεν υποβάλλεται ποτέ στις διακυμάνσεις των αγορών ενέργειας. Επιπλέον, η ηλιακή ενέργεια αντιπροσωπεύει μια “καθαρή” μορφή ενέργειας σε σύγκριση με την ενέργεια που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, οι ρύποι των οποίων συμβάλλουν στην επιτάχυνση του ΦτΘ και των αποτελεσμάτων που αυτό επιφέρει στην φύση και σε κάθε είδους οικοσύστημα πάνω στην Γη. Έτσι, η ηλιακή ενέργεια μπορεί εν δυνάμει να αποτελέσει μία σημαντική μορφή ενέργειας προς εκμετάλλευση.

Γενικότερα, η ηλιακή ενέργεια έχει ζωτική σημασία για την διατήρηση της ζωής στην Γη και αποτελεί την βάση για όλες σχεδόν τις άλλες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούμε. Για παράδειγμα, η ηλιακή ενέργεια είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των φυτών (που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιομάζα ή, υπό κατάλληλες συνθήκες, να οδηγήσει στην δημιουργία πετρελαίου μετά από εκατομμύρια χρόνια). Η θερμότητα του ήλιου δημιουργεί θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ περιοχών και ανάπτυξη ανέμων, η περικλειόμενη ενέργεια των οποίων χρησιμοποιείται στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες. Επιπλέον, ποσότητες νερού εξατμίζονται λόγω της θερμότητας του ήλιου, στην συνέχεια κατακρημνίζονται σε υψόμετρα και κατηφορίζουν προς την στάθμη της θάλασσας με δυνατότητα εκμετάλλευσης της δυναμικής τους ροής από υδροηλεκτρικές γεννήτριες.



Γιατί να επιλέξει κάποιος Φ/Β Σύστημα

Τα Φ/Β, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα (άμεσα και χωρίς κινούμενα μέρη), θεωρούνται τα ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής καθώς χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη και παράγουν ηλεκτρισμό, που αποτελεί την πιο χρήσιμη μορφή ενέργειας. Παρέχουν τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια. Καθιστούν έτσι τον καταναλωτή πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν μ' αυτόν τον τρόπο στην **ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας**. Δεδομένου ότι η παραγωγή και κατανάλωση του ηλιακού ηλεκτρισμού γίνονται τοπικά, αποφεύγονται έτσι οι σημαντικές απώλειες της μεταφοράς και διανομής της Εηλ. και κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 10% σε σχέση με την συμβατική παροχή Εηλ. μέσω του δικτύου (Ένας πρακτικός τεχνικός οδηγός, ΣΕΦ 2013). Τα ηλιακά Φ/Β Συστήματα έχουν **αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με της ανάγκες, δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας** (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) και απαιτούν **ελάχιστη συντήρηση**. Ένα **κιλοβάτ Φ/Β αποτρέπει κάθε χρόνο** (με την εγκατάσταση του στην Ελληνική επικράτεια ως μέσος όρος) **1,3 τόνους διοξειδίου του άνθρακα**, ενώ χρειάζονται 2 στρέμματα δάσους ή 100 περίπου δέντρα για να απορροφήσουν αυτήν την ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα. Για να παραχθεί η ίδια Εηλ. με πετρέλαιο, απαιτούνται 2,2 βαρέλια πετρελαίου κάθε χρόνο.



Σχήμα 1.19 Δυναμική αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας (πηγή ΣΕΦ)

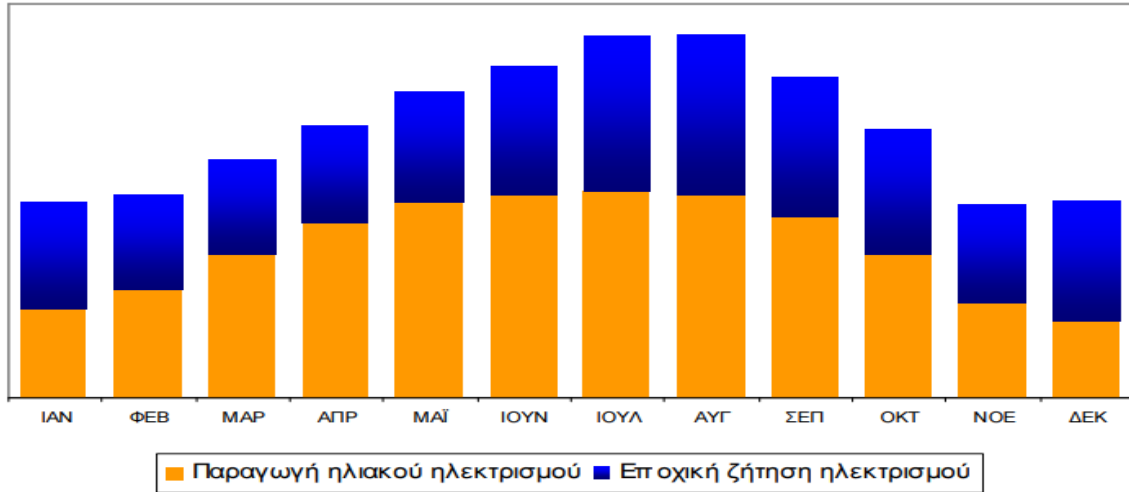
Η **βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών** μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά την διαρκή αύξηση της ζήτησης Εηλ., η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς Εηλ. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα



που σχετίζονται με την εξάντληση των Φυσικών Πόρων (ΦΠ) και τις αλλαγές στις χρήσεις γης. Η τοπική παραγωγή Εηλ. δεν δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο. Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους θερινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στην αποφυγή black-out και στην μείωση του συνολικού κόστους ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή. Η παραγωγή της Εηλ. από τον ήλιο είναι εξαιρετικά προβλέψιμη, αυτό που μας ενδιαφέρει είναι πόσες κιλοβατώρες θα μας δώσει το σύστημά μας σε ετήσια βάση (ενώ σε πιο εξειδικευμένες εφαρμογές μας ενδιαφέρει σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα του έτους). Σε γενικές γραμμές, **ένα Φ/Β Σύστημα στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο ετησίως περί τις 1.200 με 1.650 κιλοβατώρες ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kWh/kWp-yr)**. Προφανώς στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας ένα Φ/Β Σύστημα παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό από ότι στις βόρειες, δεν ισχύει όμως πάντα επειδή πέρα από τις συντεταγμένες ενός τόπου, λαμβάνονται σοβαρά υπόψη και άλλοι παράγοντες, με κυριότερους το κλίμα, την γεωμορφολογία, πιθανά εμπόδια που συμβάλλουν στην σκίαση, η κατάλληλη κλίση και ο προσανατολισμός. Τα οφέλη από την χρήση της ηλιακής ενέργειας θα είναι πολύ πιο εμφανή αν εφαρμόζονται παράλληλα μέθοδοι εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης της ενέργειας. Μην ξεχνάμε ότι η εξοικονόμηση είναι η φθηνότερη και καθαρότερη μορφή ενέργειας.

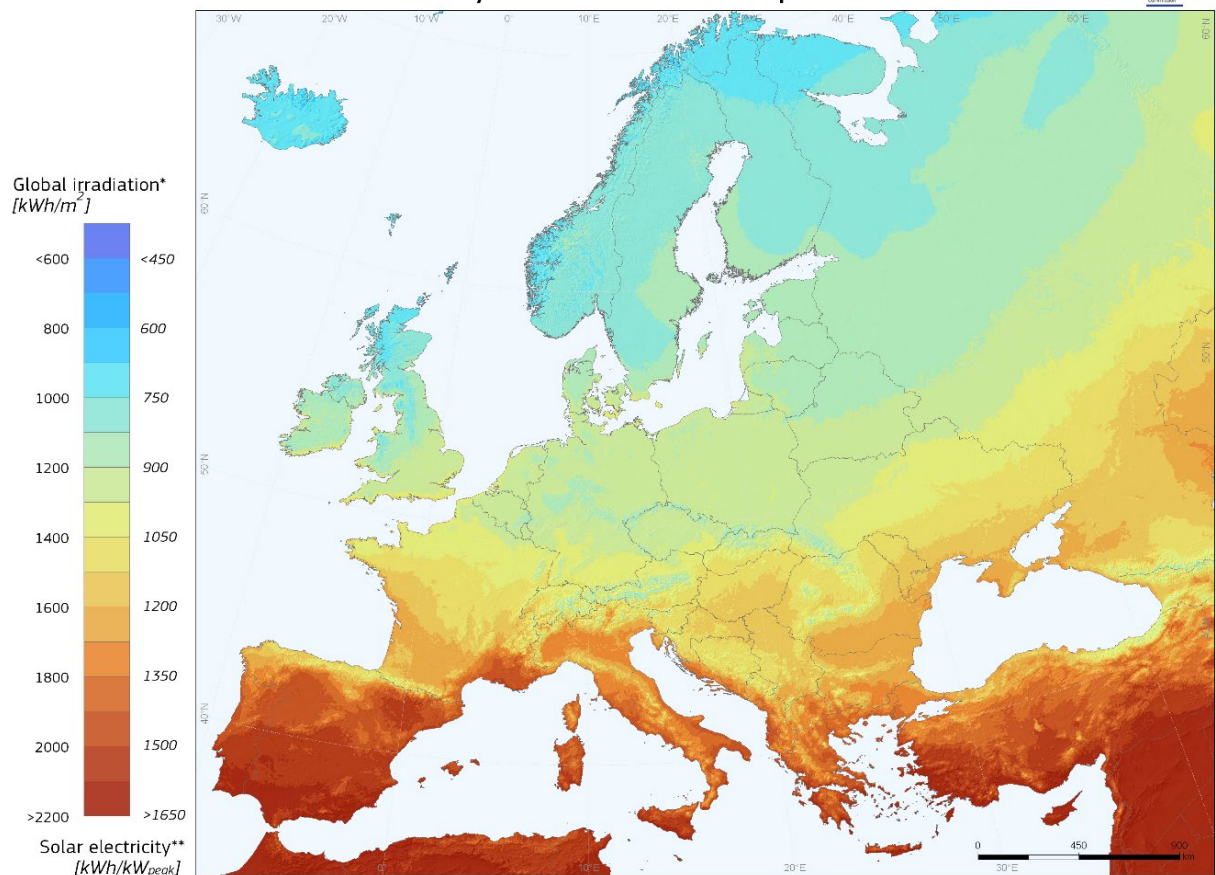


Σχήμα 1.20 Τα Φ/Β καλύπτουν την μεσημεριανή αιχμή της κατανάλωσης (πηγή ΣΕΦ)



Σχήμα 1.21 Η παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού ακολουθεί την εποχική ζήτηση (πηγή ΣΕΦ)

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



* Yearly sum of global irradiation incident on optimally-inclined south-oriented photovoltaic modules

**Yearly sum of solar electricity generated by optimally-inclined 1kW_p system with a performance ratio of 0.75

© European Union, 2012
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua
EC - Joint Research Centre
In collaboration with: CM SAF, www.cmsaf.eu

Legal notice: Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication.

Σχήμα 1.22 Δυναμικό Φ/Β ηλιακού ηλεκτρισμού στις Ευρωπαϊκές χώρες



Οικονομία

Η πτώση των τιμών των Φ/Β πλαισίων σε συνδυασμό με την αύξηση του κόστους ρεύματος και των λοιπών χρεώσεων, που συνεπάγεται η σύνδεση με την ΔΕΗ, καθιστούν την επένδυση βιώσιμη και αποδοτική. Η απόδοση δε της επένδυσης, εκτινάσσεται, στην περίπτωση που το δημόσιο δίκτυο είναι απομακρυσμένο και το αρχικό κόστος διασύνδεσης είναι μεγάλο και απαγορευτικό. Ανάπτυξη θέσεως εργασίας: Ενίσχυση της εγχώριας αγοράς, προστιθέμενη αξία στις υπηρεσίες και τα προϊόντα που παίρνουν μέρος στον χώρο της ελληνικής επικράτειας, με την προϋπόθεση ότι έχει αναπτυχθεί μία “κοινότητα ήπιων τεχνολογιών άρτια γεωγραφικά & τοπογραφικά κατανομημένων” όπως οι ΑΠΕ με σκοπό την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών φιλικότερα προς την φύση. Η απασχόληση σε αυτόν τον ενεργειακό τομέα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από νομικά πλαίσια και διατάξεις της πολιτείας, αλλά πέραν αυτών γνωρίζει συνεχή άνθηση με το πέρασμα του χρόνου και την ωρίμανση των Φ/Β Συστημάτων καθώς και των υπόλοιπων Ανανεώσιμων Ενεργειακών Τεχνολογιών (ΑΕΤ).

Φιλικότερη πηγή ενέργειας προς την Φύση

Οι ΑΠΕ, παγκοσμίως αποτελούν την πρώτη επιλογή, την οποία μάλιστα επιβάλλει με νομοθεσία για την προστασία του περιβάλλοντος η Ευρωπαϊκή Ένωση. Αποτρέπεται η έκλυση μεγάλων ποσοτήτων ρύπων (π.χ. ΑτΘ) που επιβαρύνουν το περιβάλλον και την δημόσια υγεία. Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που προέρχεται από δίκτυο και παράγεται από ορυκτά καύσιμα επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστον κιλό διοξειδίου του άνθρακα, με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες δικτύου. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι, ως γνωστών, το σημαντικότερο ΑτΘ που συμβάλλει στις επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές. Η στροφή σε πιο καθαρές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, αποτελεί την μόνη διέξοδο για την αποτροπή των κλιματικών κρίσεων που απειλούν τον πλανήτη. Επιπλέον, η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα καρκινογόνα μικροσωματίδια, τοξικές ενώσεις, οξειδία του αζώτου, ενώσεις του θείου κλπ.), οι οποίοι ρύποι επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία και τα οικοσυστήματα.

Αξιοπιστία

Τα σύγχρονα *αυτόνομα* και *διασυνδεδεμένα* Φ/Β Συστήματα απέχουν σε μεγάλο βαθμό από τα συστήματα των προηγούμενων δεκαετιών. Είναι μια ώριμη και δοκιμασμένη τεχνολογία στο σύνολό της. Πλεονεκτική είναι και η γεωγραφική θέση της χώρας μας, όπου πληροί όλες τις προϋποθέσεις για εφαρμογή των Φ/Β Συστημάτων (ήπιων τεχνολογιών) προς παραγωγή ενέργειας.

Αυτονομία

Αποτροπή των υπέρογκων δαπανών για εισαγωγή ενέργειας και όδευση προς την ελαχιστοποίηση της εισαγωγής ενεργειακών πόρων και υπηρεσιών από χώρες του εξωτερικού.

Αποκέντρωση

Αποφεύγονται οι απώλειες μεταφοράς μέσω του ηλεκτρικού δικτύου, όπου για το Ελληνικό Ηλεκτρικό Δίκτυο, κατά μέσο όρο είναι 12%. Για παράδειγμα, η θερμική ενέργεια παράγεται επί των πλείστων στα σημεία όπου υπάρχει ζήτηση, δεδομένου ότι θα είχαμε τεράστιες



απώλειες για την μεταφορά και διανομή της. Έτσι, ελαττώνονται οι εργασίες δικτύωσης και κατ' επέκταση τα υλικά που θα χρησιμοποιούνταν, αυξάνεται ο έλεγχος και οι δράσεις σε τοπικό επίπεδο.

Ασφάλεια

Η επιλογή μιας εταιρείας με τεχνογνωσία και εμπειρία για την μελέτη και εγκατάσταση ενός Φ/Β Συστήματος εγγυάται την ασφαλή λειτουργία του συστήματος και την προστασία του χρήστη (διακόπτες, ασφάλειες DC και AC, αντιηλεκτροπληξιακά ρελέ κλπ.) σε κάθε πιθανό σφάλμα ή έκτακτη περίπτωση.

Αθόρυβη λειτουργία

Ένα Φ/Β Σύστημα λειτουργεί τελείως αθόρυβα (εφόσον δεν έχει κινούμενα μέρη για την παραγωγή της Εηλ.) και δεν μπορεί να συγκριθεί με τις θορυβώδεις γεννήτριες υγρών καυσίμων, οι οποίες δεν έχουν καμία συνεκτικότητα με την ηρεμία που αποζητάει ο ενδιαφερόμενος στην εξοχική του κατοικία για αυτόνομο σύστημα, αλλά και σε ένα οικιακό σύστημα (περίπτωση ενεργειακού συμψηφισμού ή/και παραγωγού) μειώνοντας την ηχορύπανση στο δομημένο περιβάλλον.

Ευελιξία

Η τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων είναι απλή σε ευπρόσιτα σημεία. Ένα σύστημα ηλεκτροδότησης μπορεί να μεταφερθεί σε άλλη τοποθεσία ή να επεκταθεί ανά πάσα στιγμή, συνιστώντας μια επένδυση που ποτέ δεν γίνεται εις μάτην. Δύναται να εγκατασταθεί σε οποιαδήποτε τοποθεσία (κτίσμα ή επί εδάφους) με τις κατάλληλες προσαρμογές σε δύσβατα σημεία, σε αντίθεση με το δημόσιο δίκτυο που δεν μπορεί ή τουλάχιστον απαιτείται τεράστιο κόστος για να παροχετευθεί σε οποιοδήποτε σημείο το οποίο είναι απομακρυσμένο και δύσκολα προσπελάσιμο. Για παράδειγμα, ένα σύστημα ενεργειακού συμψηφισμού εγκατεστημένο στην κεραμοσκεπή μιας οικίας, κατά το πέρας της σύμβασης με την ΔΕΗ και εφόσον αυτή δεν επεκταθεί, δύναται να χρησιμοποιηθεί σε κάποιο νέο σύστημα (π.χ. αυτόνομο) με την αξιοποίηση των λειτουργικών μερών του.

Ελάχιστη Συντήρηση

Η συντήρηση ενός ποιοτικού Φ/Β Συστήματος είναι ελάχιστη, εφόσον έχει προηγηθεί καλοσυντονισμένη μελέτη με την χρήση κατάλληλου και αξιόπιστου εξοπλισμού, και δεν συγκρίνεται με την συχνότητα και το κόστος συντήρησης μίας γεννήτριας υγρών (ή/και αερίων) καυσίμων.

- ✓ *Σχεδόν μηδενική ρύπανση, μεγάλη διάρκεια ζωής που ενδεικτικά ξεπερνά τα 25 χρόνια, απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων (ειδικά) για απομακρυσμένες περιοχές, ενώ παρέχουν δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες*



1.2.2. Χρήσιμοι Όροι και Δείκτες

Ενέργεια και Δίκτυα Κοινής Ωφέλειας (Εηλ.)

Η κοινωνική ζωή και οι οικονομικές δραστηριότητες ειδικά στις μέρες μας βασίζονται σε μία ασφαλή και συνάμα διαθέσιμη παροχή ενέργειας. Επομένως, μία αειφόρος παροχή (πηγή) ενέργειας είναι η βάση για μια βιώσιμη καθημερινότητα στις ζωές και στις πράξεις μας, επειδή οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις οποιουδήποτε προϊόντος είτε υπηρεσίας βασίζονται σημαντικά, πέρα από την κατανάλωση ενέργειας, στις παρεχόμενες πηγές ενέργειας και την μετατροπή τους.

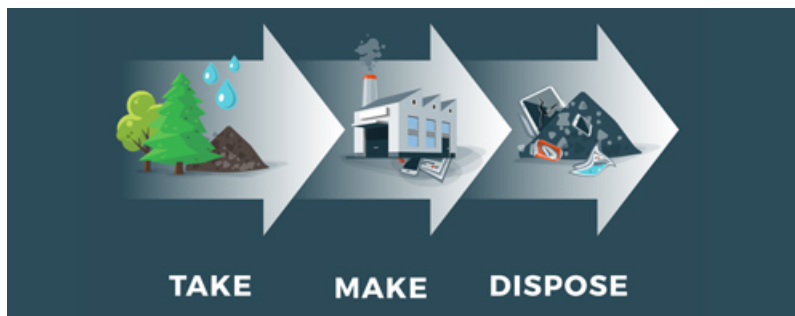
Συνεπώς, ο ενεργειακός τομέας δεν παίζει μόνο έναν καθοριστικό ρόλο για λόγους προμήθειας ενέργειας, αλλά επιπλέον εξαιτίας της υπευθυνότητάς του προς την προστασία του κλίματος και της φύσης, κατέχει και σε αυτούς τους τομείς καθοριστικό ρόλο.

Γραμμική οικονομία και Κυκλική οικονομία

“Πάρε – Φτιάξε – Απέρριψε” εναντίον

“Επαναχρησιμοποίησε – Επιδιόρθωσε – Ανακύκλωσε”

Δύο αντιφατικές έννοιες με διαφορετικά αντίκτυπα στην κατανάλωση πόρων και στην πίεση που ασκούν στην φύση.



Σχήμα 1.23 Γραμμική Οικονομία

Κατά την γραμμική οικονομία οι πόροι και οι πρώτες ύλες εξορύσσονται, επεξεργάζονται και συνήθως χρησιμοποιούνται για κάποιον συγκεκριμένο σκοπό. Κατά το τέλος της ζωής τους, τα προϊόντα αποτίθενται σε ΧΥΤΥ είτε ανακυκλώνονται με θερμικές μεθόδους. Η γραμμική οικονομία αναφέρεται επομένως συχνά ως “οικονομία μιας χρήσης”.

Τι εστί Κυκλική οικονομία

Ο όρος Κυκλική οικονομία αναφέρεται σε ένα μοντέλο στο οποίο η οικονομική ευμάρεια δεν πηγαιίνει χέρι-χέρι με την εκμετάλλευση και κατανάλωση των φυσικών, μη ανανεώσιμων πόρων.

Οι πόροι (υλικά) βρίσκονται σε ένα κυκλοφορικό σύστημα (βλ. σχήμα 1.24) για όσο περισσότερο χρονικό διάστημα είναι εφικτό στην φάση της χρήσης. Τα υλικά συνήθως



χρησιμοποιούνται για πολλαπλούς σκοπούς και επιστρέφουν ξανά και ξανά στον κύκλο της ανακύκλωσης → Επαναχρησιμοποίηση και Ανακύκλωση.

Το περιβαλλοντικό πλεονέκτημα της Κυκλικής οικονομίας είναι ότι παράγει λιγότερα απόβλητα και ελαχιστοποιεί την εξόρυξη ορυκτών πόρων.

Ο στόχος της Κυκλικής οικονομίας βασίζεται στην αποδοτικότητα των πόρων και την αειφορική χρήση των φυσικών αυτών πόρων, στην επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση δια μέσου ενός συστήματος ανακυκλοφορίας και πρόληψης αποβλήτων. Η εκτέλεση του μοντέλου αυτού δεν πρέπει να λαμβάνεται ότι βρίσκεται σε σύγκρουση με οικονομικά συμφέροντα, τα οποία εξυπηρετούνται από το γεγονός ότι στο μοντέλο αυτό, οι εταιρείες πυροδοτούν προστιθέμενη αξία από τα υλικά που χρησιμοποιούνται και την μείωση των κινδύνων προμηθειών υπό την μορφή κόστους υλικών, μεταβλητότητας τιμών και σημείων συμφόρησης.

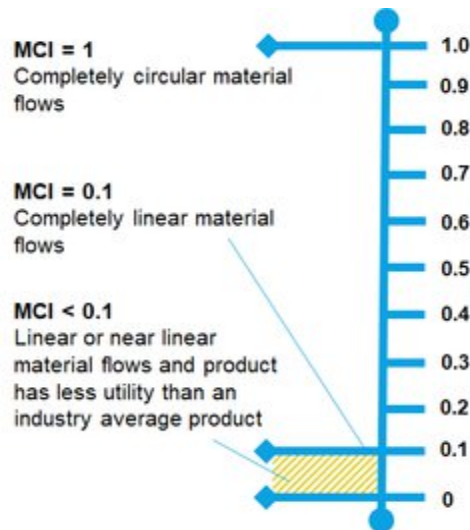
Σε αντίθεση με την γραμμική οικονομία, το περιβάλλον και η οικονομία δεν βρίσκονται σε ανταγωνισμό μεταξύ τους, αλλά στην ίδια εξίσωση.



Σχήμα 1.24 Κυκλική Οικονομία

Ποσοτικοποίηση του βαθμού “κυκλικότητας” ενός προϊόντος:

Η κυκλικότητα είναι μία έκφραση της συμβατότητας του υπό έρευνα μοντέλου με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας. Είναι δύσκολη η επιστημονική αξιολόγηση του μεγέθους και της αποδοτικότητας που ανταποκρίνεται μία εταιρεία ή ένα προϊόν στην κυκλική οικονομία καθώς και την πρόοδο που έχουν διαγράψει κατά την ανάπτυξή τους μακριά από το μοντέλο γραμμικής οικονομίας. Στο project “Circularity Indicators” (Ellen MacArthur Foundation [2015] and Granta Design) αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία όπου μας επιτρέπει να συλλάβουμε την κυκλικότητα προϊόντων και εταιρειών που βασίζεται σε γεγονότα και αριθμούς. Ο “Δείκτης Κυκλικότητας” ενός Υλικού (Material Circularity Indicator) αναπαριστά τον βαθμό των “ροών κυκλικότητας ενός υλικού” σε μία κλίμακα από το 0 έως το 1. Όσο υψηλότερο το σκορ, τόσο καταλληλότερο σε όρους κυκλικής οικονομίας είναι το προϊόν. Ο Δείκτης Κυκλικότητας ενός Υλικού μπορεί να λειτουργήσει ως εργαλείο λήψης αποφάσεων για σχεδιαστές προϊόντων, καθώς και για αγοραστές στην επιλογή υλικών, να γίνει χρήση του για αναφορά είτε αξιολόγηση εταιρειών.



Σχήμα 1.25 Δείκτης Κυκλικότητας ενός Υλικού (MCI) με κλίμακα [0-1] (πηγή gabi-software.com)

MCI = 1

Για να λάβεις αποτέλεσμα ίσο με 1, όλες οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν πρέπει να έχουν προέλθει από επαναχρησιμοποιούμενα συστατικά είτε ανακυκλώσιμα υλικά, χωρίς καμία απώλεια στην ανακύκλωση. Οποιοδήποτε απόβλητο δημιουργείται κατά την παραγωγή και κατά το τέλος της ζωής του προϊόντος θα πρέπει επίσης να επαναχρησιμοποιηθεί είτε να ανακυκλωθεί χωρίς καμία απώλεια → Μηδενικά Απόβλητα.

MCI = 0.1

Χαρακτηρίζει ένα προϊόν με τελείως γραμμικές ροές υλικών, όπου όλες οι πρώτες ύλες προέρχονται από παρθένα υλικά και κανένα ρεύμα αποβλήτου δεν επαναχρησιμοποιείται είτε ανακυκλώνεται.

Για να επιτύχει χαμηλότερη τιμή από 0.1, το όφελος του προϊόντος θα πρέπει να είναι χαμηλότερο από αυτό ενός μέσου βιομηχανικού προϊόντος (μικρότερης διάρκειας ζωής είτε χαμηλότερης έντασης χρήσης).

Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (EKZ) και δείκτης MCI για την ταξινόμηση αειφορίας ενός προϊόντος

Οι εταιρείες που αναζητούν να βελτιώσουν την αειφορία των προϊόντων τους ή, σε πρώτη φάση, να επιλέξουν κατά την τρέχουσα κατάσταση που βρίσκονται συχνά χρησιμοποιούν EKZ. Έτσι, όλα τα εισερχόμενα και εξερχόμενα υλικά και ενεργειακές ροές ενός προϊόντος καταγράφονται για ολόκληρο τον κύκλο ζωής και σε αυτή την βάση προκύπτουν οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Για να είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε τα αποτελέσματα των EKZ, γίνεται συχνά χρήση αποκλειστικά εργαλείων λογισμικού. Αυτά, επιτρέπουν στον χρήστη να κατασκευάσει λεπτομερή μοντέλα του Κύκλου Ζωής (ΚΖ) των συστημάτων/προϊόντων που θέλουν να εξετάσουν. Υπάρχει μεγάλη αλληλοεπικάλυψη στις απαιτήσεις δεδομένων για την ανάπτυξη μοντέλων EKZ και για τον υπολογισμό του δείκτη MCI. Και οι δύο απαιτούν πληροφορίες σχετικά με τις μαζικές ροές πρώτων υλών και αποβλήτων, σχετικά με το εάν οι πρώτες ύλες προέρχονται από παρθένες, ανακυκλωμένες ή επαναχρησιμοποιούμενες πηγές και στον τρόπο επεξεργασίας των αποβλήτων.



Τι εστί Εκτίμηση Κύκλου Ζωής

Η Εκτίμηση Κύκλου Ζωής είναι ένα μεθοδολογικό πλαίσιο (ορίζεται στο DIN ISO 14040/44) που εκτιμάει περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συσχετίζονται με όλα τα στάδια της ζωής ενός προϊόντος, από την εξαγωγή της πρώτης ύλης, δια μέσου της επεξεργασίας των υλικών, μεταποίησης, διανομής, χρήσης, επιδιόρθωσης και συντήρησης, και εναπόθεσης είτε ανακύκλωσης.

Πως επωφελούμαστε:

- Προσδιορίζονται οι στρατηγικοί κίνδυνοι και τα τινά βελτιστοποίησης περιβαλλοντικής συμπεριφοράς των προϊόντων σε πρώιμο στάδιο
- Ταυτοποιούνται το μέγεθος και η συνάφεια κάθε μεμονωμένου βήματος σε έναν κύκλο ζωής ενός προϊόντος ή/και συστήματος
- Αποκτούνται συμπαγής πληροφορίες αναφορικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις όσον αφορά τις διεργασίες και τα προϊόντα ενός οργανισμού, για την βελτίωση εξωτερικών επικοινωνιών με πελάτες, προμηθευτές και λοιπούς ενδιαφερόμενους
- Παγίωση της ανάγκης για δράσεις υπέρ της φύσης και ταυτοποίηση των σημαντικότερων μετρήσεων που πρέπει να προσαρμοστούν
- Διασπορά της περιβαλλοντικής καινοτομίας με την εφαρμογή ΕΚΖ
- Ποσοτικοποίηση και Βελτιστοποίηση της περιβαλλοντικής επίδοσης των προϊόντων (κυρίως με την χρήση λογισμικού)
- Εκτίμηση πρώτων υλών και διεργασιών σε κάθε φάση, από την εξαγωγή μέχρι το τέλος ωφέλιμης ζωής δια μέσου της εφοδιαστικής αλυσίδας
- Δημιουργία κατανόησης του σκεπτικού “κύκλου ζωής” και ενσωμάτωσή του σε καθημερινή βάση, σε όλα τα στάδια μίας επιχείρησης
- Βελτιστοποίηση των διαύλων επικοινωνίας μέσω πολιτικών λήψεων αποφάσεων και των αρχών με την βοήθεια της ΕΚΖ

Τι εστί Βιώσιμος Σχεδιασμός (ή αλλιώς Οικολογικός Σχεδιασμός / Eco-Design)

Ο Βιώσιμος Σχεδιασμός συνδυάζει περιβαλλοντικές πτυχές κατά τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός προϊόντος, από την αρχική σύλληψη της ιδέας για ένα νέο προϊόν, με σκοπό την ενίσχυση της περιβαλλοντικής του επίδοσης καθόλη την διάρκεια του κύκλου ζωής του. Αναδεικνύει περιβαλλοντικές προοπτικές και αδυναμίες και έτσι παρέχει έναν σημαντικό οδηγό λήψης αποφάσεων προς τους δημιουργούς προϊόντων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σχετικό και πρακτικό όταν γίνεται επιλογή των υλικών και της μεθόδου παραγωγής, ανακύκλωσης μερών ή για την τήρηση των νομικών οδηγιών. Μόνο μέσω αυτού του είδους πρώιμης σκέψης είναι εφικτό να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο έπακρο. Το κάθε προϊόν ξεχωριστά ή/και τα μέρη ενός προϊόντος πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ξεχωριστά σε ένα πλάνο Βιώσιμου Σχεδιασμού.

Πως επωφελούμαστε:

- Διεκδικώντας τα ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα λόγω της βελτίωσης, όχι μόνο τεχνικών και οικονομικών παραμέτρων, αλλά και οικολογικών πτυχών, κατανάλωσης ενέργειας, εκπομπών είτε δυναμικής ανακύκλωσης δια μέσου του Βιώσιμου Σχεδιασμού



- Μετατρέποντας τις υποχρεωτικές απαιτήσεις σε αξίες της επιχείρησης και πλεονεκτήματα, αναδεικνύοντας την περιβαλλοντική επίδοση, ανεύρεση αδύναμων σημείων και τομέων προτεραιότητας δράσης, καθώς και ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης
- Βελτίωση του συντονισμού μεταξύ ανάπτυξης, παραγωγής, αγοράς και περιβαλλοντικής φύσεως τμημάτων
- Βελτίωση της εσωτερικής και εξωτερικής περιβαλλοντικής επικοινωνίας με αξιόπιστες πληροφορίες

Η οδηγία “ErP” και ο Οικολογικός Σχεδιασμός

Η νέα οδηγία Οικολογικού Σχεδιασμού (2009/125/EC) για προϊόντα που χρησιμοποιούν ενέργεια (Energy using Products – EuP) και προϊόντα που σχετίζονται με την ενέργεια (Energy related Products-ErP) έχει ηχηρή επίδραση στους παραγωγούς.

Πως επωφελούμαστε:

- Ευαισθητοποίηση σχετικά με την ισχύουσα νομοθεσία και παρακολούθηση της συμμόρφωσης στο μέλλον
- Διασφάλιση της συμμόρφωσης με τους νομικούς κανονισμούς
- Προώθηση της κατανόησης του σκεπτικού του κύκλου ζωής, που αποτελεί την βάση για την οδηγία περί Οικολογικού Σχεδιασμού

Τι εστί Ανάλυση Αποτυπώματος Άνθρακα (Carbon Footprint Analysis)

Το Αποτύπωμα Άνθρακα μετράει τις συνολικές εκπομπές ΑτΘ που προκαλούνται απευθείας και έμμεσα από έναν άνθρωπο, οργανισμό, γεγονός ή προϊόν.

- Το Αποτύπωμα Άνθρακα – ονομάζεται επίσης Προφίλ Άνθρακα (Carbon Profile), είναι το συνολικό ποσό διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και λοιπών ρύπων ΑτΘ (π.χ. μεθάνιο, άζωτο, οξείδια, υδρογονάνθρακες, φρέον κλπ.) που συσχετίζονται με ένα προϊόν δια μέσου της εφοδιαστικής αλυσίδας και μερικές φορές αυτά συμπεριλαμβάνονται κατά την χρήση του προϊόντος και την αποκατάσταση/εναπόθεση κατά το τέλος της ωφέλιμης ζωής του
- Η ποσοτική ανάλυση και μείωση του Αποτυπώματος Άνθρακα αποτελούν κλειδί στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, παραδείγματος χάριν, προώθηση της ενεργειακής απόδοσης, άμβλυνση και αποτροπή εκπομπών του άνθρακα με την χρήση μέσων “πράσινης ενέργειας” και στην συνέχεια αντιστάθμιση για τις υπόλοιπες εκπομπές ΑτΘ επενδύοντας σε “αντισταθμίσεις άνθρακα”, με τελικό στόχο να πετύχουμε ουδετερότητα άνθρακα

Πως επωφελούμαστε

- Εκτίμηση του Αποτυπώματος Άνθρακα ενός προϊόντος σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα όπως το ISO 14067, το PAS 2050 ή το Πρωτόκολλο ΑτΘ



- Αποταμίευση εξόδων με την μείωση ενεργειακής απαίτησης και βελτίωσης του Αποτυπώματος Άνθρακα
- Χαρτογράφηση κινδύνων με ανάλυση “καυτών σημείων”: Εύρεση αδύναμων σημείων και προτεραιότητα πράξεων
- Ενδυνάμωση της ανταγωνιστικής θέσης μίας επιχείρησης με χαμηλού άνθρακα ή/και ουδέτερου άνθρακα προϊόντα

Τι εστί Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα Προϊόντος (Product Environmental Footprint-PEF) και Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα Οργανισμού (Organization Environmental Footprint-OEF)

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ξεκίνησε το Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα (Environmental Footprint-EF) αρχικά κάτω από την Ενιαία Αγορά, με επίκεντρο στα “πράσινα” προϊόντα. Σχεδιάστηκε για να εναρμονίσει τις πολλές διαφορετικές μεθοδολογίες που είναι διαθέσιμες να υπολογίσουν και να επικοινωνήσουν περιβαλλοντικές πληροφορίες σε προϊόντα και οργανισμούς, καλύπτοντας ολόκληρο τον κύκλο ζωής, από την σύλληψη της ιδέας έως την απόρριψη, και ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών θεμάτων, συμπεριλαμβανομένης της κλιματικής αλλαγής, της χρήσης γης, της οικοτοξικότητας, της σωματιδιακής ύλης κ.α.

Ο οδηγός Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος δημοσιεύθηκε από τις αρχικές πρωτοβουλίες για περιγραφή του πως υπολογίζονται και επικοινωνούν οι περιβαλλοντικές επιδράσεις προϊόντων και οργανισμών μεταξύ τους.

- Βασισμένο σε ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής το 2013, οι οδηγοί των PEF & OEF, όπου χρησιμοποιήθηκαν κατά την πιλοτική φάση μέχρι το 2018, μπορούν τώρα να εφαρμοστούν κατά την διάρκεια φάσης μετάβασης μέχρι το 2021
- Περίπου 20 κατηγορίες κανόνων PEF (PEFCR) & τομείς κανόνων OEF (OEF SR) έχουν αναπτυχθεί από αυτή την διαδικασία, μαζί με βιομήχανους παραγωγούς και λοιπούς ιδιωτικούς τομείς – κυβερνητικούς οργανισμούς.
- Καλύπτουν ομάδες προϊόντων, όπως, μπίρας, γαλακτοκομικών, διακοσμητικά χρώματα, συστήματα αγωγών παροχής ζεστού και κρύου νερού, ενδιάμεσα προϊόντα χάρτου, ζωοτροφές για ζώα παραγωγής τροφίμων, εξοπλισμός πληροφορικής (IT equipment), δέρματα, συσκευασίες νερού, ζυμαρικά, ζωοτροφές κατοικίδιων, **Φ/Β παραγωγή ηλεκτρισμού**, επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, ρούχα, αδιάλειπτη παροχή ισχύος (Uninterruptible Power Supply-UPS), και κρασιού (μεταλλικά φύλλα και μονώσεις είναι υπό εξέταση για την οριστικοποίηση), όλα τα βασικά και τελειοποιημένα PEFCRs & OEF SRs μπορείτε να τα βρείτε στον παρακάτω σύνδεσμο:

https://ec.europa.eu/environment/eusssd/smgp/PEFCR_OEF SR_en.htm

Τι εστί Απόδοση Πόρων και Ενέργειας

Η Απόδοση Πόρων και Ενέργειας προσφέρει ένα ισχυρό και αποδοτικό σε θέμα κόστους εργαλείο για να κατορθώσουμε ένα βιώσιμο μέλλον.

Η Απόδοση Πόρων και Ενέργειας εξοικονομεί χρήματα και περικόπτει τις εκπομπές γρηγορότερα από οποιαδήποτε άλλη επιλογή μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.



Χρησιμοποιώντας αποδοτικά πόρους και κατά συνέπεια ενέργεια επιφέρει εξίσου οικονομικά και οικολογικά πλεονεκτήματα. Με την ενεργοποίηση μέτρα αποδοτικότητας, οι οργανισμοί και οι επιχειρήσεις ταυτόχρονα αποταμιεύουν χρήματα και μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιδράσεις / κινδύνους.

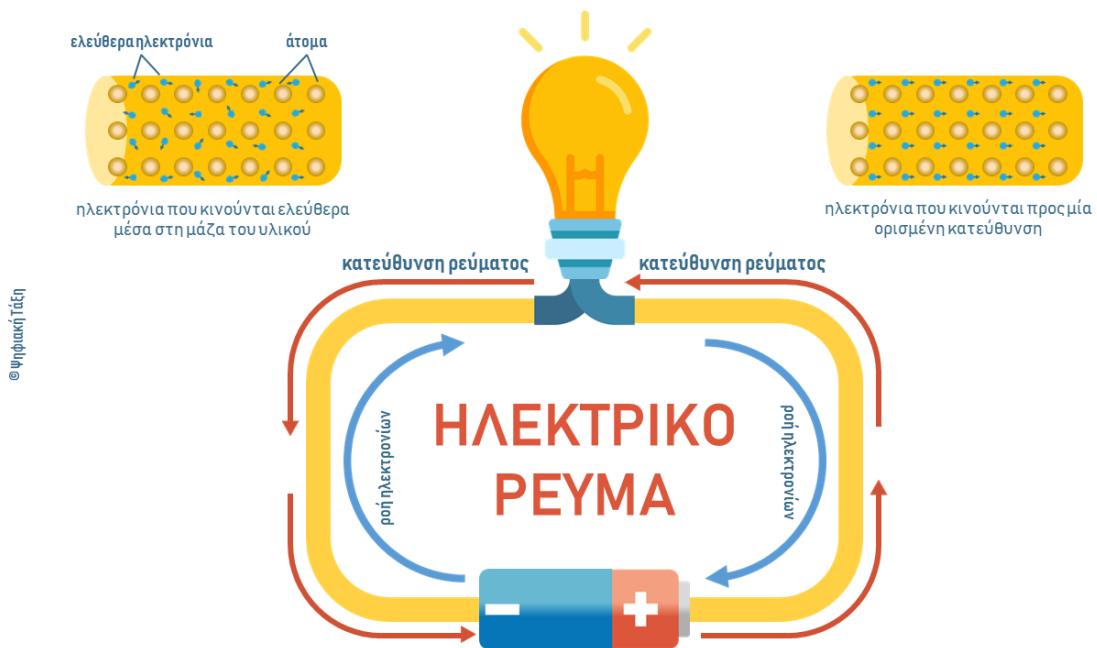
- Η ολοένα οξυνόμενη έλλειψη πόρων προκαλεί αυξανόμενο αριθμό οργανώσεων για την εύρεση εναλλακτικών σε αντίθεση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Συχνά, αυτή η ζήτηση, περιλαμβάνει την αλλαγή προμηθειών, διαδικασιών παραγωγής ή επιλογή προμηθευτών.
- Ωστόσο, ένα στενό εστίασμα στην ενέργεια και στους πόρους σχεδόν δεν διευκολύνει την ολοκλήρωση σύνθετων αναλύσεων με στόχο τον γρήγορο εντοπισμό λύσεων και εναλλακτικών
- Με την χρήση των πόρων και της κατανάλωσης ενέργειας ως παραμέτρους κλειδιά, συγκεντρωνόμαστε ταυτόχρονα στην μείωση της κατανάλωσης και την εξεύρεση εν δυνάμει εναλλακτικών. Κάτι που επιτρέπει μια πολύ εξαντλητική ανάλυση, ζυγίζοντας τα οφέλη και τα μειονεκτήματα από διάφορα σενάρια και έτσι παρέχοντας μία βάση για την λήψη αποφάσεων

Πως επωφελούμαστε

- Μείωση της ζήτησης ενέργειας και κρίση εναλλακτικών λύσεων
- Αναφορά μιας διαδικασίας ως 'Η Καλύτερη Διαθέσιμη Τεχνολογία'
- Εκτίμηση της παραγωγής υλικών δια μέσου ενός "περιβαλλοντικού φακού", χρησιμοποιώντας μια προοπτική κύκλου ζωής
- Λήψη γνώσης αναφορικά με την σημαντικότητα των έμμεσων επιδράσεων των πόρων και των ενεργειακών προμηθειών
- Δημιουργία κατανόησης του Σκεπτικού του Κύκλου Ζωής και ενσωμάτωσή αυτού σε καθημερινή βάση μιας επιχείρησης και σε όλα τα στάδια
- Απόκτηση συμπαγούς πληροφορίας αναφορικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαδικασιών και των προϊόντων για χρήση εξωτερικού συντονισμού

Ηλεκτρικό Ρεύμα

Ηλεκτρικό ρεύμα ή αλλιώς Εηλ. μπορούμε να ονομάσουμε την προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρονίων. Η ροή ρεύματος είναι έχει αντίθετη διεύθυνση από την ροή ηλεκτρονίων. Για να υπάρξει κίνηση του ηλεκτρικού ρεύματος απαιτείται η ύπαρξη ενός μαγνητικού πεδίου.



Σχήμα 1.26 Κατεύθυνση ηλεκτρικού ρεύματος και ροή ηλεκτρονίων (πηγή: Ψηφιακή τάξη)

Το Ρεύμα (ένταση) αντιπροσωπεύει την ποσότητα των ηλεκτρονίων (e^-) που διέρχονται από συγκεκριμένη διατομή. Η μονάδα του ρεύματος είναι το Ampere (A), όπου 1 A ισούται με $6,28 \times 10^{18}$ ηλεκτρόνια ανά μονάδα επιφάνειας το δευτερόλεπτο (sec).

$$I = \frac{dq}{dt}$$

Μπορεί να περιγραφεί ως η ροή φορτίων για μια συγκεκριμένη διατομή σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Επηρεάζεται σχεδόν ανάλογα από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (G) σε W/m^2 . Για Τάση (V) ίση με 0 V, το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} θα παίρνει την μέγιστη τιμή του, αλλά η ισχύς θα είναι μηδενική εφόσον αποτελεί το γινόμενο τους.

Η Τάση (V) ή αλλιώς διαφορά δυναμικού αντιπροσωπεύει την ηλεκτρική πίεση ή δύναμη. Είναι η αιτία που προκαλεί την κίνηση των φορτίων/ηλεκτρονίων για την μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος. Αποτελεί το ενεργειακό περιεχόμενο του κάθε φορτίου. Η πτώση τάσης είναι η διαφορά μεταξύ των δύο άκρων ενός αγωγού, διαμέσου των οποίων διέρχεται ρεύμα.

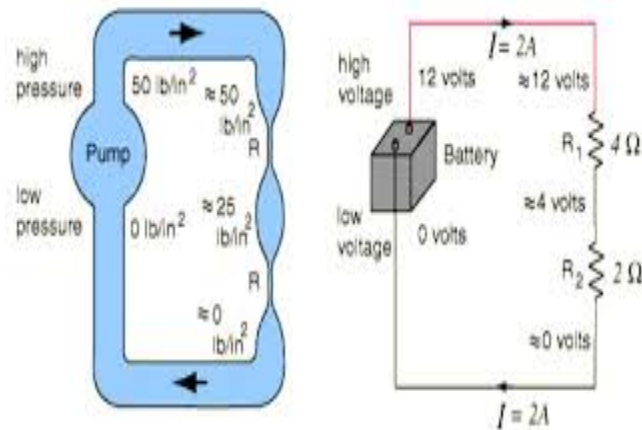
$$V = \frac{dE}{dq}$$

Για Ένταση (I) ίση με 0 A, η τάση ανοιχτοκύκλωσης V_{oc} θα παίρνει την μέγιστη τιμή της, αλλά η ισχύς θα είναι μηδενική εφόσον αποτελεί το γινόμενό τους.

Επηρεάζεται αντιστρόφως ανάλογα σε μεγάλο βαθμό από την Θερμοκρασία.

Η τάση των ϕ/β στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά (και μη-γραμμικά) συναρτήσει της έντασης του ρεύματος που δίνεται στο κύκλωμα, ακόμα και για σταθερή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Σε ένα υδραυλικό ισοδύναμο, θα συγκρίναμε το ρεύμα με την παροχή νερού (διατομή) μέσω ενός σωλήνα, ενώ την τάση με την πίεση του νερού που επικρατεί στο εσωτερικό του σωλήνα (βλ. Σχήμα 1.27).



Σχήμα 1.27 Υδραυλικό Ισοδύναμο κύκλωμα σε αντιστοιχία με Ηλεκτρικό

- ✚ Από τα δύο παραπάνω μεγέθη, κατανοούμε ότι με πολλαπλασιασμό τους και με τον κανόνα της αλληλουχίας προκύπτει η Ισχύς (Watt), ως

$$(V) \frac{dE}{dq} \times (I) \frac{dq}{dt} = (W) \frac{dE}{dt}$$

Η ισχύς είναι ένα πολύ ευμετάβλητο μέγεθος, εφόσον είναι ο ρυθμός μεταβολής (ροής) της ενέργειας.

- ✚ Αντίσταση (φορτίο): μονάδα στο SI είναι το Ohm (R), ορίζεται ως η δυσκολία που παρουσιάζεται κατά την διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος από συγκεκριμένη διάταξη υλικού. Είναι αντιστρόφως ανάλογη της διατομής ενός αγωγού

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Στο εναλλασσόμενο ρεύμα (**AC**) τα ηλεκτρόνια ταλαντεύονται, η τάση και το ρεύμα δεν ταυτίζονται μεταξύ τους, στο συνεχές ρεύμα (DC), όπου παράγουν και τα Φ/Β Συστήματα, μας ενδιαφέρει το πρόσημο των πηνίων (+ -).

Η μέγιστη τάση ενός φ/β στοιχείου βρίσκεται μεταξύ 0,5 και 0,6V, για αυτό τον λόγο και για λόγους μειωμένων απωλειών συνδέονται σε σειρά με σκοπό την αύξηση της τάσης και κατά συνέπεια της ισχύος ενός Φ/Β πλαισίου.

- ✓ Η Εηλ. ως μορφή ενέργειας δύναται να μεταφέρεται σε μακρινές αποστάσεις με χαμηλές σχετικά απώλειες και το σημαντικότερο μπορεί να μετατραπεί σε πολλές διαφορετικές μορφές ενέργειας μέσω κατάλληλων διατάξεων
- ✓ Η λειτουργία ενός Φ/Β Συστήματος είναι πολύ σημαντικό να βρίσκεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο μέγιστης ισχύος (MPP), η οποία είναι ηλεκτρονική διάταξη που βασίζεται σε ορισμένες πρότυπες μετρήσεις και συνθήκες λειτουργίας



με στόχο την βελτιστοποίηση της δέσμευσης της παραγόμενης Εηλ. ενέργειας από το Φ/Β Σύστημα (ανάλυση στο κεφάλαιο 1.4.)

- ✓ Στις αντιστάσεις έχουμε μετατροπή 100% της Εηλ. σε Θερμότητα → όσο μεγαλύτερη η τιμή της αντίστασης τόσο μεγαλύτερη η απώλεια σε θερμότητα
- ✓ Για μείωση των απωλειών κατά την μεταφορά ρεύματος απαιτείται η μείωση της έντασης (I), βάση του τύπου :

$$P_{\text{loss}} = I^2R$$

- ✓ Αυξάνουμε την τάση ώστε να μειωθούν οι απώλειες στην μεταφορά και με την χρήση μετασχηματιστών, με εναλλασσόμενο ρεύμα έχουμε πιο άρτια μεταφορά στην συμβατική περίπτωση του ηπειρωτικού δικτύου
- ✓ Το ρεύμα (όπως ο αέρας) κινείται από περιοχές υψηλής πίεσης προς περιοχές χαμηλής πίεσης → περιοχές υψηλής τάσης προς περιοχές χαμηλής τάσης

Τριφασικά Συστήματα: Η ηλεκτρική ενέργεια για εμπορική χρήση σχεδόν πάντα παράγεται με σύγχρονες τριφασικές γεννήτριες και σχεδόν πάντα αποστέλλεται μέσω γραμμών μεταφοράς τριών φάσεων. Στην περίπτωση των Φ/Β Συστημάτων, τα συστήματα τα οποία έχουν εγκατεστημένη ισχύ $\geq 5\text{kW}$ και λαμβάνοντας υπόψη τα φορτία κάλυψης προτείνεται να διαμορφώνονται ως Τριφασικά (3Φ) συστήματα, π.χ. οι διασυνδεδεμένοι Φ/Β σταθμοί που είναι ως επί το πλείστον μεγαλύτερη των 5kWp , διαθέτουν Τριφασικούς Μετατροπείς τροφοδοσίας του δικτύου Εηλ. Υπάρχουν πολλοί καλοί λόγοι που τα κυκλώματα τριών φάσεων είναι τόσο διαδεδομένα. Κατ' αρχάς, οι 3Φ γεννήτριες είναι πολύ πιο αποδοτικές από άποψη ισχύος ανά μονάδα μάζας και λειτουργούν πολύ πιο ομαλά, με λιγότερους κραδασμούς σε σύγκριση με τις μονοφασικές (1Φ) γεννήτριες. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι τα 3Φ ρεύματα στον στάτη των κινητήρων και των γεννητριών δημιουργούν ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, που κάνει αυτές τις μηχανές να περιστρέφονται προς την σωστή κατεύθυνση και με την σωστή ταχύτητα. Τέλος, τα 3Φ συστήματα μεταφοράς και διανομής χρησιμοποιούν την καλωδίωσή τους πολύ πιο αποδοτικά, δεν έχουμε επιστροφές ρεύματος όπως στα 1Φ.



Φωτοηλεκτρικό/Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Όλα ξεκίνησαν το 1839 όταν ο 19χρονος Γάλλος φυσικός, Εντμόν Μπεκερέλ (πατέρας του νομπελίστα Αντουάν Ανρί Μπεκερέλ για την ανακάλυψη της ραδιενέργειας), πρώτος από όλους ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, με την παρατήρηση που έκανε ότι κατά την έκθεση του φωτός δύο μεταλλικών πλακών (π.χ. Pt ή Ag) εμβυθισμένων σε ηλεκτραγώγιμο διάλυμα, εμφανίζεται μεταξύ τους μικρή τάση (σπινθήρες ηλεκτρισμού) και ροή ηλεκτρικού ρεύματος → **ηλιακός ηλεκτρισμός**. Δηλαδή την άμεση μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με την βοήθεια των φωτοβολταϊκών στοιχείων, είτε, όπως αλλιώς ονομάζονται φωτοβολταϊκά/ηλιακά κύτταρα, στοιχεία, κελιά είτε κυψέλες. Αυτό το φαινόμενο, χρησιμοποιήθηκε σε πρωτόγονα ηλιακά κελιά από σελήνιο στα τέλη του 18^{ου} αιώνα όπου ο βαθμός απόδοσης δεν ξεπερνούσε το 0,5%, επομένως η χρήση τους ήταν αντισυμβατική. Την δεκαετία του 1950, επιστήμονες στα Bell Labs, αναπροσάρμοσαν την τεχνολογία και, χρησιμοποιώντας ως βάση το πυρίτιο, κατασκεύασαν ηλιακά κελιά τα οποία μπορούσαν να μετατρέψουν ποσοστό περίπου 5,7% της ηλιακής ενέργειας απευθείας σε ηλεκτρική. Η εντατική έρευνα τα επόμενα χρόνια οδήγησε στην δραστική μείωση του κόστους, με παράλληλη αύξηση του βαθμού απόδοσης. Έτσι, ο βαθμός απόδοσης των κυττάρων πυριτίου έχει αγγίξει εργαστηριακά το 24,5%, πολύ κοντά στο θεωρητικό όριο του 28%. Παράλληλα, διεξάγεται έρευνα με την χρήση διαφόρων υλικών κατασκευής των ηλιακών κυττάρων, με σκοπό την περαιτέρω μείωση του κόστους και την αύξηση της απόδοσης.

Η Ορμή του φωτονίου δίνεται από την σχέση:

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{E}{c} \quad ^6,$$

Το φως στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο συμπεριφέρεται σαν ένα ρεύμα σωματιδίων (φωτονίων). Σε άλλες περιπτώσεις όμως το φως συμπεριφέρεται σαν κύμα (π.χ. δίνει φαινόμενα συμβολής). Η παραπάνω σχέση είναι ιδιαίτερα σημαντική γιατί φωτίζει την δυαδική φύση του φωτός. Συνδέει μια καθαρά σωματιδιακή ιδιότητα, όπως η ορμή, με μια καθαρά κυματική ιδιότητα, όπως το μήκος κύματος. Ο σύνδεσμος μεταξύ τους είναι η σταθερά του Planck (h).

ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ & ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ

Το φως είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελούμενη από πακέτα ενέργειας (τα φωτόνια), η ένταση των οποίων εξαρτάται είτε από τη συχνότητα, είτε από το μήκος κύματος του φωτός. Τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντιστρόφως ανάλογα και γνωρίζοντας την τιμή του ενός μπορούμε να εξάγουμε την τιμή του άλλου βάσει του τύπου:

$$c = v\lambda^7,$$

⁶ Όπου p η ορμή (σε kg m s⁻¹), h η σταθερά του Planck (ίση με 6,62608x10⁻³⁴ J s), λ το μήκος κύματος (σε m), E η ενέργεια που κουβαλάει το φωτόνιο (σε J) και c η ταχύτητα του φωτός (3x10⁸ m/s)

⁷ Όπου v η συχνότητα (σε Hz ή s⁻¹)

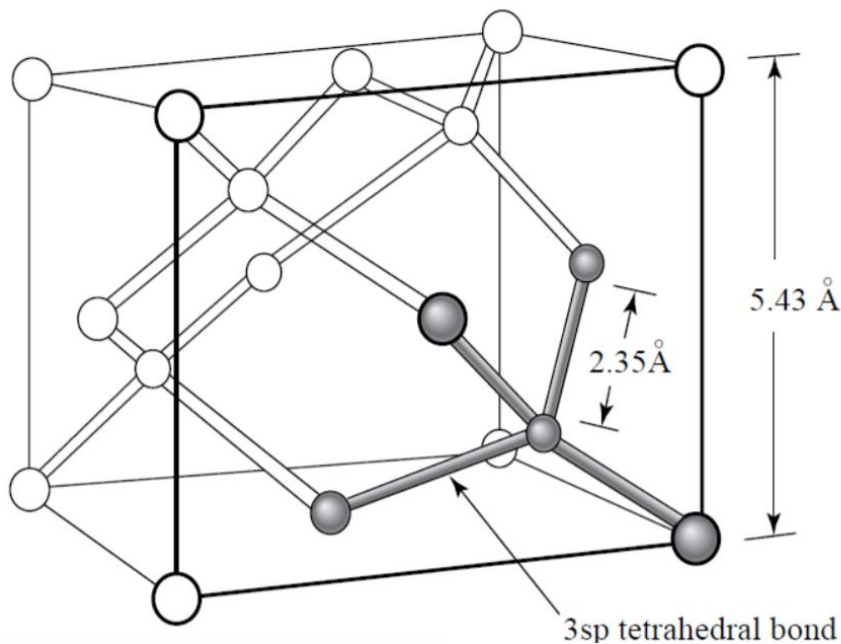


Τα φωτόνια περιέχουν αρκετή ενέργεια ώστε να διεγείρουν τα ηλεκτρόνια στερεών σωμάτων σε θέσεις υψηλότερης ενέργειας και να γίνουν ελεύθεροι φορείς.

Αξιοποιώντας τις ιδιότητες των ημιαγωγών, είναι δυνατή η δημιουργία διαφοράς δυναμικού μεταξύ ακροδεκτών, με την αύξηση των φορέων ηλεκτρικού φορτίου που επιφέρει η πρόσπτωση και απορρόφηση της φωτεινής ακτινοβολίας.

Το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται είναι ανάλογο της έντασης της ακτινοβολίας και της επιφάνειας πρόσπτωσης, ενώ σημαντικό παράγοντα αποτελεί και η θερμοκρασία.

Δομή του κρυστάλλου πυριτίου Silicon crystal structure



Σχήμα 1.28 Δομή του κρυστάλλου πυριτίου

Το πυρίτιο (Si) απαντά σε δύο αλλοτροπικές μορφές: μία άμορφη και μία κρυσταλλική. Το κρυσταλλικό πυρίτιο έχει μεταλλική λάμψη, είναι σκληρό και έχει σκούρο γκρι χρώμα. Είναι στερεό σε θερμοκρασία δωματίου και δεν είναι ελατό ούτε όλκιμο. Είναι ημιαγωγός και την ιδιότητα αυτή διατηρεί ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες. Δεν είναι καλός αγωγός της θερμότητας.

Ακόμη, το πυρίτιο μοιράζεται την ίδια κρυσταλλική δομή καθώς και άλλες ιδιότητες με το διαμάντι, με την διαφορά ότι το πυρίτιο δεν είναι διαφανές. Επιπλέον, μπορεί να διαμορφωθεί σε μεγάλους κρυστάλλους, να κοπεί σε "φέτες" προς δημιουργία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{Θερμική Τάση (} V_T \text{)} \sim 26 \text{ mV για } T=300 \text{ K}$$



Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για την κατασκευή των φ/β στοιχείων στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Αποτελεί ίσως το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο, ενώ οι μεγάλες (σχετικά) αποδόσεις των Φ/Β πλαισίων πυριτίου στο εμπόριο δίνουν και ένα πλεονέκτημα στο εν λόγω υλικό. Το πυρίτιο αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των Φ/Β (πηγή selasenergy.gr).

Ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι το γεγονός ότι δύναται να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση καθώς είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά τον ατμοσφαιρικό αέρα. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) ή κοινώς η άμμος και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Ακόμη, είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον, ενώ μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125°C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φ/β στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών. Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη των φ/β στοιχείων τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη ανεπτυγμένη τεχνολογία στην βιομηχανία της επεξεργασίας πυριτίου στον τομέα των ηλεκτρονικών (υπολογιστές, τηλεοράσεις, λοιπούς μικροεπεξεργαστές κλπ.). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των φ/β στοιχείων σε σχέση με αυτή των ημιαγωγών των ηλεκτρονικών. Μια κατηγοριοποίηση όσον αφορά την ποιότητα των φ/β στοιχείων θα μπορούσε να γίνει με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται.

Κυριότερες μέθοδοι παραγωγής: φ/β κυτάρων κρυσταλλικού πυριτίου: η μέθοδος Czochralski, η μέθοδος float zone, η μέθοδος απευθείας στερεοποίησης, η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση. Γενικά ακολουθούνται τέσσερα στάδια κατά την κατασκευή ΦΒ στοιχείων πυριτίου και πλαισίων. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την κατασκευή των κρυστάλλων, πολυκρυστάλλων ή άμορφου πυριτίου. Ακολουθεί η αποκοπή ή ο σχηματισμός λεπτών στρωμάτων από τα υλικά αυτά και η εισαγωγή σε αυτά μικρών ποσοτήτων άλλων στοιχείων (προσμίξεις) για να σχηματιστεί το n-πυρίτιο και το p-πυρίτιο (ένωση p-n). Μετά ακολουθεί η συγκόλληση μεταλλικών ηλεκτροδίων στις δύο επιφάνειες των στρωμάτων και η επικάλυψη τους με κατάλληλο υλικό που εμποδίζει την ανάκλαση του φωτός. Το τελευταίο στάδιο περιλαμβάνει την κατασκευή πλαισίου ΦΒ στοιχείων με σκοπό την προστασία τους από τις φυσικές και χημικές μεταβολές που παίρνουν μέρος συνεχώς στην ατμόσφαιρα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον αριθμό των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια των ατόμων ενός υλικού, μπορούν να βρίσκονται σε συγκεκριμένες ενεργειακές καταστάσεις (ενεργειακές τιμές). Στα στερεά, οι επιτρεπόμενες ενεργειακές καταστάσεις διαμορφώνονται τόσο πυκνά ώστε να σχηματίζουν ενεργειακές ζώνες που διαχωρίζονται από εύρη ενεργειακών τιμών στα οποία κανένα ηλεκτρόνιο δεν είναι δυνατό να υφίσταται.

Οι επιτρεπόμενες ζώνες χωρίζονται στις εσωτερικές ενεργειακές ζώνες και τις ζώνες σθένους και αγωγιμότητας. Η διαφορά μεταξύ της υψηλότερης ενεργειακής κατάστασης εντός της ζώνης σθένους και της χαμηλότερης ενεργειακής κατάστασης εντός της ζώνης αγωγιμότητας ορίζεται ως το **ενεργειακό διάκενο/κατώφλι**.

Το ενεργειακό διάκενο έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς τα ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητας (ελεύθερα ηλεκτρόνια) είναι αυτά που συμβάλλουν στην αγωγιμότητα ενός υλικού και η μετάβαση ενός ηλεκτρονίου από τη ζώνη σθένους σε αυτή, προκύπτει κατά την πρόσδοση



ενέργειας στα άτομα του υλικού, ίσης ή μεγαλύτερης του ενεργειακού διακένου με την απορρόφηση (π.χ.) ακτινοβολίας ή θερμότητας.

Όταν τα άτομα έχουν μεγάλο ενεργειακό διάκενο, το υλικό συμπεριφέρεται ως μονωτής καθώς τα ποσά ενέργειας που απαιτούνται για την απελευθέρωση ηλεκτρονίων από την ζώνη σθένους είναι μεγάλα, ενώ όταν το ενεργειακό διάκενο είναι σχετικά μικρό (π.χ. 1.1eV για το πυρίτιο), το υλικό χαρακτηρίζεται ημιαγωγός καθώς δύναται η μετάβαση ηλεκτρονίων μεταξύ των ζωνών.

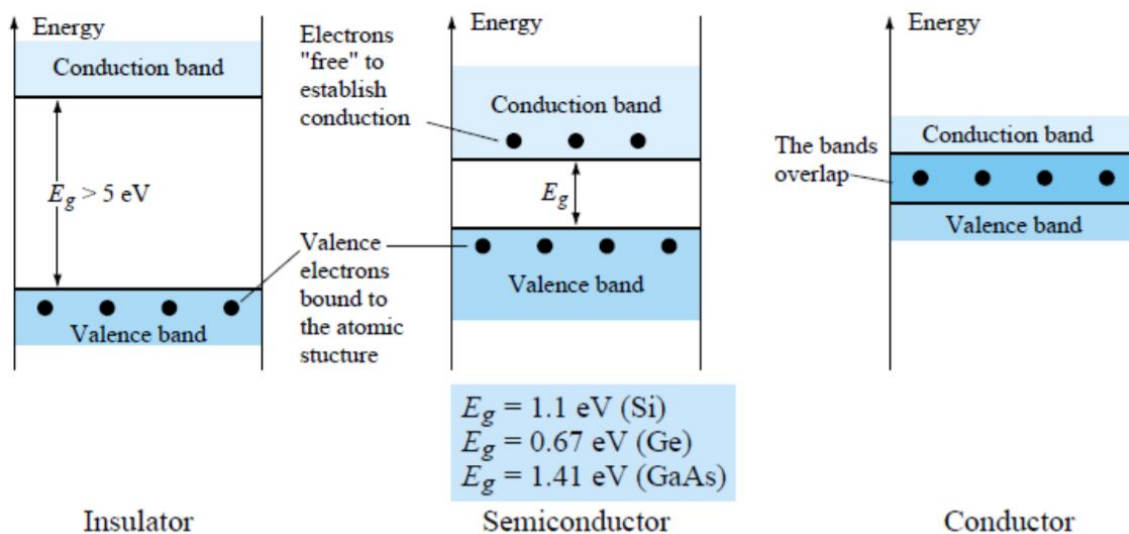
✓ Οι αγωγοί, όπως τα μέταλλα, έχουν πολύ μικρό είτε και μηδενικό ενεργειακό διάκενο

Αν η ζώνη σθένους δεν είναι πλήρως συμπληρωμένη, έχουμε αγωγό, ενώ το πόσο καλό αγωγό έχουμε εξαρτάται από το ποσοστό κατάληψης. Οι καλύτεροι αγωγοί έχουν ένα ηλεκτρόνιο σθένους, όπως ο Χαλκός(Cu), ο Άργυρος(Ag) και ο Χρυσός(Au). Σε αυτά τα στοιχεία, η έλξη μεταξύ του πυρήνα και του ηλεκτρονίου σθένους είναι ασθενής, έτσι με εξωτερική διέγερση το ηλεκτρόνιο σθένους γίνεται ελεύθερο και δεν είναι πλέον δεσμευμένο στο άτομο.

Αγωγό έχουμε επίσης αν η ζώνη σθένους είναι πλήρως κατειλημμένη, αλλά βρίσκεται σε πάρα πολύ μικρή (ενεργειακή) απόσταση η ζώνη αγωγιμότητας ή ακόμα υπάρχει και αλληλοεπικάλυψη.

Μονωτή έχουμε όταν η ζώνη σθένους είναι συμπληρωμένη και η ζώνη αγωγιμότητας απέχει πολύ ενεργειακά.

Ημιαγωγό έχουμε όταν η ζώνη σθένους είναι συμπληρωμένη, αλλά η ζώνη αγωγιμότητας βρίσκεται κοντά (πέριξ των 2eV). Οι ημιαγωγοί τυπικά έχουν 4 ηλεκτρόνια σθένους!



Σχήμα 1.29 Εσωτερική λειτουργικότητα στους μονωτές, ημιαγωγούς και αγωγούς, αντίστοιχα



Το εύρος της απαγορευμένης ζώνης (ενεργειακού χάσματος – ενέργειας φραγμού) είναι περίπου 1,1eV για το Si, 0,67eV για το Ge και 1,41eV για το GaAs.

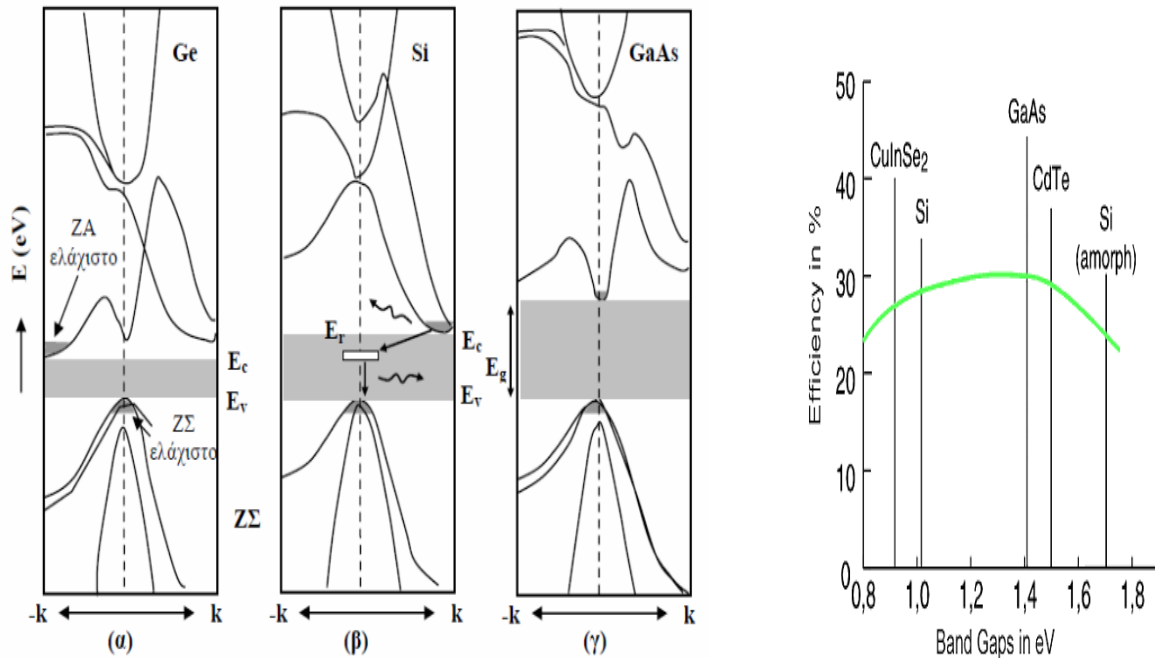
	Si	a-Si	CdTe	CuInSe ₂	CuGaSe ₂	GaAs
Ενεργ. Διάκενο (eV)	1,12	1,7	1,49	1,04	1,67	1,41
Μέγιστο μήκος κύματος αποκοπής (μm)	1,11	0,73	0,83	1,19	0,74	0,87

Πίνακας 1.1 Το ενεργειακό διάκενο και το μέγιστο μήκος κύματος (αποκοπής) πάνω από το οποίο τα ηλεκτρόνια δεν διεγείρονται

Για παράδειγμα, σε ένα φ/β στοιχείο πυριτίου, φωτόνια με μήκος κύματος μεγαλύτερο από 1,11 μm έχει ενέργεια λιγότερη από 1,12eV που είναι η ενέργεια του ενεργειακού διακενου που απαιτείται για να διεγείρει ένα ηλεκτρόνιο. Κανένα από αυτά τα φωτόνια ίδιου μήκους κύματος δεν είναι ικανό να δημιουργήσει ένα ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής για να μεταφέρει Εηλ., με αποτέλεσμα όλο τους το ενεργειακό περιεχόμενο να πηγαίνει χαμένο και απλά να θερμαίνει τα φ/β στοιχεία πυριτίου.

Χρησιμοποιώντας στην κατασκευή του ηλιακού κυττάρου ένα υλικό με μικρότερη ενέργεια φραγμού από το Πυρίτιο (π.χ. Γερμάνιο), περισσότερα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας θα συνέβαλαν στην παραγωγή φορέων αγωγιμότητας. Όμως, η μειωμένη ενέργεια φραγμού αντιστοιχεί σε μικρότερη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στην περιοχή κένωσης. Επομένως, ένα φ/β κύτταρο από υλικό με μικρή ενέργεια φραγμού, παράγει μεγαλύτερη ένταση ρεύματος σε σχέση με ένα κύτταρο πυριτίου, αλλά ταυτόχρονα μικρότερη τάση. Καθώς η ισχύς είναι ανάλογη με το γινόμενο της τάσης και του ρεύματος, υπάρχει μια βέλτιστη ενέργεια φραγμού που εξασφαλίζει την μεγιστοποίηση της παραγόμενης ισχύος και του βαθμού απόδοσης. Η βέλτιστη ενέργεια φραγμού είναι περίπου ίση με 1,4eV (GaAs). Η παραπέρα αύξηση του βαθμού απόδοσης εξασφαλίζεται με την χρήση πολυστρωματικών κυψελών (multi-junction cells), από φωτοευαίσθητα υλικά με διαφορετικές ενέργειες φραγμού. Τα υλικά με την μικρότερη ενέργεια φραγμού, τοποθετούνται βαθύτερα στην κυψέλη. Έτσι, αξιοποιείται μεγαλύτερο τμήμα από τα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας, τα οποία έχουν διάφορα μήκη κύματος, άρα και ενεργειακές πυκνότητες. Με την τεχνική αυτή έχει επιτευχθεί εργαστηριακά το 2014, σε κυψέλη τεσσάρων επαφών, απόδοση 45,7% με ένταση ακτινοβολίας 234 ηλίων⁸. Οι πολυστρωματικές ηλιακές κυψέλες λειτουργούν σε πολύ υψηλές εντάσεις ακτινοβολίας (CPV), με σκοπό τον περιορισμό του ολικού κόστους (π.χ. διαστημικές εφαρμογές).

⁸ Ένα ήλιο αντιστοιχεί σε 1000 W/m² ή αλλιώς 1 kW/m² έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας



Σχήμα 1.30 Ζώνες αγωγιμότητας και σθένους για Ge, Si και GaAs, Ενεργειακά Διάκενα Φ/Β τεχν.

Τα συγκεκριμένα εύρη (eV) ενεργειακού χάσματος είναι αρκετά μικρά έτσι ώστε για δεδομένο κρύσταλλο και με αύξηση της θερμοκρασίας του ή φωτοβόλησή του να αυξήσει ραγδαία την αγωγιμότητά του, λόγω της αύξησης των ηλεκτρικών φορέων. Ένας ημιαγωγός, όπως το πυρίτιο, στην καθαρή κρυσταλλική του μορφή, είναι καλός μονωτής. Ωστόσο, όταν έστω και ένα άτομο μέσα σε εκατομμύρια, στην κρυσταλλική δομή, αντικατασταθεί από μία πρόσμιξη (π.χ. φώσφορος ή αρσενικό) όπου προσθέτει ένα ηλεκτρόνιο τότε η αγωγιμότητά τους αυξάνεται θεαματικά. Το ίδιο συμβαίνει αν η πρόσμιξη γίνει με άτομο που αφαιρεί ηλεκτρόνιο (π.χ. βόριο, αργίλιο ή γάλλιο). Στην πρώτη περίπτωση, προκύπτει ημιαγωγός τύπου *n* (*n* από negative καθώς έχουμε παραπάνω ηλεκτρόνια άρα και φορείς αρνητικού φορτίου) και στη δεύτερη τύπου *p* (*p* από positive καθώς έχουμε επιπλέον οπές που δηλώνουν απουσία ηλεκτρονίων άρα ύπαρξη θετικού φορτίου). Αυτός ο τρόπος πρόσμιξης ονομάζεται **doping (νόθευση)**. Οι ημιαγωγοί που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη των βασικών εννοιών που αφορούν στην συμπεριφορά των ημιαγωγών είναι τα στοιχεία Si (Πυρίτιο) και Ge (Γερμάνιο). Η ερευνά για ανάπτυξη νέων ημιαγωγικών υλικών και εφαρμογές αυτών αποτελεί αντικείμενο με το οποίο ασχολούνται πάρα πολλοί επιστήμονες σε θεωρητικό και πρακτικό επίπεδο σε όλο τον κόσμο. Το Si και το Ge ανήκουν στην ομάδα IV του περιοδικού συστήματος και έχουν στην εξωτάτη ατομική στιβάδα τέσσερα ηλεκτρόνια

Si (14): $3s^2 3p^2$

Ge (32): $4s^2 4p^2$

Και τα δυο στοιχεία κρυσταλλώνονται στην δομή του αδάμαντα. Επειδή και τα τέσσερα εξώτατα ηλεκτρόνια συμμετέχουν στους δεσμούς, η στιβάδα αγωγιμότητας (conduction band) είναι πλήρως άδεια.



Η αγωγιμότητα στους ημιαγωγούς δεν οφείλεται μόνο στα ηλεκτρόνια. Η διαφοροποίηση οφείλεται στο ότι στην αγωγιμότητα δεν συμμετέχουν μόνο ηλεκτρόνια αλλά και οπές!

Όταν εφαρμοστεί ηλεκτρικό πεδίο, τα ηλεκτρόνια και οι οπές κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις. Επομένως, μια οπή στην ζώνη σθένους (valence band) συμπεριφέρεται ως ένα θετικό φορτίο αν και τα κινούμενα φορτία στην ζώνη σθένους είναι ηλεκτρόνια. Το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει από περιοχή υψηλού φορτίου ή δυναμικού προς περιοχή χαμηλού δυναμικού. Το ρεύμα που ρέει μέσα από ένα καλώδιο δημιουργεί μαγνητικό πεδίο γύρω από το καλώδιο.

Χαρακτηριστικές τιμές αντίστασης, για ένα δείγμα κύβου πλευράς 1 cm, είναι:

- Μονωτής $\sim 10^{14} \Omega/\text{cm}^3$
- Ημιαγωγός $\sim 10\Omega/\text{cm}^3$
- Αγωγός $\sim 10^{-6}\Omega/\text{cm}^3$

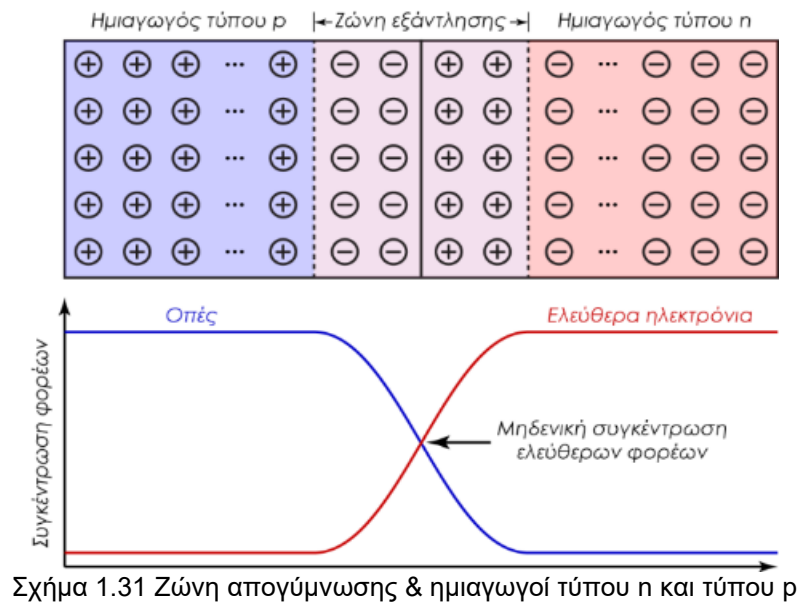
ΠΡΟΣΜΙΞΕΙΣ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ

Με την πρόσμιξη πεντασθενούς στοιχείου όπως το αρσενικό (As), δημιουργείται ασυμμετρία στο κρυσταλλικό πλέγμα με αποτέλεσμα την μετάβαση των περισσότερων ηλεκτρονίων στη ζώνη αγωγιμότητας (ημιαγωγός τύπου n).

Με την πρόσμιξη τρισθενούς στοιχείου όπως το Βόριο (B), δημιουργείται έλλειψη ηλεκτρονίων, δηλαδή περίσσεια οπών (ημιαγωγός τύπου p). Η μονή διαφορά είναι ότι το μέγεθος του φωσφόρου είναι μικρότερο επειδή ο πυρήνας έχει 15 πρωτόνια αντί των 14 του πυριτίου με συνέπεια να έλκει τα ηλεκτρόνια λιγάκι περισσότερο. Συνέπεια του μικρότερου μεγέθους είναι να αντικαθιστά ευκολά ένα άτομο πυριτίου ως πρόσμιξη αντικατάστασης. Αντίστοιχα υποθέτουμε ότι σε τηγμα γερμανίου ($Z=32$) προσθέτουμε μικρή ποσότητα αρσενικού ($Z=33$). Μετά την επεξεργασία που έχει υποστεί το πυρίτιο και όταν αναπτυχθούν οι κρύσταλλοι, **το νοθευμένο πυρίτιο έχει πλέον αποκτήσει πολύ καλές και εύχρηστες ηλεκτρονικές ιδιότητες.**

Στην ένωση μεταξύ ημιαγωγών τύπου n και p παρουσιάζεται διάχυση των ελεύθερων ηλεκτρονίων τύπου n προς την πλευρά του τύπου p, αφήνοντας πίσω οπές ταυτόχρονα. Αντίστοιχη μετάβαση λαμβάνει χώρα από την πλευρά του p τύπου, με διάχυση οπών προς την πλευρά τύπου n.

Κοντά στο σημείο της ένωσης, δημιουργείται μία μεταβατική ζώνη μεταξύ των δύο ημιαγωγών όπου οι ελεύθεροι φορείς μειώνονται σταδιακά έως ότου όλοι οι ελεύθεροι φορείς δεσμευτούν. Η μεταβατική ζώνη (ζώνη εξάντλησης/απογύμνωσης) δημιουργεί ένα ηλεκτροστατικό πεδίο (φράγμα) το οποίο παρεμποδίζει την περαιτέρω επέκτασή της.



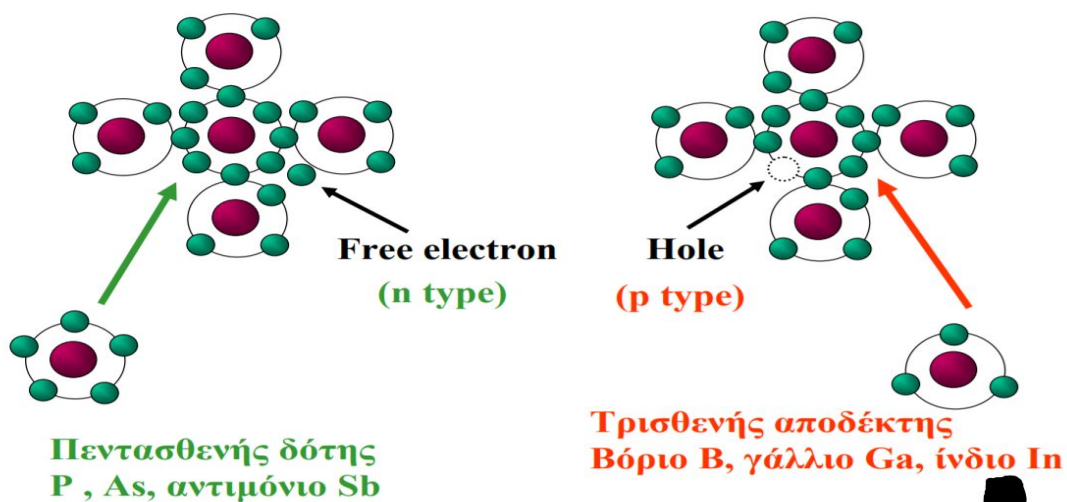
Κατά την πρόσπτωση φωτεινής ακτινοβολίας δημιουργούνται πρόσθετα ζεύγη ελευθέρων ηλεκτρονίων-οπών.

Τα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού τύπου p ρέουν προς τον ημιαγωγό τύπου n ενώ αντίστοιχα κινούνται οι οπές του ημιαγωγού τύπου n καταρρίπτοντας την προϋπάρχουσα ουδετερότητα.

Η επιφάνεια μεταξύ των ημιαγωγών τύπου p και τύπου n που δημιουργούνται ονομάζεται p-n επαφή (P-N junction).

Με τη σύνδεση των δύο ημιαγωγών με εξωτερικό κύκλωμα, η σύζευξη λειτουργεί ως πηγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Νόθευση των κρυστάλλων του πυριτίου για την απόκτηση μόνιμων φορέων φορτίου



Σχήμα 1.32 Εικονική αναπαράσταση νόθευσης (doping) κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si)



Αναλυτικότερα, σε ημιαγωγό τύπου (n) τα ηλεκτρόνια είναι οι φορείς πλειονότητας (majority carriers), ενώ οι οπές ελάχιστα συνεισφέρουν στην αγωγιμότητα και αποτελούν τους φορείς μειονότητας (minority carriers), σε αυτή την περίπτωση λαμβάνει μέρος η νόθευση κρυστάλλου με πεντασθενή δότη. Η ροή του ρεύματος βασίζεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Αντίθετα, σε ημιαγωγό τύπου (p), οι οπές είναι οι φορείς πλειονότητας (majority carriers), ενώ τα ηλεκτρόνια ελάχιστα συνεισφέρουν στην αγωγιμότητα και αποτελούν τους φορείς μειονότητας (minority carriers), σε αυτή την περίπτωση λαμβάνει μέρος η νόθευση κρυστάλλου με τρισθενή δότη. Σε ημιαγωγό τύπου p η ροή του ρεύματος βασίζεται στις οπές. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ρεύμα των οπών είναι αντίθετο σε κατεύθυνση από το ρεύμα των ηλεκτρονίων.

- ✚ Όταν φωτόνια προσκρούουν σε ένα φ/β στοιχείο (που αποτελείται ουσιαστικά από ημιαγωγίμο υλικό) κάποια ανακλώνται, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται (το ζητούμενο) από το φωτοβολταϊκό. Αυτά τα τελευταία φωτόνια είναι που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Τα φωτόνια αυτά αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του Φ/Β να μετακινηθούν σε άλλη θέση και ως γνωστόν ο ηλεκτρισμός δεν είναι τίποτε άλλο παρά κίνηση ηλεκτρονίων.

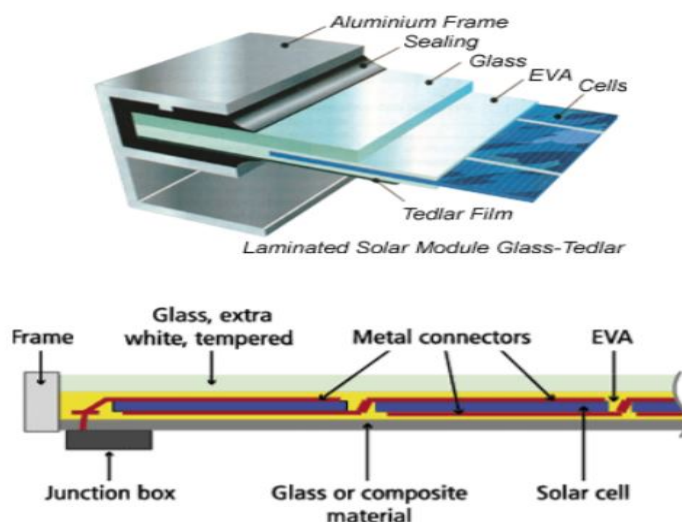
1.3. Σύνθεση Φ/Β μονάδων & Επιμέρους Συστήματα

Αν και υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες φ/β, διαφορετικές μεταξύ τους, η πιο συνήθης είναι αυτή του κρυσταλλικού πυριτίου. Η πρώτη ύλη για την παραγωγή αυτών των φ/β κυττάρων είναι το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) που το παίρνουμε από χαλαζιακά πετρώματα, χρησιμοποιείται επίσης και για την κατασκευή ηλεκτρονικών (μικροσίπ) των υπολογιστών.



Σχήμα 1.33 Ράβδος πυριτίου προς κατασκευή κρυσταλλικών Φ/Β πυριτίου

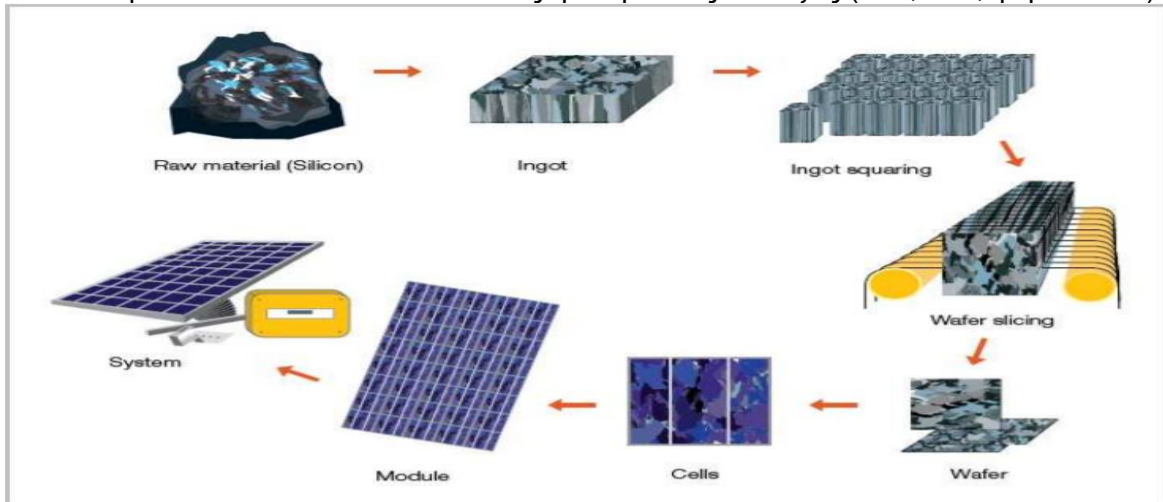
Το πυρίτιο, αφού υποστεί ειδική επεξεργασία, καθαρισμό-εξευγενισμό σε υψηλό βαθμό > 99,999%, αντίστοιχου αυτού που έχουν τα μικροσίπ των υπολογιστών, μετατρέπεται σε πολύ λεπτές φέτες (φ/β στοιχεία) που ενώνονται ηλεκτρικά μεταξύ τους προς σχηματισμό του Φ/Β πλαισίου.



Σχήμα 1.34 Τομή Φ/Β πλαισίου και ο τρόπος που συνδέονται τα φ/β στοιχεία με τα υπόλοιπα υλικά προς διαμόρφωσή του



Συνήθως, τα ηλιακά στοιχεία περιβάλλονται από ένα φιλμ EVA – υλικό συγκόλλησης (πάχους 0,25-0,5 mm), ενώ στην πάνω πλευρά μπαίνει και ένα ενισχυμένο γυαλί με αντανάκλαστική στρώση και μεγάλη αντοχή. Η κάτω πλευρά επενδύεται με μία στρώση tedlar ή κάποιο άλλο υλικό (π.χ. γυαλί ή μέταλλο). Οι στρώσεις αυτές των υλικών συνήθως ενθυλακώνονται σε ένα πλαίσιο αλουμινίου. Στο πίσω μέρος τοποθετείται ένα junction box (κουτί καλωδιώσεων) από πολυεστέρα, το οποίο προσκολλάται με κόλλα σιλικόνης, εκεί καταλήγουν όλες οι ηλεκτρικές συνδέσεις ενός Φ/Β πλαισίου και με την σειρά του μπορεί να συνδεθεί με άλλα Φ/Β πλαίσια είτε λοιπές ηλεκτρονικές διατάξεις (P/Φ, M/T, φορτία κλπ.).



Σχήμα 1.35 Επεξεργασία της 1^{ης} ύλης, κρυστάλλωση με θερμική διεργασία του πυριτίου σε κυλινδρικούς μονοκρυστάλλους ή πολυκρυσταλλικές χελώνες ή κατευθείαν σε πολυκρυσταλλικά δισκία και κοπή των παραπάνω σε λεπτά δισκία ή φέτες πυριτίου (wafers)

Στο παραπάνω σχήμα (βλ. Σχήμα 1.35), αναλυτικότερα τα βήματα της πορείας της ράβδου πυριτίου είναι τα εξής:

1. Κοπή
2. Τεμαχισμός σε φέτες και καθαρισμός με νερό
3. Διάχυση Φωσφόρου
4. n-type στρώμα υπερκείμενο του p-type πυριτίου
5. Δημιουργία μεταλλικών επαφών
6. Ηλιακό στοιχείο
7. Ηλεκτρική σύνδεση μεταλλικών επαφών
8. Παράταξη των ηλεκτρικά συνδεδεμένων ηλιακών κελιών πάνω σε ειδικό ενισχυμένο γυάλινο υπόστρωμα
9. Στεγανοποίηση με ρητίνη και υμένιο
10. Υποστήριξη σε πλαίσιο Αλουμινίου
11. Φ/Β πλαίσιο
12. Συνδυασμός Φ/Β πλαισίων κατάλληλου μεγέθους προς Φ/Β Συστοιχία

Παραγωγική Διαδικασία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (poly-Si) της SOLARWORLD AG στο ΦΡΑΪΜΠΟΥΡΓΚ

Από το σιλάνιο (ανόργανη δυαδική χημική ένωση με μοριακό τύπο SiH_4 . Θεωρείται ότι είναι το πυριτιούχο ανάλογο του μεθανίου και φυσικά ταυτόχρονα είναι ένα από τα υδρίδια των στοιχείων της ομάδας 14) παράγεται το ηλιακό πυρίτιο, η 1^η ύλη για την παραγωγή ηλιακού



ηλεκτρισμού. Η παραγωγή του υλικού sunsil απαιτεί 90% λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής. Το υψηλής καθαρότητας πυρίτιο μεταφέρεται σε ένα επιστρωμένο καλούπι από υψηλής καθαρότητας τετηγμένη πυρίτια (silica). Η τήξη του πυριτίου λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασία άνω των 400 °C. Στην συνέχεια, πραγματοποιείται η κρυσταλλοποίηση, η κατακόρυφη στερεοποίηση του τήγματος πυριτίου, ξ ανόργανη δυαδική χημική ένωση με μοριακό τύπο SiH_4 . Θεωρείται ότι είναι το πυριτιούχο ανάλογο του μεθανίου και φυσικά ταυτόχρονα είναι ένα από τα υδρίδια των στοιχείων της ομάδας ξεκινώντας από τον πυθμένα του καλουπιού και σχηματίζοντας ένα πολυκρυσταλλικό μπλοκ πυριτίου. Μετά από την ψύξη του μπλοκ διαχωρίζεται το καλούπι από το μπλοκ, ενώ κάθε καλούπι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο μια φορά στην εν λόγω παραγωγική διαδικασία. Τα μπλοκ τεμαχίζονται σε στήλες τετραγωνικής διατομής, από τις οποίες προκύπτουν πολύ λεπτές φέτες πυριτίου, οι λεγόμενοι δίσκοι πυριτίου (έχει πάχος δύο ανθρώπινων τριχών), εφαρμόζοντας σύγχρονη τεχνολογία κοπής με πριόνι σύρματος. Στην συνέχεια, οι δίσκοι πυριτίου, οι οποίοι στο συγκεκριμένο στάδιο δεν παρουσιάζουν αγωγιμότητα, καθαρίζονται προσεκτικά και υποβάλλονται σε αυστηρή διαδικασία επιλογής.

- ✓ Ένας καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα και την αποδοτικότητα των φ/β στοιχείων είναι η καθαριότητα στους χώρους και τα συστήματα παραγωγής
- ✓ Η αδιάλειπτη επιτήρηση της παραγωγής και της ροής υλικού, καθώς και οι μόνιμοι ποιοτικοί έλεγχοι σε όλα τα στάδια παραγωγής διασφαλίζουν την ασύγκριτη ποιότητα – Η Συνεχής Επιτήρηση των Παρτίδων για εγγύηση ταυτόχρονα της συνεχούς προόδου και αξιοπιστίας

Μια βασική πορεία κατά την παραγωγική διαδικασία Poly-Si Φ/Β είναι η εξής:

- (1) Καθαρισμός: Στις λεκάνες καθαρισμού απομακρύνονται τα υπολείμματα (φύρα) που προκύπτουν κατά την διαδικασία τεμαχισμού με το πριόνι σύρματος, έπειτα διεξάγεται το τελικό φινίρισμα της επιφάνειας του δίσκου πυριτίου
- (2) Διάχυση: Σε επόμενο βήμα, δημιουργείται μέσω διάχυσης φωσφόρου (συνήθως) ο δεσμός p-n, κάτι που καθιστά το πυρίτιο αγωγίμο για τα ηλεκτρόνια
- (3) Λείανση με οξύ: Αφαιρείται η στρώση φωσφορικού υάλου, που δημιουργείται κατά την διάχυση
- (4) Μόνωση άκρων: Για τον ηλεκτρικό διαχωρισμό της μπροστινής και πίσω πλευράς, η πίσω πλευρά υποβάλλεται σε αντίδραση με οξύ
- (5) Επεξεργασία επιφάνειας: Μια γαλάζια αντιανακλαστική στρώση μειώνει τις οπτικές απώλειες και αποτελεί εγγύηση για την ηλεκτρική αδρανοποίηση της επιφάνειας
- (6) Επιμετάλλωση: Τυπώνονται οι επαφές τις μπροστινής και πίσω πλευράς με την μέθοδο της μεταξοτυπίας. Πριν από καθεμία από τις τρεις διαδικασίες εκτύπωσης μετρίεται με ακρίβεια η θέση των φ/β στοιχείων, για να ευθυγραμμιστούν οι μάσκες εκτύπωσης (επαφές αργύρου στην πίσω πλευρά, επίστρωση αλουμινίου στην πίσω πλευρά και πλέγμα αργύρου στην μπροστινή πλευρά).
- (7) Ταξινόμηση: Κάθε φ/β στοιχείο υποβάλλεται ξεχωριστά σε ηλεκτρική μέτρηση, ταξινομείται και συσκευάζεται ανάλογα με την απόδοση και την εξωτερική εμφάνιση

Αρχικός Έλεγχος: Τα φ/β στοιχεία υποβάλλονται πριν από την επεξεργασία σε δοκιμές ως προς τον βαθμό απόδοσής τους και ελέγχονται για πιθανές ζημιές.



Σύνδεση σε αλυσίδες στοιχείων: Η συγκόλληση των φ/β στοιχείων σε αλυσίδες (strings) εκτελείται με σύνδεση της μπροστινής πλευράς ενός στοιχείου μέσω τριών μικρών ταινιών συγκόλλησης με την πίσω πλευρά του επόμενου.

Συστοιχία (matrix): Οι αλυσίδες συνδέονται σε μια συστοιχία, μια επιφάνεια η οποία αποτελείται, για παράδειγμα από 72 φ/β στοιχεία. Στην συνέχεια δημιουργείται ένα "σάντουιτς" από ηλιακό κρύσταλλο, τρεις μεμβράνες και τα φ/β στοιχεία.

Ενθυλάκωση: Ένας μεγάλος κλίβανος κενού ενθυλακώνει το ηλιακό κρύσταλλο, τις μεμβράνες και τα φ/β στοιχεία περίπου στους 150 °C, διαμορφώνοντας μια μονάδα ανθεκτική στις καιρικές συνθήκες. Προηγουμένως, κάθε "σάντουιτς" υποβάλλεται σε αυστηρό έλεγχο.

Τοποθέτηση κουτιού σύνδεσης – junction box: Μια ρομποτική μηχανή τοποθετεί το πατενταρισμένο κουτί σύνδεσης στην πίσω πλευρά της ενθυλάκωσης. Η δημιουργία του κουτιού σύνδεσης εκτελείται με χύτευση, με ηλεκτροσυγκόλληση και όχι απλή κόλληση των συνδέσεων, ώστε να παρέχεται μέγιστη ασφάλεια ακόμη και σε πολύ μεγάλα φορτία.

Τοποθέτηση πλαισίου: Οι ενθυλακωμένες αλυσίδες στοιχείων μεταφέρονται στον πλήρως αυτοματοποιημένο σταθμό τοποθέτησης πλαισίου, όπου πρεσάρονται με ένα πλαίσιο αλουμινίου και κατάλληλες γωνίες στα άκρα. Προκειμένου το Φ/Β πλαίσιο να είναι ακόμη πιο ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες και για την αποφυγή μεταγενέστερης εισχώρησης νερού, το πλαίσιο γεμίζει με σιλικόνη.

Προσδιορισμός απόδοσης και ποιότητας: Η απόδοση κάθε Φ/Β πλαισίου προσδιορίζεται υπό τις πρότυπες συνθήκες δοκιμής (STC) σε έναν ειδικό θάλαμο (flasher). Παράλληλα με τον προσδιορισμό της απόδοσης, η εμφάνιση παίζει σημαντικό ρόλο, κάθε Φ/Β πλαίσιο επισημαίνεται με σαφή σήμανση στην οποία αναφέρεται ο τύπος, η απόδοση και ο τόπος παραγωγής.

- ✓ Με την συνεχόμενη μείωση κατανάλωσης ενέργειας καθ' όλη την αλυσίδα εφοδιασμού για την παραγωγή των Φ/Β πλαισίων, με φιλικές προς το κλίμα και την φύση διαδικασίες παραγωγής, εξασφαλίζεται γρήγορη ενεργειακή απόσβεση και μείωση των σταθμισμένων εκπομπών CO₂
- ✓ Όσον αφορά την ανακύκλωση (πιο συγκεκριμένα στην εταιρεία SOLARWORLD AG, η οποία ασχολείται με την ανακύκλωση ήδη από το 2001), δηλαδή την μετεπεξεργασία, τον καθαρισμό, την ανάκτηση και την ταξινόμηση δευτερογενούς υλικού πυριτίου από διάφορες πηγές. Το πυρίτιο από τις παραγωγικές διαδικασίες υπεισέρχεται σε μια εσωτερική διαδικασία ανακύκλωσης και υποβάλλεται σε επεξεργασία, προκειμένου να καταστεί έτοιμο προς χρήση για Φ/Β και άλλες εφαρμογές.

✓ Έρευνα

Στις μοναδικές στην Ευρώπη τεχνολογικές εγκαταστάσεις του ΦΡΑΪΜΠΕΡΓΚ, ο όμιλος SolarWorld διεξάγει έρευνες σε όλο το εύρος της αλυσίδας προστιθέμενης αξίας Φ/Β, ενώ συνεργάζεται παγκοσμίως με περίπου 20 πανεπιστήμια και ιδιωτικά ερευνητικά κέντρα. Στο πλαίσιο αυτό, η εταιρεία ερευνών SolarWorld Innovations GmbH συνεργάζεται στενά με οργανισμούς του ΦΡΑΪΜΠΕΡΓΚ οι οποίοι εξειδικεύονται στα υλικά ημιαγωγών.

✓ Ανάπτυξη

Στο επίκεντρο της ερευνητικής δραστηριότητας στο ΦΡΑΪΜΠΕΡΓΚ βρίσκεται η περαιτέρω εξέλιξη και βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας, με στόχο τη μείωση των εξόδων παραγωγής, την αύξηση των επιπέδων αποτελεσματικότητας, τη βελτίωση της ποιότητας



και την ασφάλεια των διεργασιών. Στο υπερσύγχρονο κέντρο έρευνας και ανάπτυξης αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες και διαδικασίες παραγωγής στην πιλοτική γραμμή του ίδιου του ομίλου, οι οποίες υποβάλλονται σε δοκιμές και μεταφέρονται σε εύλογο χρόνο στη μαζική παραγωγή. Επίσης, υπάρχουν εργαστήρια για την ανάπτυξη, τον έλεγχο της αξιοπιστίας και τη διασφάλιση της ποιότητας, τα οποία παρακολουθούν σε μόνιμη βάση τα υλικά, τα ημικατεργασμένα προϊόντα, τα πρότυπα και τα προϊόντα από την παραγωγή. Χάρη στην έρευνα έχουν σημειωθεί επιτυχίες σε όλα τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας: έτσι ελαττώθηκε η χρήση πρώτης ύλης στην παραγωγή δίσκων πυριτίου, αυξήθηκε η αποτελεσματικότητα των φωτοβολταϊκών στοιχείων και βελτιώνεται διαρκώς η αποδοτικότητα και η ανθεκτικότητα των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Η εργασία των ερευνητών συμπληρώνεται με τις περισσότερες από 500 προτάσεις βελτίωσης από συνεργάτες στο πλαίσιο του συστήματος κατάθεσης προτάσεων της εταιρείας.

Σε αντιδιαστολή με τις μονάδες κατασκευής τεχνολογιών κρυσταλλικού πυριτίου, που μπορεί να είναι διακριτές και σε διαφορετικές μονάδες μεταξύ τους, οι μονάδες παραγωγής Φ/Β τεχνολογιών λεπτού υμενίου (thin film) χρησιμοποιούν καθιερωμένες διαδικασίες παραγωγής.



Σχήμα 1.36 Βασικά μέρη που αποτελείται ένα φ/β λεπτού υμενίου τεχνολογίας CdTe ⁹

⁹ Παραγωγή χωρίς κάδμιο (π.χ. στις μπαταρίες) → συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας κατά 28,5 % και στην εξοικονόμηση νερού κατά 90%, πέρα από την τοξικότητά του είναι και εξαιρετικά ενεργοβόρο. Τα Φ/Β CdTe έχουν ίσως την καλύτερη περιβαλλοντική συμπεριφορά όσον αφορά την έκλυση CO_{2eq}/kWh



Παράγοντες που επηρεάζουν τις απώλειες ενέργειας:	Ηλιακή ακτινοβολία που δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό
Υπερ-ενεργητικά φωτόνια	32%
Υπό-ενεργητικά φωτόνια	24%
Εσωτερικές απώλειες της κυψέλης (κυρίως υπό μορφή θερμότητας)	21%
Αντανάκλασεις στην επιφάνεια των Φ/Β	3%
Σχήμα κυψελών (κυκλικό, εξαγωνικό κλπ.)	2%
Σύνολο απωλειών	82%

Πίνακας 1.2 Μέσες απώλειες φ/β στοιχείου και αντίστοιχα η απόδοσή του (100% - 82% \approx 18%)

Η απόδοση των ηλιακών κελιών, εκφρασμένη ως το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική (E_{out}/E_{in}), εξαρτάται από την τεχνολογία των υλικών που χρησιμοποιούνται. Σε ερευνητικό επίπεδο, όπως είδαμε έχουν αναφερθεί αποδόσεις που ξεπερνούν το 40%, ωστόσο, η πλειονότητα των ηλιακών κυττάρων που διατίθενται σήμερα στο εμπόριο έχουν μία μέγιστη απόδοση της τάξης του 17-19%. Ανάλογα με τα βασικά υλικά που χρησιμοποιούνται και τον βαθμό εμπορικής ωριμότητας της τεχνολογίας, οι Φ/Β τεχνολογίες ταξινομούνται σε 3 γενιές.

Τεχνολογίες Φ/Β

φ/β στοιχεία 1ης γενιάς

Τα φ/β στοιχεία 1ης γενιάς έχουν ωριμάσει ως προς την τεχνολογία τους και την διαδικασία κατασκευής. Αντιπροσωπεύουν τις παλαιότερες διαθέσιμες εμπορικές τεχνολογίες Φ/Β και τυπικά αποτελούνται Φ/Β πλαίσια Κρυσταλλικού Πυριτίου και Αρσενικούχου Γαλλίου. Το Αρσενικούχο Γάλλιο αποτελεί ημιαγωγό άμεσου ενεργειακού χάσματος (διάκενου), με ενεργειακό χάσμα στα 1,43eV στους 300K και παρουσιάζει αξιοσημείωτες οπτικές ιδιότητες σε σύγκριση με το πυρίτιο. Το πυρίτιο, από την άλλη πλευρά, αποτελεί έμμεσο υλικό ενεργειακού χάσματος, με ενεργειακό χάσμα περίξ στα 1,12eV στους 300K. Έτσι, τα φ/β κύτταρα πυριτίου απαιτούν συγκριτικά πιο παχιές φέτες (στρώσεις) πυριτίου προκειμένου να απορροφήσουν επαρκώς το εισερχόμενο φως του ήλιου.



- Φ/Β Μονοκρυσταλλικού πυριτίου (mono-Si)
- Φ/Β Πολυκρυσταλλικού πυριτίου (poly-Si)
- Φ/Β Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs)

Λειτουργία φ/β κυττάρων πυριτίου

Το κύριο συστατικό ενός φ/β κυττάρου είναι το καθαρό πυρίτιο, το οποίο χρησιμοποιείται σαν ηλεκτρικό συστατικό εδώ και δεκαετίες. Τα Φ/Β πλαίσια πυριτίου αναφέρονται επίσης ως πρώτης γενιάς πάνελ, καθώς η τεχνολογία φ/β κυττάρων πυριτίου κερδίζει έδαφος ήδη από την δεκαετία του 1950. Επί του παρόντος, πάνω από 90% της αγοράς φ/β κυττάρων και κατ' επέκταση Φ/Β πλαισίων βασίζεται στο πυρίτιο (ημιαγωγός). Το καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο είναι ασθενής αγωγός του ηλεκτρισμού καθώς αποτελεί ημιαγωγίμο υλικό στον πυρήνα του. Για την διευθέτηση αυτού του προβλήματος, το πυρίτιο μέσα σε ένα φ/β κύτταρο έχει προσμίξεις, που σημαίνει ότι άλλα άτομα αναμειγνύονται σκόπιμα με τα άτομα του πυριτίου ώστε να βελτιωθεί η ικανότητα του πυριτίου να δεσμεύει την ενέργεια του ήλιου και να την μετατρέπει σε ηλεκτρισμό.

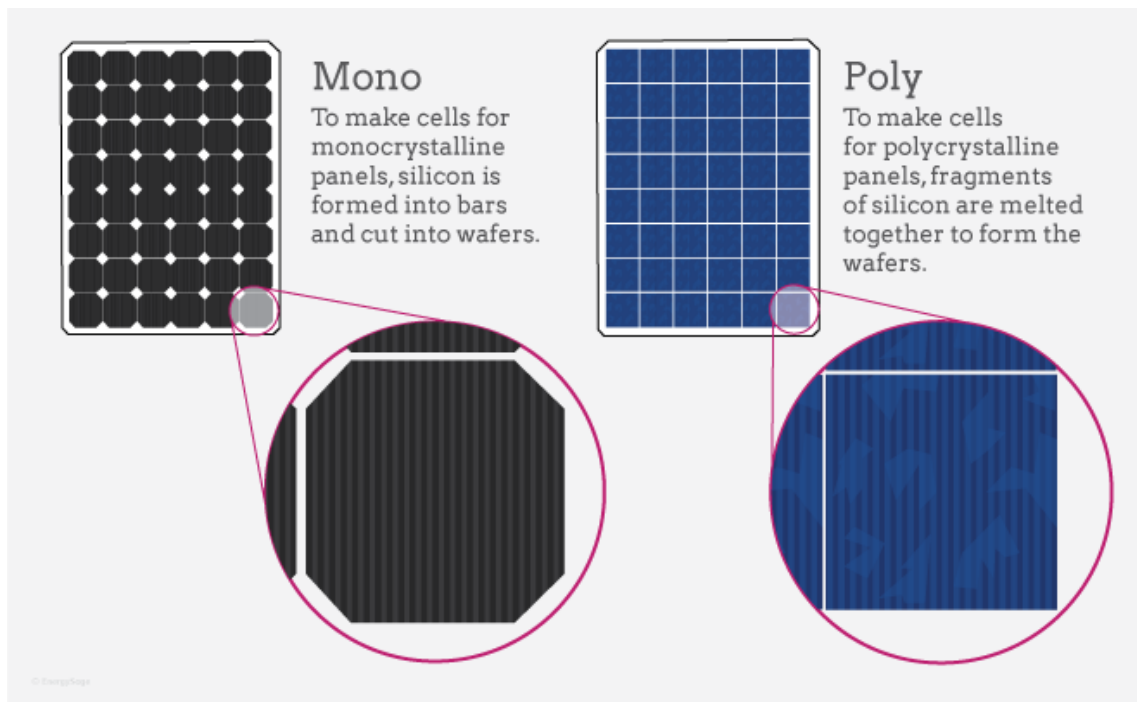
Για παράδειγμα, ένα άτομο γαλλίου έχει ένα λιγότερο ηλεκτρόνιο από ένα άτομο πυριτίου, ενώ ένα άτομο αρσενικού έχει ένα ηλεκτρόνιο παραπάνω από αυτό του πυριτίου. Όταν άτομα αρσενικού τοποθετούνται ανάμεσα σε πολλά άτομα πυριτίου (με συγκεκριμένη στοιχειομετρία), θα έχει ως αποτέλεσμα έξτρα ηλεκτρόνια στην δομή και έτσι θα δημιουργηθεί μία στοιβάδα πλούσια σε ηλεκτρόνια (περίσσεια ηλεκτρονίων).

Αντιθέτως όταν χρησιμοποιούνται άτομα γαλλίου, προκύπτει έλλειψη ηλεκτρονίων, που σημαίνει ότι θα δημιουργηθεί μία στοιβάδα φτωχή σε ηλεκτρόνια. Μέσα σε ένα φ/β στοιχείο, οι στοιβάδες ταξινομούνται η μία δίπλα στην άλλη και με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο. Καθώς Η/Μ κύματα του φωτός προσπίπτουν στο φ/β κύτταρο, η ενέργεια διεγείρει ηλεκτρόνια τα οποία αφήνουν πίσω τους οπές. Τα ηλεκτρόνια αυτά οδηγούνται στα ηλεκτρόδια μέσα στο φ/β κελί εξαιτίας της παρουσίας του ηλεκτρικού πεδίου. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε παραγωγή ενέργειας υπό την μορφή ηλεκτρισμού.

Η πορεία των φ/β κυττάρων πυριτίου

Σε προηγούμενες δεκαετίες, τα Φ/Β πλαίσια πυριτίου ήταν πολύ ακριβότερα όσον αφορά το κόστος τους καθώς απαιτούνταν πολύ υψηλής ποιότητας πυρίτιο για την παραγωγή τους. Ακόμη, η διαδικασία του εξαγνισμού (κρυσταλλοποίησης) του πυριτίου πριν την πρόσμιξη με τα άτομα γαλλίου και αρσενικού ήταν χρονοβόρα και κοστοβόρα σε απαγορευτικό βαθμό για πολλές εφαρμογές.

Ευτυχώς, η ανάπτυξη της τεχνολογίας σύντομα επέτρεψε την χρήση φθηνότερης πρώτης ύλης και χαμηλότερης ποιότητας πυριτίου. Ως αποτέλεσμα, τα Φ/Β πλαίσια πυριτίου είναι τώρα πιο προσβάσιμα, ειδικά με την υποστήριξη των κρατικών επιδοτήσεων.



Σχήμα 1.37 Απλοποιημένη διαφοροποίηση μεταξύ Φ/Β πλαισίων Μονοκρυσταλλικού και Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου

Οι περιορισμοί των φ/β κυττάρων πυριτίου

Τα Φ/Β πλαίσια από πυρίτιο δεν ενδείκνυται για συνεχής μεταφορές αφού είναι αρκετά εύθραυστα και άκαμπτα. Μία άλλη επιπλοκή είναι ότι κάποια μέρη τους είναι ακόμα αισθητά ακριβά, σε σύγκριση με κάποια από τις εναλλακτικές επιλογές (άλλες τεχνολογίες) στον τομέα της ηλιακής τεχνολογίας.

Τύποι φ/β κυττάρων πυριτίου

Τα Φ/Β πλαίσια *Μονοκρυσταλλικού πυριτίου (mono-Si)* είναι ένας από τους παλαιότερους και πιο αξιόπιστους τρόπους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ενέργεια.

Κάθε Φ/Β στοιχείο κατασκευάζεται από έναν μόνο κρύσταλλο πυριτίου σε μια πολύ περίπλοκη διαδικασία κατασκευής.

Η απόδοση του Φ/Β πλαισίου κυμαίνεται συνήθως από 15-20% - τα τελευταία χρόνια ορισμένα προϊόντα υψηλής τεχνολογίας ξεπερνούν το 20%.

Ο χρόνος ζωής τους μπορεί να ξεπεράσει τα 25 χρόνια.

Το τυπικό χρώμα του Φ/Β στοιχείου mono-Si είναι μαύρο ή ιριδίζον μπλε, ενώ το κόστος τους μειώθηκε σημαντικά την τελευταία δεκαετία και συνεχίζει με το πέρασμα του χρόνου.



Σχήμα 1.38 Μονοκρυσταλλικά (Monocrystalline, Mono-Si)

Τα Μονοκρυσταλλικά φ/β στοιχεία και επακολούθως τα Φ/Β πλαίσια που συνθέτουν, αναγνωρίζονται εύκολα από το σκούρο μαύρο χρώμα τους. Κατασκευάζονται από έναν τύπο πολύ καλά εξευγενισμένου (καθαρού) πυριτίου, κατοχυρώνοντάς τα ως ένα από τα αποδοτικότερα υλικά για την μετατροπή των ηλιακών ακτινών προς ηλεκτρισμό, όπου κάλλιστα το φαινόμενο αυτό θα μπορούσαμε να το αποκαλέσουμε και ως ηλιακό ηλεκτρισμό. Επιπλέον, τα Μονοκρυσταλλικά Φ/Β πλαίσια είναι τα αποδοτικότερα όσον αφορά την κάλυψη χώρου (space-efficient). Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής τους, οι περισσότεροι κατασκευαστές εγγυούνται την καλή απόδοση τους για διάρκεια άνω των 25 ετών. Όλα τα παραπάνω σημαντικά πλεονεκτήματα ακολουθούνται φυσικά και με το αυξημένο κόστος, είναι γεγονός ότι τα Μονοκρυσταλλικά φ/β στοιχεία αποτελούν την πιο “βαριά” επιλογή όσον αφορά το κόστος, κυρίως λόγω της διαδικασίας κοπής τεσσάρων όψεων με την επακόλουθη “σπατάλη” μεγάλου ποσοστού πυριτίου, μερικές φορές (φουρνιά παραγωγής) πάνω από το μισό.

Φθηνότερη εναλλακτική για τους καταναλωτές αποτελούν τα Πολυκρυσταλλικά φ/β στοιχεία ή τα φ/β στοιχεία λεπτού υμενίου (thin film) με βαθμό απόδοσης 15-20%. Τα τελευταία χρόνια έχουν παρουσιαστεί εμπορικά ΦΒ πλαίσια ευρείας χρήσης που υπερβαίνουν το 20%, εξαιτίας βέβαια της τεχνολογικής επανάστασης που μας διέπει, με τον εκσυγχρονισμό των διαδικασιών παραγωγής και την ενσωμάτωση νέων βελτιστοποιημένων υλικών.



Σχήμα 1.39 Πολυκρυσταλλικά (Polycrystalline, Poly-Si)

Τα ΦΒ πλαίσια Πολυκρυσταλλικού πυριτίου (*poly-Si*) αντιπροσωπεύουν την τεχνολογία ΦΒ με το υψηλότερο παγκόσμιο μερίδιο αγοράς (πάνω από το 60% το 2017). Η παραγωγική διαδικασία είναι απλή, οικονομικά αποδοτική και μειώνει τα απόβλητα πυριτίου σε σύγκριση με τα ΦΒ πλαίσια Μονοκρυσταλλικού πυριτίου (*mono-Si*). Ως αποτέλεσμα, το κόστος τους είναι χαμηλότερο σε σύγκριση με τα πλαίσια Μονοκρυσταλλικού πυριτίου, χωρίς απώλεια σε αξιοπιστία. Η απόδοση των ΦΒ πλαισίων Πολυκρυσταλλικού πυριτίου κυμαίνεται από 14-18% λόγω της χαμηλότερης καθαρότητας του πυριτίου, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζονται ελαφρώς περισσότερη επιφάνεια για την ίδια ποσότητα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τα ΦΒ πλαίσια Μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το χρώμα τους είναι διάσπικτο μπλε λόγω της ύπαρξης πολλαπλών κρυστάλλων σε ένα ΦΒ στοιχείο. Τα Πολυκρυσταλλικά φ/β στοιχεία ήταν τα πρώτα όπου εμφανίστηκαν στην βιομηχανία, στις αρχές του 1980. Τα Πολυκρυσταλλικά κελιά Πυριτίου δεν υπόκεινται στην ίδια διαδικασία κοπής (παραγωγής) όπου πραγματοποιείται στα Μονοκρυσταλλικά φ/β κελιά. Αντ' αυτού, το πυρίτιο τήκεται και χύνεται σε τετράγωνο καλούπι, εξ ου και το τετράγωνο σχήμα που έχουν. Η παραπάνω, σε εν συντομία διαδικασία, είναι και ο λόγος όπου τα Πολυκρυσταλλικά φ/β στοιχεία είναι πιο προσιτά όσον αφορά το κόστος, καθώς σχεδόν καθόλου μάζα πυριτίου δεν σπαταλάται κατά την παραγωγική διαδικασία. Στην πλευρά των μειονεκτημάτων από την άλλη, είναι λιγότερο αποδοτικά και απαιτούν περισσότερο χώρο για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ σε σύγκριση με τα Πάνελ Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου, εξαιτίας του γεγονότος ότι τα Πάνελ Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου κατέχουν χαμηλότερο βαθμό καθαρότητας (ποιότητας). Ακόμα ένα μειονέκτημα είναι ότι τα Πολυκρυσταλλικά Πάνελ έχουν χαμηλότερη ανοχή στην θερμότητα (απώλειες) σε σχέση με τα Μονοκρυσταλλικά, που σημαίνει ότι δεν είναι ικανά να λειτουργούν τόσο αποδοτικά (όσο αναγράφονται στα τεχνικά χαρακτηριστικά τους κατά τις Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμής – STC) σε υψηλές θερμοκρασίες. Τυπικοί βαθμοί απόδοσης 14-18%. Χρώμα γαλάζιο (ανοιχτό ή σκουρόχρωμο). Στα ΦΒ στοιχεία διακρίνονται και οι κρύσταλλοι πυριτίου, η κρυσταλλική δομή δεν είναι η ίδια σε όλο το στερεό αλλά παίρνει διαφορετικό προσανατολισμό σε διάφορες περιοχές του στερεού που χωρίζονται μεταξύ τους με συγκεκριμένες νοητές γραμμές. Το κόστος τους μειώθηκε



σημαντικά την τελευταία δεκαετία και συνεχίζει με το πέρας του χρόνου, καθώς και η αύξηση του βαθμού απόδοσης.

Φ/Β Πλαίσια Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs)

Το Γάλλιο δεν υπάρχει σε ελεύθερη μορφή στην φύση και δεν αποτελεί επιβλαβή ουσία για τον άνθρωπο, είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Αποτελεί σπανιότερο στοιχείο ακόμα και από τον χρυσό, σε αντίθεση με το Αρσενικό όπου δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες και καρκινογόνο. Ως εκ τούτου, η μεγάλης κλίμακας εφαρμογή ηλιακών κυττάρων GaAs μπορεί να αποφανθεί καταστροφή, εκτός εάν ανακυκλώνονται και διαχειρίζονται κατάλληλα μετά το πέρας της ωφέλιμης ζωής τους. Το Αρσενικούχο Γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο περίπου 1,43eV όπου είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, έχοντας την βέλτιστη ενέργεια φραγμού. Αποτελούν κελιά υψηλής απόδοσης, ενώ η απόδοσή τους στην μορφή πολλαπλών ενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 40%, ακόμη έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας και έτσι ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές (αντίξοες συνθήκες). Η παραγωγική διαδικασία είναι ιδιαίτερα κοστοβόρα, αν και με το πέρας του χρόνου γίνεται πιο προσιτή χωρίς όμως να έχει κάποια σχέση με την αναλογία κόστους-απόδοσης των Φ/Β πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου. Να σημειωθεί ότι η φυσική αφθονία (στον φλοιό της γης) του Si, Ga & As είναι 29,5%, 0,0019% & 0,00017%, αντίστοιχα. Αποτελεί τεράστια πρόκληση η διατήρηση συνεχούς αλυσίδας προμηθειών σε μεγάλη κλίμακα, αφού το Γάλλιο και το Αρσενικό είναι εξίσου σπάνια και ακριβά μέταλλα.

Αξιοσημείωτα Πλεονεκτήματα Φ/Β Πλαισίων GaAs έναντι c-Si :

- ✚ Έχοντας ένα ευρύ ενεργειακό χάσμα και τρομερές οπτικές ιδιότητες, τα φ/β κελιά GaAs ξεπερνούν κατά πολύ στην αποτελεσματικότητα έναντι των c-Si
- ✚ Απαιτούν πολύ λιγότερο ημιαγώγιμο υλικό έναντι των c-Si. Αυτή η ικανότητα ανοίγει τον δρόμο για κατασκευή ελαφρών, υψηλής απόδοσης ηλιακών κυψελών
- ✚ Η απόδοση οποιασδήποτε Φ/Β τεχνολογίας πέφτει με την αύξηση της θερμοκρασίας. Στην περίπτωση όμως των Φ/Β GaAs, η απόδοση είναι αμυδρά μειωμένη σε υψηλότερες θερμοκρασίες εφόσον ο συντελεστής θερμοκρασίας (μέγεθος της απώλειας με την αύξηση της θερμοκρασίας σε σχέση με την ονομαστική των 25°C) είναι εντυπωσιακά μικρός. Αυτό το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τα συγκαταλέγει ως μία ιδανική επιλογή για χώρες με υψηλές θερμοκρασίες με σκοπό την ελάττωση της ενεργειακής απώλειας των Φ/Β
- ✚ Σε αντίθεση με άλλες Φ/Β τεχνολογίες, τα φ/β κελιά GaAs αντέχουν σε σκληρές συνθήκες περιβάλλοντος, όπως UV ακτινοβολία και υγρασία
- ✚ Τα ηλεκτρόνια κινούνται ταχύτερα δια μέσου της δομής των φ/β GaAs έναντι των φ/β c-Si. Απλούστερα, η ηλεκτρονιακή κινητικότητα στο GaAs είναι κατά πολύ ανώτερη σε σχέση με αυτή στο Πυρίτιο



- ✚ Τα φ/β κελιά GaAs διαθέτουν μικρότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης, ανώτερη τάση ανοιχτοκύκλωσης (όπως είδαμε με την αύξηση της τάσης και την μείωση του ρεύματος έχουμε λιγότερες απώλειες Εηλ.) και τρομακτικά υψηλή απόδοση μετατροπής έναντι των c-Si

Συμπεράσματα τελικής χρήσης

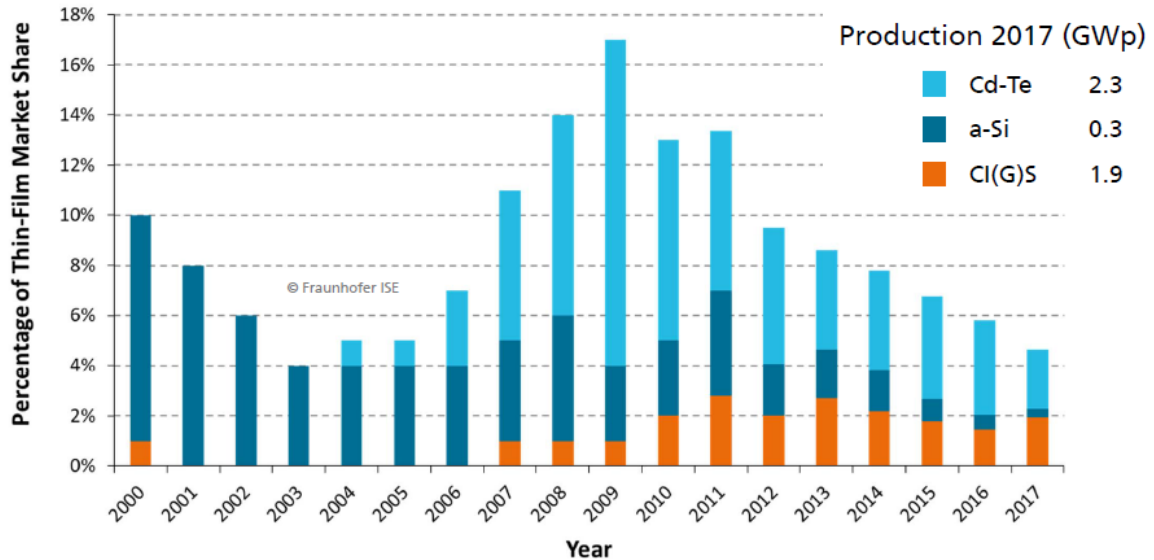
- ✚ Το πυρίτιο αποτελεί ένα από τα πιο άφθονα στοιχεία στον φλοιό της γης, ενώ το Γάλλιο και το Αρσενικό αποτελούν σπάνια στοιχεία. Χωρίς αμφιβολία, η βιομηχανία ηλιακών κυττάρων πυριτίου δεν θα αντιμετωπίσει πρόβλημα εύρεσης πρώτης ύλης στο μέλλον
- ✚ Τα ηλιακά κύτταρα κρυσταλλικού Πυριτίου απελευθερώνουν ένα πολύ μικρότερο ποσό τοξικών παραγώγων κατά την διάρκεια και κατά το πέρας του κύκλου ζωής τους σε σχέση με τα φ/β κελιά GaAs
- ✚ Η τεχνολογία ηλιακών κυττάρων Κρυσταλλικού Πυριτίου είναι αποδεδειγμένα, ένας οικονομικά αποδοτικός τρόπος παραγωγής Εηλ. Όντας υπερβολικά κοστοβόρα τεχνολογία, τα φ/β κελιά GaAs δεν μπορούν να συναγωνιστούν με την τωρινή τεχνολογία ηλιακών κυττάρων Κρυσταλλικού Πυριτίου, για αυτό τον λόγο συναντάμε σχεδόν εξ' ολοκλήρου Φ/Β πλαίσια με βάση το Κρυσταλλικό Πυρίτιο σε εμπορικές και οικιακές εφαρμογές (πηγή: jlkatech.com)

φ/β στοιχεία 2ης γενιάς ή φ/β στοιχεία λεπτού υμενίου (thin film)

- Φ/Β Άμορφου πυριτίου (a-Si)
- Φ/Β Τελλουριούχου Καδμίου (CdTe)
- Φ/Β Δισεληνοϊνδιούχου Χαλκού (CIS) ή Φ/Β Δισεληνοϊνδιούχου Χαλκού - Γαλλίου (CIGS)

Ένα φ/β στοιχείο λεπτού υμενίου (thin film) κατασκευάζεται με την εναπόθεση ενός ή περισσότερων λεπτών στρωμάτων ΦΒ υλικού σε ένα υπόστρωμα, όπως το γυαλί, το πλαστικό ή το μέταλλο

Σε αυτά τα φ/β στοιχεία, το πάχος του στρώματος είναι πολύ λεπτότερο από αυτό των συμβατικών φ/β στοιχείων κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si) της 1^{ης} γενιάς. Ως αποτέλεσμα, τα ΦΒ στοιχεία λεπτού υμενίου είναι εύκαμπτα και έχουν μικρότερο βάρος. Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενσωματωμένων ΦΒ συστημάτων σε κτίρια, καθώς και ως ημιδιαφανές υλικό υαλοπινάκων το οποίο μπορεί να ενσωματωθεί σε παράθυρα. Άλλες εμπορικές εφαρμογές περιλαμβάνουν άκαμπτα λεπτά στρώματα ΦΒ στοιχείων (τοποθετημένα ανάμεσα σε δύο υαλοπίνακες) που χρησιμοποιούνται σε μερικούς από τους μεγαλύτερους Φ/Β σταθμούς στον κόσμο.



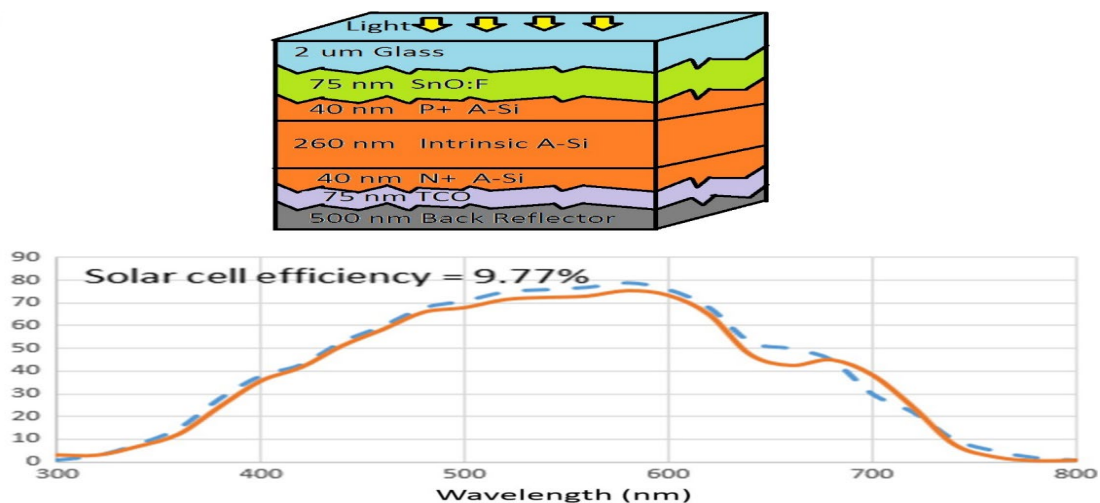
Σχήμα 1.40 Μερίδιο αγοράς ΦΒ τεχνολογιών λεπτού υμενίου για το έτος 2017

Τα φ/β στοιχεία άμορφου πυριτίου (a-Si) παρουσιάζουν χαμηλό κόστος και ευκολία κατασκευής. Μπορούν να παραχθούν σε διάφορα σχήματα και μεγέθη. Οι τυπικές αποδόσεις των ΦΒ πλαισίων κυμαίνονται στο εύρος 6-10%: Αυτό σημαίνει ότι απαιτούν σημαντικά μεγαλύτερη επιφάνεια και υψηλότερο κόστος εγκατάστασης για την ίδια ποσότητα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τα Φ/Β πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si). Η επίδοσή τους σε χαμηλή ή διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία είναι συχνά ανώτερη από τα ΦΒ πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου. Επιπλέον, επηρεάζονται λιγότερο από τις υψηλές θερμοκρασίες. Η απόδοσή τους σημειώνει σημαντική πτώση της τάξης του 10-30% κατά τους πρώτους έξι μήνες λειτουργίας και στη συνέχεια σταθεροποιείται. Ο αναμενόμενος χρόνος ζωής των Φ/Β πλαισίων άμορφου πυριτίου είναι μικρότερος από τον χρόνο ζωής των Φ/Β πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου (τυπικά 15-25 έτη), αν και το πόσο ακριβώς μικρότερος είναι δύσκολο να προσδιορισθεί, καθώς η τεχνολογία των Φ/Β πλαισίων άμορφου πυριτίου συνεχίζει να εξελίσσεται.



Σχήμα 1.41 Άμορφα Φ/Β πλαίσια Λεπτού Υμενίου (a-Si thin film)

Η λέξη “άμορφα” κυριολεκτικά σημαίνει χωρίς σχήμα, το πυρίτιο δεν λαμβάνει συγκεκριμένη θέση στον χώρο και δεν έχει κρυσταλλική δομή σε μοριακό επίπεδο όπως τα Πολυκρυσταλλικά και τα Μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου. Στο παρελθόν, τα Φ/Β αυτού του τύπου είχαν χρήση σε εφαρμογές μικρής κλίμακας, όπως υπολογιστές τσέπης, επειδή η εξερχόμενη ισχύς τους ήταν σχετικά χαμηλή. Ωστόσο, στριμώνοντας πολλαπλά άμορφου τύπου φ/β στοιχεία το ένα πάνω στο άλλο, η απόδοσή τους αυξάνεται σημαντικά (κοντά στο 10%). Η διαδικασία τοποθέτησης επιτρέπει στο άμορφο πυρίτιο να έχει λιγότερο από το 1% του πάχους ενός κρυσταλλικού κελιού πυριτίου. Επιπλέον, τα κελιά άμορφου πυριτίου δίνουν την δυνατότητα κατασκευής εύκαμπτων Φ/Β πλαισίων.



Σχήμα 1.42 Σχηματική απεικόνιση τομής φ/β κελιού άμορφου πυριτίου και γραφική παράσταση της απόδοσής τους συναρτήσει του μήκους κύματος (λ) της Η/Μ που προσπίπτει σε αυτά

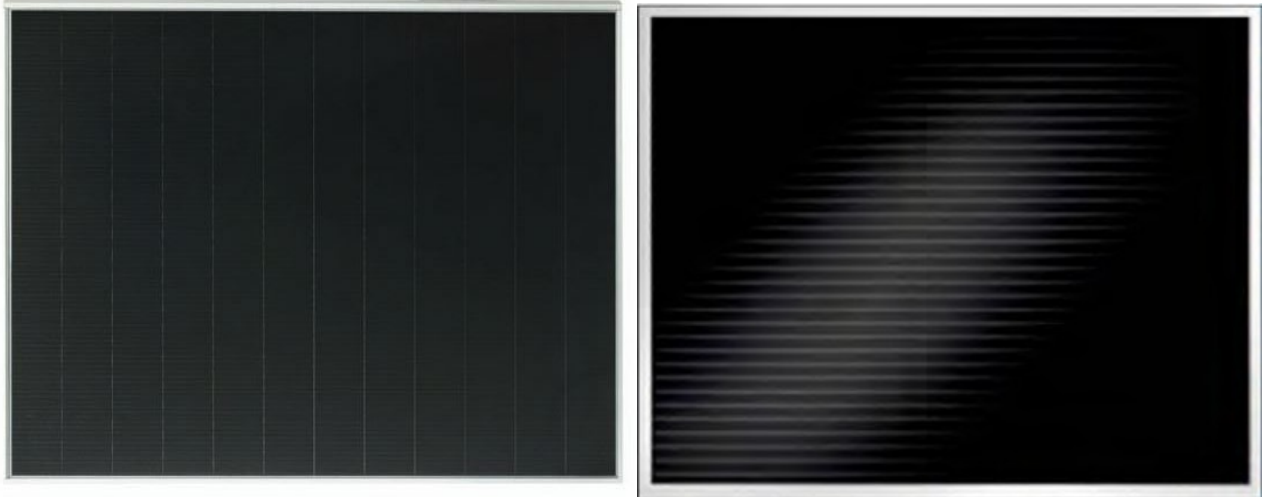


Αποτελούν μια ισχυρή και αναδυόμενη γραμμή Φ/Β Συστημάτων όπου διαφέρει από τα Κρυσταλλικά φ/β πυριτίου (c-Si) σε όρους ισχύος, δομής και παραγωγικής διαδικασίας. Τα έξοδα υλικών μειώνονται εφόσον το άμορφο πυρίτιο απαιτεί μόνο το 1% του πυριτίου όπου θα χρειαζόταν για την παραγωγή ενός φ/β στοιχείου βασισμένο στο κρυσταλλικό πυρίτιο. Η διαδικασία ανάπτυξης των Φ/Β πλαισίων άμορφου πυριτίου τα έχει κάνει πιο ευέλικτα και ελαφριά, χαρακτηριστικά όπου διευκολύνουν την μεταφορά και εγκατάσταση των πλαισίων με μικρότερο βαθμό ρίσκου. Η εύκαμπτη μονάδα λεπτού υμενίου (μεμβράνης) καθιστά τα Φ/Β πλαίσια άμορφου πυριτίου κατάλληλα ακόμα και για κυρτές επιφάνειες με την δυνατότητα πιο εξειδικευμένων εφαρμογών, καθώς και την κάλυψη δυσπρόσιτων σημείων, όπου κατά πάσα πιθανότητα θα παρέμεναν ανεκμετάλλευτα, προς παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού (βλ. Σχήμα 1.43). Κύριο μειονέκτημα είναι ο χαμηλός βαθμός απόδοσής τους, ωστόσο, η τεχνολογία είναι πιο φρέσκια σε σχέση με άλλες και οι βαθμοί απόδοσης έχουν μέλλον να βελτιωθούν με την τεχνολογική πρόοδο που μας κατακλύζει στο κοντινό μέλλον. Στα στερεά αυτά δεν υπάρχει κανονική εσωτερική δομή και παρομοιάζονται με υγρά που έχουν πολύ μεγάλη εσωτερική τριβή ώστε να μη κινούνται σχεδόν καθόλου όπως για παράδειγμα είναι το γυαλί και το άμορφο πυρίτιο, τα άτομα καταλαμβάνουν τυχαίες θέσεις και η δομή του είναι εντελώς ακανόνιστη. Τα ΦΒ στοιχεία μπορούν να τοποθετηθούν τόσο πάνω σε άκαμπτα υποστρώματα, όπως γυάλινες επιφάνειες όσο και εύκαμπτα, όπως είναι πλαστικές ή/και λεπτές μεταλλικές επιφάνειες, παρέχοντας έτσι ευκολία στην παραγωγή και στη χρήση.



Σχήμα 1.43 Φόρτιση Ηλεκτροκίνητου οχήματος μέσω εύκαμπτων Φ/Β λεπτού υμενίου

Το μικροκρυσταλλικό πυρίτιο (που ονομάζεται επίσης και νανοκρυσταλλικό πυρίτιο) είναι άμορφο πυρίτιο που περιέχει επίσης μικρούς κρυστάλλους. Το μικροκρυσταλλικό πυρίτιο απορροφά ένα ευρύτερο φάσμα φωτός και είναι εύκαμπτο. Η απόδοση των ΦΒ πλαισίων μικροκρυσταλλικού πυριτίου μπορεί να φτάσει το 10%. Η τεχνολογία των μικρόμορφων ΦΒ πλαισίων συνδυάζει δύο διαφορετικούς τύπους πυριτίου, το άμορφο και το μικροκρυσταλλικό, στο άνω και κάτω μέρος του ΦΒ στοιχείου, ενώ η απόδοσή τους μπορεί να φτάσει το 12%.



Φ/Β Πλαίσια Τελλουριούχου Καδμίου (CdTe)

Η κρυσταλλική ένωση καδμίου-τελλουρίου είναι ένα αποτελεσματικό υλικό κατασκευής φ/β κελιών. Για την δημιουργία μιας ένωσης p-n σε ένα φ/β κελί, ένα στρώμα σουλφιδίου του καδμίου προστίθεται στο CdTe. Έχει πολύ καλή αποτελεσματικότητα, εφόσον χρησιμοποιεί περίπου το 1% του ημιαγωγικού υλικού σε σχέση με ένα κρυσταλλικό κελί. Το Τελλουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV, το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα, κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Μειονέκτημά τους αποτελεί το γεγονός της χρήσης του σπανίου μετάλλου τελλουρίου καθώς και το γεγονός ότι η χρήση του καδμίου επιβάλλει την αναγκαστική ανακύκλωση τους μετά το πέρας του ωφέλιμου χρόνου ζωής τους. Τα ΦΒ πλαίσια Τελλουριούχου καδμίου (CdTe) είναι η μοναδική τεχνολογία ΦΒ λεπτού υμενίου με χαμηλότερο κόστος από τα συμβατικά Φ/Β πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου σε συστήματα μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος.

Τα ΦΒ πλαίσια CdTe έχουν το μικρότερο ανθρακικό αποτύπωμα, τη χαμηλότερη κατανάλωση νερού και τον συντομότερο χρόνο αποπληρωμής ενέργειας (δηλαδή το χρονικό διάστημα που χρειάζεται ένα Φ/Β σύστημα να παράγει την ίδια ποσότητα ενέργειας με αυτήν που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή και την εγκατάστασή του) από όλες τις Φ/Β τεχνολογίες - μπορεί να είναι λιγότερο από ένα έτος για συγκεκριμένες τοποθεσίες. Η απόδοση του Φ/Β πλαισίου μπορεί να υπερβεί το 15%.

Τα ΦΒ πλαίσια CdTe έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς σε σύγκριση με όλες τις τεχνολογίες Φ/Β λεπτού υμενίου. Σημαντικά μειονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας σχετίζονται με την τοξικότητα του καδμίου και τη σπανιότητα του τελλουρίου.

Φ/Β Πλαίσια Δισεληνοϊνδιούχου Χαλκού (Γαλλίου) - (CuIn(Ga)Se₂ ή CI(G)S)

Αποτελεί μια από τις περισσότερο υποσχόμενες τεχνολογίες, όπου κελιά λεπτού υμενίου κατασκευάζονται από έναν συνδυασμό Δισεληνοϊνδιούχου-Χαλκού και Δισεληνοϊνδιούχου-Χαλκού-Γαλλίου (CIGS). Τα κελιά αυτά έχουν επιδείξει αποδόσεις της τάξης του 19,9% που αποτελεί την υψηλότερη για κελιά και κατ' επέκταση Πλαίσια λεπτού

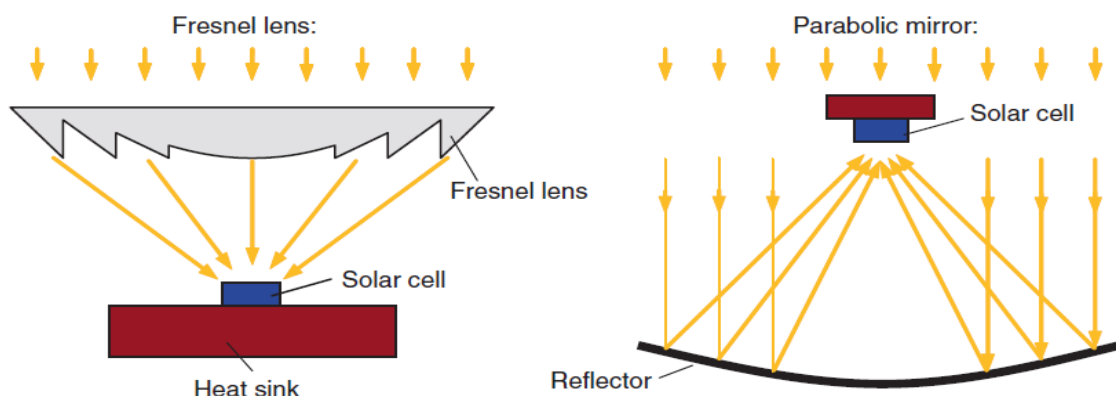
υμενίου, έχουν εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως. Το μεγαλύτερο πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το Ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση.

3ης γενιάς (υψηλού επιπέδου τεχνολογίες)

- Φ/Β Πολλαπλής σύζευξης (multi-junction), που χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο στα συγκεντρωτικά Φ/Β Συστήματα (CPV)
- Φωτοευαίσθητοποιημένα Φ/Β με χρωστική
- Οργανικά Φ/Β
- Φ/Β περοβσκίτων
- Αξιοποίηση νανοτεχνολογίας
- Κατασκευή βασισμένη σε ανόργανες νανοδομές (χαρακτηρίζονται ως 4^{ης} γενιάς)

Οργανικά/Πολυμερή κελιά

Αποτελούν μια σχετικά νέα τεχνολογία. Λειτουργούν με διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες, όπου αντί για ημιαγωγίμες επαφές p-n χρησιμοποιούν οργανικά υλικά που λειτουργούν ως δότες και δέκτες ηλεκτρονίων. Το μεγάλο πλεονέκτημα χρήσης οργανικών υλικών είναι ότι επιτρέπουν την μεγάλης κλίμακας – χαμηλής θερμοκρασίας κατασκευή εύκαμπτων ηλιακών κελιών σε υποστρώματα πλαστικών. Η απόδοση τους δεν ξεπερνάει σήμερα την τάξη του 9%, ωστόσο η αύξησή της πρόκειται να μειώσει σημαντικά το κόστος παραγωγής ηλιακών κελιών.



Σχήμα 1.45 Συγκεντρωτικά φ/β στοιχεία

Τα συγκεντρωτικά ΦΒ (CPV) χρησιμοποιούν φακούς Fresnel ή παραβολικά κάτοπτρα για να εστιάσουν το φως του ήλιου σε μικρά, αλλά πολύ αποδοτικά, φ/β στοιχεία ετεροεπαφής (multi-junction). Τα συγκεντρωτικά ΦΒ μπορούν να χρησιμοποιούν μόνο άμεση ακτινοβολία - η διάχυτη ακτινοβολία δεν μπορεί να συσσωρευτεί στο φ/β στοιχείο. Επιπλέον, τα συστήματα CPV χρησιμοποιούν σχεδόν πάντα συστήματα ιχνηλάτισης και μερικές φορές ένα σύστημα ψύξης για την περαιτέρω αύξηση της αποδοτικότητάς τους. Τα



συστήματα CPV διατηρούν το ρεκόρ για την υψηλότερη στιγμιαία απόδοση ΦΒ: 46% το 2015.



Σχήμα 1.46 Παραδείγματα συγκεντρωτικών Φ/Β συστημάτων

Υβριδικά ΦΒ/θερμικά (PV/T) πλαίσια

Τα υβριδικά ΦΒ/θερμικά (PV/T) πλαίσια είναι συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμική και ηλεκτρική ενέργεια. Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν τα ΦΒ στοιχεία που μετατρέπουν το φως του Ήλιου σε ηλεκτρική ενέργεια με έναν ηλιακό συλλέκτη που συλλαμβάνει την υπόλοιπη ενέργεια και απομακρύνει τη θερμότητα από το ΦΒ πλαίσιο, κάνοντάς το έτσι πιο ενεργειακά αποδοτικό από ένα ξεχωριστό ΦΒ πλαίσιο ή έναν ξεχωριστό ηλιακό συλλέκτη. Αν και αυτή είναι μια αποτελεσματική μέθοδος, το θερμικό στοιχείο του συστήματος έχει χαμηλότερη απόδοση σε σύγκριση με έναν ηλιακό συλλέκτη. Ένας αριθμός συστημάτων PV/T είναι διαθέσιμος στο εμπόριο, τα οποία μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Σύστημα PV/T με συλλέκτη υγρού
- Σύστημα PV/T με συλλέκτη αέρα
- Σύστημα PV/T με συλλέκτη υγρού και αέρα
- Συγκεντρωτικό σύστημα PV/T (CPVT)

Το κόστος τους είναι υψηλό και η χρήση τους περιορίζεται σε περιπτώσεις που απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα, σε συνδυασμό με σημαντικούς περιορισμούς στην επιφάνεια της τοποθεσίας εγκατάστασης



Σχήμα 1.47 Υβριδικό ΦΒ/θερμικό (PV/T) πλαίσιο

ΦΒ πλαίσια διπλής όψης

Τα συμβατικά ΦΒ πλαίσια είναι μονής όψης, πράγμα που σημαίνει ότι η ηλεκτρική ισχύς εξόδου τους είναι συνάρτηση της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας που συλλέγεται από την μπροστινή μόνο πλευρά του πλαισίου.

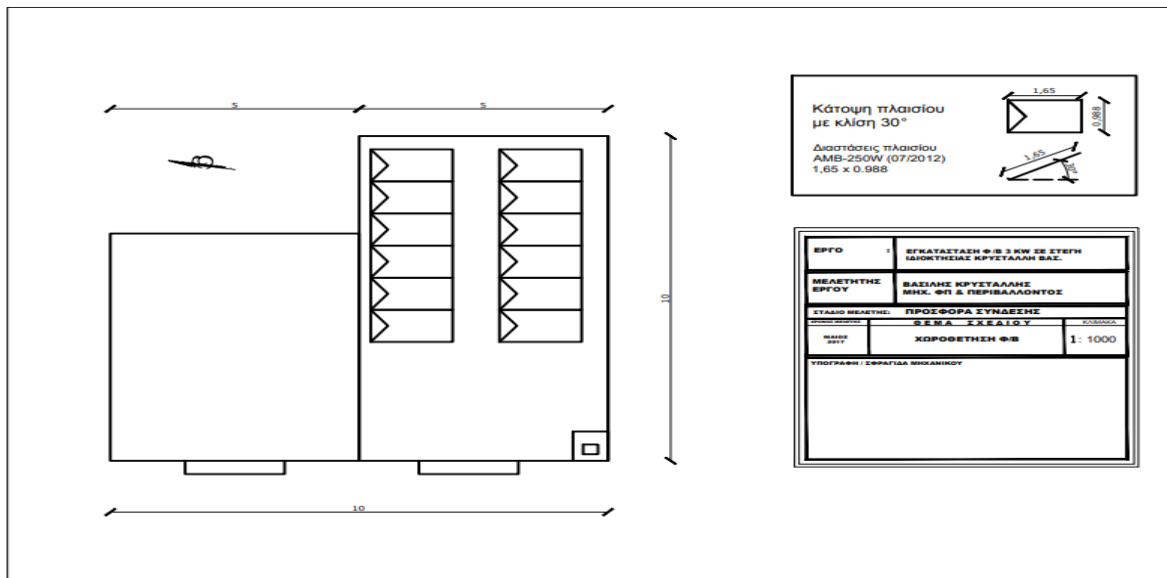
Αντίθετα, τα ΦΒ πλαίσια διπλής όψης μετατρέπουν σε ηλεκτρική ισχύ την ηλιακή ακτινοβολία που συλλέγεται στην εμπρόσθια και στην οπίσθια πλευρά του ΦΒ πλαισίου. Τα ΦΒ πλαίσια διπλής όψης προσφέρουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά ΦΒ πλαίσια μονής όψης:

- a. Η ισχύς μπορεί να παραχθεί και από τις δύο πλευρές ενός ΦΒ πλαισίου διπλής όψης, αυξάνοντας έτσι τη συνολική παραγωγή ενέργειας
- b. Τα ΦΒ πλαίσια διπλής όψης είναι συχνά πιο ανθεκτικά, διότι και οι δύο πλευρές τους είναι ανθεκτικές στην υπεριώδη ακτινοβολία και οι ανησυχίες για την ύπαρξη του φαινομένου της δυνητικής επαγόμενης υποβάθμισης (PID) μειώνονται καθώς στα συγκεκριμένα ΦΒ δεν περιλαμβάνεται ξεχωριστό πλαίσιο
- c. Το κόστος ισορροπίας του συστήματος (BOS), που περιλαμβάνει όλα τα συστατικά ενός ΦΒ συστήματος εκτός των ΦΒ πλαισίων, μειώνεται καθώς μπορεί να παραχθεί περισσότερη ηλεκτρική ισχύς από τα ΦΒ πλαίσια διπλής όψης σε μικρότερη επιφάνεια ΦΒ συστοιχίας



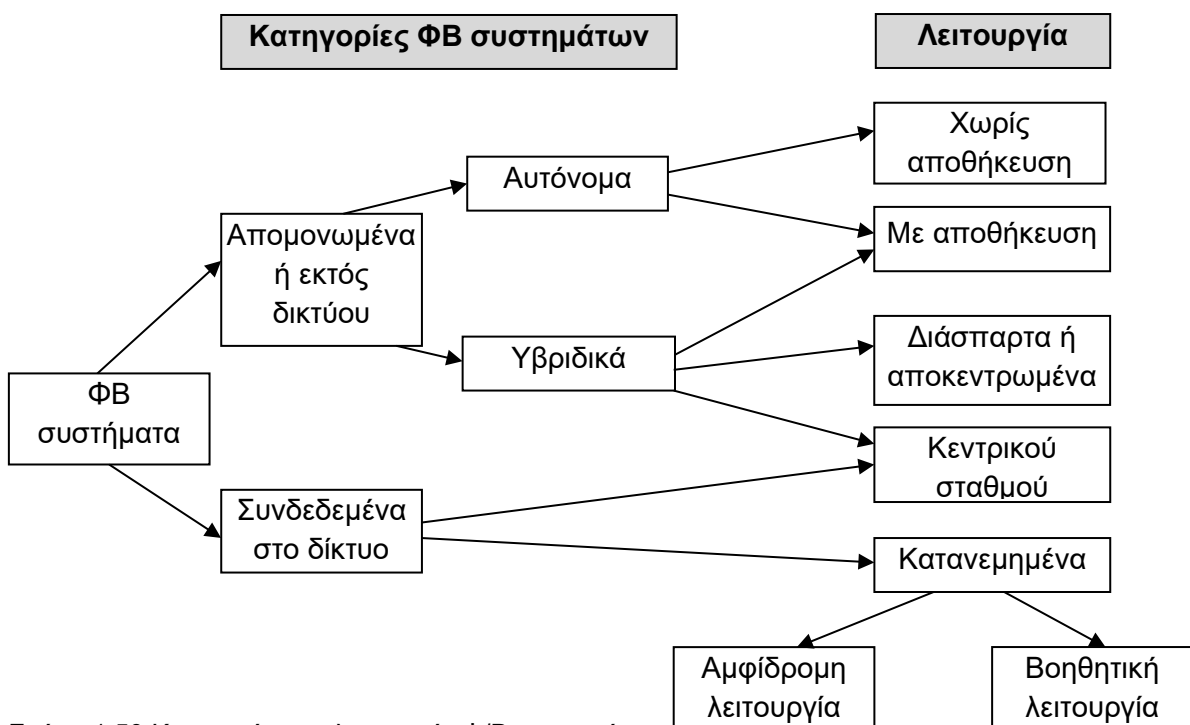
Σχήμα 1.48 Φ/Β πλαίσια διπλής όψης

Η επιλογή του είδους των Φ/Β είναι συνάρτηση κυρίως των αναγκών, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής ευχέρειας του χρήστη.



Σχήμα 1.49 Σχεδίαση κάτοψης οικιακής στέγης στο λογισμικό AutoCAD. Παρατηρούμε το σχήμα που αναπαριστάνται τα Φ/Β πλαίσια κατά τις σχεδιομελέτες

Στο παρακάτω σχήμα αναπαριστάνονται οι **Κατηγορίες Φ/Β Συστημάτων** και οι αντίστοιχες λειτουργίες που επιτελούν (βλ. Σχήμα 1.50):

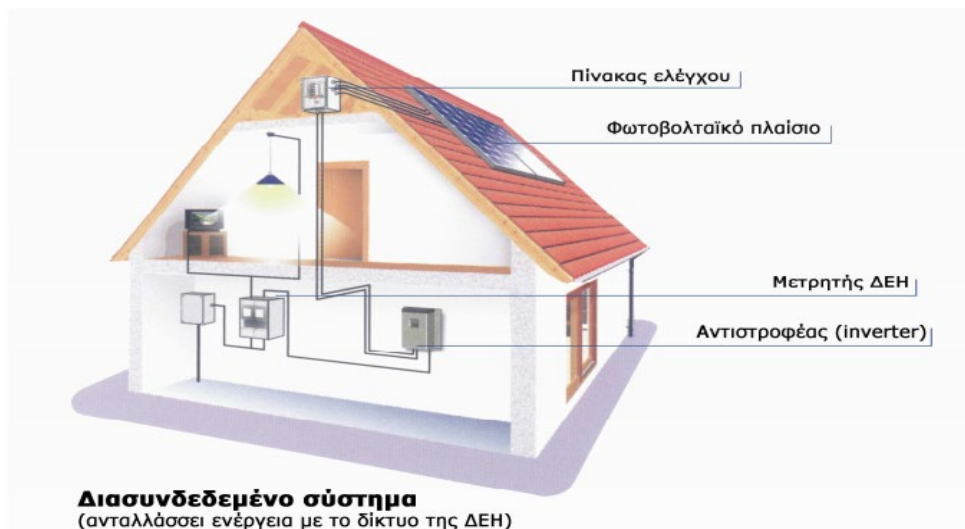
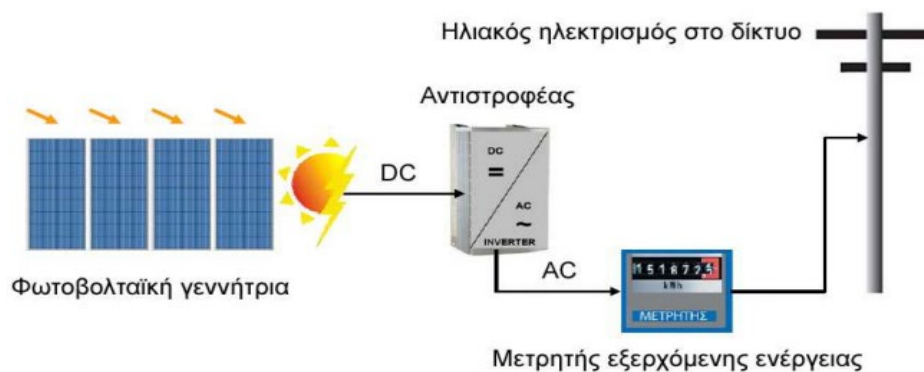


Σχήμα 1.50 Κατηγορίες και λειτουργία Φ/Β συστημάτων



Υπάρχουν δύο τρόποι να χρησιμοποιήσει κανείς τα Φ/Β, σε συνεργασία με το δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ ή ανεξάρτητα από αυτό.

Α. Ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού με Φ/Β μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ (διασυνδεδεμένο σύστημα), στην περίπτωση αυτή, πουλάει κανείς τον ηλιακό ηλεκτρισμό στο δίκτυο έναντι μιας ορισμένης από τον νόμο τιμής και συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τον πάροχο για να καλύψει τις τυχόν αυξημένες ανάγκες του. Έχει δηλαδή έναν διπλό μετρητή για την καταμέτρηση της εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας, που λαμβάνει μέρος με την μέθοδο της Αυτοπαραγωγής με Ενεργειακό Συμψηφισμό (το γνωστό στους περισσότερους Net-Metering).



Σχήμα 1.51 Διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα με το κεντρικό δίκτυο (πηγή ΣΕΦ)

Αυτοπαραγωγή με Ενεργειακό Συμψηφισμό (Net-Metering)

To Net-Metering αποτελεί την καλύτερη λύση για εξάλειψη του κόστους ρεύματος σε νοικοκυριά και επιχειρήσεις ενώ παράλληλα μπορεί να εξαλείψει και το κόστος θέρμανσης/κλιματισμού αν συνδυαστεί κατάλληλα με μία αντλία θερμότητας (Α/Θ). Προς το παρόν επιτρέπεται μόνο η χρήση Φ/Β, σύντομα όμως θα επιτρέπονται και άλλες



τεχνολογίες όπως οι Α/Γ. Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, η πλεονάζουσα ενέργεια κατά τον Ενεργειακό Συμφητισμό δεν αποζημιώνεται αλλά πιστώνεται στον χρήστη για την επόμενη τριετία, όπου και είναι το χρονικό διάστημα πραγματοποίησης του συμφητισμού και πίστωσης.

Υπολογισμός Φωτοβολταϊκού Net Metering

Ο υπολογισμός ενός Φ/Β Συστήματος Net Metering είναι σχετικά απλώς, εφόσον απαιτείται να συγκεντρωθούν οι καταναλώσεις των τελευταίων ετών ή/και ενός έτους (π.χ. 3 εκκαθαριστικοί λογαριασμοί) ώστε να καθοριστεί το μέγεθος του Φ/Β που θα παράγει την ενέργεια αυτή (ίσως και λίγο μεγαλύτερο υπολογίζοντας μελλοντικές αυξήσεις στην ζήτηση ενέργειας ή/και μικρότερο σύστημα ανάλογα με τους περιορισμούς).

Παράδειγμα υπολογισμού

Αν υποθέσουμε κατοικία που καταναλώνει 12.000 kWh ετησίως και στην περιοχή (ανάλογα με σκιάσεις, προσανατολισμούς, κλίσεις κλπ.) ένα Φ/Β παράγει 1.500 kWh ανά εγκατεστημένο kW (kWp), τότε απαιτούνται 8 kWp για μηδενισμό της κατανάλωσης σε ετήσια βάση.

Απόσβεση Net Metering

Η απόσβεση ενός τέτοιου συστήματος είναι ανάλογα με το μέγεθός του, συνήθως κάτω από 8 με 9 χρόνια και αντίστοιχα η απόδοση της επένδυσης ξεπερνά το 20%. Όσο πιο μεγάλο είναι ένα Φ/Β Σύστημα Net Metering τόσο μικρότερο είναι και το κόστος του ανά εγκατεστημένο kW (kWp), λόγω οικονομίας κλίμακας. Για τον λόγο αυτό, τα κτίρια με μεγάλες καταναλώσεις ευνοούνται περισσότερο από το σύστημα (υπηρεσία) ενεργειακού συμφητισμού.

Πλεονεκτήματα Net Metering

Ο ενεργειακός συμφητισμός έχει αναρίθμητα πλεονεκτήματα:

- ✓ Η κατανάλωση γίνεται κοντά στην παραγωγή, μειώνοντας έτσι τις επιπλέον απώλειες μεταφοράς και μετατροπής
- ✓ Ο ιδιώτης ή ο επαγγελματίας δεν εξαρτάται από το κράτος για να επιδοτηθεί και εν τέλη να κάνει απόσβεση το σύστημα αυτοπαραγωγής του
- ✓ Όσες αυξήσεις και εάν γίνουν από τους παρόχους Εηλ., όσον αφορά την χρέωση της Εηλ., δεν υπάρχει κάποια επιβάρυνση επειδή ο συμφητισμός είναι ενεργειακός και όχι λογιστικός
- ✓ Η χώρα μας απαλλάσσεται από ενεργειακές εξαρτήσεις και επιπλέον επιβαρύνσεις του κρατικού ισολογισμού
- ✓ Μειώνονται οι εκπομπές CO₂
- ✓ Ελαχιστοποιείται η επιβάρυνση της φύσης σε περιοχές όπου βρίσκονται κοντά σε λιγνιτικά εργοστάσια παραγωγής Εηλ. (Δυτική Μακεδονία κυρίως)
- ✓ Το κόστος ρεύματος μειώνεται κατακόρυφα ή/και εκμηδενίζεται



Υπηρεσία Virtual Net Metering (Εικονικός Ενεργειακός Συμψηφισμός - ν.4513/2018, α.12)

Από τον Μάιο του 2017 επιτρέπεται η απομακρυσμένη αυτοπαραγωγή από Νομικά Πρόσωπα Ιδιωτικού Δικαίου (ΝΠΙΔ) & Νομικά Πρόσωπα Δημοσίου Δικαίου (ΝΠΔΔ) με κοινωνικής σκοπούς και κατ' επάγγελμα αγρότες.

Σύντομα θα επιτρέπεται και για φυσικά και νομικά πρόσωπα. Τον Νοέμβριο του 2017 συστάθηκε επιτροπή εξέτασης του εικονικού Net Metering, ενώ εφαρμόζεται εδώ και αρκετά χρόνια σε πολλές χώρες. Σύμφωνα με το σχήμα του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού δύναται ο αυτοπαραγωγός να εγκαταστήσει το Φ/Β του Σύστημα σε απομακρυσμένο σημείο από εκείνο της κατανάλωσης της οικίας του ή/και επιχείρησης. Ο συμψηφισμός της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ αυτοπαραγωγού, με τη συνολική καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε εγκαταστάσεις του αυτοπαραγωγού, από τις οποίες τουλάχιστον η μία είτε δεν βρίσκεται στον ίδιο ή όμορο χώρο με το σταθμό ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ είτε, αν βρίσκεται, τροφοδοτείται από διαφορετική παροχή. Ειδικά για Ενεργειακή Κοινότητα (Ε.Κοιν.), ο συμψηφισμός της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμό ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ ή Υβριδικό Σταθμό της Ε.Κοιν. γίνεται με τη συνολική καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε εγκαταστάσεις μελών της Ε.Κοιν. και ευάλωτων καταναλωτών ή πολιτών που ζουν κάτω από το όριο της φτώχειας, εντός της Περιφέρειας στην οποία βρίσκεται η έδρα της Ε.Κοιν. Έχει εκδοθεί η Υπουργική Απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/15084/382/19.02.2019 (ΦΕΚ Β' 759) για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής από αυτοπαραγωγούς με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού ή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού (για νομικά πρόσωπα δημοσίου ή δικαίου, που επιδιώκουν κοινωνικές ή άλλους δημοσίου ενδιαφέροντος σκοπούς γενικής ή τοπικής εμβέλειας, καθώς και τους εγγεγραμμένους στο Μητρώο Αγροτών και Αγροτικών Εκμεταλλεύσεων του ν. 3874/2010) σύμφωνα με το άρθρο 14Α του ν. 3468/2006, και από Ενεργειακές Κοινότητες με εφαρμογή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού σύμφωνα με το άρθρο 11 του ν.4513/2018. Περιλαμβάνονται όλες οι τεχνολογίες ΑΠΕ, η δυνατότητα αποθήκευσης μέχρι 30KVA (Εικονική Ισχύς) και η δυνατότητα συμψηφισμού σε διαφορετικά επίπεδα τάσης.

Με την εφαρμογή της απομακρυσμένης αυτοπαραγωγής θα βοηθηθεί σε μεγάλο βαθμό η ελληνική οικογένεια που διαμένει σε διαμέρισμα πολυκατοικίας σε αστική περιοχή, ενώ κατέχει στην ιδιοκτησία της ακίνητο στην επαρχία με απεριόριστο χώρο προς εκμετάλλευση

Στις αρχές Αυγούστου του 2020 ανακοινώθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας το νέο πρόγραμμα επιδότησης της ενεργειακής αναβάθμισης κατοικιών και κτιρίων “**Εξοικονομώ-Αυτονομώ**” στο οποίο για πρώτη φορά περιλαμβάνεται η ενσωμάτωση Φ/Β Συστημάτων με την υπηρεσία του Net-Metering. Υπάρχει η δυνατότητα υπό προϋποθέσεις να επιδοτηθεί ένα Φ/Β Σύστημα Net-Metering από 55% μέχρι και κατά 95% (το ποσοστό αυτό ισχύει για τις λιγνιτικές περιοχές ως ρήτρα δίκαιης μετάβασης) καθιστώντας την επένδυση άκρως δελεαστική με χρόνους απόσβεσης κάτω από τα 3 έτη. Σε αντίθεση με τα Φ/Β με ταρίφα (feed-in tariff), στα συστήματα Net-Metering ο συμψηφισμός παραγόμενου και καταναλισκόμενου ηλεκτρικού ρεύματος είναι ενεργειακός (σε kWh) και όχι “λογιστικός” (σε €). Και τα μεν και τα δε, ανήκουν στην μεγάλη κατηγορία των διασυνδεδεμένων Φ/Β (on-grid ή grid-tied ή grid-connected διεθνώς). Το Net-Metering έχει αναρίθμητα πλεονεκτήματα και προσφέρει άμεση απόσβεση για τον ενδιαφερόμενο, πέρα από την τεράστια συμβολή του στην προστασία του περιβάλλοντος μέσω της αποκεντρωμένης αυτοπαραγωγής και κατανάλωσης, με την ενσωμάτωση όλων των πολιτών ως παίχτες στο παιχνίδι της



ενέργειας και την προαγωγή της αυτονομίας σε εθνικό επίπεδο εφόσον οι ίδιοι οι πολίτες καλύπτουν μεγάλο μέρος ή/και το σύνολο των αναγκών τους από ΑΠΕ. Ενώ δεν επιβαρύνει τον κρατικό προϋπολογισμό, εφόσον με το πέρασμα του χρόνου οι τεχνολογίες των ΑΠΕ έχουν πλέον ωριμάσει και περνούν από την φάση των κρατικών επιδοτήσεων προς την ισοτιμία με τις συμβατικές πηγές και την άμεση χρήση τους για αυτοκατανάλωση χωρίς να επιβαρύνουν το υπόλοιπο σύνολο όπως με τα Φ/Β ταρίφας έως τώρα (τέλος ΑΠΕ στους λογαριασμούς ρεύματος – ΕΤΜΕΑΡ). Στα βασικά πλεονεκτήματα συγκαταλέγεται ότι με το Net-Metering η ενέργεια δεν πηγαίνει ποτέ χαμένη (όπως σε ένα αυτόνομο Φ/Β Σύστημα με γεμάτες μπαταρίες όπου έχουμε αυξημένες απώλειες μετατροπής και αποθήκευσης), αφού το δίκτυο λειτουργεί σαν φυσική μπαταρία όπου και διοχετεύεται η πλεονάζουσα ενέργεια.

Net Metering και Αποθήκευση με Μπαταρίες

Από το 2019 είναι δυνατή η χρήση μπαταριών ως μέσο αποθήκευσης σε συστήματα Net Metering. Οι μπαταρίες δίνουν την δυνατότητα βέλτιστης χρήσης της ενέργειας που παράγουν τα Φ/Β, καθώς η περίσσεια ενέργεια όπου δεν διοχετεύεται προς τις καταναλώσεις μέσα στην ημέρα να μην οδεύει στο δίκτυο ως πλεονάζουσα, αλλά να φορτίζει τις μπαταρίες έτσι ώστε κατά τις περιόδους μη ηλιοφάνειας που θα ζητηθεί να μην λαμβάνεται από το δίκτυο αλλά από τις μπαταρίες. Ακόμη, σε πολλές περιπτώσεις, η αρχική ιδέα είναι να χρησιμοποιείται το Υβριδικό Φ/Β Σύστημα με αποθήκευση για σκοπούς Αδιάλειπτης Παροχής Ισχύος (UPS), ώστε σε περίπτωση black-out της περιοχής, είτε γενικότερης βλάβης και περιόδων συντήρησης του κεντρικού δικτύου διανομής Εηλ. να υπάρξει άμεση ανταπόκριση, ώστε να μην διακοπεί η λειτουργία (ακαριαία τουλάχιστον) συσκευών και να δίνεται η δυνατότητα κάλυψης τουλάχιστον των απαραίτητων φορτίων ή/και όλων των καταναλώσεων, ανάλογα τον σχεδιασμό του υβριδικού συστήματος.

Η τιμή Εηλ. διαφοροποιείται με την ζήτηση στον χρόνο. Ενέργεια Ταυτοχρονισμού: Καταναλώνεται την στιγμή που παράγεται → συμφέρει με την νομοθεσία Net-Metering, όπου ο καταναλωτής και χρήστης Φ/Β Συστήματος απαλλάσσεται από την χρέωση ΕΤΜΕΑΡ και τις λοιπές χρεώσεις στον λογαριασμό ηλεκτρικού ρεύματος

Ενεργειακές Κοινότητες

Με τον ν.4513/2018 «Ενεργειακές Κοινότητες και άλλες διατάξεις», εισάγεται το θεσμικό πλαίσιο ίδρυσης και λειτουργίας των Ενεργειακών Κοινοτήτων (Ε.Κοιν.) στην Ελλάδα με σκοπό την προώθηση της κοινωνικής και αλληλέγγυας οικονομίας και καινοτομίας στον ενεργειακό τομέα, την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας, την προαγωγή της ενεργειακής αειφορίας και της καινοτομίας, την παραγωγή, αποθήκευση, ιδιοκατανάλωση, διανομή και προμήθεια ενέργειας καθώς και τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας στην τελική χρήση σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο. Με το παρόν πλαίσιο προβλέπονται οικονομικά κίνητρα και μέτρα στήριξης των Ενεργειακών Κοινοτήτων. Τα μέτρα στήριξης αφορούν κυρίως στην ανάπτυξη σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, καθώς η αξιοποίηση του εγχώριου δυναμικού ΑΠΕ αποτελεί κεντρικό εθνικό ενεργειακό στόχο αφού συμβάλλει στη διαφοροποίηση του εθνικού ενεργειακού μίγματος, στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και στην



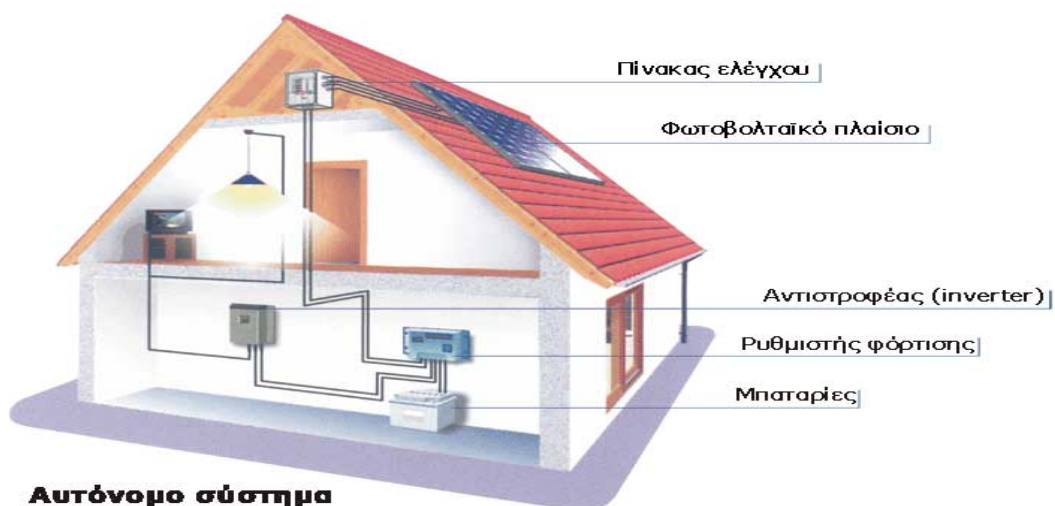
αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής ενώ ταυτόχρονα ενισχύει και την ανάπτυξη της εθνικής οικονομίας. Υιοθετείται ένα ευνοϊκό πλαίσιο ανάπτυξης σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ από τις τοπικές κοινωνίες, καθιστώντας έτσι τις ίδιες ενεργό μέρος στην προώθηση των ΑΠΕ στην Ελλάδα στο πλαίσιο επίτευξης του στόχου για συμμετοχή των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο.

Τρεις Άξονες πολιτικής του ΥΠΕΝ:

- 1) Κυβερνησιμότητα (κεντρικό σημείο του εθνικού ενεργειακού σχεδιασμού)
- 2) Ανάδειξη και ενίσχυση της τοπικότητας
- 3) Ενίσχυση συνεργειών - συμπράξεων

Β. Εναλλακτικά, μια Φ/Β εγκατάσταση μπορεί να αποτελεί Αυτόνομο Σύστημα (Autonomous) που να καλύπτει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου ή για επαγγελματική χρήση. Για την συνεχή εξυπηρέτηση του χρήστη, η Φ/Β εγκατάσταση θα πρέπει να περιλαμβάνει και μια μονάδα αποθήκευσης (συσσωρευτές) και διαχείρισης της ενέργειας.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα Φ/Β χρησιμοποιούνται για παροχή Εηλ. εφεδρείας (δηλαδή ως συστήματα αδιάλειπτης ισχύος – UPS). Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα είναι μεν διασυνδεδεμένο με τον ΔΕΔΔΗΕ, αλλά διαθέτει και αποθήκευση (συσσωρευτές μαζί με τον υπόλοιπο εξοπλισμό) για να αναλαμβάνει την κάλυψη των αναγκών σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος και για όσο αυτή διαρκή. Τέτοια συστήματα είναι αναγκαία σε πολλές εφαρμογές, όπως ιατρικού σκοπού μηχανήματα, συναγερμοί, φωτισμός κα.



Σχήμα 1.52 Αυτόνομο ή αποκεντρωμένο Φ/Β Σύστημα

Κύρια συστατικά ενός Φ/Β Συστήματος

- Φωτοβολταϊκά πλαίσια (Φ/Β)



- Συσσωρευτές (Σ/Τ)
- Ρυθμιστές φόρτισης (Ρ/Φ)
- Μετατροπείς τάσεως (Μ/Τ)
- Βάσεις/Συστήματα Στήριξης (Σ/Σ)
- Ανορθωτές

Δευτερεύοντα συστατικά ενός Φ/Β Συστήματος

- Καλώδια μεταφοράς Εηλ. (solar type)
- Συνδετικά (συγκρατητές) μεταξύ των Φ/Β πλαισίων που τοποθετούνται πάνω στα συστήματα στήριξης (Σ/Σ) & κατάλληλες βίδες - παξιμάδια
- Αρσενικός/Θηλυκός συνδετήρας καλωδίων μεταξύ Φ/Β πλαισίων

Μπαταρίες/Συσσωρευτές ¹⁰

Οι μπαταρίες/συσσωρευτές είναι συσκευές που μετατρέπουν απευθείας την χημική ενέργεια σε ηλεκτρική, μέσω μιας ηλεκτροχημικής αντίδρασης. Η βασική ηλεκτροχημική μονάδα σε κάθε μπαταρία ονομάζεται στοιχείο (cell). Η μπαταρία αποτελείται από ένα είτε περισσότερα στοιχεία, τα οποία συνδέονται συνήθως σε σειρά, για την αύξηση της τάσης. Το ηλεκτρικό στοιχείο αποτελείται από δύο πλάκες, φτιαγμένες από διαφορετικά μέταλλα και βυθισμένες σε ένα δοχείο με υγρό. Οι πλάκες, οι οποίες πρέπει να είναι αγώγιμες, ονομάζονται ηλεκτρόδια, ενώ το υγρό είναι και αυτό αγώγιμο και καλείται ηλεκτρολύτης. Τα ηλεκτρόδια αντιδρούν χημικά με τον ηλεκτρολύτη και η αντίδραση περιλαμβάνει τη μεταφορά ηλεκτρονίων από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο μέσω ενός εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος/φορτίου. Δηλαδή, η σύνδεση των ηλεκτροδίων σε εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα προκαλεί σε αυτό διέλευση ρεύματος (εκφόρτιση της ηλεκτρικής μπαταρίας). Η εκφορτισμένη ηλεκτρική μπαταρία φορτίζεται όταν περάσει από αυτήν συνεχές ρεύμα (DC) από άλλη πηγή, ενώ ταυτόχρονα αντίστροφες χημικές διεργασίες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική. Συνήθως, στις μπαταρίες η μηχανική επαφή των ηλεκτροδίων αποφεύγεται, παρεμβάλλοντας μεταξύ τους ένα υλικό διαχωρισμού. Ο διαχωριστής (separator) πρέπει να παρέχει εξαιρετική ιοντική αγωγιμότητα, ενώ σε ορισμένους τύπους μπαταριών εξασφαλίζει επιπλέον την απορρόφηση του υγρού ηλεκτρολύτη. Ανάλογα με το υλικό των ηλεκτροδίων και τον ηλεκτρολύτη (βλ. Πίνακα 1.), διακρίνεται μια μεγάλη ποικιλία

¹⁰ Η εταιρεία Sunlight έχει ενεργό δράση με εργοστάσιο παραγωγής και μονάδα ανακύκλωσης στην Θράκη, ενώ, έχει αναπτύξει ένα δυναμικό παγκόσμιο δίκτυο πωλήσεων και συνεργατών εξαγοντας περίπου το 90% της παραγωγής της σε περισσότερες από 100 χώρες



στοιχείων και των αντίστοιχων μπαταριών που αυτά συνθέτουν. Η κύρια ταξινόμηση τους, αναφέρεται στην δυνατότητα επαναφόρτισής τους (Iorδάνης Ν. Κιοσκερίδης, 2017).

Οι πλέον διαδεδομένες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες είναι οι μολύβδου οξέος (*lead-acid*), οι νικελίου-καδμίου (*nickel-cadmium, Ni-Cd*), οι νικελίου υδριδίου μετάλλου (*nickel-metal hydride, Ni-MH*) και οι ιόντων λιθίου (*lithium ion*), μια παραλλαγή των οποίων είναι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου πολυμερούς (*lithium ion polymer*)

Τύπος μπαταρίας	Ειδική ενέργεια (Wh/kg)	Πυκνότητα ενέργειας (Wh/L)	Ειδική ισχύς (W/kg)	Ονομαστική τάση στοιχείου (V)
Μολύβδου-οξέος	30	75	250	2
Νικελίου-καδμίου	50	80	150	1.2
Νικελίου-μεταλλικού υδριδίου	65	150	200	1.2
Λιθίου-ιόντος	90	150	300	3.6
Ψευδαργύρου-αέρα	230	270	105	1.65

Πίνακας 1.3 Βασικά χαρακτηριστικά των πιο διαδεδομένων τύπων μπαταριών

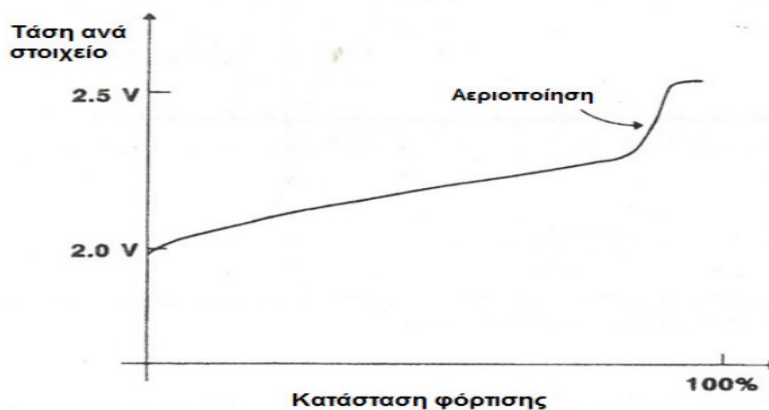
Όταν ένα σύστημα με Φ/Β πλαίσια δεν είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο διανομής Εηλ., αλλά λειτουργεί αυτόνομα και συνήθως αποκεντρωμένα, υπάρχει η ανάγκη αποθήκευσης της Εηλ. για χρήση τις νυχτερινές ώρες ή τις ημέρες με συννεφιά (μικρή ή μηδενική ηλιοφάνεια). Το μέγεθος της Εηλ. που πρέπει να αποθηκευτεί εξαρτάται από τις ανάγκες (ζήτηση) που έχουμε σε ημερήσια βάση, την περίοδο που υπάρχει αυτή η ζήτηση μέσα στον χρόνο (καθημερινή, σαββατοκύριακα, σαββατοκύριακα μόνο τους καλοκαιρινούς μήνες, καθημερινά τους καλοκαιρινούς μήνες, μόνο τον χειμώνα κλπ.), το ποσοστό κάλυψης των αναγκών από το Φ/Β Σύστημα και από την ενδεχόμενη ύπαρξη γεννήτριας (υγρών είτε αερίων καυσίμων) ως εφεδρικό σύστημα (*back-up*) με σκοπό την αδιάλειπτη παροχή ισχύος (*Uninterruptible Power Supply – UPS*). Η τοποθέτηση των συσσωρευτών γίνεται μέσα σε ειδικό-κλειστό χώρο, καλά αεριζόμενο, θα πρέπει να γίνεται σε σειρές με άνετο χώρο για ευκολία στην παρακολούθηση και την συντήρηση, υπάρχουν ειδικές βάσεις για την τοποθέτηση των συσσωρευτών που έχουν σκοπό να τηρούνται οι προαναφερθέντες προδιαγραφές. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στις συνδέσεις των ακροδεκτών στους πόλους των συσσωρευτών. Οι συνδέσεις θα πρέπει να γίνονται με ειδικά περιλαίμια και κοχλίες, ενώ στην συνέχεια συνίσταται η προσθήκη αντισκωριακού υλικού. (Βασίλειος Δ. Μπιτζιώνης κα. 2015)

Οι μπαταρίες ή αλλιώς συσσωρευτές αποτελούν την συνηθέστερη μέθοδο αποθήκευσης ενέργειας σε Αυτόνομα (κυρίως) Φ/Β Συστήματα. Ο συνηθέστερος τύπος μπαταριών σε Φ/Β Συστήματα είναι οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος βαθιάς εκφόρτισης λόγω του μικρότερου κόστους και της αξιοπιστίας τους. Σε μια μπαταρία λαμβάνουν χώρα οι διαδικασίες της φόρτισης και της εκφόρτισης (για την βέλτιστη διεξαγωγή αυτών των διεργασιών και κατ'επέκταση την μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και σωστής λειτουργίας των μπαταριών χρησιμοποιούνται οι ρυθμιστές ή αλλιώς ελεγκτές φόρτισης). Κατά την φόρτιση έχουμε μετατροπή της Εηλ. σε χημική, ενώ κατά την εκφόρτιση το αντίθετο. Τα δύο βασικότερα μεγέθη σε μια μπαταρία είναι η χωρητικότητα C (σε Ah) που αντιπροσωπεύει την ποσότητα φορτίου που μια μπαταρία μπορεί να παρέχει κατά την διάρκεια μίας εκφόρτισης και η Τάση (σε Volt), που αντιπροσωπεύει την ποιότητα και το μέγεθος του συστήματος θα μπορούσαμε να πούμε. Κατά την διάρκεια της φόρτισης αυξάνεται η τάση

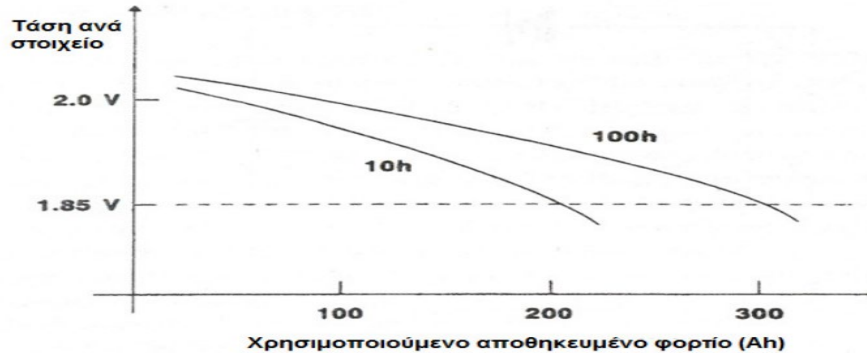


της μπαταρίας, ενώ κατά την εκφόρτιση μειώνεται. Η λειτουργία της μπαταρίας επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό και από τον ρυθμό φόρτισης/εκφόρτισης, που αντιπροσωπεύει το ρεύμα στο οποίο φορτίζονται και αντίστοιχα εκφορτίζονται για συγκεκριμένο αριθμό ωρών (π.χ. C/10 εκφορτίζεται για 10 ώρες, C/100 για 100 ώρες κλπ.). Όσο μακρύτερη χρονικά είναι η περίοδος φόρτισης (λιγότερα Amperes), τόσο υψηλότερη είναι η τελική στάθμη της χωρητικότητας και τόσο καλύτερη είναι η κατάσταση του συσσωρευτή. Η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών δίνεται σε κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης, για συγκεκριμένο βάθος εκφόρτισης (Depth Of Discharge) και συνθήκες περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία). Το γινόμενο του βάθους εκφόρτισης επί τους κύκλους λειτουργίας είναι περίπου σταθερό, κατά συνέπεια όσο αυξάνεται το βάθος εκφόρτισης ενός συσσωρευτή τόσο μειώνεται ο χρόνος ζωής του.

Σημείωση: Δεν πρέπει να αφήσουμε να εκφορτιστεί τελείως ένας συσσωρευτής επειδή κινδυνεύει να πάθει "θειίκωση" και δεν θα μπορεί να επαναφορτιστεί, στην ουσία αχρηστεύει. Θειίκωση έχουμε όταν κρύσταλλοι θειικού μολύβδου επικάθονται στα ηλεκτρόδια και εμποδίζουν την περαιτέρω επικοινωνία με το άμεσο περιβάλλον τους. Ανθεκτικοί στην παρατεταμένη εκφόρτιση είναι οι συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης (deep discharge), όπου και χρησιμοποιούνται κατά κόρον στα Φ/Β Συστήματα και φτάνουν μέχρι 80% βάθος εκφόρτισης από την συνολική ονομαστική χωρητικότητα. Τα δίβολτα (2V) στοιχεία παρουσιάζουν μεγάλες χωρητικότητες και την καλύτερη συμπεριφορά σε περιπτώσεις ακραίων συνθηκών.



Σχήμα 1.53 Μεταβολή της τάσης κατά την φόρτιση συσσωρευτή και η θετική επίδραση της αεριοποίησης



Σχήμα 1.54 Επίδραση της χωρητικότητας ενός συσσωρευτή με την διακύμανση του ρυθμού εκφόρτισης

Κατά κύριο λόγο, το πάχος των πλακών είναι ο παράγοντας που ορίζει κάποιον τύπο μπαταρίας ως βαθιάς εκφόρτισης ή μη βαθιάς εκφόρτισης. Οι απώλειες εξαιτίας εσωτερικών αντιστάσεων είναι συνήθως 10%-15% για καινούργιες μπαταρίες ευρείας εφαρμογής (τύπου Flooded – Υγρού Ηλεκτρολύτη) και μπορεί να φτάσει πάνω από 25% για παλαιότερες. Οποιοδήποτε “ρεύμα – πακέτο ενέργειας” που δεν οδηγείται προς την φόρτιση της μπαταρίας (ωφέλιμο), μετατρέπεται σε απώλειες υπό την μορφή θερμότητας. Η ικανότητα λειτουργίας ενός συσσωρευτή μπορεί να μειωθεί δραματικά σε ψυχρότερες συνθήκες, όπου λαμβάνουν χώρα τα ακόλουθα:

1. Μείωση της χωρητικότητας
2. Μείωση της τάσης εξόδου
3. Αυξημένη ευπάθεια στην ψύξη κατά την εκφόρτιση

Αυτό σημαίνει ότι οι συσσωρευτές μολύβδου-οξέος πρέπει να προστατεύονται καλά στα ψυχρά κλίματα. Επίσης η προφανής αύξηση της χωρητικότητας του συσσωρευτή στις υψηλές θερμοκρασίες δεν σημαίνει ότι η θερμότητα κάνει καλό στο συσσωρευτή. Στην πραγματικότητα, 3 η διάρκεια ζωής του συσσωρευτή μειώνεται κατά 50% για κάθε 10°C πάνω από τη βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας των 25°C.

Σύνηθες κατηγορίες συσσωρευτών

- OPzS & OPzV αποτελούν σωληνωτούς συσσωρευτές μολύβδου οξέος. Έχουν υψηλότερη πυκνότητα μολύβδου με πιο μεγάλη επιφάνεια όπου τους προσφέρει υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα και πιο μακρά διάρκεια ζωής. Η διαφορά μεταξύ των δύο κατηγοριών βρίσκεται στο γεγονός ότι: οι OPzS (sealed) είναι υγρού ηλεκτρολύτη (συνήθως θειικό οξύ), που σημαίνει ότι ο ηλεκτρολύτης βρίσκεται σε υγρή μορφή στο εσωτερικό της ράβδου σε αντίθεση με τις OPzV (valve regulated), όπου είναι στερεού ηλεκτρολύτη και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση



- Δίβολτα στοιχεία (2V cells)
Χαρακτηρίζονται από: μεγάλη διάρκεια ζωής, καλύτερη λειτουργία σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας/περιβάλλοντος, περισσότερους κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης (2000 με 3000 για DOD 50%). Αποτελούν την πιο αξιόπιστη και ασφαλή λύση στα Αυτόνομα Φ/Β Συστήματα

Κυριότεροι τύποι Κλειστού τύπου: VRLA (Valve Regulated Lead Acid) → OPzV κατά DIN:

AGM, GEL, CARBON (βελτιωμένη τεχνολογία μολύβδου)

Στους συσσωρευτές GEL το θειικό οξύ είναι αναμεμιγμένο με καπνισμένο πυρίτιο. Το αποτέλεσμα είναι ένα παχύρευστο υγρό που μοιάζει με ζελέ. Είναι γενικά πιο ανθεκτικοί στην χρήση τους.

Στους συσσωρευτές AGM, ανάμεσα στις πλάκες μολύβδου, υπάρχει ένα πορώδες υλικό από ίνες γυαλιού εμποτισμένο με το διάλυμα θειικού οξέος. Δεν απαιτούν συντήρηση εξαιτίας της λειτουργίας ανακυκλοφορίας των αερίων προς υγρό. Ο ηλεκτρολύτης τύπου γέλης "ζελέ" δημιουργείται μέσω της αντίδρασης πυριτίου (Si) με το θειικό οξύ. Απαιτείτε τεράστια προσοχή ώστε να μην εκτεθούν σε υψηλές εντάσεις ρεύματος, διότι κάτι τέτοιο επιφέρει την σταδιακή καταστροφή του ηλεκτρολύτη. Αποτελούν πιο κοστοβόρο λύση και επιλέγονται κυρίως για χώρους, μη-καλά αεριζόμενους. Παρέχουν υψηλή αντοχή σε κραδασμούς και δονήσεις.

Τύποι Ανοιχτού τύπου: Είναι οι πιο κοινά χρησιμοποιούμενες, τα δημιουργούμενα αέρια εκλύονται στο περιβάλλον. Οικονομικά αποδοτική λύση για αποθήκευση ενέργειας και μεγάλη διάρκεια ζωής. Απαιτείται συμπλήρωμα ηλεκτρολύτη ή/και απιονισμένου νερού για συντήρηση. Διαδικασία εξισορρόπησης είναι προτεινόμενο να γίνεται 2-3 φορές τον χρόνο, όπου τροφοδοτούνται με τάση υψηλότερη από την ονομαστική τους για κάποιο χρονικό διάστημα.

Βασικά στοιχεία συσσωρευτών σε Φ/Β Συστήματα (Αυτόνομα κυρίως)

Μολύβδου Θειικού οξέος

- a. Χαμηλότερο κόστος
- b. Μεγάλες χωρητικότητες
- c. Μεγαλύτερο βάρος

Ιόντων Λιθίου

- d. Ακριβότερες
- e. Μεγαλύτερος χρόνος ζωής
- f. Αποδοτικότερες



Βασικά χαρακτηριστικά Συσσωρευτών

- Ονομαστική Χωρητικότητα (C) σε Ah
- Ονομαστική Τάση
- Βάθος εκφόρτισης (Depth of Discharge - DOD)
- Απόδοση (Ενδεικτική τιμή 85%)
- Χρόνος ζωής και εγγύηση

Στην πράξη συνδέουμε σε σειρά δύο ή και περισσότερους συσσωρευτές που έχουν τα ίδια ονομαστικά μεγέθη (τάση, ένταση, χωρητικότητα) για την αύξηση της τάσης του συστήματος και παράλληλα για την αύξηση την χωρητικότητας (αλλά με περιορισμούς).

Όταν συνδέουμε τους συσσωρευτές σε σειρά, για αύξηση της τάσης και μείωση των απωλειών, το μέγιστο ρεύμα της συστοιχίας δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο ρεύμα που αποδίδει κάθε συσσωρευτής μόνος του.

Υποθέτουμε φορτίο ισχύος 2400 W

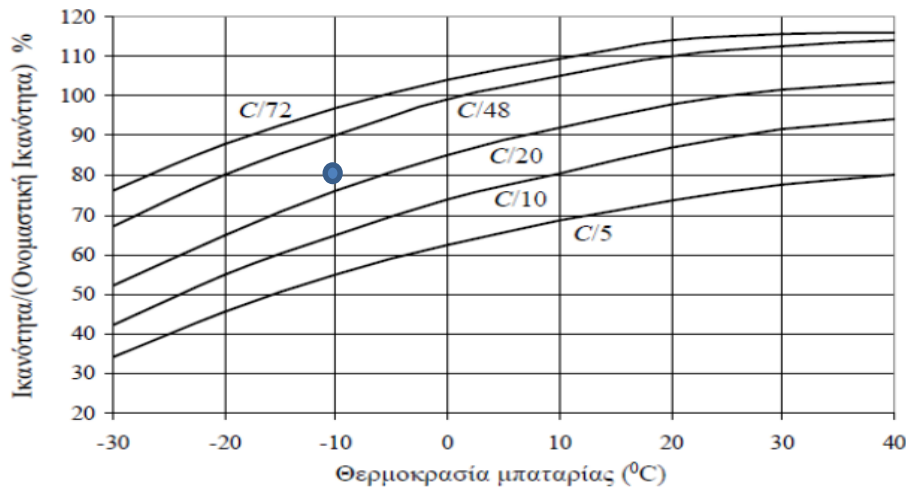
Ρεύμα 50 A εξέρχεται από συστοιχία 48 V

Ρεύμα 100 A εξέρχεται από συστοιχία 24 V

Ρεύμα 200 A εξέρχεται από συστοιχία 12 V

Υψηλά ρεύματα οδηγού σε υψηλές ωμικές απώλειες

Για την διαστασιολόγηση μιας μπαταρίας μολύβδου-οξέος μπορεί να ληφθεί υπόψη το διάγραμμα (καμπύλες) θερμοκρασίας μπαταρίας συναρτήσεως της Ικανότητας/Ονομαστικής Ικανότητας, το οποίο είναι πολύ πρακτικό.



Σχήμα 1.55 Η ικανότητα της μπαταρίας μολύβδου-οξέος εξαρτάται από τον ρυθμό εκφόρτισης και τη θερμοκρασία. Η ονομαστική ικανότητα αναφέρεται σε ρυθμό C/20 και θερμοκρασία 25°C

Για παράδειγμα, η μπλε κουκίδα που τοποθετήθηκε στο παραπάνω γράφημα (βλ. Σχήμα 1.55), σημαίνει ότι στους -10°C μια μπαταρία με ρυθμό εκφόρτισης C/48 έχει ικανότητα το 90% της ονομαστικής της ικανότητας, δηλαδή αυτής που έχει στους 25°C και με ρυθμό εκφόρτισης C/20.

Ρυθμιστές φόρτισης (P/Φ)

Η διαχείριση της ενέργειας που παράγουν τα Φ/Β Συστήματα απαιτεί την χρήση ηλεκτρονικών διατάξεων κατάλληλων για την βελτιστοποίηση της αποθήκευσης, της μεταφοράς και προστασίας του συστήματος, ειδικά των συσσωρευτών από φαινόμενα υπερφόρτισης και υπερεκφόρτισης. Η φόρτιση των συσσωρευτών μέσω μιας πηγής Εηλ., π.χ. Φ/Β Σύστημα, Α/Γ, Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος (Η/Ζ) είτε μέσω του κεντρικού δικτύου διανομής Εηλ. απαιτεί τον συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισης, ώστε, όταν αυτή φτάσει στο μέγιστο σημείο της, να διακόπτεται. Με τον τρόπο αυτόν αποφεύγεται η υπέρταση του συσσωρευτή, η οποία μπορεί να προκαλέσει την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου εξαιτίας της ηλεκτρόλυσης. Η εκφόρτιση από την άλλη προς τις καταναλώσεις, απαιτεί τον συνεχή έλεγχο, ώστε να προληφθεί η καταστροφή τους σε περίπτωση υπερεκφόρτισης. Οι παραπάνω διεργασίες επιτυγχάνονται από ένα σύνολο ολοκληρωμένων συστημάτων που ελέγχουν ηλεκτρικούς διακόπτες, ηλεκτρομηχανικούς διακόπτες (relays), ηλεκτρονικά ισχύος (transistors, thyristors, triacs κλπ.) Οι ρυθμιστές φόρτισης τοποθετούνται μεταξύ της Φ/Β συστοιχίας και των συσσωρευτών. Η κύρια λειτουργία τους είναι να ελέγχουν τη φόρτιση που εισέρχεται στους συσσωρευτές από τη Φ/Β συστοιχία. Οι ρυθμιστές φόρτισης είναι ο «εγκέφαλος» του συστήματος και συντονίζουν τα κύρια στοιχεία οποιουδήποτε συστήματος εκτός δικτύου: Φ/Β συστοιχία, συσσωρευτές και φορτία. Οι συνήθεις τάσεις στα συστήματα εκτός δικτύου είναι 12V, 24V και 48V, οι οποίες είναι ίσες με την τάση των συσσωρευτών του συστήματος.

Οι δύο κύριοι τύποι ρυθμιστών φόρτισης είναι: **PWM και MPPT**



Οι ρυθμιστές φόρτισης PWM (διαμόρφωσης εύρους παλμών) μειώνουν την τάση από το ΦΒ πλαίσιο σε αυτήν του συσσωρευτή, με αποτέλεσμα τη μείωση της αποδοτικότητας (λειτουργούν σαν κόφτες).

Οι ρυθμιστές φόρτισης MPPT (ανίχνευσης σημείου μέγιστης ισχύος) επιτρέπουν στα ΦΒ πλαίσια να λειτουργούν στην (υψηλότερη) βέλτιστη τάση τους υπό διαφορετικές συνθήκες ηλιοφάνειας.

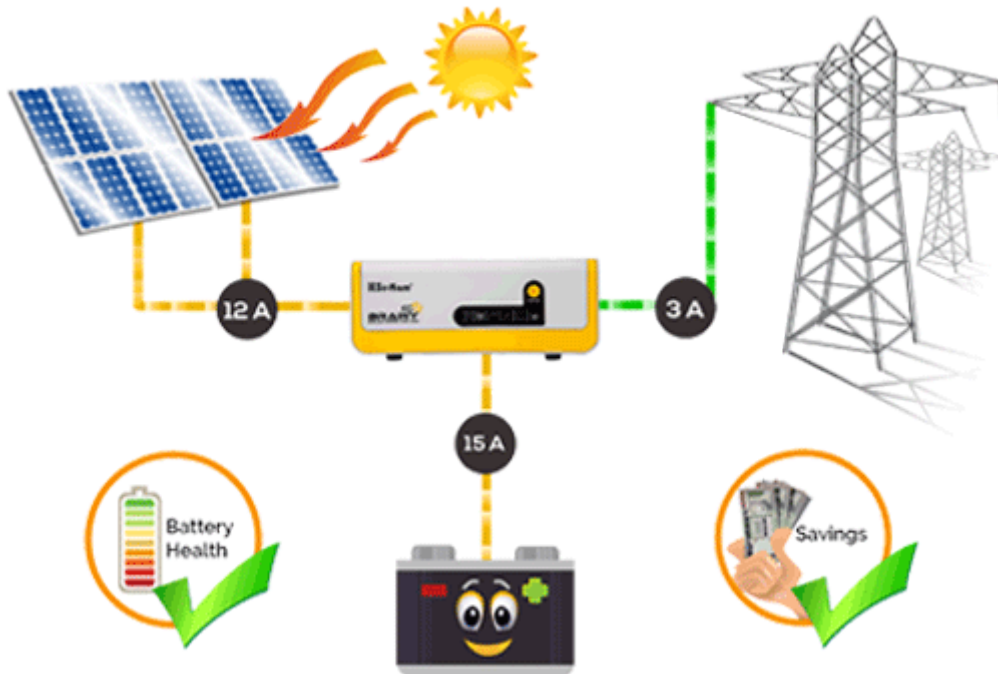
Σε σύγκριση με τη λειτουργία PWM, οι ρυθμιστές φόρτισης MPPT μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα του συστήματος έως και 30%, αλλά έχουν υψηλότερο κόστος. Οι ρυθμιστές φόρτισης τοποθετούνται σε ένα κλειστό χώρο (π.χ. ντουλάπι) όσο το δυνατόν πλησιέστερα στους συσσωρευτές, για να αποφευχθούν αιφνίδιες πτώσεις τάσης, αλλά με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επηρεάζονται από τα αέρια του συσσωρευτή. Υπάρχει η δυνατότητα ακόμη να είναι ενσωματωμένοι στον Μετατροπέα Τάσης (M/T).

Μετατροπείς Τάσης (M/T) - Inverters

Οι Μετατροπείς Τάσης (M/T) ή αλλιώς αντιστροφείς μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα (DC) των Φ/Β πλαισίων σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) που συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του δικτύου και τροφοδοτούν είτε το δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο είτε τοπικά φορτία AC. Ταυτόχρονα, ελέγχουν και παρακολουθούν ολόκληρη την εγκατάσταση, διασφαλίζοντας ότι τα Φ/Β πλαίσια λειτουργούν πάντοτε στο σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) που εξαρτάται από την ακτινοβολία και τη θερμοκρασία, ενώ παράλληλα παρακολουθούν συνεχώς το ηλεκτρικό δίκτυο (εάν το σύστημα είναι συνδεδεμένο σε αυτό) και είναι υπεύθυνοι για την τήρηση διαφόρων κριτηρίων ασφαλείας. Η απόδοσή τους για τα σύγχρονα μοντέλα τεχνολογίας αιχμής μπορεί να ξεπεράσει το 98%.

Οι αντιστροφείς μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Αντιστροφείς στοιχειοσειράς (string)
- Κεντρικοί αντιστροφείς
- Μικρο-αντιστροφείς
- Συστήματα αντιστροφέων/ρυθμιστών φόρτισης (hybrid)



Σχήμα 1.56 Λειτουργία ενός Μ/Τ με ενσωματωμένο Ρ/Φ (Inverter & Charger), οι κίτρινη γραμμή αντιπροσωπεύει το συνεχές ρεύμα (DC) ενώ οι πράσινη το εναλλασσόμενο (AC)

Συστήματα Στήριξης (Σ/Σ)

Για την εγκατάσταση των Φ/Β πλαισίων (συλλεκτών) χρειάζεται προσεκτική και άρτια μεθοδευμένη κατά περίπτωση μελέτη (χωροταξική τοποθέτηση υλικών για την βελτιστοποίηση της κάλυψης και της ασφαλούς λειτουργίας) που αφορά δύο στάδια:

- ❖ Την κατασκευή των βάσεων (συναρμολόγηση)
- ❖ Την στήριξη των Φ/Β συλλεκτών πάνω στις βάσεις

Κατασκευάζονται βάσεις στήριξης, σταθερές ή περιστρεφόμενες, που αφορούν τους διάφορους τύπους και τον αριθμό των συλλεκτών που τοποθετούνται πάνω σε αυτές. Αποτελούνται από τμήματα μεταλλικών κοιλοδοκών κυκλικής, τετραγωνικής ή γωνιακής διατομής, πάχους τουλάχιστον 3mm, γαλβανισμένες εν θερμώ, ανοξείδωτα ή αλουμινίου. Η τοποθέτηση σε οικόπεδα γίνεται είτε με τσιμεντένιες βάσεις, είτε με πασαλόμπηξη, είτε με ειδικές βιδωτές βάσεις. *Οι βάσεις στήριξης των Φ/Β πλαισίων μπορούν να κατασκευαστούν:*

- α) Σταθερές, χωρίς την δυνατότητα αυξομείωσης της κλίσης.** Αποτελούν την φθηνότερη λύση και η τοποθέτησή τους γίνεται σε μέρη όπου είναι δύσκολη η χειροκίνητη ρύθμιση της κλίσης του συλλέκτη αλλά και στα Φ/Β πάρκα όταν δεν τοποθετούνται συστήματα ιχνηλάτισης της τροχιάς του ήλιου. Η τοποθέτησή τους συνήθως γίνεται με προσανατολισμό τον Νότο (για περιοχές του Βορείου



Ημισφαιρίου) και με μόνιμη κλίση την ετήσια βέλτιστη κλίση της συγκεκριμένης περιοχής

- b) **Αρθρωτές** με δυνατότητα χειροκίνητης αυξομείωσης της κλίσης ανά μία είτε ανά πέντε μοίρες και από 25 μέχρι 75 μοίρες (κυρίως). Αποτελούν την πιο συνηθισμένη λύση, ενώ η τοποθέτησή τους γίνεται με προσανατολισμό τον Νότο (για περιοχές του Βορείου Ημισφαιρίου). Η ρύθμιση προτείνεται να γίνεται κάθε μήνα με βάση την βέλτιστη μηνιαία κλίση της συγκεκριμένης περιοχής, είτε ανά τέσσερις μήνες, με βάση την βέλτιστη εποχιακή κλίση της συγκεκριμένης περιοχής

Τα πλεονεκτήματα που έχουμε από τις τοποθετήσεις Φ/Β συλλεκτών σε δώματα κτιρίων είναι:

- Κατάλληλα διαμορφωμένο οριζόντιο επίπεδο για την στήριξη των βάσεων
- Εύκολη πρόσβαση για μηνιαία χειροκίνητη ρύθμιση της κλίσης των συλλεκτών
- Σχετικά μικρή δαπάνη εγκατάστασης

Μειονεκτήματα:

- Περιορισμένος χώρος για την ανάπτυξη πολλών Φ/Β πλαισίων
- Κίνδυνος σκίασης από τα κοντινά στο δώμα εμπόδια των ηλιακών ακτινών (π.χ. ψηλότερα κτίρια, βλάστηση, κολόνες κλπ.)

- c) **Κινούμενες (περιστρεφόμενες)** με αυτόματη πορεία από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά κατά την διάρκεια της ημέρας και προσανατολισμό Νότιο (αζιμούθιο) με χειροκίνητη μεταβολή ως προς τον οριζόντιο άξονα (1-axis tracking systems). Αποτελούν μια ακριβή, αλλά και αρκετά αποδοτική λύση των Φ/Β εγκαταστάσεων. Οι Φ/Β συλλέκτες τοποθετούνται πάνω σε ένα ειδικά κατασκευασμένο μονοαξονικό σύστημα, το οποίο παρακολουθεί την πορεία του ήλιου από την Ανατολή μέχρι και την Δύση του. Η παρακολούθηση της τροχιάς του ήλιου μπορεί να γίνει με την βοήθεια αισθητήρα ή/και σε συνδυασμό με ειδικά διαμορφωμένο αλγόριθμο όπου δίνει εντολή για την κίνηση του μονοαξονικού συστήματος βάση αστρολογικών δεδομένων, τοποθεσίας και ανάγλυφου καθώς και λοιπών παραμέτρων όπου είναι καλό να υπεισέλθουν στην εξίσωση για την εκάστοτε περίπτωση εγκατάστασης. Ώρα εκκίνησης της πορείας λαμβάνεται η ώρα που ο ήλιος ανατέλλει κατά την εαρινή ισημερία. Επειδή ο μηχανισμός μετακίνησης είναι εκτεθειμένος στις καιρικές συνθήκες, θα πρέπει να είναι στεγανός και τα κινητά μέρη να είναι ανοξειδωτά, έτσι ώστε να απαιτείται ελάχιστη συντήρηση. Ο άξονας στήριξης της κινούμενης βάσης πρέπει να πακτώνεται προσεκτικά σε ειδική βάση από σπλισμένο σκυρόδεμα, το μέγεθος της οποίας είναι ανάλογο της εγκατεστημένης ισχύος των Φ/Β πλαισίων που θα φέρει και κατά συνέπεια της επιφάνειας που αυτά θα καλύπτουν.

Πλεονεκτήματα:

- Αύξηση της παραγόμενης ενέργειας από τους Φ/Β συλλέκτες από 25% μέχρι 35% κατά μέσο όρο τον χρόνο κατά 55% την καλοκαιρινή περίοδο
- Εύκολη διαδικασία ρύθμισης της κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο

Μειονεκτήματα:

- Υψηλό κόστος των κινούμενων βάσεων
- Υψηλό κόστος εγκατάστασης



- Απαιτείται μεγάλη επιφάνεια για την εγκατάσταση (1,5 – 3 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τις σταθερές)
- Απαιτείται πιο τακτική συντήρηση

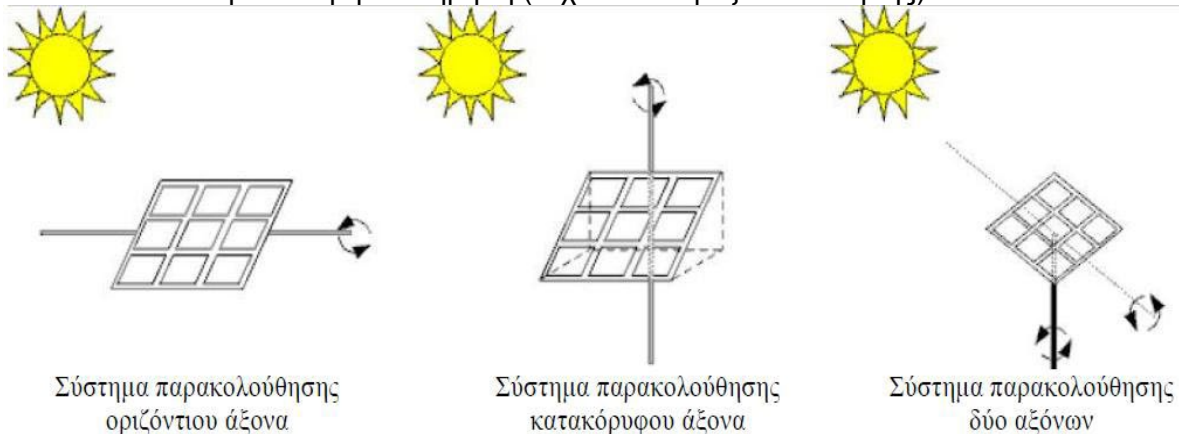
d) Κινούμενες (περιστρεφόμενες) με αυτόματη παρακολούθηση της κίνησης του ήλιου καθημερινά και σε ετήσια βάση, έτσι ώστε να έχουμε συνεχώς κάθετη πρόσπτωση των ηλιακών ακτινών πάνω στους συλλέκτες (2-axis tracking systems). Αποτελούν την πλέον ακριβή και αποδοτικότερη λύση, η παρακολούθηση της τροχιάς του ήλιου γίνεται με την βοήθεια δύο αξόνων (δύο σερβοκινητήρες και δύο αισθητήρες), έτσι ώστε να αλλάζουν συνεχώς η κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο (γωνία β) και ο προσανατολισμός (γωνία γ). Το όλο σύστημα είναι προγραμματισμένο έτσι ώστε να περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ίση με την ωριαία γωνία του ήλιου (a_s).

Πλεονεκτήματα:

- Πλήρως αυτοματοποιημένη λειτουργία
- Πολύ υψηλή απόδοση

Μειονεκτήματα:

- Πολύ υψηλό κόστος των κινούμενων βάσεων
- Υψηλό κόστος εγκατάστασης
- Απαιτείται μεγάλη επιφάνεια για την εγκατάσταση (1,5 – 3 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τις σταθερές)
- Περισσότερη συντήρηση (π.χ. λίπανση αξόνων κίνησης)



Σχήμα 1.57 Είδη συστημάτων ιχνηλάτισης της τροχιάς του ήλιου (tracking systems)

Ανορθωτές (πιο σπάνια)

Μετατρέπουν το εναλλασσόμενο (AC) σε συνεχές ρεύμα (DC), για παράδειγμα πολλές ηλεκτρονικές συσκευές του σπιτιού όπως οι φορτιστές λειτουργούν με αυτόν τον τρόπο. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε Αυτόνομα Φ/Β συστήματα, συνήθως συνδέονται με νητζελογεννήτριες είτε με το κεντρικό δίκτυο διανομής Εηλ. και χρησιμοποιούνται για την επαναφόρτιση των συσσωρευτών, εξασφαλίζοντας την συνεχή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές. Σε πολλές περιπτώσεις βρίσκονται ενσωματωμένοι στους Μ/Τ.



Καλωδίωση

Σε μια Φ/Β εγκατάσταση χρησιμοποιούνται καλώδια DC, στην διασύνδεση των Φ/Β μονάδων μεταξύ τους και στην σύνδεση των στοιχειοσειρών με τους Μ/Τ. Αντίστοιχα, στην διασύνδεση των Μ/Τ με το ηλεκτρικό δίκτυο χρησιμοποιούνται καλώδια ισχύος AC. Εξαιτίας της ωμικής αντίστασης των αγωγών προκαλούνται απώλειες ισχύος στις καλωδιώσεις της εγκατάστασης. Στον περιορισμό των απωλειών της καλωδίωσης απαιτείται η κατάλληλη χωροθέτηση των Φ/Β πλαισίων – στοιχειοσειρών, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το ολικό μήκος της καλωδίωσης. Με δεδομένο το μήκος των αγωγών και τον τύπο τους, η ωμική αντίσταση εξαρτάται από την διατομή των αγωγών, η συνθήκη που χρησιμοποιείται συνήθως στην επιλογή της διατομής των καλωδίων είναι οι απώλειες ισχύος να μην υπερβαίνουν το 1% της ονομαστικής ισχύος της εγκατάστασης, τόσο στο όσο και στο τμήμα της καλωδίωσης. Επομένως, οι ολικές απώλειες στην καλωδίωση πρέπει να είναι μικρότερες από το 2% της ονομαστικής ισχύος της εγκατάστασης.

- ✓ Δεν είναι απαραίτητη η παρουσία όλων των παραπάνω εξαρτημάτων σε όλες τις κατηγορίες συστημάτων που περιέχουν φωτοβολταϊκά πλαίσια. Για παράδειγμα, σε συστήματα όπου δεν υπάρχει ζήτηση εναλλασσόμενου ρεύματος δεν είναι απαραίτητη η παρουσία μετατροπέα, ενώ σε συστήματα που είναι διασυνδεδεμένα με το κεντρικό δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι απαραίτητη η εγκατάσταση μπαταριών

1.4. Βελτίωση απόδοσης των Φ/Β συναρτήσεων διαφόρων παραμέτρων

Η **ταξινόμηση** των Φ/Β πλαισίων γίνεται ανάλογα με την ισχύ που αυτά αποδίδουν κάτω από τις πρότυπες συνθήκες δοκιμής (STC – Standard Test Conditions) που αναφέρονται σε:

- ✚ Πυκνότητα ισχύος (ένταση) ηλιακής ακτινοβολίας: 1 kW/m²
- ✚ Θερμοκρασία πλαισίου: 25 °C
- ✚ Τιμή μάζας αέρα¹¹ ή φασματική κατανομή: AM1.5

Η ισχύς που μετράται υπό STC εκφράζεται σε Watt Αιχμής (Wp), όπου είναι η μέγιστη παραγόμενη ισχύς μιας Φ/Β μονάδας.

Στις πρακτικές εφαρμογές, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μικρότερη από 1kW/m², συνήθως κυμαίνεται από 200 έως 800W/m², η φασματική κατανομή είναι διαφορετική από την AM1.5 και η θερμοκρασία των Φ/Β πλαισίων είναι αρκετά μεγαλύτερη από τους 25 °C, περίπου 40 °C έως 60 °C. Συνθήκες ονομαστικής θερμοκρασίας λειτουργίας φ/β στοιχείου (NOCT): η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας φ/β στοιχείου (Nominal Operating Cell Temperature) ορίζεται ως η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται με ανοιχτοκυκλωμένα φ/β στοιχεία σε ένα Φ/Β πλαίσιο υπό τις ακόλουθες συνθήκες:

- ✚ Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του φ/β στοιχείου ίση με 800 W/m²

¹¹ Χαρακτηρίζει την επίδραση της καθαρής ατμόσφαιρας πάνω στο ηλιακό φως, και είναι ίση με το σχετικό μήκος της διαδρομής της απευθείας δέσμης διαμέσου της ατμόσφαιρας. Εξαρτάται από τη γωνία ζενίθ του ήλιου θ_z και τυπική τιμή της είναι η AM1.5 (για AM=1.5 προκύπτει ότι $\theta_z=48.2^\circ$)

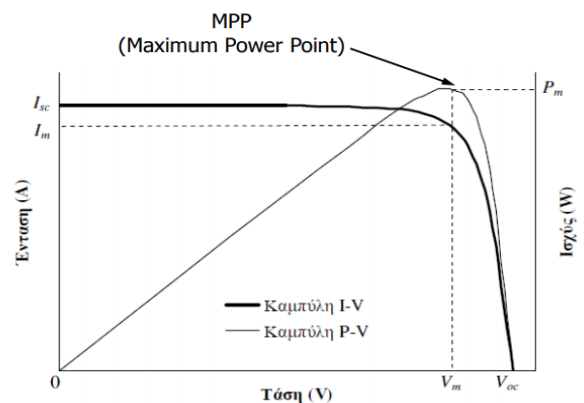


- ✚ Θερμοκρασία ίση με 20 °C
- ✚ Ταχύτητα ανέμου ίση με 1 m/s
- ✚ Τοποθέτηση: ανοιχτή πίσω πλευρά
- ✚ Οι τυπικές τιμές της θερμοκρασίας *NOCT* κυμαίνονται από 43-48 °C, όσο χαμηλότερη τόσο το καλύτερο

Καμπύλες Ρεύματος-Τάσης (I-V) και Ισχύος-Τάσης (P-V)

Τα βασικότερα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός Φ/Β πλαισίου, τα οποία προκύπτουν από τις πρότυπες συνθήκες δοκιμής (STC) και χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση καθώς και την ταξινόμηση ενός Φ/Β πλαισίου αναγράφονται στην πίσω πλευρά τους. Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά πραγματοποιείται πρακτικά η διαστασιολόγηση ενός Φ/Β Συστήματος. **Βασικότερα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός Φ/Β πλαισίου:**

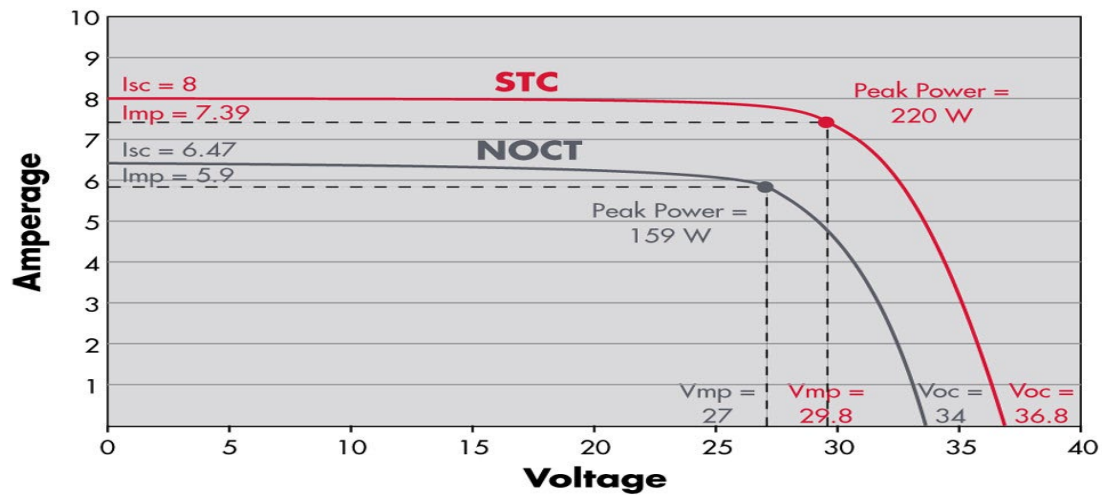
- ❖ V_{oc} : Τάση ανοιχτοκύκλωσης
- ❖ I_{sc} : Ρεύμα βραχυκύκλωσης
- ❖ MPP: Σημείο μέγιστης ισχύος
- ❖ P_m : Μέγιστη παραγόμενη ισχύς
- ❖ V_m : Τάση σημείου μέγιστης ισχύος
- ❖ I_m : Ρεύμα σημείου μέγιστης ισχύος



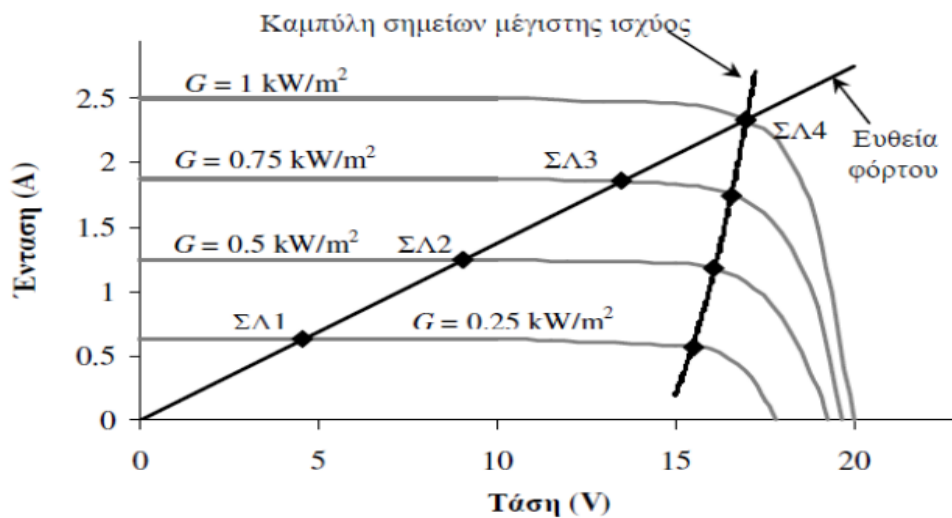
Παρακάτω βλέπουμε ένα διάγραμμα, όπου απεικονίζει τις διαφορές στις χαρακτηριστικές καμπύλες Ρεύματος-Τάσης (I-V) ενός Φ/Β πλαισίου σε συνθήκες STC και NOCT.

Η μέγιστη παραγόμενη ισχύς ενός Φ/Β πλαισίου εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του και από τις καμπύλες I-V & P-V απ' όπου την εξάγουμε (MPP) → με τους ανιχνευτές σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT) λύνεται το πρόβλημα εύρεσης του βέλτιστου σημείου λειτουργίας Φ/Β πλαισίου.

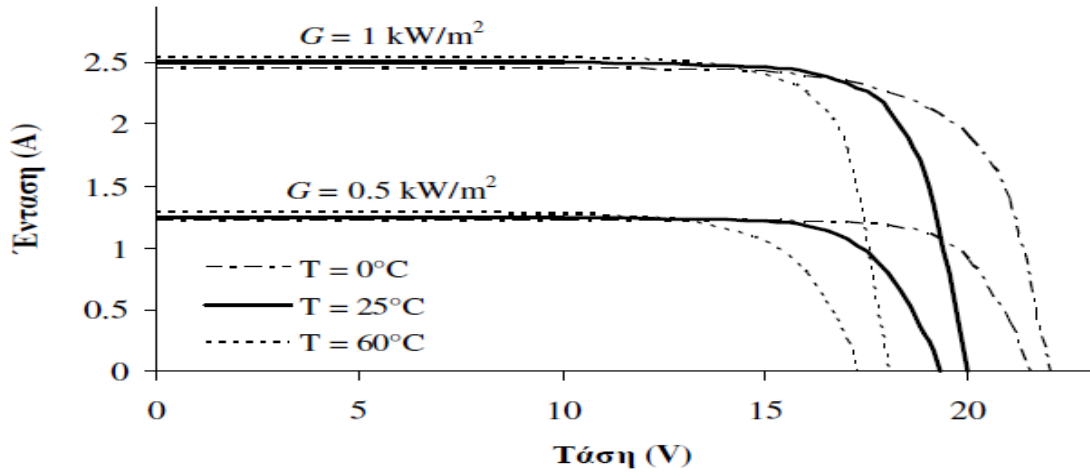
Typical IV Curves



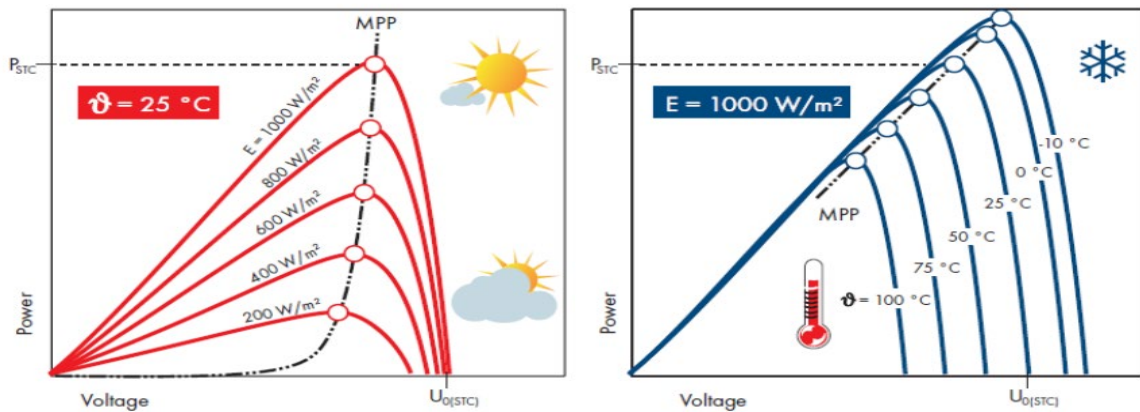
Σχήμα 1.58 Σύγκριση των χαρακτηριστικών I-V για συνθήκες STC και NOCT, όπου Peak Power είναι η Μέγιστη Ισχύς



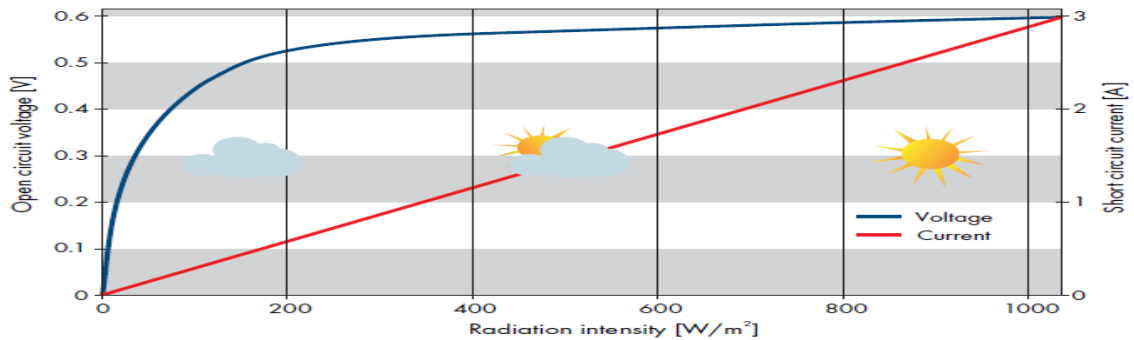
Σχήμα 1.59 Σημεία λειτουργίας Φ/Β πλαισίου για διαφορετική ένταση ακτινοβολίας (G). Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την χρήση ανιχνευτή μέγιστου σημείου ισχύος (Maximum Power Point tracker – MPPT)



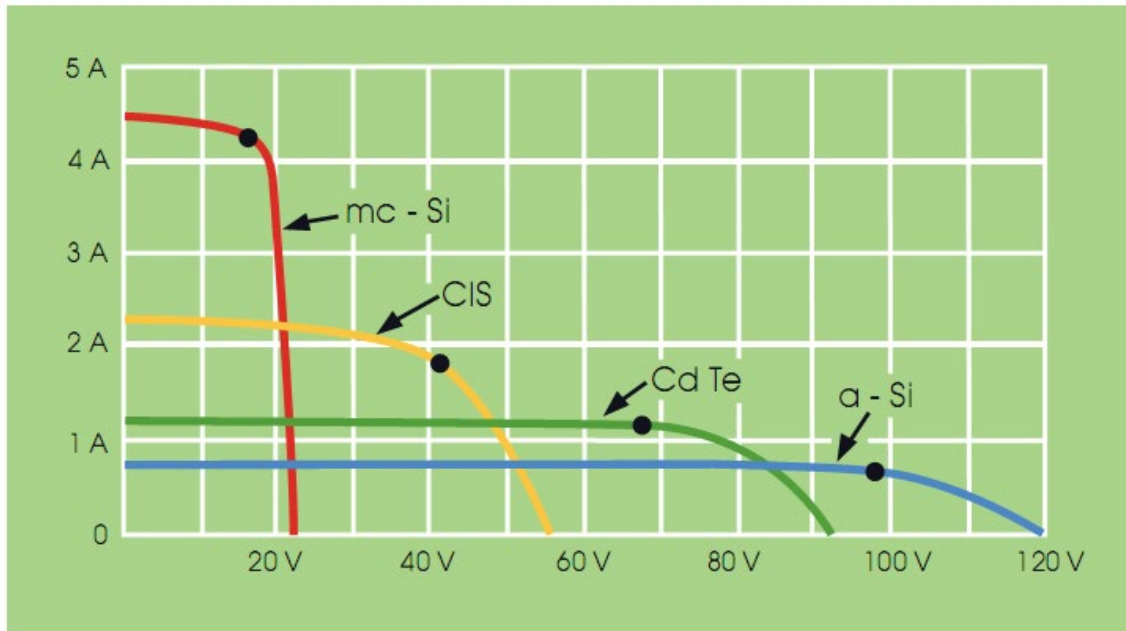
Σχήμα 1.60 Εξάρτηση χαρακτηριστικής καμπύλης I-V από την ηλιακή ακτινοβολία και την θερμοκρασία



Σχήμα 1.61 Εξάρτηση καμπύλης P-V του MPP από την ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία



Σχήμα 1.62 Εξάρτηση από την ηλιακή ακτινοβολία της V_{oc} και του I_{sc} ενός ϕ/β στοιχείου πυριτίου



Σχήμα 1.63 Χαρακτηριστικές καμπύλες I-V για ένταση ακτινοβολίας 1 kW/m², σε τέσσερα ΦΒ πλαίσια των 75 W_p διαφορετικής τεχνολογίας και γενιάς

Η επίδραση της σκίασης

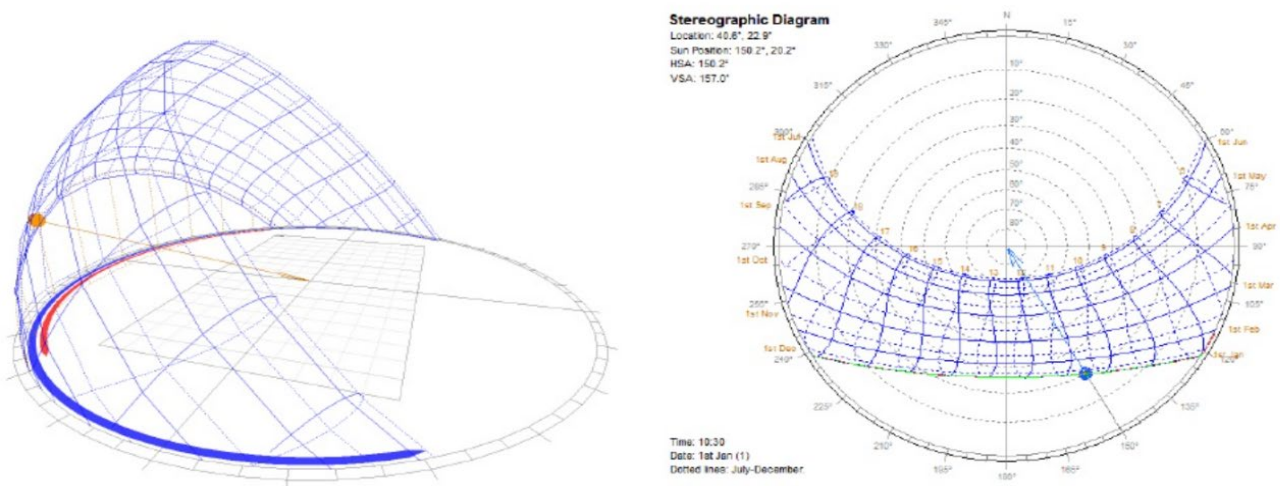
Ένα διάγραμμα της πορείας του ήλιου με τα εμπόδια του, καθιστά εύκολη την εκτίμηση των περιόδων σκίασης σε ένα πεδίο εφαρμογής. Η επίδραση της σκίασης, της έλλειψης δηλαδή ηλιακών ακτίνων, ανάγεται στην μερική ή ολική απώλεια παραγωγής ηλιακού ηλεκτρισμού. Η σκίαση δημιουργείται συνήθως από την παρουσία φυσικών εμποδίων (π.χ. δέντρα, κτίρια, κολόνες κλπ.) είτε από παροδικά φαινόμενα στοχαστικού χαρακτήρα όπως η νεφοκάλυψη. Για παράδειγμα ας θεωρήσουμε ότι τρία ηλιακά κελιά βρίσκονται συνδεδεμένα σε σειρά, εάν υποθέσουμε ότι το ένα κελί σκιάζεται πλήρως, τότε η παραγωγή ρεύματος από αυτό θα είναι μηδενική και κατά συνέπεια θα συμπεριφέρεται ως ανοιχτό κύκλωμα, μηδενίζοντας την συνολική παραγωγή E_{ηλ}.

Ανάλυση σκίασης με διαγράμματα σκίασης:

Για την δημιουργία ενός ηλιακού πεδίου είναι σημαντικό να σχεδιάσουμε την διάταξη έτσι ώστε οι συλλέκτες να μην σκιάζουν ο ένας τον άλλον. Μια απλή γραφική προσέγγιση βασίζεται στην ανάλυση των σκιών που δημιουργούνται από έναν κατακόρυφο πάσσαλο. Υποθέτοντας οριζόντιο επίπεδο, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις παρακάτω εξισώσεις για να προβλέψουμε το μήκος της σκιάς σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη τοποθεσία και ώρα της ημέρας. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.64, αν παρακολουθήσουμε την άκρη της σκιάς σε εκείνη την ημέρα παίρνουμε μια ενιαία γραμμή της άκρης της σκιάς. Με την χαρτογράφηση αυτών των γραμμών σκίασης κάθε μήνα, μπορεί να δημιουργηθεί ένα διάγραμμα σκίασης για κάθε γεωγραφικό πλάτος. Το κλειδί για να μπορούμε να εξάγουμε ποσοτικές πληροφορίες από ένα τέτοιο διάγραμμα είναι να φτιάξουμε την απόσταση μεταξύ των γραμμών πλέγματος στο διάγραμμα σκίασης να είναι ίδια όπως το ύψος του υποτιθέμενου πασσάλου. Έτσι, για παράδειγμα, το άκρο της σκιάς που πέφτει από έναν κατακόρυφο πάσσαλο στις 4:00 μ.μ. τον Δεκέμβριο έχει μήκος περίπου 6 ύψη του πασσάλου προς Βορρά και 8 ύψη πασσάλου προς Ανατολή. Το ακόλουθο παράδειγμα απεικονίζει πόσο



χρήσιμο μπορεί να είναι αυτό για τον καθορισμό της απόστασης μεταξύ των σειρών των Φ/Β πλαισίων – στοιχειοσειρών.



Σχήμα 1.64 Διάγραμμα σκίασης για περιοχή της Θεσσαλονίκης (τοποθεσία 40.6°, 22.9°) ώρα 10:30 στις 01/01, με θέση του ήλιου 150.2°, 20.2°

Μια σύνθητες επίλυση του προβλήματος αυτού είναι η προσθήκη διόδων παράκαμψης (bypass diodes) συνδεδεμένων αντιπαράλληλα προς τα ηλιακά στοιχεία. Σε κανονικές συνθήκες οι διόδοι αυτές είναι πολωμένες αντίστροφα και δεν έχουν επίδραση στην παραγωγή ενέργειας. Κατά την πλήρη σκίαση όμως ενός κελιού, το ρεύμα των υπόλοιπων ρέει διαμέσου της διόδου αυτής, η οποία πολώνεται ορθά, διατηρώντας έτσι την ροή ενέργειας. Με την βοήθεια των διόδων παράκαμψης αποφεύγονται τα προβλήματα των θερμών σημείων .

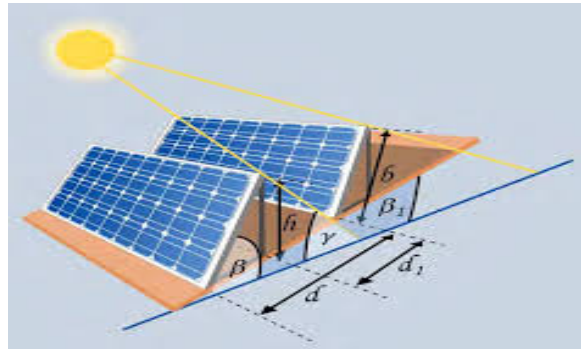
Όταν τοποθετήσουμε τα Φ/Β πλαίσια σε παράλληλες σειρές, θα πρέπει να γίνεται υπολογισμός των αποστάσεων μεταξύ των σειρών, για να αποφεύγεται το φαινόμενο της σκίασης των συλλεκτών. Η δυσμενέστερη περίπτωση για την σκίαση είναι όταν ο ήλιος βρίσκεται στο χαμηλότερο σημείο του ορίζοντα (έχει το χαμηλότερο ύψος), στις 21 Δεκεμβρίου. Όταν ο υπολογισμός για την αποφυγή σκίασης των Φ/β πλαισίων που είναι τοποθετημένα σε σειρές (τραπέζια) γίνει για τις 21 Δεκεμβρίου, τότε δεν θα έχουμε προβλήματα λόγω σκίασης καθ' όλη την διάρκεια του υπόλοιπου έτους. Για το ηλιακό μεσημέρι (γωνία ώρας $\omega = 0$), η γωνία (α_s) που μας δίνει το ύψος του ήλιου, υπολογίζεται από την σχέση $\alpha_s = 90 - \theta$, για $\theta = \varphi - \delta$, όπου:

θ = γωνία πρόσπτωσης

φ = γεωγραφικό πλάτος του τόπου όπου θα τοποθετηθούν οι Φ/Β συλλέκτες &

δ = απόκλιση του ήλιου στις 21 Δεκεμβρίου

Τοποθετώντας δύο σειρές Φ/Β πλαισίων σε απόσταση d_1 μεταξύ τους και με κλίση β ως προς το οριζόντιο επίπεδο (έδαφος), σύμφωνα με το σχήμα, θα έχουμε:



Σύμφωνα με τον νόμο των ημιτόνων και επειδή οι παραπληρωματικές γωνίες έχουν το ίδιο ημίτονο [$\eta\mu\alpha = \eta\mu(\alpha_s + \beta)$], θα έχουμε:

Όπου (α) η γωνία μεταξύ των Φ/Β πλαισίων και των κάθετων σε αυτά ακτινών του ήλιου

$$\frac{d_1}{\eta\mu(\alpha_s + \beta)} = \frac{h}{\eta\mu\alpha_s}$$

$$d_1 = h \left(\frac{\eta\mu(\alpha_s + \beta)}{\eta\mu\alpha_s} \right) = h \cdot h_1^{12}$$

όπου

$$h_1 = \frac{\eta\mu(\alpha_s + \beta)}{\eta\mu\alpha_s}$$

Για την απόσταση d' (όπου $d' = d - d_1$), θα έχουμε:

$$\sigma\upsilon\nu\beta = \frac{d'}{h}$$

και

$$d' = h \cdot \sigma\upsilon\nu\beta$$

όπου d_1 = η απόσταση σε m ανάμεσα στις σειρές των Φ/Β πλαισίων για να μην προκληθεί σκίαση στις 21/12 (και καθ' όλο το έτος)

d' = η απόσταση που καταλαμβάνει η προβολή της Φ/Β σειράς στο έδαφος

h = το ύψος του Φ/Β πλαισίου

α_s = η γωνία που μας δείχνει το ύψος του ήλιου στις 21/12

β = η γωνία κλίσης του συλλέκτη ως προς το οριζόντιο επίπεδο

- ✦ Στις 21/12 ($\delta = -23,45^\circ$) η απόσταση d_1 αυξάνει όσο το άθροισμα των γωνιών α_s και β πλησιάζει την τιμή των 90° και γίνεται μέγιστη, όταν $\alpha_s + \beta = 90^\circ$.

¹² Εμπειρικά η βέλτιστη απόσταση για να μην σκιάζονται οι σειρές μεταξύ τους είναι το ύψος της προβολής των Φ/Β πλαισίων (για την εκάστοτε κλίση που παίρνουν) επί 3, με απαγορευτική απόσταση κάτω από 2.5 φορές



Η συνολική έκταση που απαιτείται για την τοποθέτηση, χωρίς σκίαση, των Φ/Β πλαισίων θα υπολογίζεται από την σχέση:

$$F_s = [(v - 1) \cdot d_1 + d'] \cdot y$$

όπου: v = ο αριθμός των σειρών των Φ/Β πλαισίων

d_1 = η απόσταση σε m ανάμεσα στις σειρές των Φ/Β πλαισίων

d' = η απόσταση που καταλαμβάνει η προβολή της Φ/Β σειράς στο έδαφος

h = το ύψος του Φ/Β πλαισίου

y = το μήκος της σειράς των Φ/Β πλαισίων

Η συνολική έκταση που απαιτείται μαζί με την αναγκαία έκταση για άνετη κυκλοφορία περιμετρικά των σειρών των Φ/Β πλαισίων (κυκλοφορία οχήματος για έλεγχο, συντήρηση ή καθαρισμό) θα είναι:

$$F_{Sol} = [(v - 1) \cdot d_1 + d' + d_a + d_b] \cdot (y + y_a + y_b)$$

όπου: d_a = η απόσταση σε m της πρώτης σειράς από τα όρια της ιδιοκτησίας (συνήθως 2,5m)

d_b = η απόσταση σε m της τελευταίας σειράς από τα όρια της ιδιοκτησίας (συνήθως 2,5m)

y_a = η απόσταση της αρχής της σειράς από τα όρια της ιδιοκτησίας (συνήθως 2,5m)

y_b = η απόσταση του τέλους της σειράς από τα όρια της ιδιοκτησίας (συνήθως 2,5m)

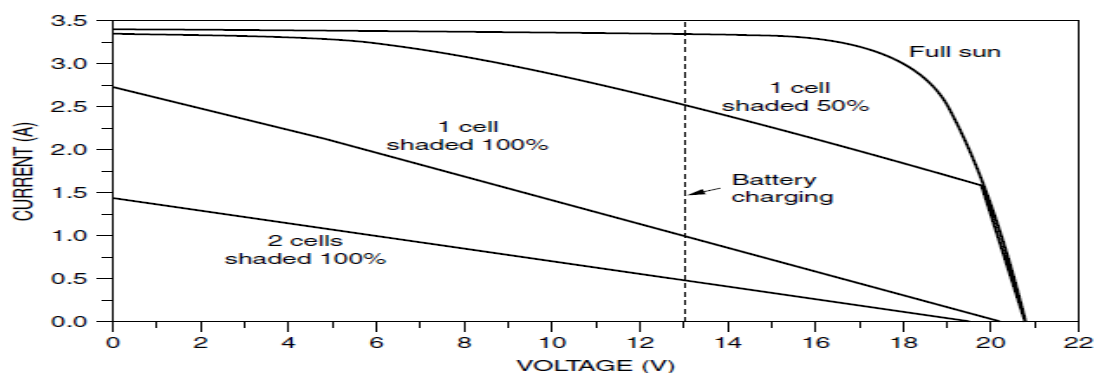
- ✦ Στην έκταση F_{Sol} θα πρέπει να προσθέσουμε την αναγκαία έκταση για την κατασκευή οικίσκου τοποθέτησης των μηχανισμών ελέγχου, παρακολούθησης, μετατροπής και ενδεχομένως αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.
- ✦ Για περιοχές του Βορείου Ημισφαιρίου, και λαμβάνοντας υπόψη ότι η κλίση των Φ/Β πλαισίων μεταβάλλεται ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, όσο τείνουμε προς τον Ισημερινό ο ήλιος βρίσκεται ψηλότερα και έτσι απαιτείται μικρότερη κάλυψη Γης για ίδια εγκατεστημένη ισχύ Φ/Β σταθμού σε σχέση με περιοχές πιο απομακρυσμένες από τον Ισημερινό, εφόσον η απόσταση μεταξύ των σειρών μειώνεται αλλά και η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας αυξάνεται.
- ✦ Έμπρακτα, λαμβάνεται υπόψη για περιοχές της Ελλάδας, **η βέλτιστη ετήσια κλίση Φ/Β συλλεκτών όπου είναι κοντά στις 30°**. Ενδεχομένως, μερικούς μήνες τα Φ/Β πλαίσια να υπόκεινται σε σκίαση, αλλά στο σύνολο θα έχουμε υψηλότερη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού και κάλυψη μικρότερης έκτασης Γης, πάντα λαμβάνοντας υπόψη τα ξεχωριστά δεδομένα (τοπογραφία, γεωμορφολογία, κλίμα) της υπό μελέτη περίπτωσης
- ✦ Οι δίοδοι φραγμού (blocking diodes) εμποδίζουν το αντίστροφο ρεύμα από το να ρέει προς τα κάτω σε δυσλειτουργικές ή σκιασμένες ΦΒ συστοιχίες

Τα παρακάτω διαγράμματα μας βοηθούν να κατανοήσουμε την σημαντική αρνητική επίδραση της σκίασης στα Φ/Β Συστήματα, καθώς και μερικές τεχνικές άμβλυνσης του φαινομένου αυτού.



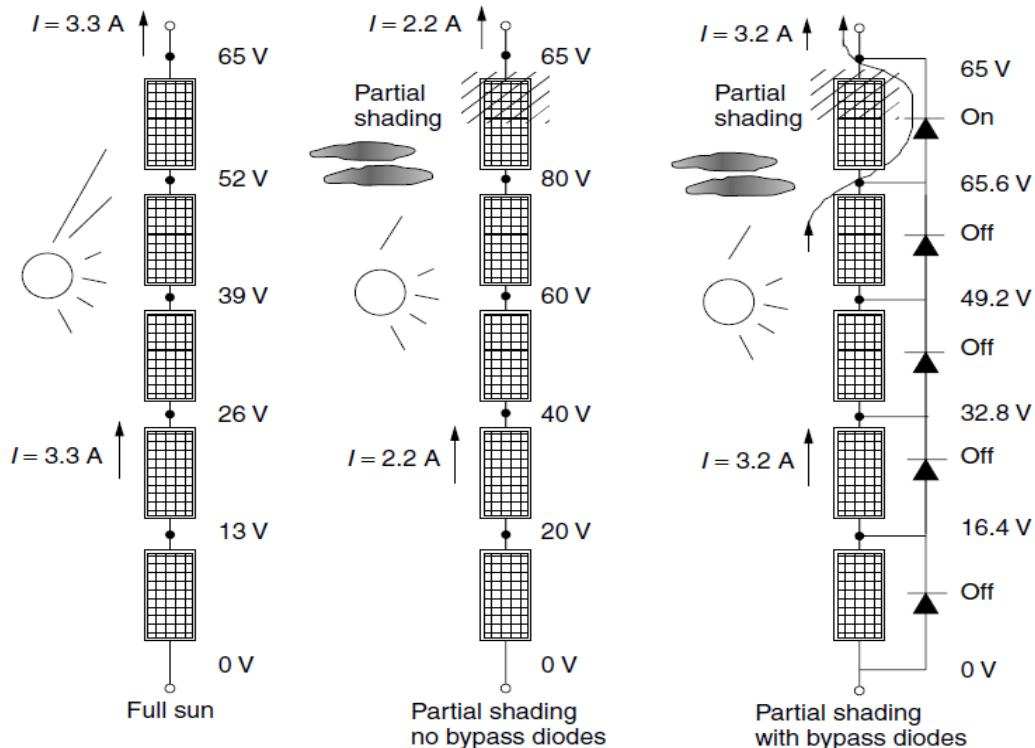
Τρόπος σκίασης	Σκίαση (%)	Ενδεικτική απώλεια ισχύος (1 string x 9 modules)	Ενδεικτική απώλεια ισχύος (3 string x 3 modules)
	0,15%	-3,7%	-1,7%
	2,6%	-16,7%	-7%
	11,1%	-36,5%	-30,5%
	12,5%	-18,3%	-17%

Σχήμα 1.65 Εκτιμώμενες απώλειες σκίασης και κατ' επέκταση απώλειας ισχύος για δύο διαφορετικές προσεγγίσεις συνδεσμολογίας (εν σειρά και εν παραλλήλω) 9 Φ/Β πλαισίων



Σχήμα 1.66 Επιδράσεις της σκίασης φ/β στοιχείων σε χαρακτηριστική I-V για ένα ΦΒ πλαίσιο

Χωρίς τις διόδους παράκαμψης, ένα μερικώς σκιασμένο ΦΒ πλαίσιο περιορίζει το ρεύμα που πηγαίνει στο φορτίο, με τις διόδους παράκαμψης, το ρεύμα εκτρέπεται γύρω από το σκιασμένο φ/β στοιχείο.



Σχήμα 1.67 Δυνατότητα των διόδων παράκαμψης (bypass diodes) να αμβλύνουν τις επιδράσεις της σκίασης

Συλλογή μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλιακούς συλλέκτες (Φωτοβολταϊκά, ηλιακοί θερμοσίφωνες) - Θεωρητικά

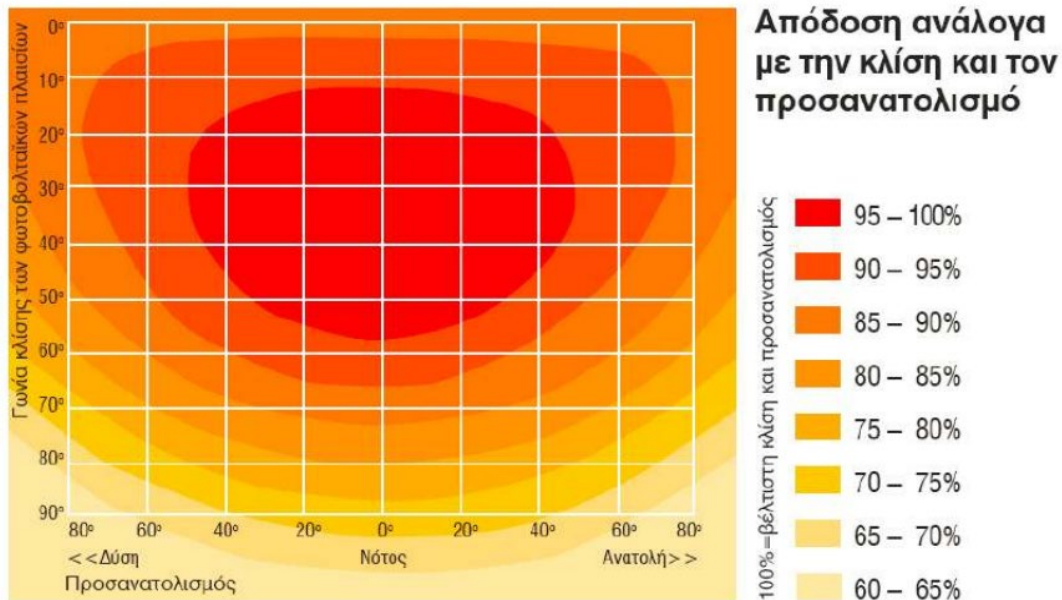
Η βέλτιστη γωνία κλίσης σε όλη τη διάρκεια του έτους θα πρέπει, σύμφωνα με τη θεωρία, να είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Επειδή όμως η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη χώρα μας το καλοκαίρι είναι μεγαλύτερη από αυτή του χειμώνα, η βέλτιστη γωνία κλίσης είναι περίπου 7-10 μοίρες μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

- ✓ Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να είναι περίπου 10-15 μοίρες μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου
- ✓ Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να είναι περίπου 10-15 μοίρες μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ. χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση
- ✓ Ο βέλτιστος προσανατολισμός (αζιμούθιο) είναι νότιος, ενώ απόκλιση κατά 20-30 μοίρες από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια
- ✓ Σε περιοχές υψηλής ανακλώμενης ακτινοβολίας (με χιόνι π.χ.) έχουν επίδραση σε κάποιο ποσοστό (συνεισφορά) για την ρύθμιση της κλίσης ενός Φ/Β Συστήματος

Παρατηρώντας το παρακάτω διάγραμμα, που αφορά την απόδοση Φ/Β Συστημάτων ανάλογα την κλίση και τον προσανατολισμό για περιοχές της Ελλάδας, χονδρικά αλλά και πρακτικά, το μέσο της κοκκινισμένης περιοχή όπου πλησιάζει περισσότερο την βέλτιστη



κλίση και τον βέλτιστο προσανατολισμό μιας Φ/Β συστοιχίας βρίσκεται σε ένα εύρος κλίσεων από 25° έως 35° και σε ένα εύρος γωνιών προσανατολισμού όσον αφορά τον Νότο, ± 20°.



Σχήμα 1.68 Θερμικό διάγραμμα απόδοσης ενός Φ/Β Συστήματος ανάλογα με την κλίση και τον προσανατολισμό

Η απόδοση ($\frac{P_{out}}{P_{in}}$) ενός Φ/Β αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας και μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά τους περισσότερους τύπους Φ/Β. Ο Παράγων Πλήρωσης (Fill Factor), ο Συντελεστής Χρησιμοποίησης (ΣΧ) και ο Λόγος Επίδοσης (PR) είναι σημαντικοί δείκτες για την προσομοίωση της λειτουργίας ενός Φ/Β συστήματος. Σημαντική παράμετρος είναι ότι το ρεύμα του Φ/Β συστήματος μεταβάλλεται σχεδόν γραμμικά (αναλογικά) με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ η τάση σε πολύ μικρό βαθμό και αντιστρόφως ανάλογα, η τάση μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας ενώ το ρεύμα αυξάνει σε μικρό βαθμό. Ακόμη, κατά την συνδεσμολογία των Φ/Β σε σειρά θα έχουμε αύξηση της τάσης του συστήματος με σταθερή ένταση, ενώ εν παραλήλλω θα έχουμε αύξηση της έντασης με σταθερή τάση.

Αξιολόγηση Επένδυσης Φ/Β εγκατάστασης

Η αξιολόγηση επένδυσης Φ/Β εγκατάστασης πραγματοποιήθηκε **με το λογισμικό RETScreen**. Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή των βασικών τμημάτων του λογισμικού:

1. Εκκίνηση, στο φύλλο αυτό συμπληρώνονται το όνομα και η τοποθεσία του έργου, ο τύπος του έργου και η τεχνολογία που χρησιμοποιείται, καθώς και τα στοιχεία που αφορούν τα πλησιέστερα μετεωρολογικά δεδομένα.
2. Ενεργειακό Μοντέλο, σε αυτό το φύλλο ο χρήστης καθορίζει παραμέτρους που



περιγράφουν τον προσανατολισμό και τον τύπο του φωτοβολταϊκού συστήματος που πρόκειται να μελετηθεί, ενώ παράλληλα υπολογίζεται η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος.

3.Ανάλυση Κόστους, το φύλλο ανάλυσης κόστους χρησιμοποιείται για να βοηθήσει στην εκτίμηση των δαπανών που συνδέονται με τη δημιουργία μιας Φ/Β εγκατάστασης. Σε αυτό το φύλλο συμπληρώνεται ο τύπος της ανάλυσης, καθώς και οι δαπάνες κατά το σχεδιασμό και τη λειτουργία του έργου.

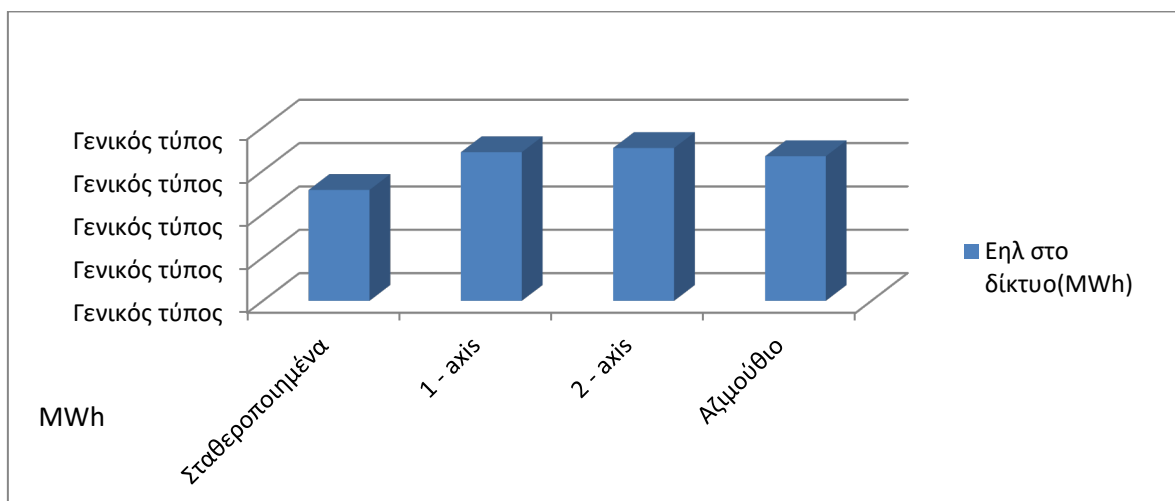
4.Ανάλυση Εκπομπών, το φύλλο αυτό είναι προαιρετικό. Καταγράφονται διάφορες παράμετροι σχετικά με τα αέρια του θερμοκηπίου (CO_{2eq}) που μειώνονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά συστήματα.

5.Οικονομική Ανάλυση, στο φύλλο αυτό καταγράφονται διάφορες οικονομικές παράμετροι σχετικά με το φωτοβολταϊκό σύστημα που αξιοποιείται και τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν.

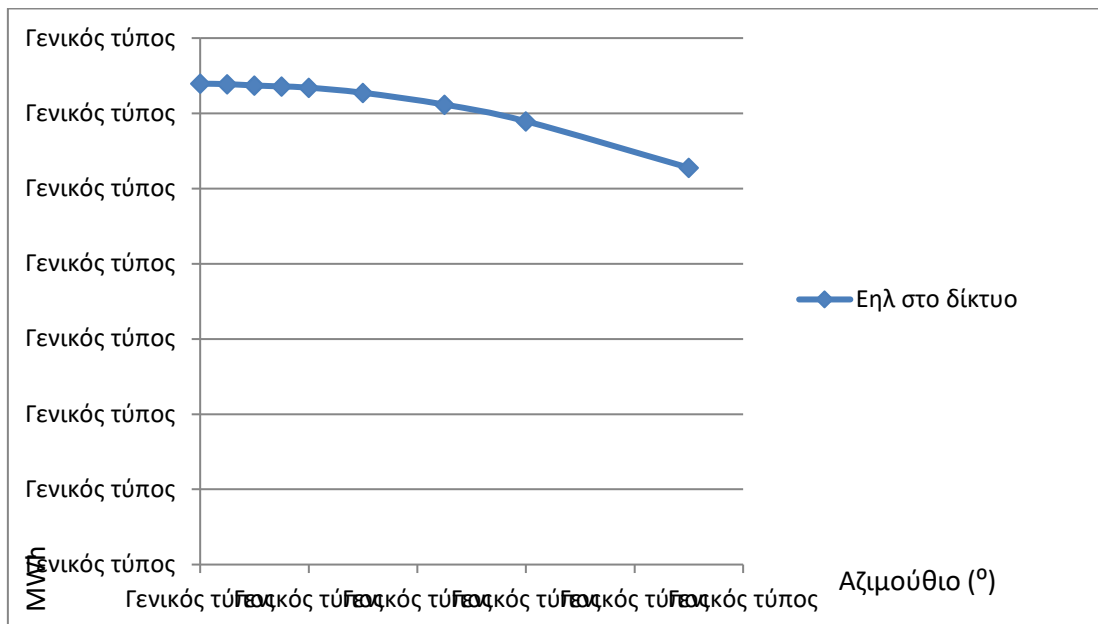
6.Ανάλυση επικινδυνότητας, το φύλλο αυτό, που είναι προαιρετικό, βοηθά τον χρήστη να εκτιμήσει την ευαισθησία σημαντικών οικονομικών δεικτών σε σχέση με βασικές τεχνικές και οικονομικές παραμέτρους.

Σε όλα τα παρακάτω βήματα έχουμε τα εξής δεδομένα (από την βάση δεδομένων του RETScreen) προς μοντελοποίηση και προσομοίωση:
Περιοχή ενδιαφέροντος το νησί της Λήμνου, με συντεταγμένες (39.9 , 25.2), μέσο ύψος τα 4 μέτρα, μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο 4,8 kWh/m²-day (~ 1.700 kWh/ m²-yr) & Ζητούμενη Εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β Συστήματος: 85 kWp

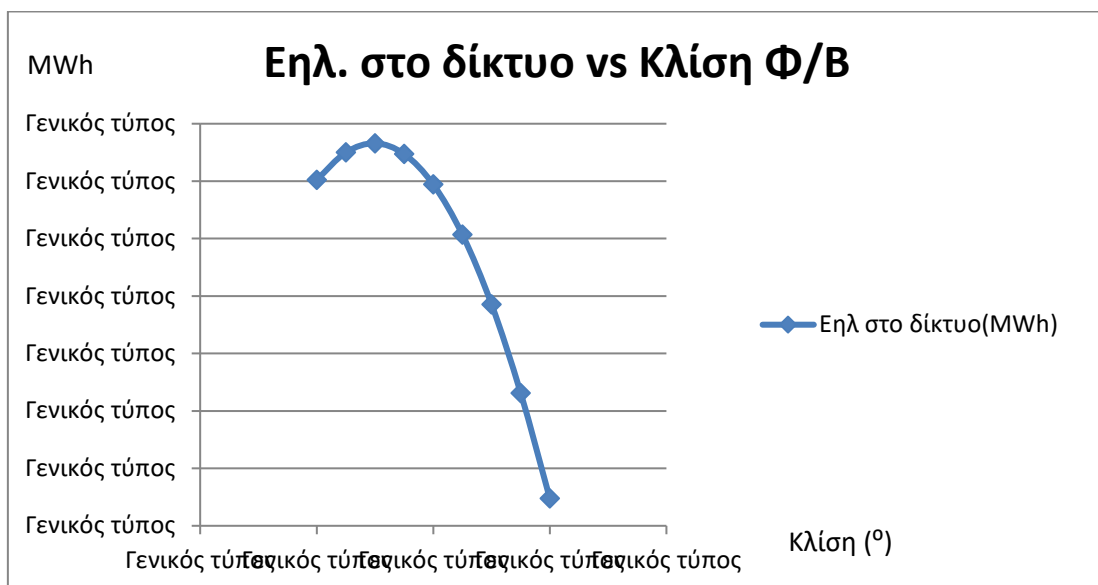
Α) Έγινε μελέτη της επίδρασης του τύπου συστήματος στήριξης - παρακολούθησης τροχιάς του ήλιου στην Εηλ. στο δίκτυο, και η ενέργεια που παραδίδει στο δίκτυο το καθένα



Β) Έγινε μελέτη της επίδρασης του αζιμουθίου του Φ/Β Συστήματος στην Εηλ. που παραδίδεται στο δίκτυο, για τιμές αζιμουθίου: 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 30°, 45°, 60°, 90°



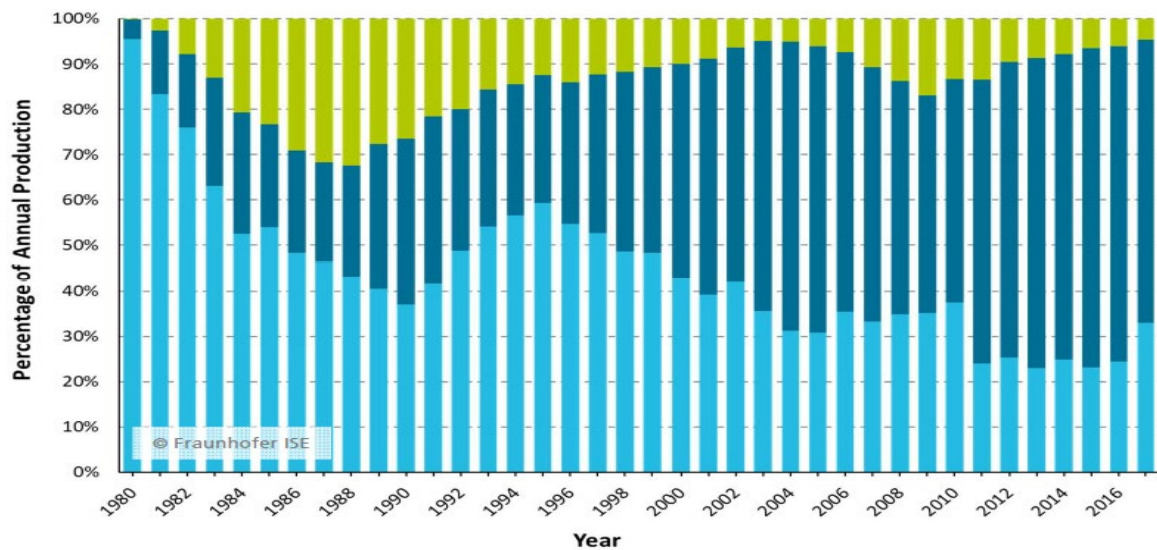
Γ) Έγινε μελέτη της επίδρασης της κλίσης του Φ/Β Συστήματος στην Εηλ. στο δίκτυο. Λαμβάνοντας υπόψη το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής (40°), έγινε μοντελοποίηση και προσομοίωση μειωμένη κατά 20° και αυξημένη κατά 20° σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, έχοντας ως βήμα τις 5°



Δ) Έγινε μελέτη της επίδρασης της τεχνολογίας του Φ/Β πυριτίου, όπου συμπεριλήφθηκαν για σύγκριση οι εξής παράμετροι: ο βαθμός απόδοσης, ο συντελεστής θερμοκρασίας, η επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη και τέλος η Εηλ. που διοχετεύεται στο δίκτυο.



Τύπος Φ/Β	Β. απόδοσης (%)	Συντ. Θερμοκρασίας (%/°C)	A (m2)	Εηλ στο δίκτυο (MWh)
mono-Si	13	0,4	654	127,883
poly-Si	11	0,4	773	127,883
a-Si	5	0,11	1700	135,558



Σχήμα 1.69 Παραγωγή Φ/Β πυριτίου: poly-Si (γαλάζιο) 60.8 GW_p, mono-Si (μπλε σκούρο) 32.2 GW_p, thin-film (πράσινο) 4.5 GW_p (πηγή GSS-VET)

Ανάλυση αποτελεσμάτων:

Κατά την μελέτη της επίδρασης του τύπου συστήματος παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου στην Εηλ. που διοχετεύεται στο δίκτυο παρατηρούμε ότι την καλύτερη συμπεριφορά αφομοίωσης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας έχει το σύστημα 2 αξόνων, εφόσον σκοπός αυτού του συστήματος είναι να ακολουθεί συνεχώς και να βρίσκεται κάθετα στις ακτίνες του ήλιου. Ακολουθεί το σύστημα μονού άξονα, και εδώ παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει τεράστια διαφορά στην παραγόμενη Εηλ. σε σχέση με τους 2 άξονες, έτσι προκύπτει το συμπέρασμα ότι μπορεί να προτιμηθεί αυτό το σύστημα εάν η διαφορά κόστους/εγκατάστασης με αυτή του διπλού άξονα είναι μεγάλη. Τέλος, ακολουθεί το σύστημα αζιμούθιου, όπου και αυτό δίνει πολύ καλά αποτελέσματα, όχι όμως σαν τα δύο προηγούμενα.

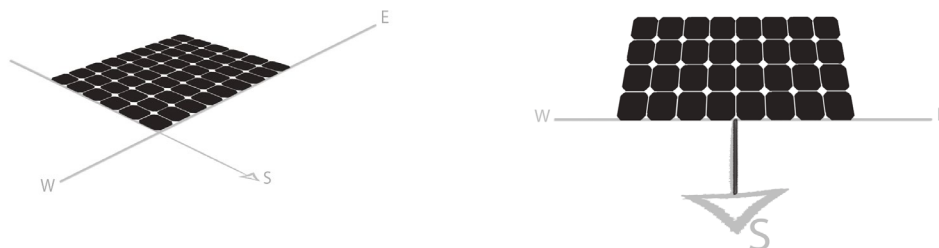
Κατά την μελέτη της επίδρασης του Αζιμούθιου στην Εηλ. που διοχετεύεται στο δίκτυο, παρατηρούμε ότι η βέλτιστη τιμή προσανατολισμού ενός Φ/β πλαισίου (που βρίσκεται στο Βόρειο Ημισφαίριο) είναι 0° δηλαδή κάθετα στον νότο. Επιπλέον, η θεωρία συμφωνεί με τα αποτελέσματα που μας δίνει το Retscreen: απόκλιση 20-30° από τον Νότο δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την παραγόμενη από τα Φ/Β ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο ενώ μετά από αυτή την τιμή όπως φαίνεται και στην καμπύλη της γραφικής η Εηλ. που διοχετεύεται στο δίκτυο πέφτει σε μεγάλο βαθμό.



Κατά την μελέτη της επίδρασης της κλίσης του Φ/Β πλαισίου στην Εηλ. που διοχετεύεται στο δίκτυο, παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή παραγόμενης Εηλ. παρουσιάζεται για $\beta=30^\circ$, τιμή η οποία είναι 10° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (προϋποθέσεις θερινής περιόδου). Από αυτήν την κλίση, $\pm 10^\circ$ έχουν ελάχιστες απώλειες στην τελικά παραγόμενη Εηλ. και έτσι μέσα σε αυτό το εύρος είναι οι συνιστώμενες. Μετά από κάποια τιμή γωνίας κλίσης ($\sim +10^\circ$) από το (φ) του τόπου αρχίζει και έχει κατακόρυφη μείωση η απόδοση του συστήματος και κατ' επέκταση η παραγόμενη Εηλ. στο δίκτυο. Τέλος, παρατηρούμε ότι ο τύπος του μονοκρυσταλλικού πυριτίου απαιτεί μικρότερη επιφάνεια Φ/Β πλαισίων (κατά 119m^2) σε σχέση με το πολυκρυσταλλικό πυριτίο για την παραγωγή της ίδιας Εηλ. στο δίκτυο, εξαιτίας του υψηλότερου βαθμού απόδοσής του! Στην περίπτωση του άμορφου πυριτίου, μπορεί να παράγεται περισσότερη ενέργεια κατά 1,044 φορές σε σχέση με του μονοκρυσταλλικού και πολυκρυσταλλικού πυριτίου αλλά η επιφάνεια που απαιτεί είναι κατά 2,6 φορές μεγαλύτερη από αυτή του 1^{ου} τύπου και 2,2 φορές μεγαλύτερη αντίστοιχα του 2^{ου} τύπου, οπότε και σε αυτή την περίπτωση πρέπει να καλύπτονται κάποια κριτήρια για την επιλογή του καταλληλότερου-βέλτιστου τύπου Φ/Β τεχνολογίας.

Σχολιασμός:

Είδαμε ότι τα συστήματα παρακολούθησης τροχιάς του ήλιου μπορεί να φανούν πολύ αποδοτικά/κερδοφόρα σε ένα Φ/Β σύστημα αλλά η εγκατάστασή τους δεν είναι πάντα η βέλτιστη λύση, καθώς αυξάνουν σημαντικά το κόστος/πολυπλοκότητα και δεν μπορούν να τοποθετηθούν σε όλα τα πεδία λόγω του βάρους και του μεγέθους τους. Ο βέλτιστος προσανατολισμός της επιφάνειας ενός Φ/Β πλαισίου είναι κάθετα στον Νότο, είτε, εάν δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα, σε απόκλιση έως 20° από αυτόν. Η βέλτιστη κλίση ενός Φ/Β πλαισίου είναι $\pm 10 - 15^\circ$ σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος (θερινή/χειμερινή περίοδος). Στην περίπτωση μας είναι 10° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (προϋποθέσεις θερινής περιόδου), ενώ σφαιρικά για περιοχές της Ελλάδας η βέλτιστη κλίση βρίσκεται κοντά στις 30° όπως και σε αυτή την περίπτωση. Κατά την επιλογή του τύπου φ/β που θα επιλέξουμε θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ως κυριότερη παράμετρο την διαθέσιμη επιφάνεια που έχουμε για εγκατάσταση Φ/Β πλαισίων, διότι ανάλογα την τεχνολογία του φ/β , τον βαθμό απόδοσης φ/β , τις θερμοκρασίες σε έναν τόπο, έχουμε εν τέλει μεταβολές στην τελικά παραγόμενη / προσλαμβανόμενη Εηλ. από το σύστημά μας και έτσι θα πρέπει πάντα να εκτιμάμε την κάθε περίπτωση ξεχωριστά.



Σχήμα 1.70 Κλίση και Προσανατολισμός Φ/Β πλαισίου, αντίστοιχα



Για μείωση των απωλειών κατά την μεταφορά ρεύματος απαιτείται η μείωση της έντασης (I), βάση του τύπου :

$$P_{\text{loss}} = VR, \text{ όπου } V = IR$$

$$P_{\text{loss}} = I^2R$$

- ✓ Επειδή τα Φ/Β προτιμούν χαμηλές θερμοκρασίες, σε μεγάλο υψόμετρο ευνοείται η παραγωγή ενέργειας από αυτά εφόσον το κλίμα της περιοχής επιτρέπει την κατάλληλη θερμοκρασία του περιβάλλον χώρου και η ένταση της Η/Μ ακτινοβολίας είναι σε υψηλότερα επίπεδα
 - ✓ Ότι ισχύει στα φ/β στοιχεία ισχύει και στα Φ/Β πλαίσια σε μεγαλύτερη κλίμακα. Το κάθε φ/β στοιχείο προσδίδει κατά προσέγγιση 0,5V
-
- ✓ Συνδεσμολογία: κατά την σύνδεση σε σειρά των Φ/Β πλαισίων (όπως και των μπαταριών) κερδίζουμε σε τάση ενώ με την παράλληλη σύνδεση κερδίζουμε σε ένταση (ρεύμα)
 - ✓ Ο ανιχνευτής σημείου μέγιστης ισχύος **MPPT** (συνήθως εγκατεστημένος εξ' αρχής είτε στον Μετατροπέα Τάσης είτε στον Ρυθμιστή Φόρτισης) είναι αναγκαίος για να παίρνουμε σε κάθε χρονική στιγμή το μέγιστο της παραγόμενης ενέργειας από το Φ/Β Σύστημα για διαφορετική πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασία περιβάλλοντος. Διορθώνει το πρόβλημα της αντίστασης
 - ✓ Ο όγκος μπορεί να συγκριθεί με την παραγόμενη ισχύ (π.χ. κυβικά μηχανής σε ιπποδύναμη) ενώ η επιφάνεια ταυτίζεται με τις απώλειες (μεταφορά θερμότητας) από μία τεχνολογία προς το περιβάλλον

Βαθμός απόδοσης Φ/Β πλαισίου (η): Είναι αδιάστατος και ορίζεται ως ο λόγος της Μέγιστης Ισχύος εξόδου (P_{max}) προς το γινόμενο της επιφάνειας του πλαισίου επί την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας :

$$\eta = \frac{P_{\text{max}}(W)}{A(m^2) \cdot G(\frac{W}{m^2})} \times 100\%$$

Παράγων Πλήρωσης (FF): Η τιμή αναφοράς του παράγοντα πλήρωσης αναφέρεται σε πρότυπες συνθήκες δοκιμής και όσο πιο κοντά στην μονάδα είναι, τόσο η λειτουργία του Φ/Β πλαισίου πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά μιας πηγής σταθερού ρεύματος στην περιοχή $[0-V_{oc}]$. Είναι αδιάστατος, ορίζεται ως ο λόγος της Μέγιστης Ισχύος του Φ/Β προς το γινόμενο της τάσης ανοιχτοκύκλωσης επί το ρεύμα βραχυκύκλωσης :

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{P_m}{I_{sc} V_{oc}}, \text{ ισχύει ότι } FF < 1 \text{ και } FF > 0$$

Συντελεστής Χρησιμοποίησης (ΣΧ): Η πραγματική αποδοτικότητα ενός Φ/Β Συστήματος υπολογίζεται μέσω του Συντελεστή Χρησιμοποίησης, ο ΣΧ ορίζεται για κάθε εγκατάσταση

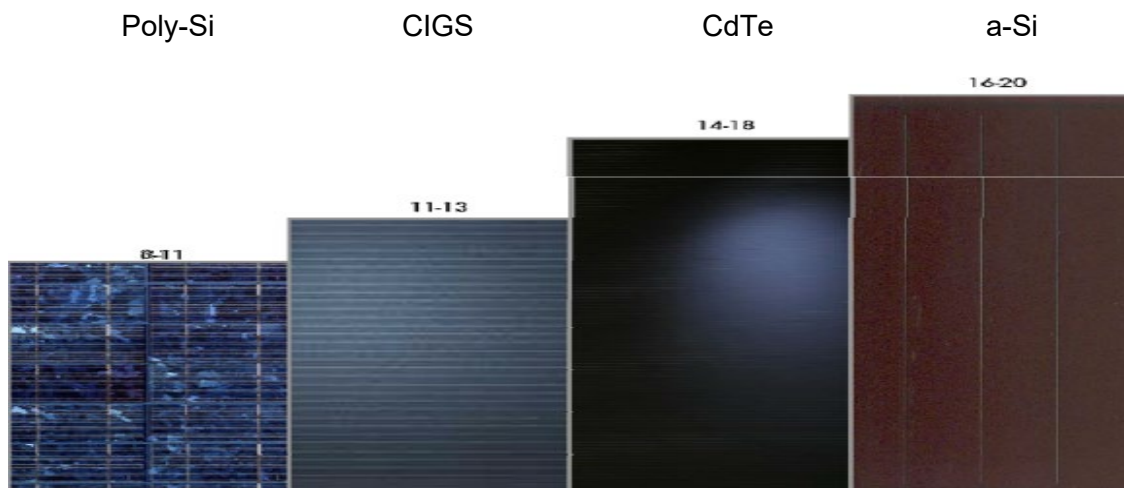


παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας-Εηλ. (συμβατική είτε ΑΠΕ), είναι αδιάστατος και αναφέρεται σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σύγκριση των διαφόρων τεχνολογιών παραγωγής Εηλ. Τυπικοί ετήσιοι ΣΧ για Φ/Β Συστήματα κυμαίνονται από ~ 10% έως 30%, για παλιές εγκαταστάσεις με σταθεροποιημένα Φ/Β πλαίσια σε βόρειες περιοχές και για Φ/Β εγκαταστάσεις με σύστημα ιχνηλάτισης 2 αξόνων σε μέρη με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία, αντίστοιχα. Ο ετήσιος ΣΧ διαιρεί την ενέργεια που παράγει το Φ/Β Σύστημα σε έναν χρόνο με την ενέργεια που θα παρήγαγε θεωρητικά, εάν λειτουργούσε στην ονομαστική του ισχύ (P_m) και για τις 8760 ώρες του έτους :

$$\text{Ετήσιος ΣΧ} = \frac{E_{PVyear}}{P_m \cdot 8760 h}$$

Λόγος επίδοσης (PR) ενός Φ/Β Συστήματος/Στοιχειοσειράς:

Ο λόγος επίδοσης (Performance Ratio – PR) προσδιορίζεται από το πηλίκο της αποδιδόμενης Εηλ. του Φ/Β Συστήματος προς την ενέργεια που θα απέδιδε εάν λειτουργούσε ιδανικά, χωρίς τις επιπλέον απώλειες λόγω των αποκλίσεων από την κατάσταση αναφοράς (συνθήκες STC), δεχόμενο κάθε στιγμή την ίδια ένταση ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας, καθορίζει την απόκλιση της αποδιδόμενης από την Φ/Β στοιχειοσειρά/σύστημα ενέργειας σε σχέση με την ιδανική δυνατότητα του συστήματος. Τυπικές τιμές του λόγου επίδοσης για ένα Φ/Β Σύστημα είναι 70-90%, ενώ μειώνεται κατά την μεταφορά και τις ενεργειακές μετατροπές στις ηλεκτρονικές-ηλεκτρολογικές διατάξεις του συστήματος. Αν, π.χ., ο λόγος επίδοσης μιας Φ/Β εγκατάστασης είναι 70%, αυτό σημαίνει ότι το 30% της ενέργειας που δέχεται δεν χρησιμοποιείται και χάνεται σε απώλειες αγωγού, θερμότητας και βλάβες εξαρτημάτων.



Σχήμα 1.71 Απαιτούμενη επιφάνεια (σε m²) διαφόρων τεχνολογιών για να αποκτήσουν εγκατεστημένη ισχύ 1 kWp ¹³

¹³ Με την πάροδο του χρόνου και την συνεχή ανάπτυξη της τεχνολογίας, οι τιμές αυτές μεταβάλλονται με θετικό πρόσημο



39.2% Απόδοση [2020], μέχρι στιγμής βρίσκεται μεταξύ 15%-22%

6 Διασταυρώσεων (Multi-junction solar cells) Σχεδιασμός Ηλιακού Κυττάρου

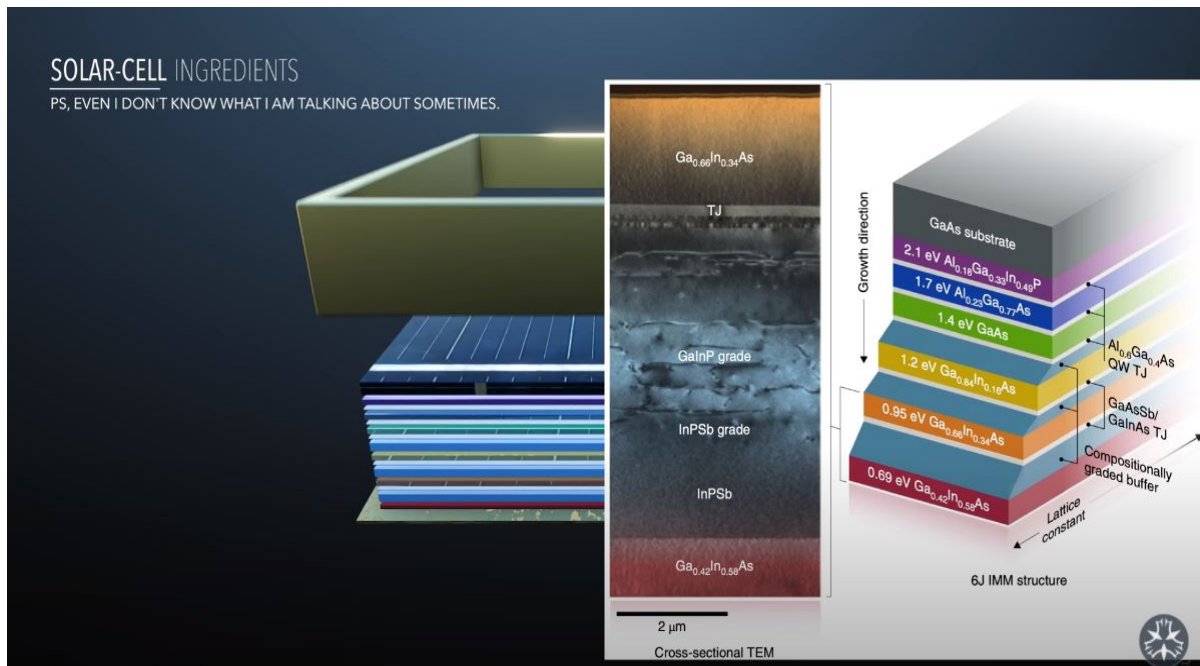
Επιτεύχθηκε με ανακαλύψεις και μεθόδους παραγωγής που έχουν ως βάση την 3^η – 5^η ομάδα του περιοδικού πίνακα με τα ημιαγώγιμα στοιχεία να βρίσκονται στο παρασκήνιο.



Στοιχεία τα οποία είναι γνωστά για τις ιδιότητες τους ότι όταν βρίσκονται σε συνδυασμό, εφόσον μπορούν να παράσχουν ένα μεγάλο εύρος ενεργειακών χασμάτων (band gap) και έτσι να προάγουν προς λειτουργία πολλές ηλεκτρονικές συσκευές. Ο πιο κοινός συνδυασμός είναι η ένωση: InGaAs, όπου χρησιμοποιείται ευρέως στα Φ/Β πλαίσια.

Μέχρι στιγμής η βέλτιστη απόδοση μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας προς ηλεκτρική ενέργεια θεωρείται ανάμεσα στο 15% - 22% και σε γενικές γραμμές εξαρτάται από την περιοχή κάλυψης (επιφάνεια). Η πλειονότητα των Φ/Β πλαισίων στην αγορά έχει την δυνατότητα απόδοσης 150-215 Wp/m² (χαμηλών προδιαγραφών 250€ και υψηλών προδιαγραφών 675€/πάνελ). Για μονοκατοικία με επιφάνεια 150m² όπου η κεραμοσκεπή είναι το μοναδικό μέρος τοποθέτησης των πλαισίων, για να καλύψει τις ανάγκες Εηλ. (μια υψηλή σχετικά κατανάλωση για περιοχή της Ελλάδας είναι 450kWh/μήνα) χρειάζεται τουλάχιστον 3,6kWp εγκατεστημένη ισχύ. Ο υπολογισμός αυτός επιτυγχάνεται προσεγγιστικά με μεγάλη ακρίβεια εφόσον για περιοχές της Ελλάδας (με κατάλληλη κλίση, προσανατολισμό και γεωγραφικής θέσης) η παραγόμενη ενέργεια ανά εγκατεστημένο kW Φ/Β πλαισίου είναι 1500kWh/χρόνο, συναρτήσει και άλλων σημαντικών παραμέτρων (γεωμορφολογία/φυσιογραφία της περιοχής) ώστε να μην έχουμε αρνητική επίδραση στην διέλευση της Η/Μ ακτινοβολίας προς το Φ/Β Σύστημα. Χρησιμοποιώντας Φ/Β πλαίσια με πολύ-διασταυρωμένα φ/β κύτταρα (**multijunction solar cells**), το οποίο ερμηνεύεται ως επίπεδα με διαφορετικά ενεργειακά χάσματα. Αυτή η λειτουργία επιτρέπει υψηλότερη τμήμα της Η/Μ ακτινοβολίας να αφομοιώνεται. Οι παραγωγικές μέθοδοι αυτών των επιπέδων καλύπτουν το 60%-70% απ' το συνολικό κόστος ενός πλαισίου. Η παραγωγή του πολύ-διασταυρωμένου φ/β πρέπει να γίνει με τρομερή ακρίβεια, όχι μόνο με σκοπό να αφομοιώσει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο φάσμα της Η/Μ ακτινοβολίας, αλλά και για τον λόγο της ελάττωσης απωλειών μέσω θερμότητας με μία συγκεκριμένη μέθοδο όπου γίνεται ανάπτυξη του φ/β κυττάρου με συγκεκριμένη ακολουθία υλικών στο πλέγμα. Σκοπός αυτής της μεθόδου είναι τα διαφορετικά ενεργειακά χάσματα να ταιριάζουν με την ένταση της

εκάστοτε ακτίνα φως (πακέτου Η/Μ ακτινοβολίας). Για να το θέσουμε απλά, τα συμβατικά πλαίσια έχουν απώλειες ενέργειας με την μορφή θερμότητας κοντά στο 47% μόνο και μόνο επειδή η Η/Μ ακτινοβολία κατέχει τέτοια συχνότητα όπου δεν μπορεί να απορροφήσει το πλαίσιο.



Σχήμα 1.72 Τομή 6 Διασταυρώσεων (Multi-junction solar cells). Σχεδιασμός Ηλιακού Κυττάρου

Η συγκεκριμένη μελέτη έγινε από τα εργαστήρια SpectroLab, με σκοπό την αύξηση της απόδοσης στα Φ/Β πλαίσια που χρησιμοποιούνται στους διαστημικούς σταθμούς.

Εφαρμογές

α) Καταναλωτικά προϊόντα (10 Wp -100Wp) σε περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο ή σε τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής, κλπ., για την εξυπηρέτηση αναγκών φωτισμού και ψύξης και για προϊόντα όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές

β) Αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα (100Wp –200kWp)

- αφαλάτωση / άντληση / καθαρισμό νερού
- ηλεκτροδότηση Ιερών Μονών
- φωτισμό (δρόμων , πάρκων , αεροδρομίων)
- συστήματα τηλεπικοινωνιών , τηλεμετρήσεων και συναγερμού
- συστήματα σηματοδότησης (οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας)
- ψύξη (αγροτικών προϊόντων , φαρμάκων κ.λπ.)



γ) Συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο (200kWp - αρκετά MWp)

- Φ/Β συστήματα μεγέθους έως μερικών εκατοντάδων kWp που τροφοδοτούν κατοικίες ή άλλα κτίρια και όπου η τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια τροφοδοτείται προς το δίκτυο μέσω ενός υποσταθμού Μέσης Τάσης (Μ/Τ)
- Φ/Β σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο

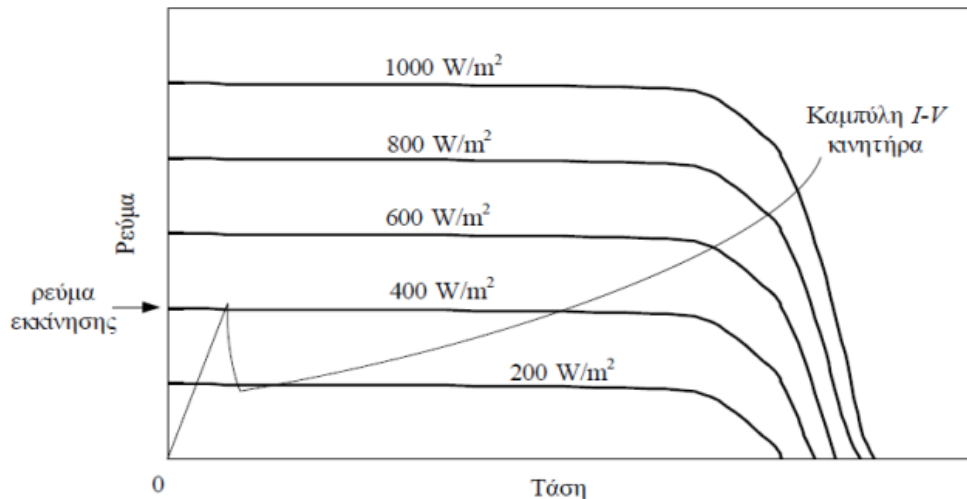
Καλό είναι **ένα Φ/Β Σύστημα να εντάσσεται από την αρχή στον σχεδιασμό** του σπιτιού, να γίνεται μια συνολική μελέτη που να συμπεριλαμβάνει την εξοικονόμηση ενέργειας (μόνωση, έξυπνα παράθυρα, σκίαση κλπ.), την θέρμανση και τον κλιματισμό και τις ανάγκες σε ηλεκτρισμό, με σκοπό να επιτευχθεί το καλύτερο αποτέλεσμα με τον μικρότερο δυνατό κόστος. Τα Φ/Β μπορούν να τοποθετηθούν σε οικόπεδα, στέγες (επίπεδες και κεκλιμένες) ή και σε προσόψεις κτιρίων, να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά παρέχοντας την δυνατότητα για καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγθών, σχημάτων και μπορούν να παρέχουν ευελιξία και πλαστικότητα στην διάταξη, ενώ δίνουν και δυνατότητα διαφορικής διαπερατότητας του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού. Αντικαθιστώντας άλλα δομικά υλικά (π.χ. κεραμοσκεπές ή υαλοστάσια σε προσόψεις) συμβάλλουν στην μείωση του συνολικού κόστους μιας κατασκευής (ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση των ηλιακών προσόψεων σε εμπορικά κτίρια). Στην περίπτωση μάλιστα των υαλοστασίων σε προσόψεις κτιρίων και γενικότερα δομών, διατίθενται σήμερα διαφανή Φ/Β με θερμομονωτικές ιδιότητες, αντίστοιχες με αυτές των υαλοστασίων χαμηλής εκπεμψιμότητας (low-e), τα οποία επιτυγχάνουν (πέραν της ηλεκτροπαραγωγής) και εξοικονόμηση ενέργειας 15-30% σε σχέση με ένα κτίριο με συμβατικά απλά υαλοστάσια. Μπορούν επιπλέον να παίξουν τον ρόλο σκιάστρων πάνω από παράθυρα, βοηθώντας έτσι και στην μείωση των εξόδων για επιπλέον κλιματισμό.

Άντληση Νερού με Φ/Β Συστήματα

Μία από τις οικονομικά πιο βιώσιμες εφαρμογές των Φ/Β είναι η άντληση νερού σε απομακρυσμένες περιοχές (χωράφια, ορεινά, νέες γεωτρήσεις κλπ.). Για μια κατοικία εκτός δικτύου, ένα απλό Φ/Β Σύστημα μπορεί να αντλήσει το νερό από ένα πηγάδι ή μία πηγή και να το αποθηκεύσει για οικιακή χρήση σε μία δεξαμενή, για αρδευτικούς σκοπούς, για πότισμα των ζώων ή για την τροφοδοσία ενός χωριού, ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου μπορεί να είναι κρίσιμης σημασίας, και η αξία άντλησης νερού σε τέτοιες περιπτώσεις υπερβαίνει κατά πολύ το αρχικό κόστος του. Τα απλούστερα Φ/Β Συστήματα άντλησης νερού αποτελούνται από μια Φ/Β συστοιχία απευθείας συνδεδεμένη με μια αντλία DC. Το νερό το οποίο αντλείται όταν υπάρχει ηλιοφάνεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί την ίδια χρονική στιγμή ή να αποθηκευτεί σε μια δεξαμενή για μεταγενέστερη χρήση. Τα κόστη και η πολυπλοκότητα των συσσωρευτών, των ρυθμιστών και των μετατροπών μπορούν να παραληφθούν, καταλήγοντας σε ένα σύστημα που συνδυάζει απλότητα, χαμηλό κόστος και αξιοπιστία. Από την άλλη μεριά (ηλεκτρολογικής φύσεως) είναι πολύ δύσκολο να αντιστοιχιστεί σωστά το μέγεθος των Φ/Β με το μέγεθος των αντλιών σε τέτοια απευθείας συστήματα, όπως επίσης και να προβλεφθεί η καθημερινή τους απόδοση. Στην ηλεκτρική πλευρά του συστήματος, η τάση και το ρεύμα που παρέχονται κάθε στιγμή καθορίζονται από την τομή της καμπύλης I-V των Φ/Β και της καμπύλης I-V του κινητήρα. Στο υδραυλικό σύστημα ανύψωσης του νερού, η πίεση είναι ανάλογη της τάσης, ενώ η παροχή είναι



ανάλογη του ρεύματος. Η τομή μεταξύ της καμπύλης I-V για την ίδια την αντλία και της καμπύλης πίεσης-παροχής (H-Q) για το φορτίο καθορίζει το υδραυλικό σημείο λειτουργίας. Στο παρακάτω γράφημα (βλ. Σχήμα 1.73) ο κινητήρας DC θα εκκινήσει όταν η ηλιακή ένταση φτάσει τουλάχιστον στην τιμή 400 W/m^2 , ενώ στην συνέχεια χρειάζεται μόνο 200 W/m^2 ηλιακή ένταση για να συνεχίσει να λειτουργεί.



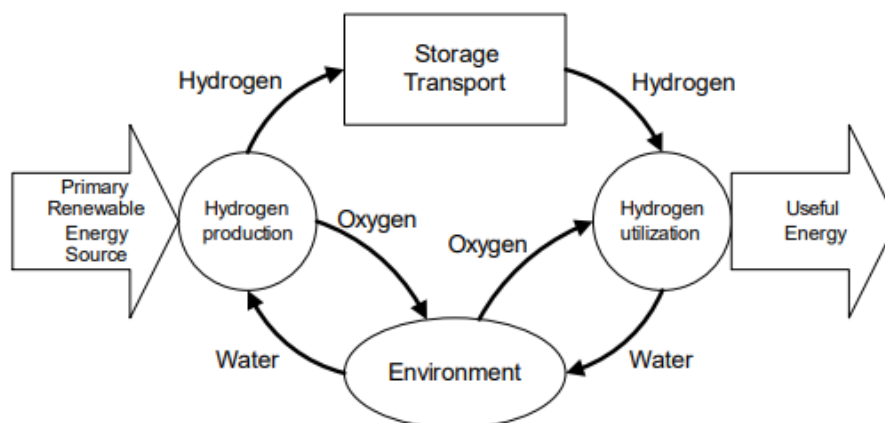
Σχήμα 1.73 Χαρακτηριστική I-V μιας αντλίας νερού (κινητήρα) DC συνδυάζεται με τις χαρακτηριστικές I-V ενός Φ/Β πλαισίου προκειμένου να προσδιοριστούν τα σημεία λειτουργίας

Κυψέλες Καυσίμου

Είναι πιο ακριβές να εξετάσει κανείς μια κυψέλη καυσίμου ως ένα είδος συσσωρευτή που παρέχει ηλεκτρισμό (και θερμότητα) εφόσον λαμβάνει συνεχή παροχή καυσίμου πλούσιο σε ενέργεια (συνήθως υδρογόνο). Υπάρχουν πολλά ενδεχόμενα πλεονεκτήματα των κυψελών καυσίμου σε σύγκριση με άλλα συστήματα μετατροπής ενέργειας. Επειδή μετατρέπουν την χημική ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική, αποφεύγουν τα παραδοσιακά ενδιάμεσα στάδια της μετατροπής του καυσίμου σε θερμότητα, της θερμότητας σε μηχανική ενέργεια, και της Εμχ. Σε Εηλ. Δεδομένου ότι δεν αποτελούν θερμικές μηχανές, δεν περιορίζονται από τα όρια Carnot, και οι αποδόσεις του καυσίμου σε Εηλ. φτάνουν μέχρι και 65%, γεγονός που καθιστά τις κυψέλες καυσίμου περίπου δύο φορές πιο αποδοτικές από τον μέσο όρο των κεντρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής που βρίσκονται σήμερα σε λειτουργία. Επιπλέον, τα συνήθη προϊόντα, όπως SOx, CO, σωματίδια και ανάμεικτοι εν μέρει καμένοι υδρογονάνθρακες, εξαλείφονται εντελώς. Αν το αρχικό καύσιμο είναι ένας υδρογονάνθρακας, όπως το φυσικό αέριο, θα εξακολουθούν να υπάρχουν εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, αλλά αν οι κυψέλες καυσίμου λειτουργούν με υδρογόνο που λαμβάνεται με ηλεκτρόλυση νερού, με χρήση Συστημάτων ΑΠΕ (π.χ. Φ/Β Συστήματα), απαλείφονται πλήρως οι εκπομπές ΑτΘ. Δεδομένου ότι οι κυψέλες καυσίμου εργάζονται χωρίς κραδασμούς, είναι αθόρυβες και εκπέμπουν λίγους ρύπους, μπορούν να βρίσκονται κοντά στις καταναλώσεις τους, π.χ. στην ταράτσα ενός κτιρίου και λειτουργία σε συνδυασμό με ένα Φ/Β Σύστημα. Με το να βρίσκονται κοντά στα φορτία, όχι μόνο αποφεύγονται απώλειες μεταφοράς και διανομής, αλλά επιπλέον η απορριπτόμενη θερμότητά τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την συμπαραγωγή Εηλ. και χρήσιμης θερμότητας, για



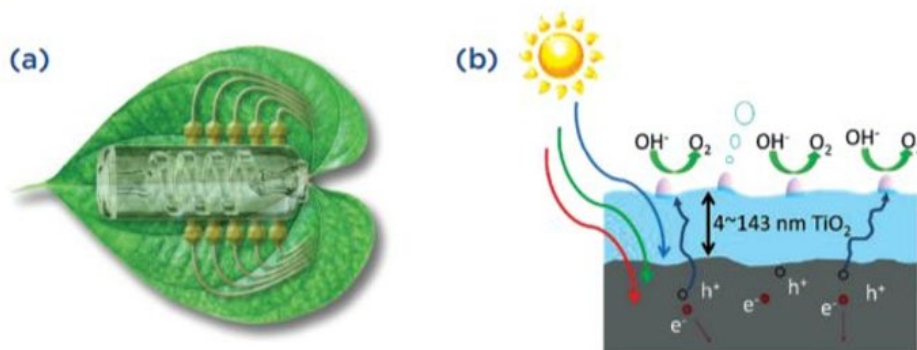
εφαρμογές όπως θέρμανση χώρων, ζεστό νερό, ακόμα και κλιματισμό. Ως σύστημα συμπαραγωγής και θερμότητας ΣΥΘ, οι κυψέλες καυσίμου μπορεί να έχουν συνολική απόδοση άνω του 80%.



Σχήμα 1.74 Ο κύκλος ζωής του H₂ από ΑΠΕ

Προστατευμένοι Ημιαγωγοί για Ηλιακή Παραγωγή Καυσίμου (Solar Fuel Production): Ένας ρόλος για την Ατέλεια

Η διαθεσιμότητα μιας ηλιακής συσκευής η οποία μπορεί να μετατρέψει το φως απευθείας σε ενεργειακά-πλούσια καύσιμα αντί για ηλεκτρισμό, θεωρείται επαναστατική ιδέα για την ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας από το ηλιακό φως. Δεδομένου των προηγούμενων επενδύσεων στην ανακάλυψη φωτοαπορροφητικών ημιαγωγών στα Φ/Β, θα αποτελούσε πλεονέκτημα η υιοθέτηση κοινών φ/β υλικών όπως το πυρίτιο και το GaAs για χρήση σε τέτοιου είδους ηλιακής παραγωγής καυσίμων. Δυστυχώς, τα συγκεκριμένα υλικά υποβαθμίζονται ταχεία όταν εμβαπτιστούν στα υδατικά διαλύματα που απαιτούνται για την παραγωγή καυσίμων. Επιστήμονες του Κοινού Κέντρου Τεχνητής Φωτοσύνθεσης (Joint Center for Artificial Photosynthesis – JCAP, California) έχουν πρόσφατα ανακαλύψει μία μέθοδο προστασίας των κοινών ημιαγωγών από διάβρωση μέσα στο νερό, επιτρέποντάς τους ταυτόχρονα να απορροφούν φως και να παράγουν ρεύμα προς παραγωγή καυσίμου. Προστατευτικές επιστρώσεις οι οποίες είναι επαρκώς παχιές για να αποτρέψουν την διάβρωση, τυπικά μπλοκάρουν το στιγμιαίο φως ή αποτρέπουν ηλεκτρικά ρεύματα που παράγονται από τους ημιαγωγούς, από την επίτευξη της αντιδραστικής επιφάνειας. Επιστήμονες του JCAP χρησιμοποίησαν μία διεργασία που αποκαλείται απόθεση ατομικής στρώσης (atomic layer deposition) για να δημιουργήσουν μια διαφανή αλλά ηλεκτρικά αγωγίμη επίστρωση διοξειδίου του τιτανίου (TiO₂) στους ημιαγωγούς απορρόφησης του φωτός. Η επίστρωση εμπεριέχει ατέλειες όπου επιτρέπει την αγωγή του ρεύματος. Τοποθετώντας έναν χημικό καταλύτη στο νερό – η εκτεθειμένη επιφάνεια της προστατευτικής επίστρωσης, η απορρόφηση του φωτός από τον ημιαγωγό και η επακόλουθη μεταφορά ρεύματος στον καταλύτη μπορεί να οδηγήσει τις απαιτούμενες αντιδράσεις για τον σχηματισμό καυσίμου (υδρογόνου κυρίως με την έκλυση του οξυγόνου από μόρια νερού). Αυτή η στρατηγική αξιοποίησης των ατελειών στην προστατευτική επίστρωση αποτελεί ένα σημαντικό νέο εργαλείο, το οποίο θα μπορούσε να επεκτείνει βροντερά την λίστα υποψήφιων υλικών κατάλληλων για χρήση στην ηλιακά-οδηγούμενη παραγωγή καυσίμων.



Σχήμα 1.75 (a) Μια ηλιακή συσκευή παραγωγής καυσίμου μιμείται την φυσική φωτοσύνθεση που λαμβάνει μέρος σε ένα φύλλο, το οποίο δεσμεύει μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας και το μετατρέπει σε χημική ενέργεια, αποθηκευμένη ως ένα υγρό καύσιμο. (b) Η προστατευτική στρώση διοξειδίου του τιτανίου σταθεροποιεί την φωτοάνοδο πυριτίου ενάντια στην διάβρωση έτσι ώστε ιόντα υδροξυλίου (OH^-) στον ηλεκτρολύτη μπορούν συνεχόμενα να οξειδώνονται σε αέριο οξυγόνο (O_2)

Δορυφορικά Συστήματα Ισχύος

Χρήση Ηλιακής Ενέργειας στο Διάστημα

Ο ήλιος αποτελεί μία πολύ ισχυρή, καθαρή και βολική πηγή ισχύος, ειδικά για εφαρμογές σε δορυφόρους. Όταν ένας δορυφόρος βρίσκεται στο διάστημα, το πρόβλημα είναι από που να παραλάβει αυτή την ισχύ. Πάνω στην επιφάνεια της γης υπάρχουν αρκετοί τρόποι παραγωγής Εηλ., είτε μετατροπής κάποιας άλλης μορφής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Σε περιπτώσεις δορυφόρων, το μόνο που χρειάζεται είναι τα μέσα μετατροπής της ενέργειας που εμπεριέχεται στην Η/Μ ακτινοβολία του ήλιου (κυρίως φως και υπεριώδεις ακτίνες) προς Εηλ. Ο πιο αποδοτικός τρόπος επίτευξης αυτής της λειτουργίας βρίσκεται στην χρήση Φ/Β πλαισίων (πάνελ), τα οποία συντίθενται από ημιαγώγιμα φ/β κελιά.¹⁴

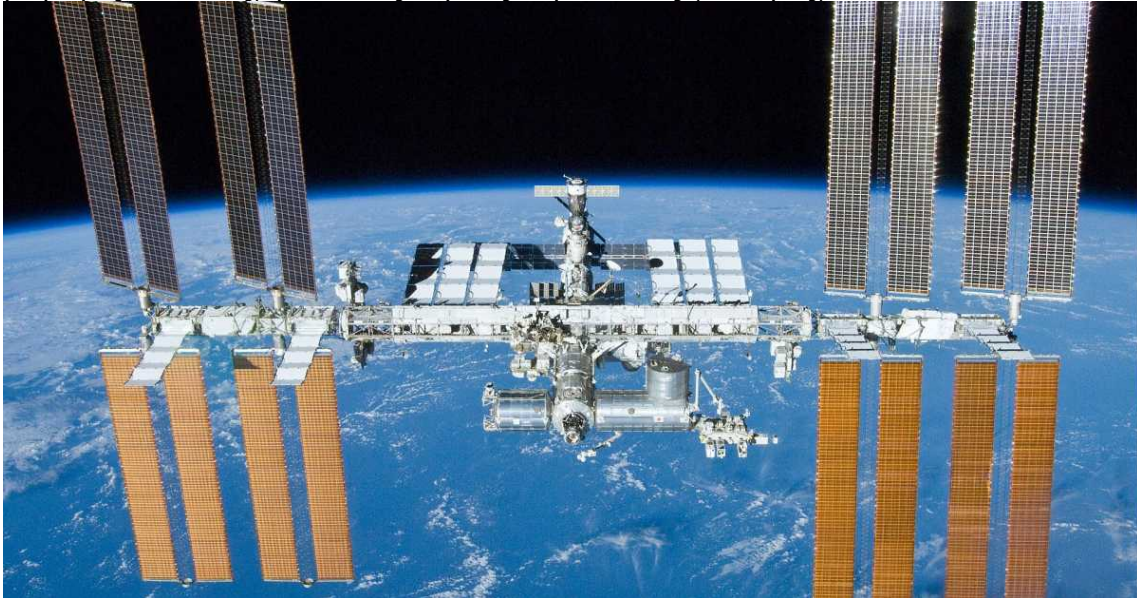
Ο Διεθνής Διαστημικός Σταθμός (ISS) έχει Φ/Β πάνελ συγκριτικά με ένα στάδιο ποδοσφαιρικού γηπέδου με σκοπό να παράγει μια εντυπωσιακή ισχύ 92 kWp – η μεγαλύτερη Φ/Β Συστοιχία σε τροχιά στο διάστημα έως σήμερα.

Τι συμβαίνει όμως όταν ο Ήλιος κρύβεται. Η ηλιακή παραγωγή ενέργειας είναι πολύ πιο βολική στο διάστημα, ειδικά εξαιτίας της έλλειψης συννεφιάς, καθώς και του γεγονότος ότι ο ήλιος δεν δύει ποτέ. Οι δορυφόροι κάνουν τροχιά γύρω από την γη, περνώντας δια μέσου μιας σκιασμένης περιοχής στην αντίθετη πλευρά της γης προς τον ήλιο. Εξαρτάται από τον τύπο της τροχιάς, ώστε αυτό το φαινόμενο να παίρνει μέρος μερικές φορές τον χρόνο για λίγες μόνο ώρες. Κατά την διάρκεια των επονομαζόμενων εκλείψεων, τα Φ/Β πάνελ δεν είναι δυνατόν να παράγουν Εηλ. και ο δορυφόρος δεν θα είναι μόνο ανίκανος να λειτουργήσει, αλλά επιπλέον θα παγώσει σε τρομερά χαμηλές θερμοκρασίες (κοντά στους -270°) εάν κάποια υποβοηθητική πηγή ισχύος δεν είναι διαθέσιμη. Κατ' επέκταση, η Εηλ. πρέπει να αποθηκεύεται πάνω στο διαστημικό αεροσκάφος κατά την έκθεση στο ηλιακό

¹⁴ Φ/Β πάνελ χρησιμοποιήθηκαν στο διάστημα ήδη από το 1958 για να ηλεκτροδοτήσουν τον δορυφόρο "VANGUARD"



φως (με κατάλληλο σχεδιασμό για να αποφορτίζεται σπάνια και μόνο όταν είναι αναγκαίο, με μικρές απώλειες) για τέτοιες ακραίες περιπτώσεις (εκλείψεις).



Σχήμα 1.76 Αναπαράσταση της επιφάνειας που καλύπτουν τα Φ/Β στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό

Πρωτοποριακή μέθοδος μετατρέπει τα σκουπίδια σε γραφένιο

Τα χαλασμένα φαγητά, οι πλαστικές συσκευασίες, τα παλιά λάστιχα αυτοκινήτου και πολλά άλλα υλικά που πετιούνται στα σκουπίδια, μπορούν πλέον να μετατραπούν στο «θαυματοργό» υλικό **γραφένιο**, χάρη σε μια καινοτόμα τεχνολογία που ανέπτυξαν ερευνητές στις ΗΠΑ. Οι χημικοί μηχανικοί του Πανεπιστημίου Ράις του Τέξας, με επικεφαλής τον Τζέιμς Τουρ, που έκαναν τη σχετική δημοσίευση στο περιοδικό "Nature", βρήκαν ένα τρόπο να μετατρέπουν σε γραφένιο όλα τα άχρηστα υλικά που περιέχουν άνθρακα, ουσιαστικά επιταχύνοντας την αντίστοιχη αργή φυσική διαδικασία μέσω της οποίας σχηματίζεται άνθρακας (γραφίτης) στα βάθη της Γης. Η τεχνική είναι σχετικά απλή και φθηνή, ενώ θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για να μειωθεί το «αποτύπωμα» του άνθρακα στο περιβάλλον. Η μετατροπή απαιτεί τα σκουπίδια να υφίστανται επεξεργασία με παλμούς λέιζερ υψηλής ενέργειας, σε υψηλές θερμοκρασίες περίπου 2.600 βαθμών Κελσίου.

Ενίσχυση των φωτοβολταϊκών κυψελών με γραφένιο

Το τελευταίο χρονικό διάστημα γίνεται μεγάλη έρευνα στον τομέα των Φ/Β με στόχο να ενσωματωθεί στα Φ/Β πλαίσια το υλικό γραφένιο.

Το γραφένιο είναι ένα νανοϋλικό που έχει προσελκύσει μεγάλο ενδιαφέρον σαν ένα υλικό που μπορεί να επιφέρει ριζοσπαστικές αλλαγές στην αποθήκευση ενέργειας. Το γραφένιο είναι βασικά μια εξαγωνική διάταξη μορίων του άνθρακα με παρά πολύ μικρό πάχος. Το «υλικό θαύμα» είναι παχύ όσο ένα άτομο άνθρακα και είναι το υλικό κατασκευής του γραφίτη. Το γραφένιο είναι 200 φορές ισχυρότερο από το ασάλι, σχεδόν εξ ολοκλήρου διαφανές και ένας άριστος αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Επίσης είναι



αρκετά εύκαμπτο και αδιαπέρατο. Γίνεται σημαντική έρευνα έτσι ώστε να αξιοποιηθούν τα μοναδικά χαρακτηριστικά του γραφενίου την χρήση σε φωτοβολταϊκές κυψέλες. Είναι πολύ πιθανό ότι η θαυμάσια αγωγιμότητα και η διαφάνεια του γραφενίου θα μπορούσε να συμβάλει στη δημιουργία της επόμενης γενιάς πιο αποδοτικών, ανθεκτικών και χαμηλού κόστους Φ/Β. Το γραφένιο είναι πράγματι πολύ καλός αγωγός, όμως δεν υπερέρχει τόσο όταν πρόκειται για την συλλογή του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται εντός του ηλιακού κυττάρου. Αυτός είναι και ο λόγος που οι ερευνητές αναζητούν τον κατάλληλο τρόπο έτσι ώστε τροποποιώντας το γραφένιο να παράξουν ένα νέο υλικό πιο διαφανές και με καλύτερη συμπεριφορά στην συγκέντρωση του ηλεκτρικού φορτίου. Γίνονται πειράματα και τροποποιήσεις με παράγωγα γραφενίου όπως το οξειδίο του γραφενίου. Μία άλλη πιθανή χρήση για γραφενίου είναι η αντικατάσταση του μείγματος Ινδίου Οξειδίου του Κασσίτερου (ΙΤΟ) στις ηλιακές κυψέλες. Το αγωγίμο οξειδίο Ινδίου κασσιτέρου (ΙΤΟ) χρησιμοποιείται μαζί με ένα μη αγωγίμο στρώμα γυαλιού στους περισσότερους οργανικούς ηλιακούς συλλέκτες. Όμως το υλικό είναι σπάνιο, ακριβό και εύθραυστο. Ερευνητές στο MIT εργάζονται για την ανάπτυξη ενός νέου ηλιακού κύτταρου, από γραφένιο και διθειούχο μολυβδαίνιο, το οποίο θα είναι λεπτό, ελαφρύ και αποτελεσματικό - έως και 1000 φορές περισσότερο από ό, τι τα Φ/Β πυριτίου. Ελπίζεται να επιτευχθεί χάρη στη μοναδική δομή του, η απόλυτη μετατροπή ενέργειας. Ερευνητές από το ίδιο πανεπιστήμιο έχει επίσης αναπτύξει ένα εύκαμπτο διαφανές ηλεκτρόδιο γραφενίου για πολυμερή ηλιακά κύτταρα, τα οποία ισχυρίζονται ότι είναι το πιο αποτελεσματικό ηλεκτρόδιο αυτού του είδους που αναπτύχθηκε ποτέ.

- ✓ Έρευνες του Πανεπιστήμιο του Cincinnati έδειξαν ότι η προσθήκη μιας πολύ μικρής ποσότητας νιφάδων γραφενίου σε ένα πολυμερές ηλιακό κύτταρο μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του έως και τρεις φορές.
- ✓ Η канаδική Sunvault σχηματίστηκε πρόσφατα την Supervault Energy για την ανάπτυξη γραφενίου τεχνολογία supercapacitor για τα ηλιακά κύτταρα. Η εταιρεία που αναφέρεται σε αυτό ως μια τεχνολογία που θα "αλλάξει το πρόσωπο της γενιάς των ΑΠΕ και της αποθήκευσης".

1.5. Ισχύον Νομικό Πλαίσιο / Διατάξεις (Κανονισμοί και Οδηγίες ΕΕ)

Ν. 1650/1986 Ο πρωταρχικός νόμος που θεσπίζει για 1^η φορά (κατηγοριοποιημένα) και περικλείει όλους τους βασικούς τομείς διαχείρισης του Περιβάλλοντος, ενώ παρακάτω παρατίθενται σχετικοί νόμοι με τις ΑΠΕ και την Φ/Β τεχνολογία.

Ν.3468/2006, “Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και



Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις”, ΦΕΚ 129Α/29-6-2006

Ν.3734/2009, “Προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις”, ΦΕΚ 8Α/28-1-2009

Ν.3851/2010, “Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής”, ΦΕΚ 85Α/4-6-2010

Εθνικός στόχος ΑΠΕ

Στο άρθρο 1 του ν.3468/2006 (ΦΕΚ 129 Α´) η υπάρχουσα διάταξη αριθμείται σε παρ. 1 και προστίθενται παράγραφοι 2 και 3 ως εξής:
«2. Η προστασία του κλίματος, μέσω της προώθησης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, αποτελεί περιβαλλοντική και ενεργειακή προτεραιότητα υψίστης σημασίας για τη χώρα.

3. Οι εθνικοί στόχοι για τις ΑΠΕ, με βάση την Οδηγία 2009/28/ΕΚ (ΕΕ L, 140/2009), καθορίζονται μέχρι το έτος 2020 ως εξής:

α) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20%.

β) Συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 40%. Με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής που εκδίδεται μέσα σε τρεις (3) μήνες από τη δημοσίευση του παρόντος, καθορίζεται η επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος και η κατανομή της στο χρόνο μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών ΑΠΕ. Η απόφαση αυτή αναθεωρείται ανά διετία ή και νωρίτερα, εάν συντρέχουν σημαντικοί λόγοι που σχετίζονται με την επίτευξη των στόχων της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ.

γ) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε ποσοστό τουλάχιστον 20%.

δ) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές σε ποσοστό τουλάχιστον 10%.»

Ενοποίηση των διατάξεων του Ν.3468/2006 όπως τροποποιήθηκαν από τους Ν.3734/2009, Ν.3851/2010, Ν.3889/2010 και λοιπών διατάξεων νόμων

1. Με τις διατάξεις του ν. 3468/2006 (ΦΕΚ Α´ 129), αφ’ ενός μεταφέρεται στο ελληνικό δίκαιο η Οδηγία 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Σεπτεμβρίου 2001 για την "προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας" (ΕΕ L 283) και αφ’ ετέρου προωθείται, κατά προτεραιότητα, στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, με κανόνες και αρχές, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και μονάδες Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ).

2. Η προστασία του κλίματος, μέσω της προώθησης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, αποτελεί περιβαλλοντική και ενεργειακή προτεραιότητα υψίστης σημασίας για τη χώρα.

3. Οι εθνικοί στόχοι για τις ΑΠΕ, με βάση την Οδηγία 2009/28/ΕΚ (ΕΕ L, 140/2009), καθορίζονται μέχρι το έτος 2020 ως εξής:



- α) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20%.
- β) Συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 40%. Με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, που εκδίδεται μέσα σε τρεις μήνες από τη δημοσίευση του παρόντος, καθορίζεται η επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος και η κατανομή της στο χρόνο μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών ΑΠΕ, οι κατηγορίες παραγωγών, η κατανομή μεταξύ αυτών, οι λόγοι αναθεώρησής της, καθώς και οι λόγοι και η διαδικασία για τυχόν αναγκαία αναστολή της αδειοδοτικής διαδικασίας και άρση αυτής. Ως εγκατεστημένη ισχύς θεωρείται το σύνολο της ισχύος των σταθμών παραγωγής σε κανονική και δοκιμαστική λειτουργία. Η απόφαση αυτή αναθεωρείται ανά διετία ή και νωρίτερα, εάν συντρέχουν σημαντικοί λόγοι που σχετίζονται με την επίτευξη των στόχων της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ.»
- γ) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε ποσοστό τουλάχιστον 20%.
- δ) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές σε ποσοστό τουλάχιστον 10%.

N.4001/2011 "Για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις", ΦΕΚ 179Α/22-8-2011

N.4062/2012 "Πρόγραμμα ΗΛΙΟΣ - Προώθηση της χρήσης ενέργειας από ΑΠΕ - Τροπολογίες ΑΠΕ", ΦΕΚ 70Α/30-3-2012

N.4093/2012 Έκτακτη εισφορά για ΑΠΕ - Κατάργηση 18μηνου, ΦΕΚ 222Α/12/11/2012

N.4152/2013 Ρυθμίσεις Θεμάτων ΑΠΕ - Έκτακτη εισφορά - Αναστολή αδειοδότησης, ΦΕΚ 107Α/9/5/2013

N.4203/2013 - Ρυθμίσεις θεμάτων ΑΠΕ και άλλες διατάξεις, ΦΕΚ 235Α/1/11/2013

N.4223/2013 - Αναστολή αδειοδότησης (Ενιαίος φόρος ιδιοκτησίας ακινήτων και άλλες διατάξεις), ΦΕΚ 287Α/31/12/2013

N.4254/2014 - New Deal, άρση αναστολής αδειοδότησης, ΦΕΚ 85Α/7/4/2014

N.4414/2016 – Νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΥΘΥΑ – Διατάξεις για το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των κλάδων προμήθειας και διανομής στην αγορά του φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις - ΦΕΚ 149Α/9/8/2016



Σκοπός και πεδίο εφαρμογής
Σκοπός του παρόντος νόμου είναι:

α. Η ανάπτυξη νέου καθεστώτος στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και από Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) συμβατού με τις «Κατευθυντήριες Γραμμές για τις κρατικές ενισχύσεις στους τομείς του περιβάλλοντος και της ενέργειας (2014-2020)» (ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ΕΕ C200/28.6.2014).

β. Η αναμόρφωση του καθεστώτος στήριξης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ, προκειμένου να επιτευχθεί η σταδιακή ενσωμάτωση και συμμετοχή των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με τον βέλτιστο τρόπο σε επίπεδο κόστους οφέλους για την κοινωνία.

γ. Η αξιοποίηση του εγχώριου δυναμικού ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, κατά προτεραιότητα, με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος, τη διαφοροποίηση του εθνικού ενεργειακού μίγματος, την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και την ενίσχυση και ανάπτυξη της εθνικής οικονομίας.

δ. Η επίτευξη των εθνικών ενεργειακών στόχων, που προβλέπονται στο ν. 3468/2006 (Α' 129), όπως τροποποιήθηκε με το ν. 3851/2010 (Α' 85) με τον οποίο εναρμονίστηκε η ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ, ως προς τη συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας στη χώρα μέχρι το έτος 2020.

ε. Η ανάπτυξη και εφαρμογή του καθεστώτος στήριξης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στο πλαίσιο της ενιαίας πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, και την επίτευξη του στόχου συμμετοχής των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας.

στ. Η υποστήριξη της λειτουργίας των σταθμών ΣΗΘΥΑ, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, σύμφωνα με τα οριζόμενα στο ν. 3734/2009 (Α' 8) και στο ν. 4342/2015 (Α' 143), με τις διατάξεις των οποίων εναρμονίστηκε η ελληνική νομοθεσία με τις Οδηγίες 2004/8/ΕΚ και 2012/27/ ΕΕ, αντίστοιχα. Με το ισχύον καθεστώς ενίσχυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Ν.4414/2016), οι ενισχύσεις για έργα μεσαίας και μεγάλης ισχύος (που ισχύουν για 20 χρόνια) χορηγούνται ως διαφορική προσαύξηση, επιπλέον της αγοραίας τιμής με την οποία οι παραγωγοί πωλούν την ηλεκτρική ενέργεια απευθείας στην αγορά, ισχύει δηλαδή ο υποστηρικτικός μηχανισμός των εγγυημένων διαφορικών τιμών (feed-in-premium). Επιπλέον, οι ενισχύσεις για τα έργα αυτής της κλίμακας χορηγούνται στο πλαίσιο μιας ανταγωνιστικής διαδικασίας

Ν.4513/2018 – Ενεργειακές Κοινότητες – ΦΕΚ 9Α/23/1/2018

Ορισμός

1. Η Ενεργειακή Κοινότητα (Ε.Κοιν.) είναι αστικός συνεταιρισμός αποκλειστικού σκοπού με στόχο την προώθηση της κοινωνικής και αλληλέγγυας οικονομίας, όπως ορίζεται στην παρ. 1 του άρθρου 2 του ν. 4430/2016 (Α' 205), και της καινοτομίας στον ενεργειακό τομέα, την αντιμετώπιση της ενεργειακής ένδειας και την προαγωγή της ενεργειακής αειφορίας, την παραγωγή, αποθήκευση, ιδιοκατανάλωση, διανομή και προμήθεια ενέργειας, την ενίσχυση της ενεργειακής αυτόαρκειας και ασφάλειας σε νησιωτικούς δήμους, καθώς και τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας στην τελική χρήση σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, μέσω της δραστηριοποίησης στους τομείς των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), της Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ), της



ορθολογικής χρήσης ενέργειας, της ενεργειακής αποδοτικότητας, των βιώσιμων μεταφορών, της διαχείρισης της ζήτησης και της παραγωγής, διανομής και προμήθειας ενέργειας.

2. Για όσα θέματα δεν ορίζονται ειδικότερα στον παρόντα, οι Ε.Κοιν. διέπονται συμπληρωματικά από τις διατάξεις του ν. 1667/1986 (Α' 196).

3. Στις Ε.Κοιν. δεν εφαρμόζονται οι παρακάτω διατάξεις του ν. 1667/1986:

α) Οι αριθμητικοί περιορισμοί των τριών (3) μελών για το αίτημα σύγκλησης γενικής συνέλευσης του πρώτου εδαφίου της παραγράφου 3 του άρθρου 5, των επτά (7) μελών για την ελάχιστη απαρτία στη γενική συνέλευση του τελευταίου εδαφίου της ίδιας παραγράφου, των τριών (3) μελών για την υποχρεωτική αναβολή της συζήτησης θεμάτων που δεν περιλαμβάνονται στην ημερήσια διάταξη της γενικής συνέλευσης του έβδομου εδαφίου της παραγράφου 5 του ίδιου άρθρου και των δύο (2) μελών για το αίτημα σύγκλησης διοικητικού συμβουλίου της παραγράφου 2 του άρθρου 7, β) η υποχρέωση συγκρότησης τριμελούς επιτροπής ελέγχου της παραγράφου 1 του άρθρου 7,

γ) οι διατάξεις της παραγράφου 4 του άρθρου 9 και του άρθρου 13. 4. Όπου στις διατάξεις του ν. 1667/1986 αναφέρεται καταχώρηση σε μητρώο, για τις ανάγκες του παρόντος νοείται το Μητρώο Ε.Κοιν. του άρθρου 8 και δεν απαιτείται εγγραφή, καταχώρηση ή ενημέρωση οποιουδήποτε άλλου μητρώου.

Ν.4546/2018 – Τροπολογίες για φωτοβολταϊκά – ΦΕΚ 101Α/12/6/2018

Στην παράγραφο 1 προστίθεται περίπτωση ικ' ως εξής: «ικ) Φωτοβολταϊκά συστήματα πάνω σε κτίρια και για ισχύ συστημάτων έως και 100kW.».

Ν.4602/2019 – Τροπολογίες για φωτοβολταϊκά (τιμολόγηση συστημάτων εκτός διαγωνισμών) – ΦΕΚ 45Α/9.3.2019

Έρευνα, εκμετάλλευση και διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού της Χώρας, σύσταση Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, ιδιοκτησιακός διαχωρισμός

Άρθρο 72

Ηλιακή Ενέργεια που αξιοποιείται με Φ/Β σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ < 500 kWp: μεσοσταθμική Τιμή Αναφοράς (Τ.Α.) που προέκυψε κατά τις τρεις (3) προηγούμενες πριν την τελευταία ανταγωνιστικές διαδικασίες υποβολής προσφορών που αφορούν στην ίδια τεχνολογία προσαυξημένη κατά 5%.

Ηλιακή Ενέργεια που αξιοποιείται με Φ/Β σταθμούς που ανήκουν σε Ενεργειακές Κοινότητες του ν. 4513/2018 με εγκατεστημένη ισχύ <=1MW ή σε κατ' επάγγελμα αγρότες με εγκατεστημένη ισχύ < 500 kWp: μεσοσταθμική Τ.Α. που προέκυψε κατά τις τρεις (3) προηγούμενες πριν την τελευταία ανταγωνιστικές διαδικασίες υποβολής προσφορών που αφορούν στην εν λόγω κατηγορία φ/β σταθμών ή, αν δεν έχουν διενεργηθεί διαγωνισμοί στην κατηγορία, στην ίδια τεχνολογία προσαυξημένη κατά 10%

Ν.4643/2019 – Απελευθέρωση αγοράς ενέργειας, εκσυγχρονισμός της ΔΕΗ, ιδιωτικοποίηση της ΔΕΠΑ και στήριξη των ΑΠΕ και λοιπές διατάξεις.– ΦΕΚ 193Α/3.12.2019

Τα όρια ισχύος εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σε γη υψηλής παραγωγικότητας ανά Περιφερειακή Ενότητα



Δημοσιεύθηκε σε ΦΕΚ η ΚΥΑ με θέμα: "Καθορισμός του μέγιστου ορίου συνολικής ισχύος φωτοβολταϊκών σταθμών σε αγροτική γη εντός του οποίου είναι επιτρεπτή η εγκατάσταση Φ/Β σταθμού ≤ 1 MW σε αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας σε MW ανά Περιφερειακή Ενότητα και προσδιορισμός των ενεργειών των αρμόδιων υπηρεσιών με βάση την παρ. 6 του άρθρου 56 του ν. 2637/1998 (Α' 200) όπως τροποποιήθηκε με την παρ. 1 του άρθρου 24 του ν. 4643/2019 (Α' 193) και ισχύει."

Με την παρούσα καθορίζεται το μέγιστο όριο συνολικής ισχύος Φ/Β σταθμών σε αγροτική γη, εντός του οποίου επιτρέπεται η εγκατάσταση Φ/Β σταθμού ≤ 1 MW σε αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας ανά Περιφερειακή Ενότητα και οι ενέργειες των αρμόδιων υπηρεσιών.

Το μέγιστο όριο συνολικής ισχύος φωτοβολταϊκών σταθμών σε αγροτική γη εντός του οποίου είναι επιτρεπτή η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού ≤ 1 MW σε αγροτεμάχια που χαρακτηρίζονται ή καθορίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας ανά Περιφερειακή Ενότητα, λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο της καλλιεργούμενης γεωργικής γης και αγρανάπαυσης (σύνολο καλλιεργούμενων εκτάσεων) ανά Περιφερειακή Ενότητα του Πίνακα 1α «Εκτάσεις καλλιεργειών και αγρανάπαυσης, κατά κατηγορία, Περιφέρεια και Περιφερειακή Ενότητα, 2017» της Ετήσιας Γεωργικής Στατιστικής Έρευνας του έτους 2017 της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής, το όριο 0,5% επί του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων ανά Περιφερειακή Ενότητα για την Περιφέρεια Αττικής και τις νησιωτικές περιφέρειες και το όριο 1% επί του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων ανά Περιφερειακή Ενότητα για τις λοιπές περιφέρειες και τυπική στρεμματική κάλυψη ίση με 16 στρέμματα ανά εγκατεστημένο MW φωτοβολταϊκού σταθμού.

Παράδειγμα: Μέγιστο όριο συνολικής ισχύος φωτοβολταϊκών σταθμών σε αγροτική γη εντός του οποίου είναι επιτρεπτή η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού ≤ 1 MW σε αγροτεμάχια που χαρακτηρίζονται ή καθορίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας για την περιφερειακή ενότητα Θεσσαλονίκης (πηγή Michanikos.gr):

Σύνολο Καλλιεργούμενων Εκτάσεων (στρέμματα): 1.501.756

0,5% επί του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων για την Περιφέρεια Αττικής και τις νησιωτικές περιφέρειες και 1% επί του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων για τις λοιπές περιφέρειες (στρέμματα): 15.018

Μέγιστο όριο συνολικής ισχύος φ/β σταθμών σε αγροτική γη εντός του οποίου είναι επιτρεπτή η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού ≤ 1 MW σε αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας (MW): 939

Ν.4685/2020 – Εκσυγχρονισμός περιβαλλοντικής νομοθεσίας, κατάργηση άδειας παραγωγής – ΦΕΚ 92Α/7.5.2020

Άρθρο 2 Επιτάχυνση διαδικασιών έκδοσης ΑΕΠΟ,
Άρθρο 3 Απλοποίηση διαδικασίας ανανέωσης ΑΕΠΟ,
Άρθρο 4 Απλοποίηση διαδικασίας τροποποίησης ΑΕΠΟ,
Άρθρο 5 Περιεχόμενο Φακέλων Περιβαλλοντικής Αδειοδότησης,

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β' ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗΣ ΑΠΕ - Α' ΦΑΣΗ,

Άρθρο 13 Περιορισμοί χωροθέτησης σταθμών ΑΠΕ,
Άρθρο 14 Περιοχές με κορεσμένα δίκτυα



Καθορίστηκαν νέες τιμές αναφοράς (τιμές πώλησης της παραγόμενης ενέργειας) και για τα έργα που δεν συμμετέχουν σε ανταγωνιστικές διαδικασίες. Συγκεκριμένα, το 2020 και μέχρι και 30/4/2021, οι τιμές αναφοράς για την κατηγορία αυτή έργων θα συναρτώνται από τα αποτελέσματα των προηγούμενων ανταγωνιστικών διαδικασιών, ενώ από 1/5/2021 οι τιμές αυτές θα είναι ρυθμιζόμενες και σταθερές.

Στα τέλη του 2019 οριστικοποιήθηκε το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), το οποίο προβλέπει τα εξής σε ότι αφορά την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών:

Στόχοι για φωτοβολταϊκά	2016	2020	2022	2025	2027	2030
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (GWp)	2,6	3,0	3,9	5,3	6,3	7,7
Παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά (TWh)	3,9	4,5	6,0	8,2	9,7	11,8
Συμμετοχή φωτοβολταϊκών στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή	8,1%	8,7%	11,3%	15,1%	17,7%	20,7%

Πίνακας 1.4 Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα, ο ρόλος της Φ/Β τεχνολογίας

[1 GWp = 1000 MWp] Παράλληλα με την θεσμοθέτηση νέων μηχανισμών ενίσχυσης των Φ/Β σταθμών, την τελευταία τετραετία έχει υπάρξει σειρά νομοθετικών ρυθμίσεων για την αυτοπαραγωγή με ενεργειακό συμψηφισμό (Net-Metering) για έργα ισχύος μέχρι 1 MWp, καθώς και για Ενεργειακές Κοινότητες.

Ν. 4736/2020, ΦΕΚ 200Α/20.10.2020. Δήλωση Ετοιμότητας για τη σύνδεση σταθμού ΑΠΕ

Υπουργική Απόφαση – ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/114746/4230 (ΦΕΚ Β΄5291/01.12.2020)
Κανονισμός Βεβαιώσεων Παραγωγού Ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ και Βεβαιώσεων Παραγωγού Ηλεκτρικής Ενέργειας Ειδικών Έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ).

Ν. 4759/2020, ΦΕΚ 245Α/09.12.2020. Πολεοδομικές – Ενεργειακές ρυθμίσεις για φωτοβολταϊκά – Έκτακτη εισφορά – Ενεργειακές Κοινότητες – Αύξηση ορίου Net-Metering

Εκσυγχρονισμός της Χωροταξικής και Πολεοδομικής Νομοθεσίας και άλλες διατάξεις. ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α΄ ΑΠΛΟΥΣΤΕΥΣΗ, ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟΥ ΚΑΙ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

- ✓ Βάση θεσμικού/κοινοτικού πλαισίου : Προώθηση Ενεργειακών Κοινοτήτων και Αποκεντρωμένων / Μικρών Αυτόνομων Συστημάτων



Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050

Η Μακροχρόνια Στρατηγική για το έτος 2050 (Long Term Strategy 2050 – LTS), αναπτύσσεται συμπληρωματικά στο ΕΣΕΚ, το οποίο και αποτελεί το κεντρικό στρατηγικό σχέδιο βάσει του οποίου υλοποιούνται συγκεκριμένα μέτρα πολιτικής στους τομείς της ενέργειας και του κλίματος. Στο πλαίσιο αυτό η μακροπρόθεσμη στρατηγική έχει ως *σημείο αναφοράς το έτος 2030* και προϋποθέτει την επίτευξη των σχετικών στόχων του ΕΣΕΚ. Η Μακροχρόνια Στρατηγική για το έτος 2050, αποτελεί για την Ελληνική Κυβέρνηση έναν οδικό Χάρτη για τα θέματα του Κλίματος και της Ενέργειας, στο πλαίσιο της συμμετοχής της χώρας στο συλλογικό Ευρωπαϊκό στόχο της επιτυχούς και βιώσιμης μετάβασης σε μια οικονομία κλιματικής ουδετερότητας έως το έτος 2050, σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αφού τέθηκε σε δημόσια διαβούλευση από τις 10 έως τις 27 Δεκεμβρίου 2019, υποβλήθηκε στις αρχές του 2020 από την Ελληνική Κυβέρνηση στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Στόχος της μακροπρόθεσμης στρατηγικής είναι να παρουσιάζει τις

Πίνακας 1.5 Σύνοψη των στόχων της ΕΕ για το κλίμα. Βάσει της ευρωπαϊκής νομοθεσίας σε λευκό χρώμα, της προτεινόμενης νομοθεσίας και των δεσμεύσεων

2020	<ul style="list-style-type: none">• 20% μείωση των εκπομπών ΑΤΘ (σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990)• 20% ενέργεια από ΑΠΕ• 20% βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης
2030	<ul style="list-style-type: none">• μείωση των εκπομπών ΑτΘ τουλάχιστον κατά 50% και έως 55% (σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990)• ενέργεια προερχόμενη από ΑΠΕ τουλάχιστον κατά 32%• βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης τουλάχιστον κατά 32,5%
2050	0 καθαρές εκπομπές ΑτΘ

της ΕΕ σε γκρι χρώμα (πηγή ΕΕΣ)

διαθέσιμες τεχνολογικές λύσεις με δυνατότητα εφαρμογής στο εγχώριο πεδίο, αποφεύγοντας τη μοναδιαία επιλογή κάποιων εξ' αυτών, ώστε σε επίπεδο ενεργειακής πολιτικής να υπάρχει η δυνατότητα και η ευελιξία για προσαρμογή των μέτρων ανάλογα με την τεχνολογική πρόοδο και τη διάρθρωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στους κλάδους οικονομικής δραστηριότητας μετά το έτος 2030. Υπό το πρίσμα αυτό η μακροχρόνια στρατηγική εξετάζει το φάσμα των διαθέσιμων επιλογών και των διαφορετικών σεναρίων εξέλιξης του ενεργειακού συστήματος, για την απαραίτητη ενεργειακή μετάβαση με τον πιο οικονομικά ανταγωνιστικό τρόπο για την εθνική οικονομία, προκειμένου να επιτευχθεί δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και εκσυγχρονισμός της οικονομίας.

✓ Το Πρωτόκολλο του Κιότο υπογράφηκε το 1997 και τέθηκε σε ισχύ το 2005

Στο πλαίσιο της ανταλλαγής (αγοραπωλησία εκπεμπόμενων ρύπων) η Ελλάδα πέτυχε να της επιτραπεί αύξηση εκπομπών κατά 25% (αντί να μειώσει τα ΑτΘ κατά 8% σε σύγκριση



με το έτος-οδηγό 1990). Η ιδέα της αγοραπωλησίας μονάδων ρύπανσης φάνταζε τόσο κερδοφόρα, όπου μια σειρά Διεθνών Οργανισμών εξέφρασε ενδιαφέρον για την εκμετάλλευσή τους, όπως η Παγκόσμια Τράπεζα, η Ασιατική Τράπεζα και ο ΟΗΕ.

Κράτος μέλος	Δικαιώματα εκπομπής CO ₂ (εκατ. τόνοι)	Μερίδιο δικαιωμάτων στην ΕΕ	Καλυπτόμενες εγκαταστάσεις	Στόχος του Κιότο
Βέλγιο	188,8	2,9 %	363	- 7,5 % (*)
Τσεχική Δημοκρατία	292,8	4,4 %	435	- 8 %
Δανία	100,5	1,5 %	378	- 21 % (*)
Γερμανία	1 497,0	22,8 %	1 849	- 21 % (*)
Εσθονία	56,85	0,9 %	43	- 8 %
Ελλάδα	223,2	3,4 %	141	+ 25 % (*)
Ισπανία (**)	523,3	8,0 %	819	+ 15 %
Γαλλία	469,5	7,1 %	1 172	0 % (*)
Ιρλανδία	67,0	1,0 %	143	+ 13 % (*)
Ιταλία	697,5	10,6 %	1 240	- 6,5 % (*)
Κύπρος	16,98	0,3 %	13	—
Λεττονία	13,7	0,2 %	95	- 8 %
Λιθουανία	36,8	0,6 %	93	- 8 %
Λουξεμβούργο	10,07	0,2 %	19	- 28 % (*)
Ουγγαρία	93,8	1,4 %	261	- 6 %
Μάλτα	8,83	0,1 %	2	—
Κάτω Χώρες	285,9	4,3 %	333	- 6 % (*)
Αυστρία	99,00	1,5 %	205	+ 13 % (*)
Πολωνία	717,3	10,9 %	1 166	- 6 %
Πορτογαλία	114,5	1,7 %	239	+ 27 % (*)
Σλοβενία	26,3	0,4 %	98	- 8 %
Σλοβακία	91,5	1,4 %	209	- 8 %
Φινλανδία	136,5	2,1 %	535	0 % (*)
Σουηδία	68,7	1,1 %	499	+ 4 % (*)
Ηνωμένο Βασίλειο	736,0	11,2 %	1 078	- 12,5 % (*)
Σύνολο	6 572,4	100,0 %	11 428	

Σχήμα 1.77 Εμπορία ρύπων περιόδου 2005-2007 στην ΕΕ

Κυριότερες Ευθύνουσες Εγκαταστάσεις Επιδείνωσης Εκπομπών ΑτΘ

Οι εγκαταστάσεις αυτές περιλαμβάνουν σταθμούς καύσης, διυλιστήρια πετρελαίου, κλιβάνους σιδηροδρομικής μεταφοράς, χαλυβουργεία και εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου, γυαλιού, ασβέστη, σιδηροπλίνθων, κεραμικών ειδών, χαρτοπολτού και χαρτιού. Εγκαταστάσεις καύσεως με ονομαστική θερμική κατανάλωση άνω των 20MW – περίπου 10.000 βιομηχανικές μονάδες σε ολόκληρη την Ε.Ε. καλύπτοντας το 45% εκπομπών CO₂ στην Ε.Ε. (πηγή <http://www.lignite.gr/OPET/hcn/ARKAT/Mechanisms.pdf>)

Οι Ευέλικτοι Μηχανισμοί του Πρωτοκόλλου του Κιότο και ο ρόλος των τεχνολογιών ΑΠΕ

Το κόστος μείωσης των εκπομπών των ΑτΘ, απαραίτητη προϋπόθεση για την πρόληψη, ή σωστότερα, για τον περιορισμό της δυσμενούς κλιματικής κρίσης, είναι τεράστιο. Σε μια προσπάθεια να μειωθεί το κόστος αυτό, στα πλαίσια των διαπραγματεύσεων για το Πρωτόκολλο του Κιότο υιοθετήθηκαν τρεις ευέλικτοι μηχανισμοί: η Διεθνής Εμπορία Εκπομπών, ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης και η από Κοινού Εφαρμογή.

Η πρόληψη της ανόδου των επιπέδων κλιματικής αλλαγής σε καταστροφικά επίπεδα είναι η μεγαλύτερη πρόκληση της εποχής μας. Η ανθρωπότητα πρέπει το συντομότερο να μειώσει τις εκπομπές ΑτΘ, δηλαδή να αλλάξει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο παράγει και καταναλώνει ενέργεια. Για να συμβεί αυτό απαιτούνται τεράστιες επενδύσεις σε καθαρότερες τεχνολογίες, ΑΠΕ, αποδοτικότερες συσκευές/οχήματα και νέες υποδομές με λιγότερες απαιτήσεις και καλύτερο σχεδιασμό εξαρχής. Πρόσφατες μελέτες εκτιμούν το κόστος των επενδύσεων αυτών σε περίπου 1% του ΑΕΠ και επομένως είναι πολύ σημαντικό οι απαραίτητες επενδύσεις να γίνουν με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο. Για τον



σκοπό αυτό, οι διαπραγματεύσεις για το Πρωτόκολλο του Κιότο οδήγησαν στην υιοθέτηση των τριών αυτών μηχανισμών ευελιξίας που θα βοηθήσουν ώστε οι παγκόσμιες εκπομπές να μειωθούν με το μικρότερο δυνατό κόστος. Οι μηχανισμοί αυτοί βασίστηκαν στο γεγονός ότι η επίπτωση στο κλίμα από την εκπομπή ενός ισοδύναμου τόνου CO₂ (ή την αποφυγή της) είναι ίδια, ανεξάρτητα από την γεωγραφική θέση της πηγής εκπομπής. Η οικονομική λογική των μηχανισμών είναι ακριβώς ότι αυτοί παρέχουν την ευελιξία ώστε οι απαιτούμενες μειώσεις εκπομπών να προσέλθουν από εκείνα τα έργα και σε εκείνους τους τομείς και γεωγραφικές περιοχές όπου το κόστος είναι μικρότερο και το αποτέλεσμα βελτιστοποιείται. Για παράδειγμα, μια χώρα ή επιχείρηση, η οποία έχει ήδη αξιοποιήσει καθαρότερες τεχνολογίες και επομένως είναι κοστοβόρο για αυτήν να μειώσει περισσότερο στο εσωτερικό της τις εκπομπές, δίνεται η δυνατότητα να χρηματοδοτήσει (είτε άμεσα, είτε έμμεσα μέσω αγοράς ρύπων) επενδύσεις σε άλλη χώρα ή επιχείρηση με μεγαλύτερο και άρα φθηνότερο περιθώριο μείωσης εκπομπών. (πηγή

<http://medsos.gr/medsos/2008-08-11-10-01-30/2008-08-11-10-41-23/2008-08-11-10-46-13/261--l-r--.html>)

Διεθνής Εμπορία Εκπομπών

Η τρέχουσα (τρίτη) φάση του συστήματος εμπορίας των δικαιωμάτων εκπομπών – ΣΕΔΕ της Ε.Ε. καλύπτει την περίοδο από το 2013 έως το 2020.

Το σύστημα εφαρμόζεται στα εξής:

- Μονάδες παραγωγής ενέργειας
- Ευρύ φάσμα ενεργοβόρων βιομηχανικών κλάδων
- Αεροσκάφη που εκτελούν πτήσεις μεταξύ αερολιμένων στην Ε.Ε., την Νορβηγία και την Ισλανδία
- Εκπομπές
 - διοξειδίου του άνθρακα
 - υποξειδίου του αζώτου
 - υπερφθορανθράκων
 - μεθανίου
 - υδροφθορανθράκων
 - εξαφθοριούχου θείου

Οι βιομηχανικές χώρες έχουν αναλάβει συγκεκριμένες δεσμεύσεις μείωσης (ή αλλιώς περιορισμού αύξησης) των εθνικών τους εκπομπών. Σύμφωνα με την Διεθνή Εμπορία Εκπομπών, κάθε χώρα που καταφέρνει να περιορίσει τις εκπομπές της περισσότερο από όσο απαιτείται για την ίδια, έχει το δικαίωμα να πουλήσει το πλεόνασμά της σε άλλη χώρα που το χρειάζεται προκειμένου να συμμορφωθεί με τον στόχο της.



Παραδείγματα

A. Μηχανισμός καθαρής ανάπτυξης

Μηχανισμός, δυνάμει του πρωτοκόλλου του Κιότο, μέσω του οποίου οι ανεπτυγμένες χώρες μπορούν να χρηματοδοτούν έργα για τον περιορισμό ή την κατάργηση των εκπομπών ΑτΘ στις αναπτυσσόμενες χώρες και να λαμβάνουν ως αντάλλαγμα πιστωτικά μόρια άνθρακα – πιστοποιημένες μειώσεις εκπομπών, CER – όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τήρηση των υποχρεωτικών ορίων των δικών τους εκπομπών. Παράδειγμα Σουηδικής Κυβέρνησης: Χρηματοδότηση κατασκευών ηλιακών συστημάτων/συσσωρευτών σε ένα κράτος στην Αφρική, όπου με αυτό τον τρόπο θα μειωθούν οι ρύποι στην χώρα αυτή χωρίς να μειώσει ούτε στο ελάχιστο τις εκπομπές ρύπων στο εσωτερικό της χώρας με κάποια άμεση παρέμβαση. Η ουσία της σχετικής ρύθμισης στηρίζεται στο γεγονός ότι, για τις Βιομηχανικές χώρες του Βορρά (ως επί το πλείστον) είναι πολύ οικονομικότερο να μειώσουν τις εκπομπές ΑτΘ των ξεπερασμένων βιομηχανιών του Νότου, μεταφέροντας σε τέτοιου είδους χώρες νέα τεχνολογία και τεχνολογία. (πηγή <https://op.europa.eu/en/web/eu-vocabularies/th-concept/-/resource/eurovoc/434909/lang-el>)

B. Κοινή υλοποίηση (από κοινού πρόγραμμα μείωσης των εκπομπών ΑτΘ στο έδαφος της μίας χώρας και έπειτα διαμοιρασμός των αποτελεσμάτων, μείωση εκπομπών κατά την περίοδο 2008-2012.

Μεταξύ των επιλέξιμων πιθανών έργων για ένταξη στους ευέλικτους μηχανισμούς, η ανάπτυξη έργων ΑΠΕ, η υλοποίηση παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας, η ανάκτηση/διαχείριση του παραγόμενου μεθανίου σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, ο εκσυγχρονισμός βιομηχανικών διεργασιών συγκεντρώνουν κατά προτεραιότητα το ενδιαφέρον των επενδυτών και αναμένεται να παίξουν πρωταγωνιστικό ρόλο και στο άμεσο μέλλον. Τα περισσότερα από τα έργα που έχουν ενταχθεί στον Μηχανισμό Καθαρής Ανάπτυξης υλοποιούνται στην Κίνα και στην Ινδία, ενώ οι ανεπτυγμένες χώρες που επενδύουν κατά βάση σε τέτοια έργα είναι η Μ. Βρετανία, η Ελβετία, η Ολλανδία κλπ. Η Ελλάδα απούσα φυσικά από την σχετική λίστα (Εφημερίδας «ΑΥΓΗ», 3 Μαΐου 2009), μιας και δεν έχει συμμετάσχει στην ανάπτυξη ούτε ενός έργου στο πλαίσιο του Μηχανισμού Καθαρής Ανάπτυξης. Και όμως, δεδομένου ότι αφενός διαθέτει μέσω των επιχειρήσεων της σημαντική εμπειρία στην ανάπτυξη και υλοποίηση έργων ΑΠΕ, στην διαχείριση απορριμμάτων κλπ., και αφετέρου γειτνιάζει και έχει στενές σχέσεις με μια σειρά από χώρες που θα μπορούσαν να αποτελέσουν χώρες υποδοχής στο πλαίσιο του συγκεκριμένου στόχου του μηχανισμού (Βαλκάνια, Μέση Ανατολή) αλλά και την ενεργειακή ευημερία της χώρας μας, θα μπορούσε να παίξει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη τέτοιου είδους έργων, εξασφαλίζοντας πέρα από περιβαλλοντικά οφέλη, οικονομικότερη εκπλήρωση των υποχρεώσεων της στα πλαίσια του ΠτΚ καθώς και σημαντικές αναπτυξιακές προοπτικές. Δυστυχώς όμως, μέχρι στιγμής και όπως αποδεικνύεται, μια σημαντική τέτοια διάσταση της πράσινης οικονομίας δεν μας έχει απασχολήσει στο ελάχιστο σαν χώρα, με ορίζοντες το Περιβάλλον, την Βιώσιμη Ανάπτυξη και της Εξωστρέφεια της Ελληνικής Οικονομίας. (πηγή

<https://nomosphysis.org.gr/11716/oi-eueliktoi-mixanismoι-tou-protokollou-tou-kioto-maios-2009/>)



Σχήμα 1.78 Ποσοστό δωρεάν δικαιωμάτων ανά τομέα και ανά περίοδο (πηγή ΕΕΣ, βάσει της νομοθεσίας για το ΣΕΔΕ)

Πως Διαμορφώνονται οι ταρίφες για τα εκτός διαγωνισμού 500άρια (500 kWp) Φ/Β

Με βάση τα όσα έχουν ψηφιστεί από τη Βουλή, αλλά και όσα περιλαμβάνονται στις σχετικές Υπουργικές Αποφάσεις, από την 1η Μαΐου του επόμενου έτους, η ταρίφα με την οποία θα πωλούν την παραγόμενη ενέργεια τα φωτοβολταϊκά πάρκα που δικαιούνται και δεν συμμετέχουν σε διαγωνισμούς θα είναι σταθερή και δεν θα συναρτάται από τη μεσοσταθμική τιμή των προηγούμενων διαγωνισμών όπως συμβαίνει μέχρι σήμερα.

Ο λόγος για τα φωτοβολταϊκά ιδιωτών μέχρι 500 Κιλοβάτ (τα γνωστά "500άρια") και για τα φωτοβολταϊκά ενεργειακών κοινοτήτων έως 1 Μεγαβάτ (1 MWp). Μέχρι όμως να έρθει η 1 Μαΐου 2021 και να απεξαρτηθεί η τιμή από τους διαγωνισμούς, πολλά από τα έργα που θα ηλεκτριστούν εν τω μεταξύ, θα κλειδώσουν ταρίφα που σχετίζεται με το αποτέλεσμα της ανταγωνιστικής διαδικασίας της 27ης Ιουλίου.

Συγκεκριμένα οι τιμές που θα ισχύουν, πλέον, έχουν ως εξής:

Για ηλεκτρίση έως 26 Νοεμβρίου 2020:

- Ιδιώτες μέχρι 500 Κιλοβάτ: 70,3 ευρώ ανά Μεγαβατώρα
- Ενεργειακές Κοινότητες μέχρι 1 Μεγαβάτ: 73,64 ευρώ ανά Μεγαβατώρα

Για ηλεκτρίση από 27 Νοεμβρίου 2020 έως και 4 μήνες μετά τη δημοπρασία που έχει προαναγγείλει το ΥΠΕΝ για το Δεκέμβριο, συνεπώς μέχρι τον Απρίλιο του 2021:

- Ιδιώτες μέχρι 500 Κιλοβάτ: 65,73 ευρώ ανά Μεγαβατώρα
- Ενεργειακές Κοινότητες μέχρι 1 Μεγαβάτ: 68,86 ευρώ ανά Μεγαβατώρα



Για ηλεκτρίση από την ημερομηνία του Απριλίου 2021 που θα λήγει το 4μηνο από τη δημοπρασία του Δεκεμβρίου, έως τις 30 Απριλίου 2021:

- Ιδιώτες μέχρι 500 Κιλοβάτ: 60,16 ευρώ ανά Μεγαβατώρα
- Ενεργειακές Κοινότητες μέχρι 1 Μεγαβάτ: 63,03 ευρώ ανά Μεγαβατώρα

Για ηλεκτρίση από 1 Μαΐου 2021 έως και 30 Απριλίου 2022:

- Ιδιώτες μέχρι 500 Κιλοβάτ: 63 ευρώ ανά Μεγαβατώρα
- Ενεργειακές Κοινότητες μέχρι 1 Μεγαβάτ: 65 ευρώ ανά Μεγαβατώρα

Πρακτικά, εάν δεν αλλάξει κάτι, υπάρχει πλέον ένας απολύτως ξεκάθαρος ορίζοντας, μέχρι και τις 30 Απριλίου του 2022, χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο οι επενδυτές γνωρίζουν με σαφήνεια τις ταρίφες που θα πάρουν, συνεπώς μπορούν με σιγουριά να κάνουν τα επιχειρηματικά τους σχέδια (πηγή https://energypress.gr/news/pos-diamorfonontai-oi-tarifef-gia-ta-ektos-diagonismon-500aria-fotovoltaika-oi-times-gia_03_08_2020).

Δίκτυο NATURA 2000

Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο NATURA 2000

Το Ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Natura 2000 είναι ένα δίκτυο ζωνών προστασίας της φύσης που εκτείνεται σε ολόκληρη την Κοινότητα και έχει ως στόχο να διασφαλίσει τη μακροπρόθεσμη διατήρησή των πιο πολύτιμων και των πλέον απειλούμενων ειδών και ενδιαιτημάτων της σε ικανοποιητικό επίπεδο.

Το έργο κάλυψε υποχρεώσεις που απορρέουν από τις Οδηγίες 92/43/ΕΟΚ και 2009/147/ΕΚ. Η ένταξη των νέων περιοχών και η επικαιροποίηση του εθνικού καταλόγου θεσμοθετήθηκε με την ΚΥΑ 50743 (ΦΕΚ Β' 4432/2017) «Αναθεώρηση εθνικού καταλόγου περιοχών του Ευρωπαϊκού Οικολογικού Δικτύου Natura 2000».

Το Δίκτυο Natura 2000 αποτελεί ένα Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο περιοχών, οι οποίες φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών που είναι σημαντικοί σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Αποτελείται από δύο κατηγορίες περιοχών:

- τις «Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ)» (Special Protection Areas – SPA) για την Ορνιθοπανίδα, όπως ορίζονται στην Οδηγία 79/409/ΕΚ «για τη διατήρηση των άγριων πτηνών»
- τους «Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ)» (Sites of Community Importance – SCI) όπως ορίζονται στην Οδηγία 92/43/ΕΟΚ. Για τον προσδιορισμό των ΤΚΣ λαμβάνονται υπόψη οι τύποι οικοτόπων και τα είδη των Παραρτημάτων I και II της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ καθώς και τα κριτήρια του Παραρτήματος III αυτής.

Οι ΖΕΠ, μετά το χαρακτηρισμό τους από τα Κράτη Μέλη, εντάσσονται αυτόματα στο Δίκτυο Natura 2000, και η διαχείρισή τους ακολουθεί τις διατάξεις του άρθρου 6 παρ. 2, 3, 4 της



Οδηγίας 92/43/ΕΚ και τις διατάξεις του άρθρου 4 της Οδηγίας 79/409/ΕΟΚ. Αντίθετα, για την ένταξη των ΤΚΣ πραγματοποιείται επιστημονική αξιολόγηση και διαπραγμάτευση μεταξύ των Κρατών Μελών και της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των κατά οικολογική ενότητα Βιογεωγραφικών Σεμιναρίων. Οι ΤΚΣ υπόκεινται στις διατάξεις του άρθρου 6 παρ. 2, 3, 4 της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ. Μετά την οριστικοποίηση του καταλόγου των ΤΚΣ, τα Κράτη Μέλη υποχρεούνται να κηρύξουν τις περιοχές αυτές ως «Ειδικές Ζώνες Διατήρησης (ΕΖΔ)» (Special Areas of Conservation – SAC)» το αργότερο μέσα σε μια εξαετία και να καθορίσουν τις προτεραιότητες για την διατήρηση σε ικανοποιητική κατάσταση των τύπων οικοτόπων και ειδών κοινοτικού ενδιαφέροντος εντός αυτών. Οι ΕΖΔ υπόκεινται στις διατάξεις του άρθρου 6 παρ. 1, 2, 3, 4 της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ.

Η εφαρμογή του Δικτύου στην Ελλάδα

Η καταγραφή των τόπων που πληρούν τα κριτήρια της παρουσίας τύπων οικοτόπων και οικοτόπων ειδών της Οδηγίας 92/43/ΕΚ στη χώρα μας (296 περιοχές – «Επιστημονικός Κατάλογος»), έγινε από ομάδα περίπου 100 επιστημόνων που συστήθηκε ειδικά για το σκοπό αυτό στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος LIFE (1994-1996) με τίτλο «Καταγραφή, Αναγνώριση, Εκτίμηση και Χαρτογράφηση των Τύπων Οικοτόπων και των Ειδών Χλωρίδας και Πανίδας της Ελλάδας (Οδηγία 92/43/ΕΟΚ)». Στον «Επιστημονικό Κατάλογο» εντάχθηκε το σύνολο σχεδόν των μέχρι τότε προστατευόμενων περιοχών σε εθνικό και διεθνές επίπεδο.

Η Ελλάδα έχει χαρακτηρίσει σήμερα **202 Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ)** και **241 Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ)**. Οι δύο κατάλογοι περιοχών παρουσιάζουν μεταξύ τους επικαλύψεις όσον αφορά τις εκτάσεις τους. Ο κατάλογος των Ελληνικών Ζωνών Ειδικής Προστασίας δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ 1495/Β/06.09.2010 ως παράρτημα στη νέα ενσωμάτωση της Οδηγίας 79/4009/ΕΟΚ (η οποία κωδικοποιήθηκε με την Οδηγία 2009/147/ΕΚ).

Ειδικής οικολογικής αξιολόγησης (ΕΟΑ) για έργα και δραστηριότητες, εντός περιοχών Natura 2000

Με υπουργική απόφαση ορίζονται πλέον οι προδιαγραφές και το περιεχόμενο της ειδικής οικολογικής αξιολόγησης (ΕΟΑ) για έργα και δραστηριότητες, εντός περιοχών Natura 2000, που χαρακτηρίζονται από τοπικές και μη σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Όπως επισημαίνει στην ανακοίνωσή του το ΥΠΕΝ, εφαρμόζεται για πρώτη φορά η υποχρεωτική διεξαγωγή ειδικής μελέτης, πριν από την υλοποίηση οποιουδήποτε έργου ή δραστηριότητας κατηγορίας Β', προκειμένου να διαπιστωθεί αν κινδυνεύει η ακεραιότητα της προστατευόμενης περιοχής Natura 2000 από το σχεδιαζόμενο έργο ή δραστηριότητα, σύμφωνα με τις σχετικές Ευρωπαϊκές Οδηγίες. Η υπουργική απόφαση προβλέπει αναλυτικές πρόνοιες για το περιεχόμενο της ΕΟΑ, προκειμένου να διασφαλίζεται η ενιαία αντιμετώπιση όλων των επενδυτών και η ορθή αξιολόγηση, περιορίζοντας έτσι την πιθανότητα διακριτικής μεταχείρισης από την πλευρά της διοίκησης. Μάλιστα, σύμφωνα πάντα με το ΥΠΕΝ, για την αποφυγή καθυστερήσεων στην αδειοδοτική διαδικασία, προβλέπεται ότι η ΕΟΑ από την αρμόδια υπηρεσία περιβάλλοντος της Περιφέρειας ολοκληρώνεται εντός 35 εργάσιμων ημερών και σε διαφορετική περίπτωση συνεχίζεται απρόσκοπτα η αδειοδότηση του έργου. Ειδικά για τα αιολικά πάρκα που βρίσκονται εντός Ζωνών Ειδικής Προστασίας της ορνιθοπανίδας, προβλέπεται η υποχρέωση διεξαγωγής αναγνωριστικής μελέτης πεδίου. Σύμφωνα με το ΥΠΕΝ, η νέα υπουργική απόφαση, η οποία

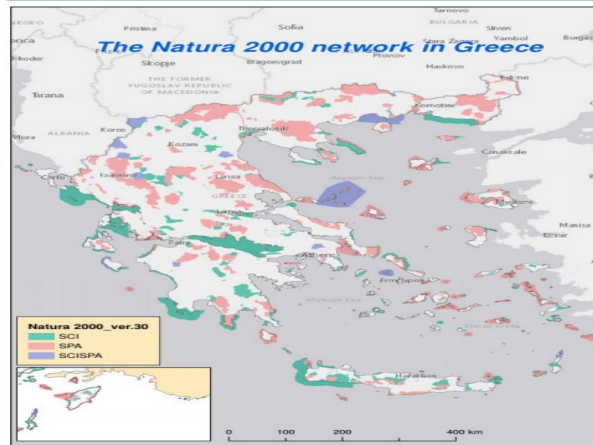


εντάσσεται στο πλαίσιο της πλήρους υλοποίησης του ν.4014/2011 για την περιβαλλοντική αδειοδότηση, με τις σαφείς και αναλυτικές προδιαγραφές που προβλέπει, αυξάνει την ασφάλεια του επενδυτικού περιβάλλοντος διασφαλίζοντας την ισότιμη αντιμετώπιση όλων των επενδυτών και αναβαθμίζοντας, ταυτόχρονα, την προστασία του περιβάλλοντος. (πηγή ΤΕΕ, δημοσίευση 03/10/2013)

Παρακάμπτεται η αρνητική οικολογική αξιολόγηση / Έργα σε περιοχές Natura ακόμη και αν η μελέτη οικολογικής αξιολόγησης πιστοποιεί πως θα τις καταστρέψουν

Εν τη γενέσει της ακυρώνεται η θεσμοθέτηση της ΕΟΑ έργων και δραστηριοτήτων, μεσαίας και μικρής κλίμακας, η οποία θα δείξει αν κινδυνεύει η ακεραιότητα των περιοχών του δικτύου Natura και άρα δεν μπορεί να αδειοδοτηθεί το όποιο έργο για λόγους προστασίας των ευαίσθητων και πολύτιμων στοιχείων του φυσικού μας πλούτου. **Και αυτό διότι σειρά έργων μπορούν να κατασκευασθούν ακόμη και αν η ΕΟΑ πιστοποιεί την καταστροφή της προστατευόμενης περιοχής, ενώ στραγγαλίζονται οι διαδικασίες γνωμοδότησης των φορέων διαχείρισης των προστατευόμενων περιοχών, με την προθεσμία γνωμοδότησης να γίνεται ασφυκτική, εντός 25 εργάσιμων ημερών, διαφορετικά... τεκμαίρεται η γνωμοδότησή τους.** Αυτά προβλέπονται σε σχέδιο Υπουργικής Απόφασης με την υπογραφή του υπουργού για τις προδιαγραφές και το περιεχόμενο της ΕΟΑ για έργα και δραστηριότητες της κατηγορίας Β. Πρόκειται για έργα και δραστηριότητες που ο νόμος Παπακωνσταντίνου 4014/2011 για την περιβαλλοντική αδειοδότηση, αυθαίρετα και εκ των προτέρων, χαρακτήρισε πως οι επιπτώσεις τους είναι τοπικές και μη σημαντικές στο περιβάλλον. Έτσι εξαιρέθηκαν από την περιβαλλοντική αξιολόγηση και την υποχρέωση εκπόνησης Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), βάσει της οποίας εκδίδονται οι περιβαλλοντικοί όροι κατασκευής και λειτουργίας και υπάγονται πλέον στις τυποποιημένες Πρότυπες Περιβαλλοντικές Δεσμεύσεις (ΠΠΔ). Σύμφωνα με το σχέδιο Υπουργικής Απόφασης τα έργα υποδομών, ΑΠΕ και ερευνητικές εργασίες για ανεύρεση ορυκτών, παρά τα αρνητικά συμπεράσματα της ΕΟΑ για την προστασία οικοτόπου και είδους θα κατασκευασθούν έτσι κι αλλιώς. Όπως αναφέρεται: "Αν ένα έργο ή μια δραστηριότητα πρέπει να πραγματοποιηθούν για άλλους, επιτακτικούς λόγους σημαντικού δημόσιου συμφέροντος, περιλαμβανομένων λόγων κοινωνικής ή οικονομικής φύσεως, εξετάζονται εναλλακτικές λύσεις οι οποίες αξιολογούνται εκ νέου και ελλείπει εναλλακτικών λύσεων, λαμβάνεται κάθε αναγκαίο αντισταθμιστικό μέτρο ώστε να εξασφαλισθεί η προστασία της συνολικής συνοχής των περιοχών του Δικτύου Natura 2000". Επί της οικολογικής μελέτης οι φορείς διαχείρισης διατάσσονται να γνωμοδοτήσουν εντός 25 εργάσιμων ημερών, διαφορετικά το τυποποιημένο έντυπο αξιολόγησης - γνωμοδότησης συμπληρώνεται από την περιφέρεια. Αξίζει να σημειωθεί ότι μόλις το 30% του Δικτύου NATURA ανήκει στην επικράτεια των φορέων διαχείρισης. Στην περίπτωση που απαιτούνται πρόσθετοι περιβαλλοντικοί όροι, η περιφέρεια οφείλει να ολοκληρώσει τη διαδικασία σε 35 εργάσιμες ημέρες, αλλιώς "τεκμαίρεται ότι έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία αξιολόγησης". Το θλιβερό είναι ότι το ΥΠΕΝ, με ανακοίνωσή του, επιχαίρει, καθώς αναφέρει: "Για την αποφυγή καθυστερήσεων στην αδειοδοτική διαδικασία προβλέπεται ότι η αξιολόγηση της ΕΟΑ από την αρμόδια υπηρεσία περιβάλλοντος της περιφέρειας ολοκληρώνεται εντός 35 εργάσιμων ημερών, σε διαφορετική περίπτωση συνεχίζεται απρόσκοπτα η αδειοδότηση του έργου" (πηγή www.avgi.gr/arheio/69211, 04/10/2013).

Το Δίκτυο Natura 2000



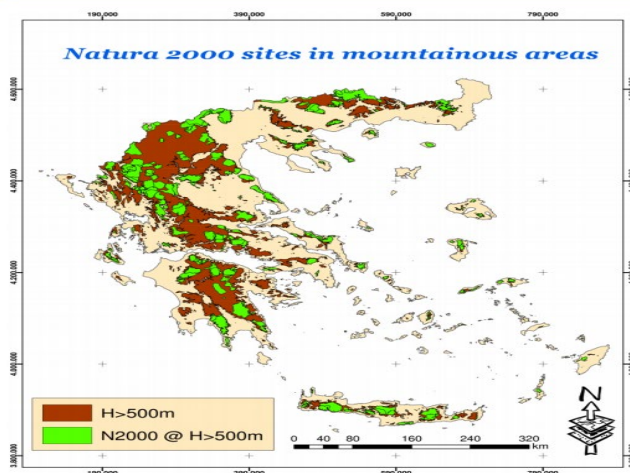
>27% της Επικράτειας



* 26 περιοχές είναι ταυτόχρονα SCIs & SPAs

Σχήμα 1.79 Απεικόνιση των περιοχών NATURA 2000 στην Ελληνική Επικράτεια, οι οποίες καταλαμβάνουν πάνω από το 27%, εκ των οποίων 26 περιοχές είναι ταυτόχρονα ΖΕΠ & ΤΚΣ

Το Δίκτυο Natura 2000



Για υψόμετρα > 500 m*

37,1% των εκτάσεων αυτών είναι περιοχές N2000

Σχήμα 1.80 Απεικόνιση των υψομετρικών ανάγλυφων άνω των 500 μέτρων που καταλαμβάνουν περιοχές NATURA (πηγή ΕΛΕΤΑΕΝ)

1.6. Θεσμικοί Μηχανισμοί

ΔΕΔΔΗΕ

Ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. (Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας) συστάθηκε με την απόσχιση του κλάδου Διανομής της ΔΕΗ Α.Ε. σύμφωνα με το Ν. 4001/2011 και σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σχετικά με την οργάνωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό να αναλάβει τα καθήκοντα του Διαχειριστή του Ελληνικού Δικτύου Διανομής. Είναι κατά 100% θυγατρική εταιρεία της ΔΕΗ Α.Ε., ωστόσο είναι ανεξάρτητη λειτουργικά και διοικητικά, τηρώντας όλες τις απαιτήσεις ανεξαρτησίας που ενσωματώνονται στο παραπάνω νομικό πλαίσιο. Έργο της εταιρείας είναι η λειτουργία, η συντήρηση και η ανάπτυξη του δικτύου διανομής



ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και η διασφάλιση της διαφανούς και αμερόληπτης πρόσβασης των καταναλωτών και γενικότερα όλων των χρηστών του δικτύου. Στοχεύει στην αξιόπιστη τροφοδοσία των καταναλωτών, στην ποιότητα της τάσης του ρεύματος και στη διαρκή βελτίωση της ποιότητας εξυπηρέτησης. Συστάθηκε με το Νόμο 4001/2011, ο οποίος ενσωμάτωσε στην Ελληνική νομοθεσία τις διατάξεις της Οδηγίας 2009/72/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 13^{ης} Ιουλίου 2009 «Σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και για την κατάργηση της Οδηγίας 2003/45/EK και της Οδηγίας 2009/73/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 13^{ης} Ιουλίου 2009». Η εν λόγω Οδηγία επιβάλλει το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των δραστηριοτήτων της Μεταφοράς και Διανομής από τις καθετοποιημένες ηλεκτρικές επιχειρήσεις όπως η ΔΕΗ. Με τον παραπάνω νόμο δίδονται στον ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ δύο διακριτές αρμοδιότητες. Αυτές που αφορούν τη Διαχείριση του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας και αυτές που αφορούν τη Διαχείριση των αγορών των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών. Ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. σύμφωνα με τον Νόμο 4001/2011 έχει καταρτίσει και εκτελεί Πρόγραμμα Συμμόρφωσης, το οποίο έχει εγκριθεί από τη ΡΑΕ με την Απόφαση 678/2014. Στο Πρόγραμμα αυτό αναφέρονται μέτρα τα οποία λαμβάνονται προκειμένου να αποκλείεται οποιαδήποτε μεροληπτική τυχόν συμπεριφορά, μεροληπτικών εταιρικών πρακτικών και στρέβλωσης του ανταγωνισμού κατά την άσκηση των αρμοδιοτήτων της.

Οι εργασίες που εκτελούνται από τον ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. αφορούν:

- Νέες Συνδέσεις Καταναλωτών και Παραγωγών
- Τροποποίηση Παλαιών Παροχών (π.χ. Επαύξηση Ισχύος ήδη Υφιστάμενων Συνδέσεων)
- Μετατοπίσεις Δικτύων
- Ενισχύσεις, Βελτιώσεις και Εκσυγχρονισμός του Δικτύου
- Κατασκευή Κέντρων Διανομής και Γραμμών 150 kV
- Λειτουργία του Δικτύου Διανομής
- Επιθεώρηση και Συντήρηση Δικτύου
- Αποκατάσταση βλαβών
- Καταμέτρηση των Καταναλώσεων
- Την Ομαλή και Αποδοτική Λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρισμού στο επίπεδο των Δικτύων
- Την Αξιόπιστη και Οικονομική Λειτουργία των Αυτόνομων Νησιωτικών Ηλεκτρικών Συστημάτων

ΑΔΜΗΕ

Ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) έχει ως σκοπό την αξιόπιστη, αποδοτική και πράσινη ηλεκτροδότηση της χώρας, προωθώντας την ανάπτυξη του ελεύθερου ανταγωνισμού στην ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Συστάθηκε με τον Ν. 4001/2011 και οργανώθηκε και λειτουργεί ως Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς κατά τις διατάξεις της Οδηγίας 2009/72/EK της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η Εταιρεία ασκεί τις αρμοδιότητες και εκτελεί τα καθήκοντα του Κυρίου και Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ), σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν.4001/2011, τα προβλεπόμενα στον Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος και την άδεια διαχείρισης του ΕΣΜΗΕ. Η συμμόρφωση του ΑΔΜΗΕ με τις απαιτήσεις που διέπουν το μοντέλο του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς πιστοποιήθηκε από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) τον Δεκέμβριο του 2012.



Σκοπός της Εταιρείας είναι η λειτουργία, ο έλεγχος, η συντήρηση και η ανάπτυξη του ΕΣΜΗΕ, ώστε να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια, με τρόπο επαρκή, ασφαλή, αποδοτικό και αξιόπιστο καθώς και η λειτουργία της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που σχετίζεται με τις εκτός του *Ημερησίου Ενεργειακού Προγραμματισμού* (ΗΕΠ) συναλλαγές σύμφωνα με τις αρχές της διαφάνειας, της ισότητας και του ελεύθερου ανταγωνισμού.

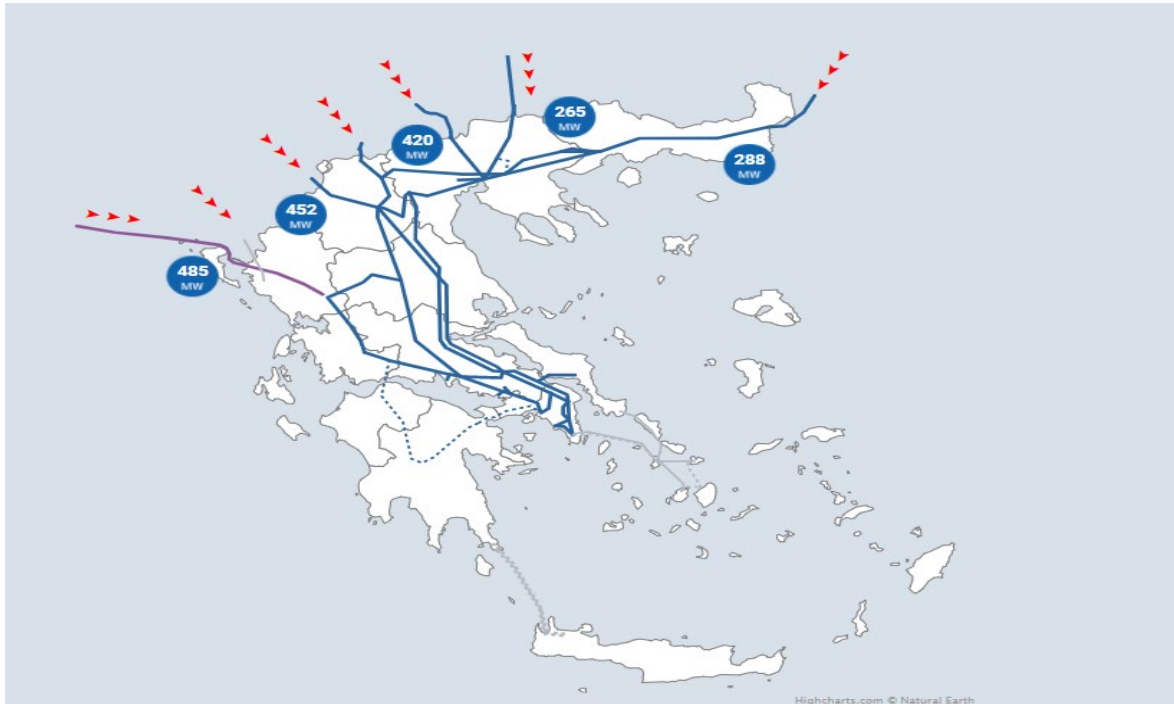
Λόγω του προαναφερθέντος κομβικού ρόλου της Εταιρείας, έχουν ληφθεί όλα τα αναγκαία μέτρα και έχουν οργανωθεί όλες εκείνες οι απαραίτητες διαδικασίες για να διασφαλιστεί η ανεξαρτησία της, η απαρέγκλιτη τήρηση της αρχής της «ίσης μεταχείρισης» για όλους τους Χρήστες του Συστήματος και τους Συμμετέχοντες στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας, η διαφάνεια στη λειτουργία της και η τήρηση της αρχής της εμπιστευτικότητας των πληροφοριών που ο ΑΔΜΗΕ διαχειρίζεται. Ο ΑΔΜΗΕ από 20 Ιουνίου 2017 ακολουθεί το μοντέλο του ιδιοκτησιακά διαχωρισμένου Διαχειριστή (Ownership Unbundling) και είναι εναρμονισμένος πλήρως με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ.

Αιτήσεις για χορήγηση προσφοράς σύνδεσης σε αδειοδοτούμενους σταθμούς ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ ισχύος από 8 MW και άνω, υποβάλλονται στη ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ & ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

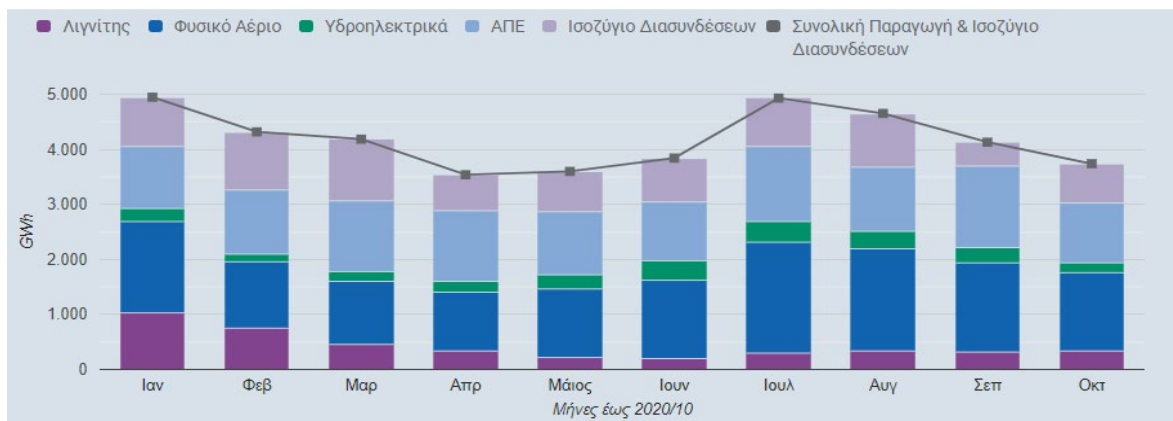
Σκοπός του Συστήματος Μεταφοράς είναι η σύνδεση των Σταθμών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας και η ομαλή, ασφαλής και αδιάλειπτη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από τα σημεία παραγωγής στα σημεία κατανάλωσης. Η λειτουργία του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας έχει αποστολή την ασφαλή και αδιάλειπτη τροφοδοσία του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΕΣΜΗΕ 24 ώρες το εικοσιτετράωρο, 365 ημέρες το χρόνο. Σύμφωνα με τους νόμους της φυσικής η παραγωγή και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να ισορροπούν κάθε χρονική στιγμή. Οι εργαζόμενοι στην Διεύθυνση Λειτουργίας διασφαλίζουν ακριβώς αυτή την ισορροπία, αυξάνοντας την παραγωγή όταν απαιτείται περισσότερη ενέργεια ή μειώνοντας την παραγωγή όταν η ηλεκτρική ενέργεια είναι περισσότερη από αυτή που μπορεί να απορροφηθεί ή να μεταφερθεί. Η εξισορρόπηση είναι ένα εξαιρετικά προκλητικό έργο στο ΕΣΜΗΕ καθώς αυξάνεται ολοένα η διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που είναι ευμετάβλητες και στοχαστικές οπότε μπορεί να αλλάζει η έγχυσή τους σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα ανάλογα με την ώρα της ημέρας και τις καιρικές συνθήκες.

Ο ΑΔΜΗΕ με μια ματιά (ενημερωμένο στις 20/02/2021)

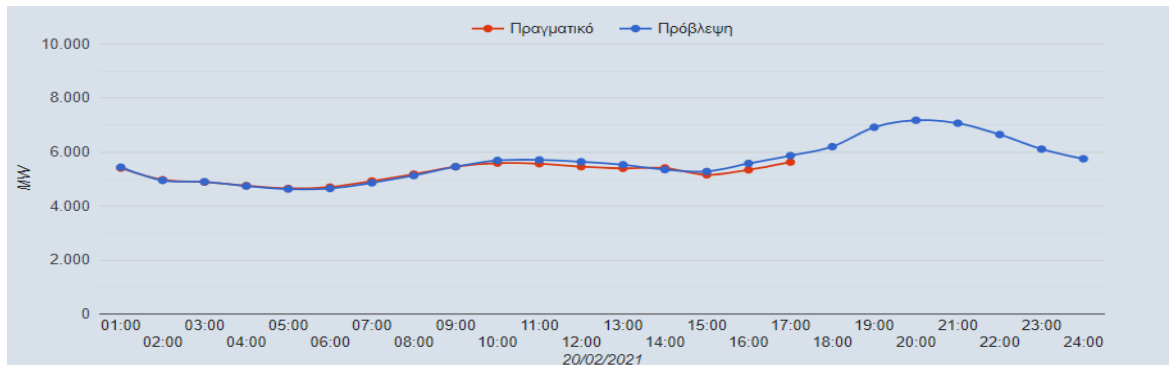
- 21 Κέντρα Υπερύψηλης Τάσης (380 – 400 kV)
- 356 Υποσταθμούς (Μετασχηματιστές)
- 875 χλμ. Υποβρύχια και Υπόγεια Καλώδια
- 11.000 χλμ. Εναέριες Γραμμές



Σχήμα 1.81 Ο δυναμικός Χάρτης απεικονίζει τις γραμμές μεταφοράς 400 kV και τις διασυνδέσεις της ηπειρωτικής χώρας με την νησιωτική και με τις χώρες του εξωτερικού (Ιταλία, Αλβανία, Σκόπια, Βουλγαρία και Τουρκία). Οι ροές των διασυνδέσεων εξωτερικού αφορούν την 20/02/2021, 18:00 Ωρα



Σχήμα 1.82 Παραγωγή ανά Καύσιμο & Ισοζύγιο Διασυνδέσεων για το 2020 έως τον Οκτώβριο



Σχήμα 1.83 Φορτίο Συστήματος για τις 20/02/2021 (πηγή ΑΔΜΗΕ)

Από τα παραπάνω γραφήματα, για την ημέρα 20/02/2021 παίρνοντας προσεγγιστικά ως μέσο όρο φορτίου Συστήματος βάσει του γραφήματος τα 6 GW, με έναν πολλαπλασιασμό με τις ώρες τις ημέρας και της ημέρες του μήνα (Φεβρουάριος) μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι βρίσκεται πολύ κοντά στην κατανάλωση σε σχέση με τον Φεβρουάριο του 2020 (**4.317,568 GWh**), υπολογίζοντας ως:

$$6GW \cdot 24h \cdot 30d = 4.320 GWh$$

Η λειτουργία του συστήματος σχεδιάζεται και προγραμματίζεται λαμβάνοντας υπόψη όλα εκείνα τα μεγέθη που την επηρεάζουν (καιρικές συνθήκες, ειδικοί περιορισμοί, διαθεσιμότητες στοιχείων κλπ.) και στη συνέχεια εμποτεύεται σε πραγματικό χρόνο από τα Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας. **Το Σύστημα Ελέγχου Ενέργειας (EMS)** και το Σύστημα Διαχείρισης και Εκκαθάρισης Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (MMS, MSS) του ΑΔΜΗΕ αποτελούν κρίσιμες εθνικές υποδομές, απαραίτητες για την παρακολούθηση, τη λειτουργία και τον έλεγχο του Εθνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος Παραγωγής και Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, καθώς και για τη λειτουργία της Απελευθερωμένης Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.



Σχήμα 1.84 Εθνικού Κέντρο (Ψηφιακού) Ελέγχου Ενέργειας στο Κρουονέρι



ΔΑΠΕΕΠ

Η Ελλάδα διέρχεται ένα στάδιο αναδιάρθρωσης του ενεργειακού τομέα, προσβλέποντας στην ανάπτυξη και στην λειτουργία ανταγωνιστικών και οικονομικά βιώσιμων αγορών ενέργειας. Οι αγορές αυτές οφείλουν να λειτουργούν με τρόπο διαφανή και αποδοτικό για το σύνολο των ενεργειακών προϊόντων και των υπηρεσιών που παρέχονται στους καταναλωτές. Το όραμα του Διαχειριστή ΑΠΕ και Εγγυήσεων Προέλευσης (ΔΑΠΕΕΠ) είναι η δημιουργία και η ανάπτυξη ενός ασφαλούς επενδυτικού περιβάλλοντος, έτσι ώστε οι ΑΠΕ να αποκτήσουν την πρώτη θέση στον ενεργειακό τομέα. Στις σύγχρονες προκλήσεις του σήμερα, υπάρχει βαθιά πεποίθηση πως η κοινωνική αποδοχή των ΑΠΕ αποτελεί εγγύηση για το μέλλον της ενέργειας στην χώρα.

Ειδικός Λογαριασμός ΑΠΕ

Ο ΔΑΠΕΕΠ είναι ο διαχειριστής του Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ (ΕΛΑΠΕ) & ΣΗΘΥΑ Διασυνδεδεμένου Συστήματος και Δικτύου. Ο ΕΛΑΠΕ διαχωρίζεται λογιστικά σε δύο Υπολογαριασμούς: (α) τον Υπολογαριασμό Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και (β) τον Υπολογαριασμό Ενισχύσεων. Τα έσοδα του Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ Διασυνδεδεμένου Συστήματος και Δικτύου χαρακτηρίζονται ως Έσοδα Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και ως Έσοδα Ενισχύσεων αντίστοιχα. Επιπρόσθετα, ο Ειδικός Λογαριασμός ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ του άρθρου 40 του ν. 2773/1999 διακρίνεται σε: (α) «Ειδικό Λογαριασμό ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ Διασυνδεδεμένου Συστήματος και Δικτύου» και (β) «Ειδικό Λογαριασμό ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ Μη-Διασυνδεδεμένων Νησιών». Το πλεόνασμα ή το έλλειμμα του Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ Μη-Διασυνδεδεμένων Νησιών αποτελεί έσοδο ή εκροή του Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ Διασυνδεδεμένου Συστήματος και Δικτύου, σύμφωνα με τα ειδικότερα προβλεπόμενα στον Κώδικα ΜΔΝ. Ο ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ, ως εκ του νόμου διαχειριστής και λειτουργός της Αγοράς των ΜΔΝ, είναι ο διαχειριστής του Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ ΜΔΝ. Οι Διαχειριστές ΔΑΠΕΕΠ ΑΕ και ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ, καταβάλλουν τα ποσά αποζημίωσης στους αντισυμβαλλόμενους τους, τα οποία ανακτούν πλήρως από τον Ειδικό Λογαριασμό που διαχειρίζονται.

Ειδική Τιμή Αγοράς (ΕΤΑ)

Σε εφαρμογή των διατάξεων της Υ.Α. ΑΠΕΗ/Α/Φ1/οικ.187480 (ΦΕΚ Β'3955/09.12.2016), όπως τροποποιήθηκε και ισχύει, η Ειδική Τιμή Αγοράς (Ε.Τ.Α.) ανά τεχνολογία ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ για το μήνα Ιανουάριο 2021 υπολογίσθηκε ως εξής :

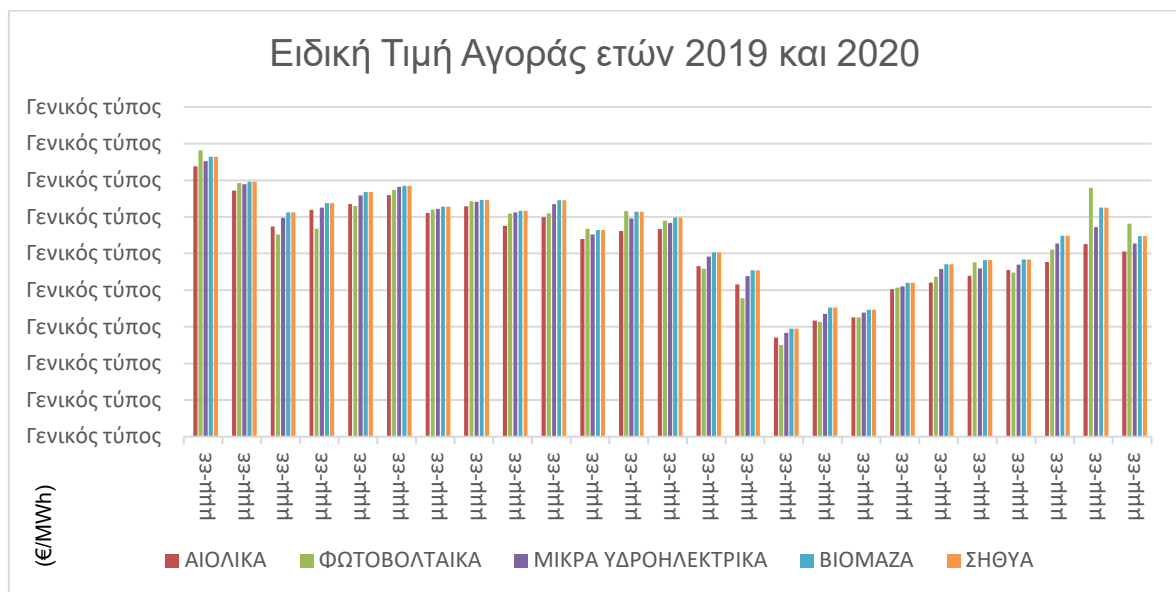
Υπολογισμός ΕΤΑ

1. Η ΕΤΑ υπολογίζεται ανά μήνα από τον ΔΑΠΕΕΠ με βάση την ωριαία Αξία της Ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ στη Χονδρεμπορική Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (ΑΗΧΑ).
2. Η ωριαία Αξία της Ηλεκτρικής Ενέργειας στη Χονδρεμπορική Αγορά ηλεκτρικής Ενέργειας σε €/MWh, **υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την ωριαία Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ)**, καθώς και την ωριαία τιμή των ΜΧΑ, κατά το μηνιαίο κύκλο εκκαθάρισης.
3. Η μεθοδολογία υπολογισμού της ΕΤΑ διαφοροποιείται μεταξύ των Σταθμών Ελεγχόμενης Παραγωγής ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ και των Σταθμών ΑΠΕ Μη Ελεγχόμενης Παραγωγής.
4. Η ΕΤΑ για τους Σταθμούς Μη Ελεγχόμενης Παραγωγής υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την ωριαία απορροφώμενη από το Διασυνδεδεμένο Σύστημα και το Διασυνδεδεμένο



Δίκτυο ηλεκτρική ενέργεια ανά τεχνολογία ΑΠΕ, ανεξαρτήτως του καθεστώτος στήριξης που διέπει τη λειτουργία των Σταθμών αυτών.

Το μέγεθος της ωριαίας (μηνιαίας) απορροφόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ανά τεχνολογία ΑΠΕ - Μη Ελεγχόμενης Παραγωγής προκύπτει από το άθροισμα της ωριαίας απορροφόμενης ηλεκτρικής ενέργειας όλων των σταθμών της κάθε τεχνολογίας ΑΠΕ - Μη Ελεγχόμενης Παραγωγής για το μήνα που αφορά ο υπολογισμός της ΕΤΑ. Τα ανωτέρω μετρούνται ή αν αυτό δεν είναι τεχνικά εφικτό εκτιμώνται από τον αρμόδιο κατά περίπτωση Διαχειριστή, συλλέγονται από τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε. (ΑΔΜΗΕ ΑΕ) και διαβιβάζονται από αυτόν προς τον ΔΑΠΕΕΠ ΑΕ εντός δέκα ημερών μετά τη λήξη του μήνα αναφοράς της μηνιαίας εκκαθάρισης.



Σχήμα 1.85 Γράφημα ΕΤΑ 2 ετών με δεδομένα από τον ΔΑΠΕΕΠ, με την χρήση Excel

REMIT

Το Δεκέμβριο του 2011, η ΕΕ εξέδωσε τον Κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 1227/2011 για την ακεραιότητα και τη διαφάνεια στη χονδρική αγορά ενέργειας (REMIT). Ο Κανονισμός REMIT, εφαρμόζεται στη διαπραγμάτευση ενεργειακών προϊόντων χονδρικής και θέτει το πλαίσιο για τον εντοπισμό και αποφυγή καταχρηστικών πρακτικών που επηρεάζουν τις χονδρικές αγορές ενέργειας.

Η παρακολούθηση των χονδρικών αγορών ενέργειας γίνεται από τον Οργανισμό Συνεργασίας των Ρυθμιστικών Αρχών Ενέργειας (Agency for the Cooperation of Energy Regulators, ACER) σε συνεργασία με τις εθνικές ρυθμιστικές αρχές. Για το σκοπό αυτό οι συμμετέχοντες οφείλουν να υποβάλλουν στον ACER στοιχεία των συναλλαγών τους και θεμελιωδών δεδομένων, όπως αυτά εξειδικεύονται στον Εκτελεστικό Κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 1348/2014. Η υποβολή των αναφορών των συμμετεχόντων πραγματοποιείται μέσω οντοτήτων οι οποίες ικανοποιούν συγκεκριμένες τεχνικές και οργανωτικές απαιτήσεις και έχουν πιστοποιηθεί από τον ACER, ως Εγγεγραμμένοι Μηχανισμοί Αναφοράς (Registered Reporting Mechanisms-RRM).



Η ΔΑΠΕΕΠ ΑΕ (πρώην ΛΑΓΗΕ ΑΕ) πιστοποιήθηκε από τον ACER στις 18/09/2015 και από τις 07/10/2015 παρέχει υπηρεσίες Εγγεγραμμένου Μηχανισμού Αναφορών (Registered Reporting Mechanism- RRM), με κωδικό ACER B0000118K.GR.

Εξοικονόμηση Ενέργειας

Σύμφωνα με το άρθρο 9 του ν.4342/2015 για την επίτευξη του εθνικού σωρευτικού στόχου εξοικονόμησης ενέργειας εφαρμόζονται μεταξύ άλλων μέτρα πολιτικής όπως μηχανισμοί αγοράς για την προώθηση επενδύσεων (Market-Based Instruments- MBI). Για το σχεδιασμό αποδοτικών μέτρων από πλευράς κόστους και αποδοτικότητας για τη χρηματοδότηση έργων και δράσεων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στην τελική κατανάλωση, προβλέπεται ο καθορισμός ανταγωνιστικών διαδικασιών με στόχο τη μόχλευση κεφαλαίων από εμπλεκόμενους στην αγορά ενέργειας, την ενίσχυση της επιχειρηματικής τους δραστηριότητας ή των πρωτοβουλιών που έχουν αναλάβει στο πλαίσιο του «Καθεστώτος Υποχρέωσης Ενεργειακής Απόδοσης» του ν.4342/2015.

Ενεργειακό Μείγμα

Σε εφαρμογή του άρθρου 118 του ν.4001/201 όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 98 του ν. 4512/2018 (ΦΕΚ Α 5, 17.01.2018), ο ΔΑΠΕΕΠ υπολογίζει το Ενεργειακό Μείγμα Παραγωγής και το Υπολειπόμενο Ενεργειακό Μείγμα της χώρας για κάθε ημερολογιακό έτος.

Για την εκπλήρωση της αρμοδιότητας αυτής για το έτος 2019, ο ΔΑΠΕΕΠ συνεργάστηκε με το Association of Issuing Bodies, που διενεργεί τον υπολογισμό του υπολειπόμενου Ευρωπαϊκού Ενεργειακού Μείγματος με συμμετοχή 32 ευρωπαϊκών χωρών. Για τον υπολογισμό του Υπολειπόμενου Ενεργειακού Μείγματος του 2019 εφαρμόστηκε η μεθοδολογία Issuance Based (IB, RE-DISS II Project) που αντικατέστησε την Shifted Transaction Based method (STB, RE-DISS II Project) στον υπολογισμό του European Attribute Mix.

- ✓ Τα αποτελέσματα ενδέχεται να τροποποιηθούν με απόφαση της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας

Εγγυήσεις Προέλευσης

Η Εγγύηση Προέλευσης (ΕΠ) είναι ένα ηλεκτρονικό πιστοποιητικό το οποίο εκδίδεται για 1MWh ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ, φέρει το σύνολο της πληροφορίας που αφορά την παραγωγή της και έχει διάρκεια ζωής δώδεκα μήνες. Σκοπός των Εγγυήσεων Προέλευσης είναι η προώθηση των ΑΠΕ στον τελικό καταναλωτή μέσω της απόδειξης εκ μέρους του προμηθευτή του της προέλευσης της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει. Οι κανόνες για την έκδοση και την διαχείριση των ΕΠ ορίστηκαν με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2009/28/ΕΚ, ενώ η Οδηγία 2012/27/ΕΕ περιέλαβε στο καθεστώς των ΕΠ την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ΣΗΘΥΑ. Ο θεσμός ενισχύθηκε και επεκτάθηκε στο βιοαέριο, συμπεριλαμβανομένου του υδρογόνου, με την Οδηγία 2018/2001/ΕΕ η προθεσμία μεταφοράς της οποίας στο εθνικό δίκαιο είναι η 30η Ιουνίου 2021. Οι κανόνες διαχείρισης και λειτουργίας των ελληνικών Μητρώων Εγγυήσεων Προέλευσης καθορίζονται στην Υπουργική Απόφαση αριθμ.Δ6/Φ1/οικ.8786 (ΦΕΚ Β646/14.05.2010). Οι Φορείς Έκδοσης των ΕΠ έχουν γεωγραφικά προσδιορισμένες και μη αλληλεπικαλυπτόμενες αρμοδιότητες, ώστε να διασφαλίζεται ότι μόνο μία ΕΠ εκδίδεται για



κάθε MWh ηλεκτρικής ενέργειας και κάθε ΕΠ χρησιμοποιείται μόνο μία φορά για την δήλωση της προέλευσης ισόποσης ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Ελλάδα οι Φορείς Έκδοσης ΕΠ είναι τρεις, ο ΔΑΠΕΕΠ, ο ΔΕΔΔΗΕ και το ΚΑΠΕ, με αρμοδιότητες που ορίζονται στο ν.3468/2006. Να σημειώσουμε ότι, οι ΕΠ είναι αντικείμενο συναλλαγής ανεξάρτητα από την φυσική ροή της ηλεκτρικής ενέργειας για την οποία εκδίδονται.

ΡΑΕ

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) είναι ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή, η οποία συστήθηκε με το ν.2773/1999, στο πλαίσιο εναρμόνισης με τις Οδηγίες 2003/54/ΕΚ και 2003/55/ΕΚ για τον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο, με κύρια αρμοδιότητά της να εποπτεύει την εγχώρια αγορά ενέργειας, σε όλους τους τομείς της, εισηγούμενη προς τους αρμόδιους φορείς της Πολιτείας και λαμβάνοντας η ίδια μέτρα για την επίτευξη του στόχου της απελευθέρωσης των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Με το ν. 2773/1999, και κυρίως με τις τροποποιήσεις του που ακολούθησαν, ανατέθηκαν στη ΡΑΕ αρμοδιότητες, κυρίως γνωμοδοτικές, παρακολούθησης και ελέγχου της αγοράς ενέργειας σε όλους τους τομείς, ήτοι στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα, από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και φυσικό αέριο. Περαιτέρω, η ΡΑΕ ανέλαβε συγκεκριμένες αρμοδιότητες σε σχέση με την αγορά των πετρελαιοειδών. Με την έκδοση του ν.3851/2010, επήλθαν ουσιώδεις αλλαγές σε σχέση με το υφιστάμενο νομοθετικό καθεστώς που διέπει τις ΑΠΕ, καθώς και τις αρμοδιότητες της ΡΑΕ στο πλαίσιο αυτό. Οι αλλαγές αυτές αφορούν τόσο τη διαδικασία αδειοδότησης των σταθμών ΑΠΕ, όσο και τη διαδικασία αξιολόγησης των αιτήσεων για χορήγηση άδειας παραγωγής. Ειδικότερα, όσον αφορά τη διαδικασία αδειοδότησης, η ΡΑΕ ανέλαβε πλέον αποφασιστικό ρόλο στη χορήγηση αδειών παραγωγής, με το ΥΠΕΚΑ να ασκεί τον έλεγχο της νομιμότητας των αποφάσεων της ΡΑΕ, ο οποίος έλεγχος καταργήθηκε με τις ρυθμίσεις του ν.4001/2011. Ο ρόλος της ΡΑΕ ως εθνικής ρυθμιστικής αρχής ενέργειας αναβαθμίστηκε από το 2011 και μετά, με την επαύξηση και ενίσχυση των αποφασιστικών αρμοδιοτήτων της σχετικά με τη ρύθμιση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου, αρμοδιοτήτων που ανατέθηκαν σε αυτήν κατ' επιταγήν της Τρίτης Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Δέσμης, η οποία και ανάγει τις εθνικές ρυθμιστικές αρχές ενέργειας σε «εγγυητές» της εύρυθμης λειτουργίας των ενεργειακών αγορών. Σύμφωνα με το Κεφάλαιο Γ' «Αρμοδιότητες της ΡΑΕ», του Α' Μέρους του Ενεργειακού Νόμου 4001/2011, οι κυριότερες, αποφασιστικού χαρακτήρα, αρμοδιότητες της ΡΑΕ στον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο, συνοπτικά αφορούν:

Παρακολούθηση και εποπτεία της αγοράς ενέργειας
(α) Το βαθμό και την αποτελεσματικότητα του ανταγωνισμού στην εγχώρια αγορά ενέργειας, σε επίπεδο χονδρικής και λιανικής.
(β) Τις τιμές για τους οικιακούς καταναλωτές, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων προπληρωμής, το ποσοστό αλλαγής προμηθευτή, το ποσοστό διακοπής παροχής, την παροχή υπηρεσιών συντήρησης και τα σχετικά τέλη, καθώς και τα παράπονα των πελατών.
(γ) Την εμφάνιση στρεβλώσεων ή περιορισμών του ανταγωνισμού και περιοριστικών συμβατικών πρακτικών, όπως ρητρών αποκλειστικότητας που ενδέχεται να εμποδίζουν πελάτες να συνάπτουν συμβάσεις ταυτόχρονα με περισσότερους από ένα προμηθευτές, ή να περιορίζουν τη δυνατότητα επιλογής προμηθευτή.
(δ) Τη συμβατότητα των όρων συμβάσεων προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου με δυνατότητα διακοπής, καθώς και των μακροπρόθεσμων συμβάσεων προμήθειας, με το εθνικό και ευρωπαϊκό δίκαιο.



(ε) Την τήρηση των ειδικών ρυθμιστικών υποχρεώσεων που βαρύνουν τις επιχειρήσεις που ασκούν ενεργειακές δραστηριότητες, σύμφωνα με τις κείμενες διατάξεις και τους όρους των αδειών που τους έχουν χορηγηθεί.

- Προστασία των καταναλωτών
- Παρακολούθηση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας
- Χορήγηση αδειών
- Εποπτεία επί των Ανεξάρτητων Διαχειριστών Μεταφοράς
- Έγκριση τιμολογίων μη ανταγωνιστικών δραστηριοτήτων
- Παρακολούθηση πρόσβασης στις ενεργειακές διασυνδέσεις
- Λήψη ρυθμιστικών μέτρων για την εύρυθμη λειτουργία των ενεργειακών αγορών

Αρμοδιότητες σε θέματα ΑΠΕ: σύμφωνα με το ισχύον θεσμικό πλαίσιο, η ΡΑΕ είναι αρμόδια για την έκθεση θετικής ή αρνητικής γνώμης προς τον Υπουργό Ανάπτυξης, σχετικά με την χορήγηση ή την τροποποίηση ή την επέκταση άδειας παραγωγής Εηλ. έργων ΑΠΕ. Για την αξιολόγηση των αιτήσεων, η ΡΑΕ συνεργάζεται με το Κέντρο ΑΠΕ (ΚΑΠΕ) βάσει σχετικής σύμβασης, η οποία συνομολογήθηκε κατόπιν ανοικτού διεθνούς διαγωνισμού. Το ΚΑΠΕ εκτελεί, αδιαλείπτως από το 2001, χρέη συμβούλου της ΡΑΕ σε θέματα τεχνικής υποστήριξης της διαδικασίας αξιολόγησης των αιτήσεων για την έκδοση, ή την τροποποίηση, ή την επέκταση άδειας παραγωγής έργων ΑΠΕ.

Περιβαλλοντική Αδειοδότηση Έργων

Για την περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων του δημόσιου και ιδιωτικού τομέα, εφαρμόζονται οι διατάξεις του ν. 4014/11 «Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων, ρύθμιση αυθαιρέτων σε συνάρτηση με δημιουργία περιβαλλοντικού ισοζυγίου και άλλες διατάξεις αρμοδιότητας Υπουργείου Περιβάλλοντος» (ΦΕΚ 209/Α/2011).

Με τον νόμο, εισάγονται εκτός των άλλων και οι εξής καινοτομίες:

- απλοποιούνται και εξορθολογίζονται οι διαδικασίες για την περιβαλλοντική αδειοδότηση των έργων και δραστηριοτήτων και μειώνεται ο απαιτούμενος χρόνος για την έκδοση των σχετικών αποφάσεων
- μειώνεται ο αριθμός των έργων και δραστηριοτήτων για τα οποία απαιτείται υποβολή και αξιολόγηση Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) προκειμένου να αδειοδοτηθούν περιβαλλοντικά
- θεσπίζονται υποχρεωτικοί περιοδικοί τακτικοί και έκτακτοι έλεγχοι από αρμόδιες υπηρεσίες και ιδιώτες επιθεωρητές με στόχο την πραγματική διασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος
- καταργούνται αλληλοεπικαλυπτόμενες αδειοδοτήσεις (άδεια διάθεσης λυμάτων, άδειες διαχείρισης μη επικινδύνων και επικινδύνων αποβλήτων, έγκριση επέμβασης σε δάσος ή δασική έκταση) και ενσωματώνονται στην απόφαση έγκρισης περιβαλλοντικών όρων
- για την έκδοση των Αποφάσεων Έγκρισης περιβαλλοντικών Όρων καταργούνται οι συνυπογραφές άλλων Υπουργών



- επιμηκύνεται η διάρκεια ισχύος των Αποφάσεων έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΑΕΠΟ) σε 10 έτη, ή σε 12 για έργα που διαθέτουν ISO, ή σε 14 για όσα διαθέτουν EMAS και παρατείνεται η διάρκεια ισχύος των υφιστάμενων ΑΕΠΟ μέχρι τη συμπλήρωση δεκαετίας από την έκδοσή τους
- καταργείται η υποχρέωση υποβολής προμελέτης Περιβαλλοντικών επιπτώσεων, και καθίσταται πλέον η υποβολή της προαιρετική
- για την περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων εντός του δικτύου Natura 2000, προβλέπεται η υποβολή και αξιολόγηση «Ειδικής Οικολογικής Αξιολόγησης»
- προβλέπεται η δημιουργία Ηλεκτρονικού περιβαλλοντικού μητρώου και Ηλεκτρονική υποβολή της ΜΠΕ και παρακολούθηση της διαδικασίας έκδοσης ΑΕΠΟ ή τροποποίησης/ανανέωσης κλπ.
- δημιουργείται η Περιβαλλοντική Ταυτότητα Έργου, που θα περιλαμβάνει κάθε περιβαλλοντική πληροφορία για το έργο

Ειδικότερα:

Με την ΥΑ 1958/12 (ΦΕΚ 21/Β/2012) όλα τα έργα και οι δραστηριότητες για τα οποία απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση έχουν καταταγεί σε δυο κατηγορίες: την Α (η οποία υποδιαιρείται στις υποκατηγορίες Α1 και Α2) και την Β και σε 12 ομάδες κοινές για όλες τις κατηγορίες. Στην υποκατηγορία Α1 κατατάσσονται τα έργα και οι δραστηριότητες που ενδέχεται να προκαλέσουν πολύ σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, ενώ στην υποκατηγορία Α2 κατατάσσονται τα έργα και οι δραστηριότητες που ενδέχεται να προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η κατηγορία Β περιλαμβάνει έργα και δραστηριότητες που χαρακτηρίζονται από τοπικές και μη σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

- ✓ *Η ομάδα που μας ενδιαφέρει είναι:
ομάδα 10: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)*

Για την περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων της Α κατηγορίας, ακολουθείται συνοπτικά η εξής διαδικασία: Ο φορέας του έργου ή της δραστηριότητας, εφόσον το επιθυμεί, ζητά από την αρμόδια περιβαλλοντική αρχή γνωμοδότηση Προκαταρκτικού Προσδιορισμού Περιβαλλοντικών Απαιτήσεων (ΠΠΠΑ). Κατόπιν και εφόσον δοθεί θετική γνωμοδότηση ΠΠΠΑ, ή για περιπτώσεις που δεν έχει επιλεγεί από τον φορέα του έργου η υποβολή φακέλου ΠΠΠΑ, υποβάλλεται Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ). Η ΜΠΕ δημοσιοποιείται και ολοκληρώνεται η διαδικασία διαβούλευσης επ' αυτής και η αρμόδια περιβαλλοντική αρχή αφού αξιολογήσει και σταθμίσει τις σχετικές γνωμοδοτήσεις και απόψεις συντάσσει την ΑΕΠΟ ή την απόφαση απόρριψης. Αρμόδια υπηρεσία για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών μελετών των έργων και δραστηριοτήτων Α1 υποκατηγορίας είναι η Δ/ση Περιβαλλοντικών Αδειοδοτήσεων (ΔΙΠΑ) του ΥΠΕΚΑ και μέχρι τη σύστασή της, η Ειδική Υπηρεσία Περιβάλλοντος (ΕΥΠΕ), ή το Τμήμα Γενικών Περιβαλλοντικών Θεμάτων της Δ/σης Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού, ή το Τμήμα Βιομηχανιών της Δ/σης Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (ΕΑΡΘ), ανάλογα με την ομάδα του έργου ή της δραστηριότητας. Οι ΑΕΠΟ για τα έργα και τις δραστηριότητες Α1 υποκατηγορίας είναι



αποφάσεις Υπουργού ΠΕΚΑ. Για τα έργα και δραστηριότητες Α2 υποκατηγορίας αρμόδιες υπηρεσίες είναι οι υπηρεσίες περιβάλλοντος των οικείων Αποκεντρωμένων Διοικήσεων και οι ΑΕΠΟ είναι αποφάσεις των Γενικών Γραμματέων αντίστοιχα. Για την περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων Β κατηγορίας δεν απαιτείται η υποβολή και αξιολόγηση ΜΠΕ, αλλά υπόκεινται σε Πρότυπες Περιβαλλοντικές Δεσμεύσεις (ΠΠΔ) που αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα των απαιτούμενων κατά περίπτωση αδειών που προβλέπονται για την κατασκευή, εγκατάσταση ή λειτουργία τους.

2. Σύγκριση Τεχνολογιών ΑΠΕ

Η ανάπτυξη των Φ/Β εφαρμογών έχει πολλαπλά οφέλη για τους καταναλωτές, την εταιρεία ηλεκτρισμού και την εθνική αυτονομία. Συγκεκριμένα έχουμε:

- Αξιοποίηση μιας εγχώριας και ανανεώσιμης, πηγής ενέργειας, που βρίσκεται σε αφθονία, με συμβολή στην ασφάλεια παροχής ενέργειας και στην μείωση των διακοπών ρεύματος (black out)
- Ενίσχυση του ηλεκτρικού δικτύου στις ώρες των μεσημβρινών αιχμών, ιδιαίτερα κατά την θερινή περίοδο έλλειψης ή πολύ υψηλού κόστους αιχμής, όπου τα Φ/Β παράγουν μεγάλο μέρος της ζήτησης
- Μείωση των απωλειών του δικτύου με την παραγωγή να βρίσκεται κοντά στον τόπο κατανάλωσης, ελάφρυνση των γραμμών και χρονική μετάθεση των επενδύσεων στο δίκτυο
- Αύξηση του ευσυνείδητου ως προς την ευημερία της φύσης τουρισμού
- Κοινωνική προσφορά του παραγωγού/καταναλωτή και συμβολή του στην αειφορική ανάπτυξη
- Ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων με έντονη συμβολή σε αναπτυξιακούς και κοινωνικούς στόχους, με την δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, είναι χαρακτηριστικό ότι για κάθε νέο MWφ Φ/Β δημιουργούνται περίπου 50 νέες θέσεις εργασίας (20 στην κατασκευή και 30 στην εμπειρία-εγκατάσταση και παροχή των συναφών υπηρεσιών)
- Ανάπτυξη βιομηχανικών δραστηριοτήτων, εντός και εκτός της χώρας στους κλάδους της κατασκευής Φ/Β Συστημάτων

Η διαστασιολόγηση των συστημάτων είναι ίδια τόσο για τα οικιακά όσο και για τα εμπορικά κτίρια, αλλά τα οικονομικά τους διαφέρουν για αρκετούς λόγους, συμπεριλαμβανομένων των οικονομικών πλεονεκτημάτων που έχουν τα μεγαλύτερα συστήματα (οικονομία κλίμακας), αλλά πιο σημαντικές είναι οι διαφορές τους ως προς τα οικονομικά κίνητρα (π.χ. επιδοτήσεις) και την αξία της ενέργειας που αντικαθίσταται. Το κόστος για τα συστήματα που χαρακτηρίζονται ως μεγάλα συστήματα, για παράδειγμα, της τάξης των MW (utility scale – κλίμακα δικτύου), συγκρινόμενο με το κόστος της Εηλ. που πωλείται χοντρικά, είναι πάλι διαφορετικό.

Συμβάσεις αγοράς Εηλ.

Οι οικιακές πελάτες δεν μπορούν να κάνουν απόσβεση στα συστήματά τους με τον τρόπο που μπορούν να κάνουν οι επιχειρήσεις-παραγωγοί. Ακόμη, οι ΜΚΟ δεν μπορούν να επωφεληθούν από τις φορολογικές πιστώσεις, και πολλοί επενδυτές δεν οφείλουν αρκετούς φόρους προκειμένου να δικαιούνται πιστώσεις για να αποπληρώσουν αρκετά



γρήγορα. Γι' αυτούς και για άλλους λόγους, πολλά Φ/Β Συστήματα εγκαθίστανται πλέον με χρηματοδότηση από τρίτους, κατά την οποία υπάρχει ένας εξωτερικός φορέας με τον οποίο συνάπτεται σύμβαση για την χρηματοδότηση, την εγκατάσταση και την συντήρηση των συστημάτων σε κτίρια των πελατών τους. Σε αντάλλαγμα, ο πελάτης υπογράφει ένα συμφωνητικό πρόσθετης πληρωμής που καθορίζει την τιμή της Εηλ. που παράγεται από το σύστημα επιπλέον των όρων της (υπάρχουσας) σύμβασης. Δεν είναι ασυνήθιστο για αυτές τις συμβάσεις αγοράς ενέργειας να ξεκινούν με μία ελαφρώς υψηλότερη τιμή μονάδας για την ηλιακή ενέργεια από αυτήν που προσφέρει η επιχείρηση κοινής ωφέλειας (πάροχος), η οποία όμως σε βάθος χρόνου θα οδηγήσει σε καθαρές αποταμιεύσεις για τον εξυπηρετούμενο ιδιοκτήτη. Από την άποψη του πελάτη, του παρέχεται μία οικονομική εξασφάλιση έναντι των αβέβαιων μελλοντικών αυξήσεων των τιμών των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας και βέβαια τον βοηθούν **να χαρακτηριστεί "πράσινη" η εμπορική επωνυμία του πελάτη**. Δεν χρειάζονται δαπάνες κεφαλαίου από τον πελάτη και, δεδομένου ότι δεδομένου ότι ο ιδιοκτήτης πληρώνει μόνο για τις κιλοβατώρες που πραγματικά, ο πάροχος είναι εκείνος που έχει το κίνητρο να λειτουργήσει σωστά και να συντηρήσει το σύστημα. Από την πλευρά του ο πάροχος καρπώνεται τις πιστώσεις φόρων, τις αποσβέσεις, τις εκπτώσεις κατά την χρήση, μια σταθερή ροή εσόδων και μπορεί να είναι σε θέση να πουλάει τις πιστώσεις των ΑΠΕ και τις πιθανές μελλοντικές πιστώσεις λόγω της μείωσης έκλυσης CO₂.

Μεγάλα Διασυνδεδεμένα Φ/Β Συστήματα

Τα υψηλής εγκατεστημένης ισχύος διασυνδεδεμένα στο δίκτυο Φ/Β Συστήματα έχουν τα πλεονεκτήματα της οικονομίας κλίμακας (economies of scale) σε σχέση με τα μικρότερου μεγέθους συστήματα, αλλά μειονεκτούν στο γεγονός ότι πρέπει να ανταγωνιστούν την χονδρική αγορά Εηλ., όπου η τιμή είναι συχνά το 1/3 των τιμών λιανικής. Τα συμφωνητικά αγοράς Εηλ. είναι κοινά, αλλά σε αυτή την περίπτωση ο πελάτης έχει τον ρόλο εταιρείας πώλησης Εηλ. και όχι ιδιοκτήτη κτιρίου. Για τον υπολογισμό της μεταβλητής τιμής της Εηλ. που πωλείται κατά την διάρκεια διαφορετικών ωρών της ημέρας, πολλές συμβάσεις αγοράς ενέργειας περιλαμβάνουν έναν συντελεστή "ώρας παράδοσης". Η αρχική σύμβαση περιλαμβάνει ένα συμφωνητικό, το οποίο μετά προσαρμόζεται σε ωριαία βάση χρησιμοποιώντας τους συντελεστές "ώρας παράδοσης".

Αυτόνομα Φ/Β Συστήματα με Αποθήκευση Ενέργειας

Τα διασυνδεδεμένα Φ/Β Συστήματα έχουν μια σειρά από επιθυμητά χαρακτηριστικά. Χάρη στην σχετική απλότητά τους μπορεί να επιτύχουν υψηλό βαθμό αξιοπιστίας. Η μονάδα MPPT εξασφαλίζει την μέγιστη απόδοση που προσδίδουν τα Φ/Β, ενώ η ικανότητά τους να παρέχουν ισχύ στην επιχείρηση κοινής ωφέλειας της ώρες της ημέρας όπου η ισχύς αυτή είναι πολύτιμη (αιχμή) αυξάνει την οικονομική βιωσιμότητά τους, όπως συμβαίνει άλλωστε επειδή αποφεύγεται το κόστος γης, αφού τα συστήματα αυτά εγκαθίστανται σε κτίρια ή σε οροφές υπόστεγων εργοστασίων – χώρων στάθμευσης και λοιπών δομικών κατασκευών. Από την άλλη μεριά, πρέπει να ανταγωνιστούν την σχετικά χαμηλή τιμή της Εηλ. του δικτύου και, βέβαια, εξαρτώνται από το ίδιο το δίκτυο. Όταν δεν υπάρχει όμως διαθέσιμο το ηλεκτρικό δίκτυο, εκείνο που τα Φ/Β ανταγωνίζονται είναι είτε το κόστος κατασκευής νέων γραμμών μεταφοράς Εηλ., που αποτιμάται σε δεκάδες χιλιάδες ευρώ ανά χιλιόμετρο επέκτασης, είτε, τις θορυβώδεις/ρυπογόνες και υψηλού κόστους συντήρησης γεννήτριες υγρών και αερίων καυσίμων, που λειτουργούν με σχετικά ακριβό καύσιμο. Για το ένα με δύο δισεκατομμύρια ανθρώπους σε όλο τον κόσμο που προς



το παρόν έχουν ελάχιστη ή/και καθόλου πρόσβαση στην εμπορεύσιμη Εηλ., το γεγονός ότι τους παρέχεται έστω και ένα μέρος των ενεργειακών τους αναγκών μπορεί να μεταμορφώσει την ζωή τους, σίγουρα προς το καλύτερο. Χαρακτηριστικά, για τα Φ/Β συστήματα μικρής κλίμακας, με ισχύ μερικών μόνο Watt, μπορούν να αντικαταστήσουν μια λάμπα κηροζίνης (υγρού καυσίμου) με λαμπτήρες LED. Μερικά ακόμα Watt θα μπορούσαν να επιτρέψουν σε έναν επιχειρηματία της γειτονιάς (π.χ.) να ξεκινήσει μια επιχείρηση φόρτισης κινητών τηλεφώνων. Με την προσθήκη μερικών ακόμα Φ/Β πλαισίων τροφοδοτούνται και άλλα φορτία τα οποία ενδεχομένως είναι απαραίτητα σε ένα σπιτικό. Μερικά kWp μπορούν να ηλεκτροδοτήσουν μια μικρή οικία, ενώ ένα σύστημα των 10kWp μπορεί να υποστηρίξει επιπλέον ωφέλιμα φορτία είτε ένα αντλητικό συγκρότημα παροχής νερού.

Μικρά ηλιακά αυτόνομα συστήματα, τα οποία στον ανεπτυγμένο κόσμο αποτελούσαν μια τάση για επιστροφή στην φύση, φαίνεται σήμερα να είναι η αγορά του μέλλοντος στις αναδυόμενες οικονομίες παγκοσμίως.

Η ανάπτυξη των Φ/Β εγκαταστάσεων ήταν ραγδαία στην Ελλάδα την τετραετία από το 2010 έως και το 2013. Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΣΕΦ, η εγκατεστημένη ισχύς των διασυνδεδεμένων Φ/Β Συστημάτων ανήλθε στα 199MWp το 2010, από 47MWp το 2009. Αυξήθηκε στα 624MWp το 2011, στα 1536MWp το 2012 και έφτασε στα 2579MWp το 2013. Η καταγιστική ανάπτυξη των Φ/Β εγκαταστάσεων, ήταν συνέπεια των κινήτρων που είχαν δοθεί στους επενδυτές, με έμφαση την πολύ υψηλή τιμή διάθεσης της kWh. Αντίθετα, το έτος 2014 εγκαταστάθηκαν στην Ελλάδα μόλις 17MWp Φ/Β ισχύος. Η κατακόρυφη μείωση στον ρυθμό ανάπτυξης των εγκαταστάσεων οφείλεται στην αναστολή της αδειοδότησης νέων έργων, με εξαίρεση τα μικρά οικιακά, καθώς ο στόχος της ΕΕ στην Ελλάδα του 2020 (2200MWp), καλύφθηκε ήδη από το 2013. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των διασυνδεδεμένων Φ/Β Συστημάτων ανήλθε στα 2596MWp το 2014, ενώ κάλυψαν το 7% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας.

- ✓ Το ποσοστό αυτό κατέταξε την Ελλάδα δεύτερη χώρα παγκοσμίως, ως προς την συμβολή των Φ/Β Συστημάτων στην παραγόμενη Εηλ.

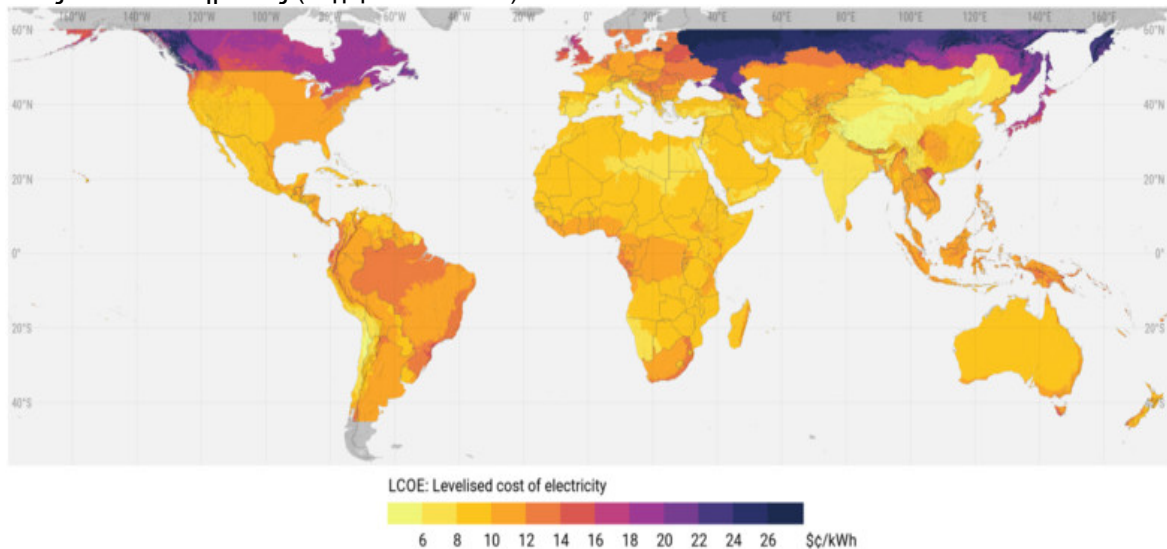
Από την ολική εγκατεστημένη ισχύ των Φ/Β Συστημάτων, ποσοστό 14,4% αφορά συστήματα με ισχύ έως τα 10kWp. Τα συστήματα αυτά τοποθετούνται σε στέγες ιδιόκτητων κατοικιών και ιδιόκτητων μικρών επαγγελματικών κτιρίων. Τα Φ/Β Συστήματα με ισχύ μεταξύ 10 και 100kWp, κατέχουν αναλογικά όσον αφορά τον αριθμό των συστημάτων το μεγαλύτερο ποσοστό, ίσο με 36,4%. Το υπόλοιπο περίπου 50%, αφορά συστήματα με ισχύ μεγαλύτερη από 100kWp.

Η κατανομημένη παραγωγή της Εηλ., κυρίως από τα Φ/Β Συστήματα, αλλά και από τις υπόλοιπες ΑΠΕ, συμβάλλει στην ευστάθεια του δικτύου, περιορίζει τις επενδύσεις σε γραμμές μεταφοράς και οδηγεί σε μείωση των απωλειών ισχύος στο δίκτυο μεταφοράς. Καθώς η μέγιστη παραγωγή της Εηλ. από τα Φ/Β Συστήματα συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές ζήτησης, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, μειώνεται ο κίνδυνος black-out (έλλειψης Εηλ.) και το συνολικό κόστος της ηλεκτροπαραγωγής, καθώς η κάλυψη των φορτίων αιχμής είναι δαπανηρή.

Αν και τα πλεονεκτήματα από την παραγωγή Εηλ. με Φ/Β Συστήματα είναι πολλά, υπάρχει ένα σημαντικό μειονέκτημα. Ακόμη και οι πλέον σύγχρονες μέθοδοι κατασκευής των Φ/Β μονάδων είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρες, με έμφαση στις μονάδες μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Ως συνέπεια, ένα Φ/Β Σύστημα πρέπει να λειτουργήσει περίπου πέντε έτη, ώστε να παράξει την ενέργεια που απαιτήθηκε για την κατασκευή του. Η παραπάνω συνθήκη εξαρτάται βέβαια από το δυναμικό παραγωγής Φ/Β ηλεκτρισμού της



τοποθεσίας εγκατάστασης, όπου καθώς αυξάνει το ηλιακό δυναμικό, το Φ/Β Σύστημα λειτουργεί αποδοτικότερα με αποτέλεσμα την ταχύτερη απόσβεση της ενέργειας που απαιτήθηκε για την κατασκευή του. Παρακάτω (βλ. Σχήμα 2.) παρατίθεται παγκόσμιος χάρτης που αποδίδει χρωματικά το Σταθμισμένο Κόστος Ηλεκτρισμού (LCOE), όσο μικρότερο είναι αυτό το κόστος, τόσο πιο γρήγορα θα επιτευχθεί η ενεργειακή απόσβεση ενός Φ/Β Συστήματος (πηγή SOLARGIS).



Σχήμα 2 Μελέτη από την SOLARGIS για 25ετή δυναμικό Φ/Β ηλεκτρισμού σε παγκόσμια κλίμακα

2.1. Απαραίτητος εξοπλισμός Ενεργειακών Συστημάτων

Θερμικοί Σταθμοί Ηλεκτροπαραγωγής

Η παραγωγή της Εηλ. παγκοσμίως βασίζεται κυρίως στους θερμικούς σταθμούς (Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί Παραγωγής Εηλ. – ΑΗΣ), οι οποίοι παρουσιάζουν αρκετά λειτουργικά πλεονεκτήματα, αλλά ταυτόχρονα προκαλούν έντονη ρύπανση στο περιβάλλον εφόσον χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα. Στην Ελλάδα, το πλέον χρησιμοποιούμενο καύσιμο των θερμικών σταθμών είναι ο λιγνίτης. Το μεγαλύτερο ποσοστό της Εηλ. στην Ελλάδα παράγεται από λιγνιτικούς ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, οι οποίοι εγκαθίστανται κοντά στην περιοχή όπου υπάρχει διαθέσιμη η πρωτογενής πηγή ενέργειας (πρώτη ύλη καυσίμου), επομένως και στην πράξη βρίσκονται κυρίως στην γεωγραφική περιοχή της Κοζάνης – Πτολεμαΐδας. Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί έχουν βαθμό απόδοσης από 30 έως 45%, όταν λειτουργούν στην πλήρη ισχύ, ενώ το κόστος κατασκευής τους ανά παραγόμενη kWh είναι περιορισμένο, όταν η ονομαστική ισχύς είναι πολλές εκατοντάδες MW. Μειονεκτήματα αποτελούν η πολύπλοκη και αργή διαδικασία εκκίνησης και ρύθμισης της ισχύος, ενώ αυτονόητο και ακράδαντο μειονέκτημα είναι το καταστροφικό αντίκτυπο που αφήνουν στην φύση, προκαλώντας ανεπανόρθωτες βλάβες ιδίως στα κοντινά φυσικά οικοσυστήματα αλλά και στην ανθρώπινη υγεία. Ένας ατμοηλεκτρικός σταθμός με ισχύ 1000MW εκλύει στην ατμόσφαιρα περίπου 10 εκατομμύρια τόνους διοξείδιο του άνθρακα, δηλαδή κοντά 1,2 kg CO₂ ανά παραγόμενη kWh. Ο λιγνίτης που εξορύσσεται από τα ορυχεία της Ελλάδας έχει χαμηλή θερμογόνο δύναμη, περίπου 1.200 έως 1.500kcal/kg, ενώ

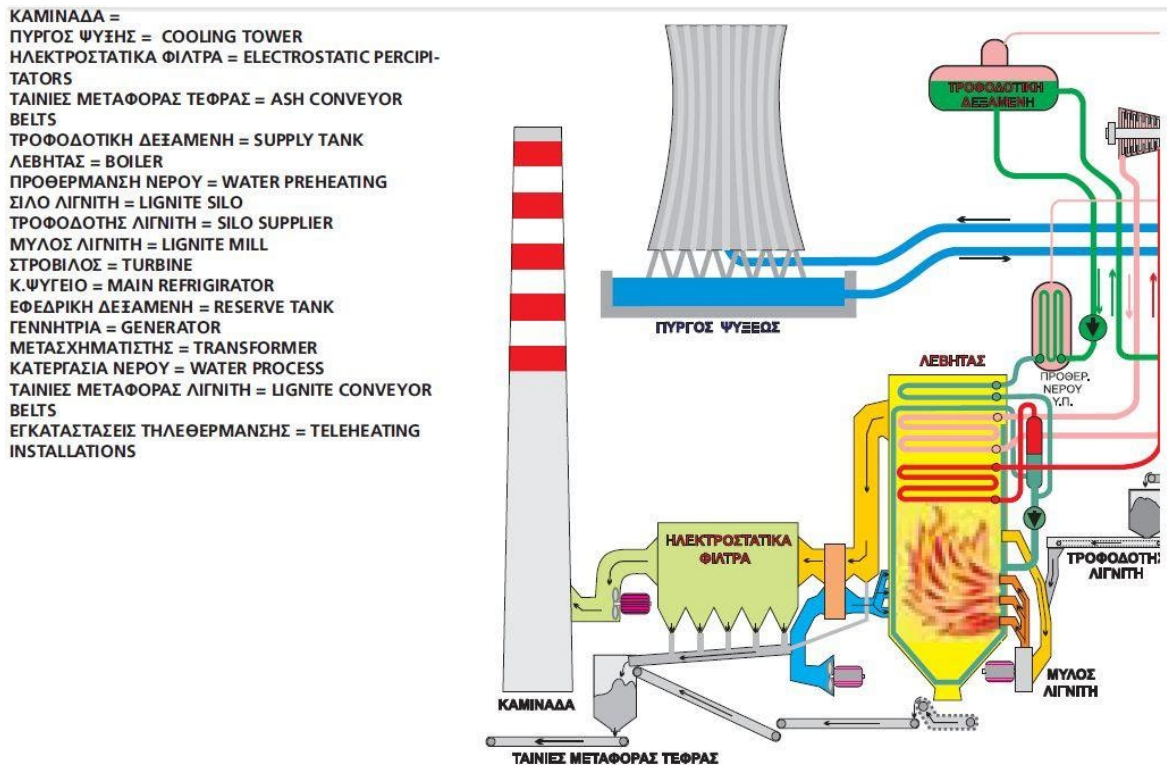


περιέχει 35 έως 65% υγρασία που επιβραδύνει την καύση. Από ένα κιλό λιγνίτη, παράγεται περίπου μία kWh. Η θερμογόνο δύναμη πετρελαίου είναι σημαντικά μεγαλύτερη, περίπου 10.000kcal/kg και του εισαγόμενου λιθάνθρακα, ο οποίος χρησιμοποιείται σε πρόσμικση με τον εγχώριο λιγνίτη σε ποσοστό 3,5%, είναι περίπου 6500kcal/kg. Τονίζεται ότι η Ελλάδα είναι η δεύτερη στην ΕΕ και η πέμπτη στον κόσμο χώρα στην παραγωγή λιγνίτη.

Οι θερμοκοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής Συνδυασμένου Κύκλου (Σ/Κ) λειτουργούν αξιοποιώντας την πολύ υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων (~500°C) που εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Αυτά τα καυτά αέρια με την υπερύψηλη θερμοκρασία τους είναι μια τεράστια σπατάλη υψηλής ποιότητας ενέργειας υπό την μορφή θερμότητας, η οποία πρέπει να συλλέγεται και να αξιοποιείται. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι με την διοχέτευση αυτών των θερμών καυσαερίων μέσω ενός εναλλάκτη με σκοπό το βράσιμο νερού και την παραγωγή ατμού. Ο προκύπτων ατμός μπορεί να αξιοποιηθεί σε πλήθος εφαρμογών, μεταξύ άλλων, σε βιομηχανικές διεργασίες θέρμανσης ή για την θέρμανση νερού και χώρων σε κτίρια. Φυσικά, τέτοιες εφαρμογές συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (combined heat and power applications – CHP) είναι διαθέσιμες μόνο εφόσον ο αεριοστρόβιλος βρίσκεται πολύ κοντά στον χώρο όπου η απορριπτόμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Μια καλύτερη εναλλακτική είναι να γίνει χρήση του ατμού που παράγεται σε μια γεννήτρια ανάκτησης θερμότητας ατμού για να τροφοδοτήσει έναν ατμοστρόβιλο δεύτερης τάξης, ο οποίος να συμβάλει και αυτός με την σειρά του στην παραγωγή Εηλ. ουσιαστικά αξιοποιώντας τα απορριπτόμενα καυσαέρια. Τέτοιοι Σ/Κ σταθμοί παραγωγής Εηλ. με καύση Φυσικού Αερίου (Φ/Α) έχουν θερμικές αποδόσεις 6300-7600 Btu/kWh, απόδοση 45-54%. Νέες εναλλακτικές που προτείνονται μπορούν να φτάσουν το 60%, με την πτώση των τιμών του Φ/Α και την αύξηση των τιμών του μέσου άνθρακα (Gilbert M. Masters, 2017).

Στον συνδυασμένο κύκλο επιτυγχάνεται:

- ✓ Επιπλέον εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- ✓ Μείωση της θερμικής ρύπανσης
- ✓ Μείωση του ρυθμού εξάντλησης των Φ.Π.
- ✓ Μείωση της εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων
- ✓ Μείωση κατανάλωσης καυσίμου



Σχήμα 2.1 Απαραίτητα μέρη ενός Θερμικού Σταθμού παραγωγής Εηλ.

Πυρηνική Ενέργεια

Η πυρηνική ενέργεια έχει μια πολύπλοκη ιστορία, η οποία ξεκινά με τις ημέρες δόξας στην δεκαετία του 1970, όταν θεωρούνταν μια τεχνολογία “πολύ φθηνή για να μετρηθεί”, ενώ την επόμενη δεκαετία κάποιος την χαρακτήρισε μια τεχνολογία “πολύ ακριβή για να έχει σημασία”. Η αλήθεια, από πολλούς, βρίσκεται κάπου στην μέση. Εάν η ενσωμάτωση του άνθρακα που συνδέεται με το κατασκευαστικό κομμάτι αγνοηθεί, οι πυρηνικοί αντιδραστήρες έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι ουσιαστικά μια πηγή Εηλ. απαλλαγμένη από άνθρακα, με αποτέλεσμα να αρχίσει να απολαμβάνει, εν μέσω έντονων ανησυχιών για την κλιματική κρίση, μια αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος. Μετά την καταστροφή του Ιαπωνικού πυρηνικού αντιδραστήρα στην Φουκουσίμα το 2011, απομένει να διαπιστωθεί αν μια νέα γενιά φθηνότερων και ασφαλέστερων αντιδραστήρων είναι ικανή να διώξει τις αμφιβολίες της κοινής γνώμης όσον αφορά την ασφάλεια, το μέρος όπου θα αποτεθούν τα ραδιενεργά απόβλητα και τον τρόπο/διασφάλιση ότι το πλουτώνιο δεν θα πέσει σε λάθος χέρια. Η ουσία της τεχνολογίας του πυρηνικού αντιδραστήρα είναι βασικά η ίδια με έναν απλό κύκλο θερμικού σταθμού παραγωγής Εηλ. ορυκτών καυσίμων άνθρακα.



Σημαντικό μειονέκτημα και των δύο τεχνολογιών παραγωγής Εηλ. είναι το γεγονός απαιτούν τεράστιες ποσότητες υπερκάθαρου απιονισμένου νερού για την ψύξη των μονάδων τους

Η κύρια διαφορά είναι ότι η θερμότητα (καυτά αέρια) δημιουργείται από πυρηνικές αντιδράσεις και όχι από την καύση ορυκτών καυσίμων. Οι δύο τύποι αντιδραστήρων ελαφρού ύδατος που χρησιμοποιούνται περισσότερο στις ΗΠΑ, ζέοντος ύδατος και πετρελαιμένου ύδατος, έχουν ως κύρια μέρη τα εξής (Gilbert M. Masters, 2017):

Ράβδους ελέγχου, Πυρήνας αντιδραστήρα, Αντλία, Συμπιεστής, Στρόβιλος ή Ατμοστρόβιλος & Γεννήτρια

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Υδροηλεκτρική ενέργεια λέγεται η εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του τρεχούμενου νερού με σκοπό (κυρίως) την παραγωγή Εηλ. Αποτελεί μια πολύ σημαντική πηγή ηλεκτρισμού, με ικανότητα εγκατεστημένης ισχύος κοντά στο 1 TW, που αποτελεί το 16,5% (3.400 TWh) της συνολικής παγκόσμιας προσφοράς. Ο ολικός βαθμός απόδοσης των ΥΗΣ κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,75 έως 0,92 που καθιστά την τεχνολογία με τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης ηλεκτροπαραγωγής.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει ένα σαφές πλεονέκτημα ως προς τις περισσότερες άλλες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: πρόκειται για μια πολύ πιο ευέλικτη πηγή ενέργειας. Μπορεί να παρέχει ενέργεια φορτίου βάσης, ενέργεια αιχμής, στρεφόμενη εφεδρεία και αποθήκευση ενέργειας. Μπορεί να καλύπτει λεπτό προς λεπτό διακυμάνσεις του φορτίου γρηγορότερα και με μεγαλύτερο εύρος και ευελιξία από ότι τα συμβατικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας. Όσον αφορά την αποθήκευση, είναι ένα ιδανικό συμπλήρωμα για τις μεταβλητές και απρόβλεπτες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ως ΑΠΕ θεωρούνται τα μικρά ΥΗΕ (ΜΥΗΕ), εξαιτίας της υψηλής όχλησης που προκαλείται κατά την δημιουργία του ταμιευτήρα στα πέριξ οικοσυστήματα (κατάνη κυρίως του φράγματος), αλλά και στην χλωρίδα-πανίδα-ανθρώπινες κοινότητες της γύρω περιοχής στην περίπτωση των συστημάτων μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος. **Η αξιοποίηση του μικρού υδροδυναμικού των χιλιάδων μικρών ή μεγαλύτερων υδατορρευμάτων και πηγών της ορεινής κυρίως Ελλάδος περνά από την υλοποίηση αποκεντρωμένων, αναπτυξιακών μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών πολλαπλής σκοπιμότητας, που μπορούν δηλαδή να λειτουργούν και για την ταυτόχρονη κάλυψη υδρευτικών, αρδευτικών και άλλων τοπικών αναγκών.**

Οι πολύ υψηλοί βαθμοί απόδοσης των υδροστροβίλων, που μερικές φορές υπερβαίνουν και το 90%, και η πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής των υδροηλεκτρικών έργων, που μπορεί να υπερβαίνει και τα 100 έτη, αποτελούν δύο χαρακτηριστικούς δείκτες για την ενεργειακή αποτελεσματικότητα και την τεχνολογική ωριμότητα των ΜΥΗ σταθμών.

Τα ΜΥΗ έργα παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα όπως είναι η δυνατότητα άμεσης σύνδεσης - απόζευξης στο δίκτυο, ή η αυτόνομη λειτουργία τους, η αξιοπιστία τους, η παραγωγή ενέργειας άριστης ποιότητας χωρίς διακυμάνσεις, η άριστη διαχρονική συμπεριφορά τους, η μεγάλη διάρκεια ζωής, ο προβλέψιμος χρόνος απόσβεσης των αναγκαίων επενδύσεων που οφείλεται στο πολύ χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας και στην ανυπαρξία κόστους πρώτης ύλης, η φιλικότητα προς το περιβάλλον



με τις μηδενικές εκπομπές ρύπων και τις περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η ταυτόχρονη ικανοποίηση και άλλων αναγκών χρήσης νερού (ύδρευσης, άρδευσης, κλπ.), η δυνατότητα παρεμβολής τους σε υπάρχουσες υδραυλικές εγκαταστάσεις κα.

Εξ' ορισμού, ένας μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός αποτελεί ένα έργο απόλυτα συμβατό με το περιβάλλον, που μπορεί να συμβάλει ακόμη και στη δημιουργία νέων υδροβιοτόπων μικρής κλίμακας στα ανάντη των μικρών ταμιευτήρων. Το σύνολο των επί μέρους συνιστωσών του έργου μπορεί να ενταχθεί αισθητικά και λειτουργικά στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας τα τοπικά υλικά με παραδοσιακό τρόπο και αναβαθμίζοντας το γύρω χώρο. Με τον όρο Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο, σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία, εννοούμε ένα υδροηλεκτρικό έργο εγκατεστημένης ισχύος μέχρι 15 MW_p. Τα μέρη ενός ΥΗΕ ηλεκτροπαραγωγής είναι τα εξής:

- Αρχικά κατασκευάζεται ένα φράγμα, το οποίο συγκρατεί το νερό σε μια τεχνητή λίμνη (ταμιευτήρα). Το νερό αυτό πρέπει να μπορεί να ρέει προς τα κάτω, γι' αυτό τα φράγματα κατασκευάζονται σε σημεία με σχετικά απότομες κλίσεις της κοίτης των ποταμών. Με τη ροή αυτή η δυναμική ενέργεια του νερού του ταμιευτήρα μετατρέπεται σε κινητική
- Στο κάτω μέρος του φράγματος τοποθετούνται υδατοφράκτες. Με τη βοήθειά τους ρυθμίζεται η ποσότητα ροής του νερού από τον ταμιευτήρα προς την τουρμπίνα μέσω του υδαταγωγού
- Τουρμπίνα (ή τουρμπίνες). Είναι συσκευές με ειδικά πτερύγια, χάρη στα οποία η κινητική ενέργεια του νερού που ρέει μετατρέπεται σε περιστροφική. Η υψομετρική διαφορά μεταξύ στάθμης του ταμιευτήρα και της θέσης της τουρμπίνας προκαλεί την κίνηση του νερού, το οποίο με τη σειρά του θέτει σε κίνηση την τουρμπίνα
- Γεννήτρια (ή γεννήτριες). Άμεσα συνδεδεμένη στον άξονα της τουρμπίνας βρίσκεται συνδεδεμένη μια γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος, την οποία θέτει σε κίνηση η τουρμπίνα. Με τον τρόπο αυτό η κινητική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε ηλεκτρικό ρεύμα
- Γραμμές μεταφοράς. Από την εγκατάσταση παραγωγής ισχύος εκκινούν γραμμές μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας προς τους τόπους κατανάλωσής της

Γεωθερμία

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια ήπια και ανανεώσιμη μορφή ενέργειας, που παράγεται από την εκμετάλλευση του υπόγειου γεωθερμικού δυναμικού, μπορεί να συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην ενεργειακή αυτονομία και κατά συνέπεια στην ενεργειακή ασφάλεια ενός κράτους. Έχει ελάχιστο έως μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και μπορεί με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες να παράγει θερμική είτε / και ηλεκτρική ενέργεια. Για να θεωρηθεί ότι ένα υπόγειο θερμό ρευστό διαθέτει γεωθερμικό δυναμικό, πρέπει η θερμοκρασία του να υπερβαίνει τους 30°C. Σημειώνεται ότι τα ενεργειακά συστήματα θέρμανσης ή ψύξης χώρων αφορούν στην εκμετάλλευση της θερμοχωρητικότητας επιφανειακών ή υπογείων στρωμάτων υπεδάφους και νερού που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό (θερμοκρασία < 30°C).



Βασικές χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας παγκοσμίως αφορούν στη θέρμανση θερμοκηπίων και υδατοκαλλιέργειών, ξήρανση γεωργικών προϊόντων, αφαλάτωση νερού για την κάλυψη ύδρευσης, άλλες ήπιες βιομηχανικές χρήσεις αλλά και για τηλεθέρμανση κτιρίων, οικισμών, χωριών ή και πόλεων. Η συμμετοχή γεωθερμικής ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή βαίνει διαρκώς αυξανόμενη. Στην Ελλάδα γίνεται εκμετάλλευση σε θερμικές εφαρμογές, ενώ εκτελούνται έρευνες για την αξιοποίησή της στην ηλεκτροπαραγωγή. Η Ελλάδα, λόγω των κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, **διαθέτει πλούσιο γεωθερμικό δυναμικό** και θεωρείται από τις πλέον ευνοημένες χώρες παγκοσμίως. Έως σήμερα, σε 30 περιοχές σε όλη τη χώρα έχουν εντοπιστεί γεωθερμικά πεδία τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για άμεσες χρήσεις, με ήπιο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, και να καλύψουν μια σειρά από ενεργειακές ανάγκες (π.χ. θέρμανση ιχθυοκαλλιεργειών, θερμοκηπιακές καλλιέργειες, ξήρανση αγροτικών προϊόντων, θέρμανση και ψύξη κατοικιών, σχολείων και νοσοκομείων αφαλάτωση νερού, λειτουργία λουτροθεραπευτικών εγκαταστάσεων κλπ.) και να παίξουν καθοριστικό ρόλο στην ενεργειακή αυτονομία των περιοχών σε διάφορους παραγωγικούς τομείς, όπως στον πρωτογενή τομέα, με τη μείωση του ενεργειακού κόστους στη γεωργία και τις ιχθυοκαλλιέργειες, στη μεταποίηση καθώς και στη θέρμανση κατοικιών, σχολείων και νοσοκομείων.

Τα Συστήματα Γεωθερμίας είναι δυνατόν να συνδυαστούν σε όλους τους τύπους συστημάτων θέρμανσης (θέρμανση με θερμαντικά σώματα, ενδοδαπέδια θέρμανση), καθώς επίσης και με συστήματα ψύξης - θέρμανσης με τερματικές μονάδες νερού (FanCoils, κλιματιστικές μονάδες νερού κλπ.) Ο υψηλότερος βαθμός απόδοσης και η μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας και κατά συνέπεια το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος εμφανίζεται σε συστήματα που συνδυάζουν την λειτουργία των συστημάτων γεωθερμίας είτε με ενδοδαπέδια θέρμανση είτε με εγκαταστάσεις ψύξης - θέρμανσης με FanCoils. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα συστήματα αυτά λειτουργούν με νερό πολύ χαμηλότερης θερμοκρασίας από αυτή που απαιτούν τα συστήματα θέρμανσης με θερμαντικά σώματα. Αυτό συνεπάγεται λειτουργία των γεωθερμικών συστημάτων με πολύ υψηλότερο βαθμό απόδοσης και φυσικά χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση, μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας και πολύ μικρό λειτουργικό κόστος.

Τα συστήματα γεωθερμίας συνίστανται από τα εξής:

Γεωθερμικός εναλλάκτης για Γεωθερμικά Συστήματα Ανοιχτού και Κλειστού Κυκλώματος (είναι ένα δίκτυο σωληνώσεων που τοποθετείται μέσα στο έδαφος και εντός του οποίου κυκλοφορεί νερό). Τα Γεωθερμικά Συστήματα Ανοιχτού Κυκλώματος είναι πιο οικονομικά αλλά με χαμηλότερη απόδοση. Απαιτούν παροχή καθαρού νερού (π.χ. από Γεώτρηση. Τα Γεωθερμικά Συστήματα Κλειστού Κυκλώματος χωρίζονται στα οριζόντια, όπου οι σωληνώσεις τοποθετούνται σε οριζόντια διάταξη 1-1,5 κάτω από το έδαφος, για την ανάπτυξη των οποίων απαιτείται η ύπαρξη μεγάλης έκτασης αγροτεμαχίου, το οποίο δεν πρέπει να διαθέτει φυτά που δημιουργούν σκιά. Η δεύτερη κατηγορία είναι τα κατακόρυφα, όπου για την τοποθέτηση των σωληνώσεων απαιτείται η διάνοιξη γεωτρήσεων βάθους έως και 100 μέτρων.

Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (ΓΑΘ), είναι συσκευή με την βοήθεια της οποίας γίνεται μεταφορά θερμότητας από και προς τον γεωεναλλάκτη. Λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα, ενώ καταναλώνει πολύ μικρά ποσά Εηλ. εφόσον έχει εξαιρετικά υψηλό βαθμό απόδοσης (π.χ. CoP ~ 5). Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του εδάφους και αντίστοιχα όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία του νερού στην εγκατάσταση θέρμανσης, τόσο υψηλότερος γίνεται ο βαθμός απόδοσης της ΓΑΘ και τόσο οικονομικότερη η λειτουργία του συστήματος.



✓ Δείκτης καταλληλότητας εγκατάστασης

Για τον λόγο αυτό τα συστήματα θέρμανσης με χαμηλή θερμοκρασία νερού, όπως είναι η ενδοδαπέδια θέρμανση και η θέρμανση με FanCoils είναι τα πλέον κατάλληλα για να λειτουργούν σε μια εγκατάσταση γεωθερμίας.

Για την κατασκευή των εγκαταστάσεων γεωθερμίας απαιτείται υποχρεωτικά από τον νόμο εκπόνηση ειδικής ηλεκτρομηχανολογικής μελέτης γεωθερμίας καθώς και έκδοση άδειας από τις αρμόδιες υπηρεσίες του Υπουργείου Ανάπτυξης των κατά τόπους περιφερειών, σύμφωνα με τις διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας (Δ9Β,Δ/Φ166/οικ13068/ΓΔΦΠ2488/ΦΕΚ 1249/24-62009).

Βιομάζα/ Βιορευστά/ Βιοαέριο

Βιομάζα είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων που προέρχονται από τη γεωργία, (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τις συναφείς βιομηχανίες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, όπως ορίζει η ΟΔΗΓΙΑ 2001/77/ΕΚ. Ως βιομάζα ορίζεται η **ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση**. Πρακτικά περιλαμβάνεται σε αυτήν οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο βιομάζα εννοούμε τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, καθώς επίσης και τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, της αγροτικής βιομηχανίας και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων. Ειδικότερα, μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (θέρμανσης, ψύξης, ηλεκτρισμού κλπ.) και ακόμα για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη, βιοντίζελ κλπ.).

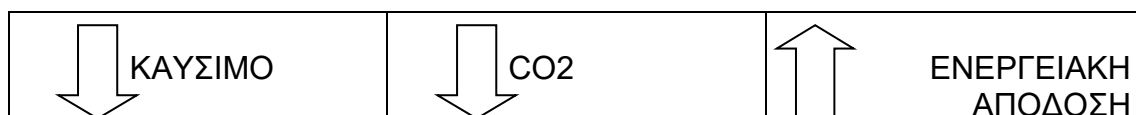
Σταθμός Συμπαγωγής Εηλ. από ΑΠΕ – Βιοαέριο (πηγή Κοκκότης κα, ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2012): Ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά έργα για την ήδη επιβαρυνόμενη περιοχή της Αττικής έχει ολοκληρωθεί με την εμπορική λειτουργία του Σταθμού Συμπαγωγής από βιοαέριο, το οποίο αντλείται από τον όγκο των απορριμμάτων που εναποτίθενται στον Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) Άνω Λιοσίων. Ο εν λόγω σταθμός είναι από τους μεγαλύτερους με καύσιμο βιοαέριο παγκοσμίως (13,9 MW) και αποτελείται από 11 γεννήτριες ηλεκτρικής ισχύος 1.262kW_{el} και θερμικής ισχύος 873kW_{th}. Υπάρχει σημαντική δυνατότητα επέκτασης του σταθμού και αύξησης της ηλεκτρικής του ισχύος, ενώ έχει ήδη ενσωματωθεί εξοπλισμός για την ανάκτηση μέρους της θερμικής ενέργειας που διατίθεται από το σύνολο (καυσαέρια και νερό ψύξης μηχανών εσωτερικής καύσης). Κάθε μονάδα τοποθετείται πάνω σε βάση από σκυρόδεμα και αποτελείται από 3 βασικά τμήματα: τον εξοπλισμό ισχύος, τον βοηθητικό εξοπλισμό και τα ψυγεία. Ο σταθμός ακόμη περιλαμβάνει τρεις πυρσούς καύσης βιοαερίου για την τήρηση των περιβαλλοντικών όρων που έχουν τεθεί, για την εξασφάλιση της λειτουργίας των οποίων σε περίπτωση διακοπής της παραγωγής από τον σταθμό, υπάρχει βοηθητική ντιζελογεννήτρια. Στο σημείο κάθε γεννήτριας (π.χ. σε container, από τις 11 συνολικά), βρίσκονται τα παρελκόμενά της και ο ακόλουθος εξοπλισμός:



- Γεννήτρια
- Μετασχηματιστής (Μ/Σ)
- Ηλεκτρολογικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός προστασίας και ελέγχου
- Σύστημα εξαερισμού εξαναγκασμένης κυκλοφορίας
- Δεξαμενές ελαίου λίπανσης
- Φυσητήρας, σωληνώσεις και ασφαλιστικές διατάξεις για την τροφοδοσία του βιοαερίου στην μηχανή
- Σύστημα σίγασης της εξάτμισης και καμινάδα εξαγωγής καυσαερίων με υψηλή ταχύτητα
- Ψυγείο για την απαγωγή της θερμότητας που μεταφέρει το ψυκτικό υγρό του κυκλώματος ψύξης της μηχανής, το οποίο αποτελείται από δύο ξεχωριστά ψυγεία χαμηλής (για την ψύξη του μείγματος μετά τον υπερσυμπιεστή) και υψηλής θερμοκρασίας (για την ψύξη της ίδιας της μηχανής), καθώς και συστοιχία ανεμιστήρων
- Πίνακα που περιέχει σύστημα ελέγχου στροφών κινητήρων για τον φυσητήρα βιοαερίου, τους ανεμιστήρες εξαερισμού και τους ανεμιστήρες του ψυγείου
- Σωληνώσεις προσαγωγής και επιστροφής του ψυκτικού υγρού από την μηχανή στο ψυγείο και αντίστροφα, καθώς και σωληνώσεις βιοαερίου με τα απαραίτητα ασφαλιστικά εξαρτήματα
- Σύστημα ανάκτησης της θερμότητας από την απορριπτόμενη θερμότητα του νερού ψύξης της μηχανής

ΣΗΘΥΑ από ΑΠΕ

Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ) είναι η ταυτόχρονη παραγωγή Θερμικής και Ηλεκτρικής ή και Μηχανικής Ενέργειας στο πλαίσιο μιας μόνο διαδικασίας. (βλ. Ν 3468/2006). Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ, σύμφωνα με τον Ν 3468/2006) είναι η συμπαγωγή που εξασφαλίζει **εξοικονόμηση Πρωτογενούς Ενέργειας** σε ποσοστό τουλάχιστον 10 %, σε σχέση με τη Θερμική και Ηλεκτρική Ενέργεια που παράγεται στο πλαίσιο διακριτών διαδικασιών, καθώς και η παραγωγή από Μονάδες μικρής και πολύ μικρής κλίμακας που εξασφαλίζει εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, ανεξάρτητα από το ποσοστό εξοικονόμησης. Ο υπολογισμός της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας, όπου αυτός απαιτείται, γίνεται σύμφωνα με τα οριζόμενα στην περίπτωση β' του Παραρτήματος ΙΙΙ της Οδηγίας 2004/8/ΕΚ (L 52). Εκμετάλλευση της αποβαλλόμενης θερμότητας προς αξιοποίηση. Ο βαθμός απόδοσης μιας εγκατάστασης συμπαγωγής μπορεί να φτάσει το 80-90% σε αντίθεση με έναν συμβατικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής που δεν ξεπερνάει το 45-50%.

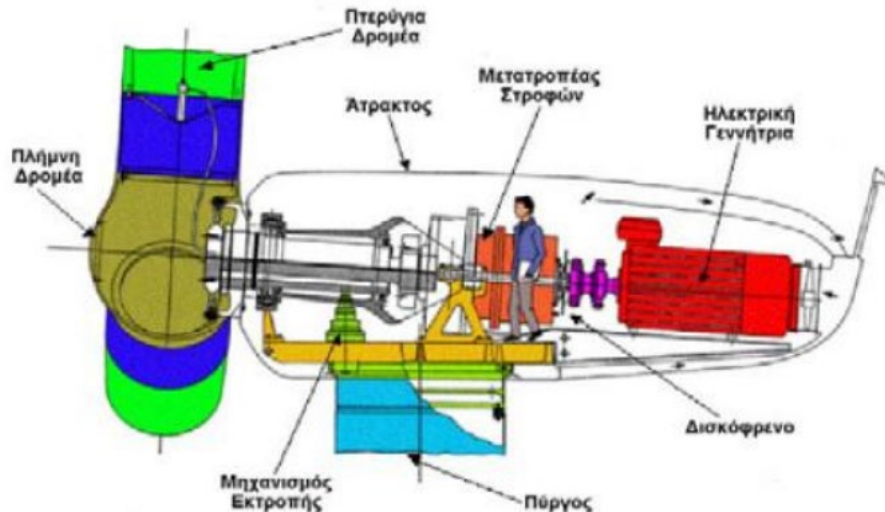


Αποτελεί έναν από τους βέλτιστους τρόπους αξιοποίησης των καυσίμων, με τον συνδυασμό δοκιμασμένων / αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών με σκοπό την εξοικονόμηση πρωτογενών ενεργειακών πόρων.



Αιολική Ενέργεια

Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου από τον άνθρωπο αποτελεί μία πρακτική που βρίσκει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας είναι τα ιστιοφόρα και οι ανεμόμυλοι. Σήμερα, για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε τις ανεμογεννήτριες (**Α/Γ**). Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές, οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται για την πλήρη κάλυψη ή και τη συμπλήρωση των ενεργειακών αναγκών. Το παραγόμενο από τις ανεμογεννήτριες ηλεκτρικό ρεύμα είτε καταναλώνεται επί τόπου, είτε εγχέεται και διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να καταναλωθεί αλλού. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες, όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, συχνά αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί αργότερα, όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή. Η αποθήκευση σήμερα γίνεται με δύο οικονομικά βιώσιμους τρόπους, ανάλογα με το μέγεθος της παραγόμενης ενέργειας. Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες) είναι η πλέον γνωστή και διαδεδομένη μέθοδος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία χρησιμοποιείται για μικρής κλίμακας παραγωγικές μη διασυνδεδεμένες στο κεντρικό δίκτυο μονάδες. Η άντληση ύδατος με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από ανεμογεννήτριες και η ταμίευσή του σε ταμιευτήρες (φυσικούς ή τεχνητούς) σε υψόμετρο το οποίο είναι ικανό να τροφοδοτήσει υδροηλεκτρικό σταθμό (γνωστή ως αντλησιοταμίευση), είναι η μέθοδος αποθήκευσης που χρησιμοποιείται όταν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγάλη, σε περιπτώσεις μεγάλης κλίμακας που μπορεί στην συνέχεια κατά την ζήτηση να τροφοδοτήσει το δίκτυο. **Η χώρα μας διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό**, σε αρκετές περιοχές της Κρήτης, της Πελοποννήσου, της Ευβοίας και φυσικά στα νησιά του Αιγαίου. Σε αυτές τις περιοχές θα συναντήσουμε και τα περισσότερα αιολικά πάρκα, τα οποία αποτελούνται από συστοιχίες Α/Γ σε βέλτιστη διάταξη (συνήθως ρομβοειδή) για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού. Η αιολική ενέργεια είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Η εκμετάλλευση του υψηλού της δυναμικού στη χώρα μας, σε συνδυασμό με τη ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών που ενσωματώνεται στις σύγχρονες αποδοτικές Α/Γ, έχει τεράστια σημασία για τη βιώσιμη ανάπτυξη, την εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ποικίλων κομματιών του ανεμοστροβίλου, όπως πτερύγια και βάσεις. Τα ελαφριά σύνθετα υλικά βοηθούν στην αξιοποίηση της Αιολικής ενέργειας αποφέροντας υψηλή αποδοτικότητα, με αποτέλεσμα η ζήτηση τέτοιων υλικών να αυξάνεται. Η παγκόσμια βιομηχανία Αιολικής ενέργειας μετατοπίζεται προς μεγαλύτερους στροβίλους με μακρύτερα πτερύγια, καθώς αυτά έχουν την δυνατότητα να παράγουν μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας με χαμηλότερο κόστος. Τα συνθετικά υλικά προσφέρουν μεγαλύτερη αξιοπιστία και σταθερότητα. **Οι ίνες άνθρακα και οι ίνες υάλου** είναι τα υλικά αυτά που χρησιμοποιούνται κυρίως στην μετάβαση της παγκόσμιας αγοράς σύνθετων υλικών για Α/Γ, παρουσιάζοντας αρκετά οφέλη ως προς την καλύτερη αποτελεσματικότητά και απόδοση, αλλά και ως προς την φύση.



Σχήμα 2.2 Βασικότερα μέρη Α/Γ οριζώντιου άξονα χωρίς τον πύργο στήριξης

Η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς (ΕΛΕΤΑΕΝ) στην ελληνική επικράτεια το τέλος του 2019 ήταν 3.576 MWp.

Ηλιακή Ενέργεια / Φωτοβολταϊκά

Με τον όρο Ηλιακή Ενέργεια χαρακτηρίζουμε το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Το φως και η θερμότητα που ακτινοβολούνται, απορροφούνται από στοιχεία και ενώσεις στη Γη και μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας. Η τεχνολογία σήμερα αξιοποιεί ένα μηδαμινό ποσοστό της καταφθάνουσας στην επιφάνεια του πλανήτη μας ηλιακής ενέργειας με τριών ειδών συστήματα: τα θερμικά ηλιακά, τα παθητικά ηλιακά και τα Φ/Β Συστήματα.

Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Όλοι έχουμε συναντήσει φωτοβολταϊκά συστήματα σε μικρούς υπολογιστές και ρολόγια. Πρόκειται για συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια και που, εδώ και πολλά χρόνια, χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση μη διασυνδεδεμένων στο ηλεκτρικό δίκτυο καταναλώσεων. Δορυφόροι, φάροι και απομονωμένα σπίτια χρησιμοποιούν παραδοσιακά τα φωτοβολταϊκά για την ηλεκτροδότησή τους. Στην Ελλάδα, η προοπτική ανάπτυξης και εφαρμογής των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι τεράστια, λόγω του ιδιαίτερα υψηλού δυναμικού ηλιακής ενέργειας. Η ηλεκτροπαραγωγή από Φωτοβολταϊκά έχει ένα τεράστιο πλεονέκτημα αποδίδει την μέγιστη ισχύ της κατά τη διάρκεια της ημέρας που παρουσιάζεται η μέγιστη ζήτηση.



Κλίση (°)	Συνολική Ετήσια Ηλιακή Ακτινοβολία (kWh/m ²)
0 (οριζόντια)	1.403
30 ¹⁵	1.544
45	1.505
60	1.395
90 (κάθετα)	1000

Πίνακας 2.1 Συνολική Ετήσια Ηλιακή Ακτινοβολία (kWh/m²) ανάλογη της κλίσης και για βέλτιστο νότιο προσανατολισμό για την περιοχή της Θεσσαλονίκης (πηγή TOTEE Γ' ΕΚΔΟΣΗ)

Υβριδικά Συστήματα ΑΠΕ

Το μειονέκτημα της διαλειπόμενης παραγωγής των ΑΠΕ είναι εντονότερο σε μικρά αυτόνομα ηλεκτρικά δίκτυα μπορεί, ωστόσο, να αντιμετωπισθεί σε μεγάλο βαθμό με συνδυασμό περισσότερων της μιας τεχνολογιών ΑΠΕ (υβριδικά συστήματα ΑΠΕ). Με τα υβριδικά συστήματα ΑΠΕ επιτυγχάνεται άρση των περιορισμών, που διέπουν τη λειτουργία της κάθε μιας μονάδας ξεχωριστά, καθώς η μία πηγή ενέργειας συμπληρώνει την έλλειψη διαθεσιμότητας της άλλης. Για τη συμπίεση του κόστους της αρχικής επένδυσης εγκατάστασης ενός υβριδικού συστήματος ΑΠΕ απαιτείται αναλυτική προσομοίωση πολλαπλών συνδυασμών των μονάδων παραγωγής που το συνθέτουν (Α/Γ, Φ/Β πλαίσια, συσσωρευτές κλπ.), προκειμένου να εντοπισθεί ο συνδυασμός που θα παρέχει τη μέγιστη ενεργειακή παραγωγή και αποθήκευση με το ελάχιστο κόστος. Η προσομοίωση των υβριδικών συστημάτων, στα οποία συμπεριλαμβάνονται μονάδες αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας, απαιτεί, εκτός των άλλων παραμέτρων, γνώση του ηλιακού δυναμικού στην περιοχή εγκατάστασης.

Η Εηλ. αποτελεί, για την σύγχρονη κοινωνία, ένα από τα βασικότερα αγαθά κατατάσσοντάς την, στις ανεπτυγμένες κοινωνίες του πλανήτη, στην ίδια θέση αναγκαιότητας με εκείνη για την πρόσβαση σε καθαρό νερό και αέρα. Παρ' όλα αυτά, το αγαθό αυτό, το οποίο θεωρείται δεδομένο στις ανεπτυγμένες περιοχές του πλανήτη, το στερείται πάνω από το 20% του πληθυσμού της γης (Takada & Fracchia, 2007). Ειδικότερα, σύμφωνα με τον ΟΗΕ, 1,3 δισεκατομμύρια κάτοικοι του πλανήτη στερούνται πρόσβασης σε Εηλ., εκ των οποίων το 85% βρίσκεται σε απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές, όπου το κόστος διασύνδεσης καθίσταται απαγορευτικό με συνέπεια τον μονόδρομο των πληθυσμών αυτών σε χρήση ρυπογόνων καυσίμων όπως κηροζίνη, πετρέλαιο, ξύλο κα. για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών. Η ετήσια αναφορά του Διεθνούς Γραφείου Ενέργειας – International Energy Agency, IEA, που δημοσιεύτηκε το 2010 προέβλεπε ότι περίπου το 60% των νέων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής και το 60% των επενδύσεων στον

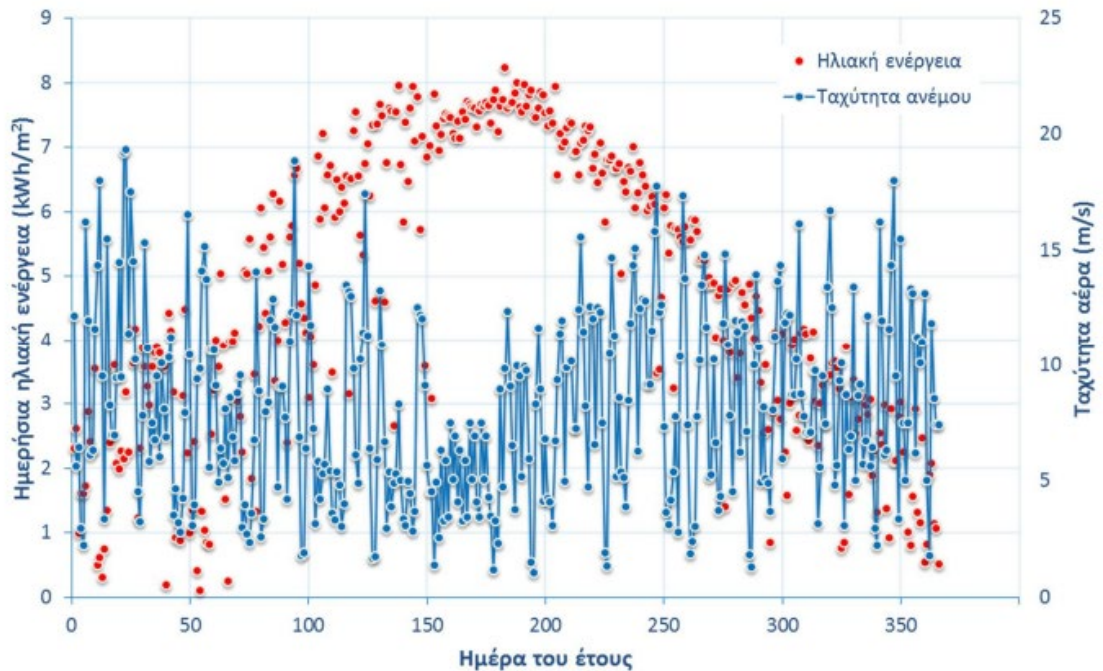
¹⁵ Παρατηρούμε ότι και στην γεωγραφική περίπτωση της Θεσσαλονίκης, όπως και στο μεγαλύτερο μέρος της Ελληνικής επικράτειας, η βέλτιστη κλίση παραλαβής και δέσμευσης ηλιακής ακτινοβολίας είναι οι 30°



τομέα της Εηλ. θα αφορούν αυτόνομες ή μη διασυνδεδεμένες ηλεκτρικές μονάδες παραγωγής. Ο στόχος αυτός αναδεικνύει την σημασία των αυτόνομων συστημάτων παραγωγής Εηλ. ως την βασικότερη λύση για την βελτίωση του βιοτικού επιπέδου και της κοινωνικο-οικονομικής ανάπτυξης των μικρών απομονωμένων κοινοτήτων, όπως μικρά νησιά και απομακρυσμένα χωριά. Στις απομακρυσμένες περιοχές χωρίς πρόσβαση σε ηλεκτρικό δίκτυο, το ενεργειακό κόστος ξεπερνάει, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων το 20% των συνολικών εξόδων μιας οικογένειας, ένα κόστος το οποίο πολλές φορές, υπόκειται σε ανεξέλεγκτες διακυμάνσεις ανάλογα με την μεταβλητότητα των τιμών του πετρελαίου αλλά και της ζήτησης. Σ' αυτό το σημείο, σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι κοντά σε ποσοστό 65% των παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών CO_{2eq} προέρχεται από την παραγωγή Εηλ. (που έχουν ως βάση τον άνθρακα και τα ορυκτά), με το αντίστοιχο ποσοστό στις ανεπτυγμένες χώρες να φθάνει το 80%. Με εξαίρεση κάποιες χρήσεις της βιομάζας, οι ΑΠΕ έχουν μηδενικές εκπομπές ΑτΘ και έτσι οι περιβαλλοντικές πολιτικές που ακολουθούνται, όπως το πρωτόκολλο του Κιότο, δίνουν θετική ώθηση προς την επέκταση της αξιοποίησής τους.

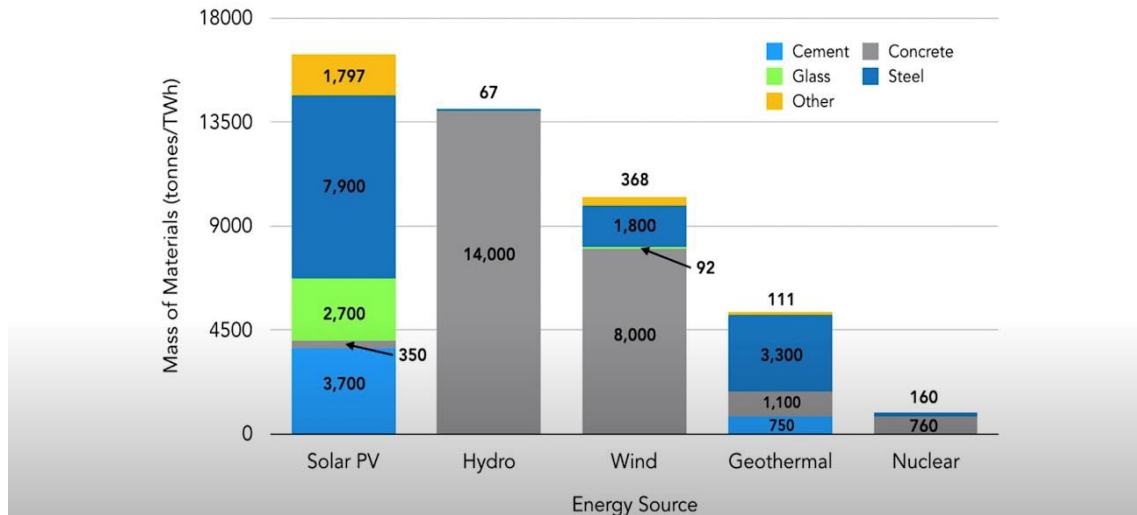
Με τα πολυάριθμα πλεονεκτήματα που εμφανίζουν οι ΑΠΕ γνωρίζουν ταχεία ανάπτυξη, κυρίως στην παραγωγή Εηλ., με ετήσια αύξηση 3% η οποία ξεπερνάει την αύξηση του φυσικού αερίου (2,6%), της πυρηνικής ενέργειας (2,4%) αλλά και του άνθρακα (1,9%), καθώς υποστηρίζονται από κυβερνητικές πολιτικές και επενδυτικά κίνητρα. Συγκεκριμένα, η αολική παραγωγή Εηλ. αυξήθηκε κατά 25,8% και η ηλιακή κατά 86,3% τα έτη 2010-2011, ενώ την περίοδο 2000-2010 η αγορά Φ/Β Συστημάτων ήταν η ταχύτερα επεκτεινόμενη αγορά ηλεκτροπαραγωγού τεχνολογίας παγκοσμίως, με εγκαταστημένη ισχύ 40 GW στο τέλος του 2010, από 1,5 GW που ήταν το 2000.

Η παραγωγή Εηλ. από ΑΠΕ εξαρτάται από μια σειρά κλιματολογικών, γεωλογικών και εν γένει φυσικών παραγόντων που ο άνθρωπος δεν μπορεί να ελέγξει στον βαθμό που τον ικανοποιεί (ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, παροχή ποταμού, ταχύτητα ανέμου κλπ.). Το μειονέκτημα αυτό παρουσιάζεται έντονα σε μικρά ηλεκτρικά δίκτυα ή αυτόνομους καταναλωτές, όπου η διαθεσιμότητα της Εηλ. δεν μπορεί να προβλεφθεί σε ικανοποιητικό μελλοντικό χρονικό διάστημα, ούτως ώστε να **εξασφαλίζεται η αδιάλειπτη παροχή ισχύος**. Μία από τις σημαντικότερες λύσεις για την αντιμετώπιση της διαλειπτόμενης παραγωγής Εηλ. είναι ο συνδυασμός περισσότερων της μίας τεχνολογιών ΑΠΕ/Αποθήκευση είτε συνδυασμός ΑΠΕ με συμβατικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής, με στόχο την άρση των περιορισμών που διέπουν την λειτουργία της κάθε μονάδας ξεχωριστά, όπου η μία πηγή ενέργειας συμπληρώνει την έλλειψη διαθεσιμότητας της άλλης.



Σχήμα 2.3 Ημερήσια Ηλιακή ενέργεια και μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου στην Κρήτη (Καλδέλλης κα, 2009)

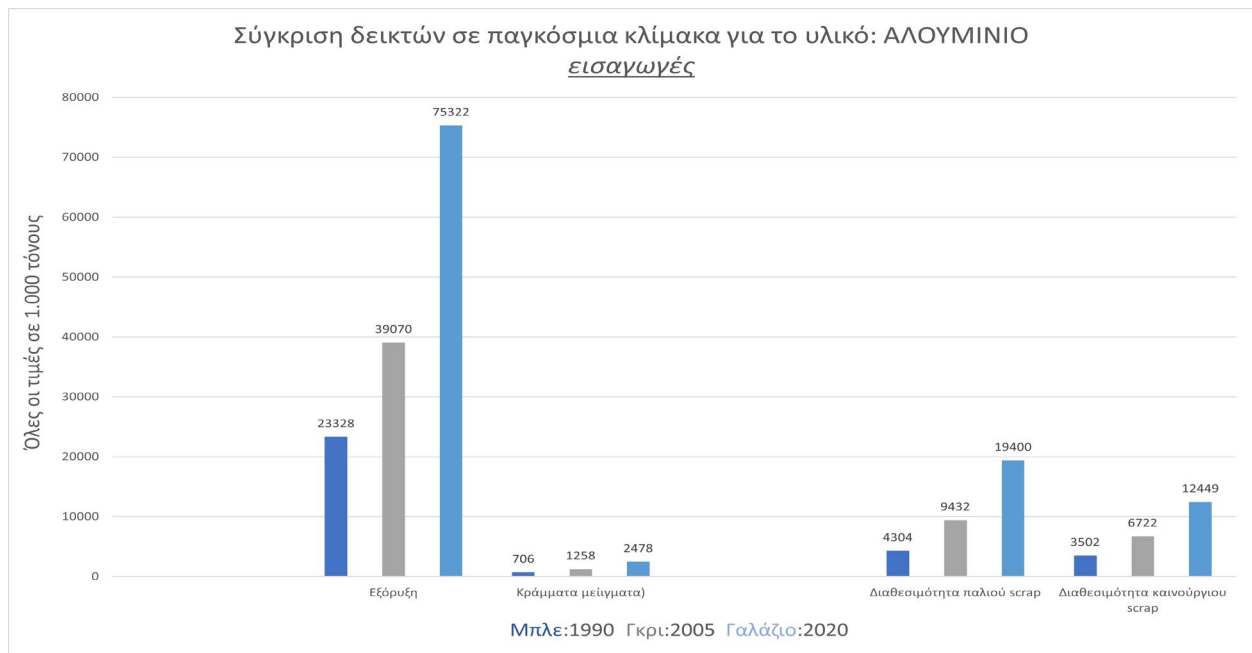
Ο όρος υβριδικά, έχει καθιερωθεί για συστήματα ηλεκτροπαραγωγής στα οποία υπάρχει μία τουλάχιστον μορφή ΑΠΕ. Ειδικά στην περίπτωση των αυτόνομων συστημάτων, απαιτούνται διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας καθώς επίσης και συστήματα ελέγχου και διαχείρισης του φορτίου. **Στην χώρα μας, με 6.000 νησιά και βραχονησίδες στα πελάγη του Αιγαίου και του Ιονίου, εκ των οποίων τα 117 είναι κατοικημένα, τα υβριδικά συστήματα αποτελούσαν και αποτελούν ελκυστική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους. Εφόσον το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας χαρακτηρίζεται από υψηλές ετήσιες τιμές που κυμαίνονται από 1.400 έως και 1.800 kWh/m² και τα περισσότερα από τα νησιά διαθέτουν υψηλό αιολικό δυναμικό, με μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου να φθάνει μέχρι και τα 11 m/s** (Καλδέλλης κα, 2011). Ο συνδυασμός υψηλού ηλιακού δυναμικού και αξιόλογου αιολικού δυναμικού, καθιστά τα υβριδικά συστήματα ΑΠΕ μία από τις βέλτιστες λύσεις για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένων και αυτόνομων συστημάτων. Στην πράξη, έχει αποδειχθεί ότι τα υβριδικά συστήματα χωρίς σύστημα αποθήκευσης δεν μπορούν να εξασφαλίσουν συμμετοχή των ΑΠΕ στην κάλυψη των ηλεκτρικών καταναλώσεων μεγαλύτερη του 25%. Οι μονάδες αυτές μπορούν να αποτελούνται από ηλεκτρικούς συσσωρευτές (μπαταρίες μολύβδου-οξέος, νικελίου-καδμίου, νατρίου-θείου, ροής), σφόνδυλο (flywheel), υπερπυκνωτές, μονάδα ηλεκτρόλυσης είτε μονάδα αντλησιοταμίευσης. Από την καταγραφή των εν λειτουργία υβριδικών συστημάτων από τους Νεβές et.al. 2014, προέκυψε ότι στην πλειοψηφία των μικρών νησιών χρησιμοποιείται ο συνδυασμός Α/Γ, Φ/Β, συσσωρευτών και ντιζελογεννητριών, ενώ στην περίπτωση των απομακρυσμένων ηπειρωτικών περιοχών επικρατεί ο συνδυασμός Φ/Β, γεννητριών diesel και συσσωρευτών, λόγω χαμηλότερων ταχυτήτων ανέμου (Διδακτορική Διατριβή Καβαδία, 2016).



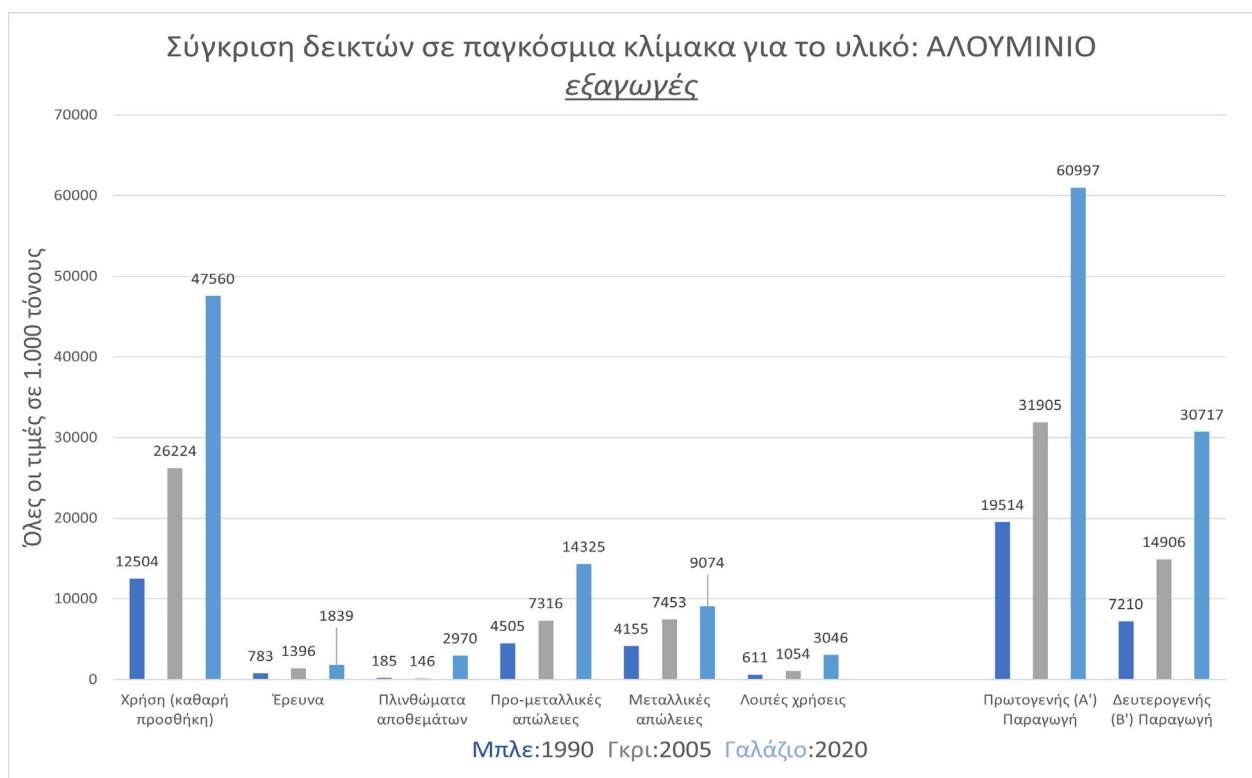
Σχήμα 2.4 Υλικά (σε τόνους) που απαιτεί ο εκάστοτε τύπος πηγής ενέργειας (τεχνολογίας ΑΠΕ) ανά παραγόμενη TWh

	Κατανάλωση Ενέργειας
Παραγωγή Αλουμινίου από Βωξίτη	14 KWh/kg
Παραγωγή Αλουμινίου από ανακύκλωση	0,7 KWh/kg
Παραγωγή Γυαλιού από Άμμο και άλλα υλικά	3,3 KWh/kg
Παραγωγή Γυαλιού από ανακύκλωση	2,4 KWh/kg

Πίνακας 2.2 Κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή γυαλιού και αλουμινίου. Η ενεργειακή απαίτηση Πρωτογενούς (Α') Αλουμινίου είναι τεράστια όπως φαίνεται στον πίνακα



Σχήμα 2.5 Γράφημα Αλουμινίου, Πηγή ΙΕΑ



Σχήμα 2.6 Γράφημα Αλουμινίου, Πηγή ΙΕΑ¹⁶

¹⁶ Παγκοσμίως, το 1990 είχε καταγραφεί ανακύκλωση αλουμινίου: $7,21 \times 10^6$ τόνους, το 2005: $14,906 \times 10^6$ τόνους και το 2020: $30,717 \times 10^6$ τόνους. Μεταβολή πολύ θετική, εφόσον όπως φαίνεται από τα δεδομένα, ανά 15 έτη διπλασιάζεται η μάζα ανακύκλωσης



Καλωδιώσεις

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση ενός Φ/Β Συστήματος απαιτεί την χρήση καλωδίων DC & AC. Τα καλώδια του πρώτου τύπου χρησιμοποιούνται για την διασύνδεση των πλαισίων μεταξύ τους και την σύνδεση των στοιχειοσειρών (strings) με τις εισόδους του Μ/Τ (Inverters), ενώ τα καλώδια του δεύτερου τύπου (συμβατικά) χρησιμοποιούνται για την σύνδεση των Μ/Τ σε τριφασικό σύστημα και την τελική σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ. Τα καλώδια από πολυβινυλοχλωρίδια (PVC) δεν είναι ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία και αντέχουν σε θερμοκρασίες έως 90 °C.

- ✓ 2 βασικοί έλεγχοι: τάσης και μέγιστου ρεύματος
- ✓ $I^2R \rightarrow$ Απώλειες υπό την μορφή θερμότητας
- ✓ 2 βασικά υλικά καλωδιώσεων: **Χαλκός (Cu)** και **Αλουμίνιο (Al)**
- ✓ Τυπική Μέγιστη πτώση τάσης το 1% για σύνδεση Φ/Β πλαισίων με τον Μ/Τ και 3% με τον Ρ/Φ
- ✓ Τυπική Μέγιστη πτώση τάσης το 1% για σύνδεση του Ρ/Φ με τον συσσωρευτή και 1% για σύνδεση του Μ/Τ με τα φορτία
- ✓ Λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, αυξάνεται η αντίσταση των καλωδίων

2.2. Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα των Φ/Β

Η Φ/Β τεχνολογία αποτελεί μία από τις πιο καθαρές και ασφαλείς τεχνολογίες παραγωγής Εηλ., υπάγοντας στην εξίσωση και την διαδικασία κατασκευής. Οι πρώτες ύλες κατασκευής φ/β στοιχείων και πλαισίων είναι κυρίως αδρανή υλικά, όπως πυρίτιο, γυαλί, αλουμίνιο κλπ. Για κάθε kWh Εηλ. που παράγεται από Φ/Β αποφεύγεται η έκλυση περίπου ενός κιλού ρύπων στην ατμόσφαιρα, κυρίως διοξειδίου του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του θείου, οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων που θα εκπέμπονταν αν χρησιμοποιούνταν συμβατικά καύσιμα. Τα οφέλη από την μεγάλης κλίμακας εφαρμογή των Φ/Β Συστημάτων σε κτίρια είναι πολλαπλά. Η παραγωγή Εηλ. από Φ/Β είναι η μόνη τεχνολογία που μπορεί να εφαρμοσθεί σε αστικό περιβάλλον με μηδενική ρύπανση. Με την μεγάλης κλίμακας εφαρμογή των Φ/Β Συστημάτων σε κτίρια θα αυξηθεί σημαντικά το ποσοστό Εηλ. από Φ/Β, συμβάλλοντας στην επίτευξη των στόχων του Κιότο για μείωση των εκπομπών που προκαλούν το ΦτΘ. Μια σημαντική παράμετρος είναι η δέσμευση γης για τους μεγάλους (κυρίως) κεντρικούς σταθμούς, όταν οι υποδομές λαμβάνουν χώρα πάνω στο έδαφος. Απαιτείται κοντά στα 16 στρέμματα γης ανά εγκατεστημένο MW Φ/Β. Η χρήση γης μπορεί να μειωθεί, όταν τα Φ/Β τοποθετούνται σε ύψος με χρήση κατακόρυφου άξονα στήριξης. Η χρήση γης αποφεύγεται πλήρως, στις περιπτώσεις που τα Φ/Β Συστήματα εγκαθίστανται σε επιφάνειες κτιρίων. Εκτιμάται ότι το διαθέσιμο δυναμικό από την εκμετάλλευση κατάλληλων επιφανειών σε οροφές κτιρίων στην Ευρώπη ανέρχεται σε 600 GWp. **Στην Ελλάδα, η συνολική ηλιακά εκμεταλλεύσιμη επιφάνεια σε οροφές κτιρίων εκτιμάται στα 80 έως 85 km² (19.768 με 21.004 στρέμματα, αντίστοιχα).**

Οι εν δυνάμει οχλήσεις που προκύπτουν από την χρήση των Φ/Β Συστημάτων, εστιάζονται στα εξής θέματα:



- ✚ **Περίπτωση ατυχήματος (θραύση πλαισίων ή πυρκαγιά)**
Κατά τεχνικές οδηγίες και προδιαγραφές των παραγωγών, τα Φ/Β πλαίσια είναι σχεδιασμένα να αντέχουν δυνατές κρούσεις, θερμικές καταπονήσεις, θαλάσσιο αμμόδη άνεμο, χαλαζόπτωση και επικάλυψη πάγου. Ακόμη και σε περίπτωση θραύσης όμως, δεν έχουμε αποκόλληση τεμαχίων γυαλιού, αλλά απλώς μειωμένη λειτουργικότητα ή/και αστοχία του πλαισίου. Σε περίπτωση πυρκαγιάς, οι εκλύσεις προσομοιάζονται με αυτές ενός γυαλιού που τήκεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Στο παρελθόν, είχαν εκφραστεί κάποιες επιφυλάξεις για ορισμένες τεχνολογίες Φ/Β (όπως των πλαισίων τεχνολογίας CdTe ή GaAs), οι οποίες λόγω του ενθυλακωμένου καδμίου στην 1^η περίπτωση ή αρσενικού στην 2^η περίπτωση, θεωρήθηκε ότι μπορεί να οδηγήσουν στην έκλυση τοξικών ουσιών σε περίπτωση καύσης του πλαισίου. Οι ανησυχίες αυτές όμως αποδείχτηκαν υπερβολικές, ενώ από πολλούς, οι τεχνολογίες αυτές θεωρούνται εξίσου καθαρές-ασφαλείς στο σύνολό τους σε σχέση με την τεχνολογία των Φ/Β πλαισίων πυριτίου.
- ✚ **Αισθητικά αποδεκτή ενσωμάτωση των Φ/Β – Οπτική Άνεση**
Τα Φ/Β μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά, παρέχοντας την δυνατότητα για καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών, σχημάτων και μπορούν να παρέχουν ευελιξία και πλαστικότητα στην φόρμα, ενώ δίνουν και δυνατότητα διαφορικής διαπερατότητας του φωτός, ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού. Το ορατό μέρος των Φ/Β Συστημάτων αφορά τα Φ/Β πλαίσια και μόνο, αφού τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος (Μετατροπέας Τάσεως, Συσσωρευτές, Ρυθμιστής Φόρτισης κλπ.) βρίσκονται συνήθως σε κάποιο φυλασσόμενο χώρο. Όταν υπάρχει πρόβλημα αισθητικής ενσωμάτωσης, αυτό δεν αφορά στα Φ/Β πλαίσια, αλλά, συνήθως, στις Βάσεις Στήριξης. Τα Φ/Β μπορούν να τοποθετηθούν σε επίπεδες (δώματα) ή κεκλιμένες στέγες, σε κεραμοσκεπές (υποκαθιστώντας πιθανώς τα κεραμίδια), σε προσόψεις κτιρίων, σε ελεύθερα οικοπέδα, σε μη κτιριακές κατασκευές (με διενέργεια στατικών ελέγχων) , σε ρόλο ηχοφράγματος κλπ.
- ✚ **Προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν οι συσσωρευτές** (αφορά κυρίως αυτόνομα συστήματα ή/και συστήματα Αδιάλειπτης Παροχής Ισχύος - UPS)
Στην περίπτωση αυτόνομων συστημάτων ή και συστημάτων UPS, απαιτείται η χρήση συσσωρευτών ανοιχτού ή κλειστού τύπου βαθιάς εκφόρτισης (προτιμώνται τα δίβολτα στοιχεία εξαιτίας των πλεονεκτημάτων τους), ειδικά σχεδιασμένων για Φ/Β Συστήματα (χαμηλού αντιμονίου (Sb) < 3%). Οι προδιαγραφές των συσσωρευτών θα πρέπει να ακολουθούν τις γενικές κατευθύνσεις που περιγράφονται στο πρότυπο EN IEC61427 (ή ισοδύναμα). Το εν δυνάμει πρόβλημα με τους συσσωρευτές απορρέει από την μη χρηστή (ορθή) τελική διάθεσή τους. Κάτι τέτοιο, όμως, προλαμβάνεται πλέον από την σχετική νομοθεσία που προβλέπει την ανακύκλωση τους και την εισφορά ανακύκλωσης που καταβάλλει ο αγοραστής (επωφελούμενος του συστήματος) για να καλύψει την διαχείρισή των συσσωρευτών κατά το τέλος της ωφέλιμης ζωής τους ή/και σε περίπτωση βλάβης. Βέβαια, η πλειοψηφία των εφαρμογών της διεθνούς αγοράς αφορά σε συστήματα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο, τα οποία δεν απαιτούν την χρήση των συσσωρευτών.

Όσο κι αν αναζητήσει κάποιος στην παγκόσμια βιβλιογραφία, δεν θα βρει πουθενά ένα σοβαρό επιστημονικό κείμενο που να αναλύει ότι τα Φ/Β παράγουν πιο λίγη από την ενέργεια που απαιτείται κατά την παραγωγή τους. Ακόμη και πριν από δεκαετίες, όταν η τεχνολογία των Φ/Β ήταν πιο υποανάπτυκτη, δεν ίσχυε μια τέτοια υποστήριξη. Όντως, κάποτε η **ενεργειακή απόσβεση** των Φ/Β απαιτούσε αρκετά χρόνια, στις μέρες μας όμως



κάτι τέτοιο δεν ισχύει, τα παρακάτω διαγράμματα δίνουν τους χρόνους ενεργειακής απόσβεσης διαφόρων τεχνολογιών Φ/Β με βάση τις τωρινές παραγωγικές διαδικασίες και τις ελληνικές συνθήκες ηλιοφάνειας (έτος προσπέλασης, 2013). Να επισημάνουμε ότι, αρχικά, οι χρόνοι αυτοί τείνουν διαρκώς μειούμενοι και, δεύτερον, ο χρόνος ωφέλιμης ζωής ενός Φ/Β Συστήματος υπερβαίνει τα 30 χρόνια υπό κατάλληλες προϋποθέσεις.



Σχήμα 2.7 Ενεργειακή απόσβεση Φ/Β τεχνολογιών

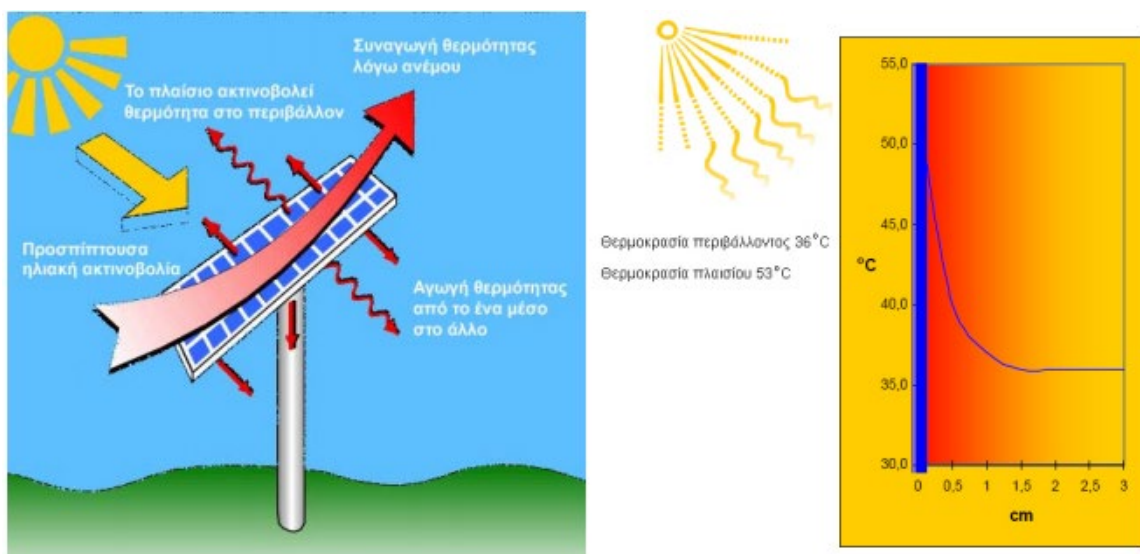
Είναι λογικό ότι οι χρόνοι ενεργειακής απόσβεσης δεν είναι σταθεροί από τόπο σε τόπο, με κύρια παράμετρο την επικρατούσα ηλιοφάνεια. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι διαφορές αυτές για την περίπτωση των κρυσταλλικών Φ/Β σε περιοχές της Ελλάδας με υψηλή σχετικά (1.450 kWh/kWp·έτος), μέση (1.275 kWh/kWp·έτος) και χαμηλή ηλιοφάνεια (1.200 kWh/kWp·έτος). Σύμφωνα με πρόσφατη έρευνα της International Energy Agency (IEA), η ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή ενός Φ/Β συστήματος (πλαίσια συν παρελκόμενος απαιτούμενος εξοπλισμός) είναι κατά μέσο όρο 2.525 kWh/kWp για πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά και 3.308 kWh/kWp για μονοκρυσταλλικά.



Σχήμα 2.8 Ενεργειακή απόσβεση Φ/Β Συστημάτων (πηγή ΣΕΦ)

Τα Φ/Β διαγράφουν πολύ χαμηλή έως μηδαμινή επίδραση στην θερμοκρασιακή αύξηση της περιοχής πέριξ ενός Φ/Β σταθμού. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι τα Φ/Β απορροφούν ηλιακή ενέργεια, την οποία μετατρέπουν σε Εηλ. Προκειμένου να δεσμεύσουν την μέγιστη δυνατή εισερχόμενη ακτινοβολία, τα Φ/Β

πλαίσια έχουν σκουρόχρωμη επιφάνεια η οποία μάλιστα καλύπτεται από μία αντιανακλαστική επιφάνεια για να παγιδεύεται η ηλιακή ενέργεια. Ως επακόλουθο αποτέλεσμα βέβαια αυξάνεται η θερμοκρασία του Φ/Β πλαισίου σε σύγκριση με τον περιβάλλοντα χώρο (αέρα). Κατά τις μεσημεριανές ώρες του θέρους που έχουμε έντονη ηλιοφάνεια, η θερμοκρασία του πλαισίου μπορεί να είναι περί τους 50-60 °C ή κοντά συν 30 °C από την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η θερμότητα αυτή προφανώς διαχέεται στο περιβάλλον με τρεις διαφορετικούς τρόπους: με ακτινοβολία, με συναγωγή λόγω ανέμων και με αγωγή από μέσο σε μέσο (π.χ. μέσω των βάσεων στήριξης). Ως αποτέλεσμα, η μέση θερμοκρασία του πλαισίου δια μέσο ενός 24ώρου παραμένει οριακά επαυξημένη σε σχέση με αυτή του περιβάλλοντα αέρα, ακόμη και τις ζεστότερες μέρες του χρόνου.



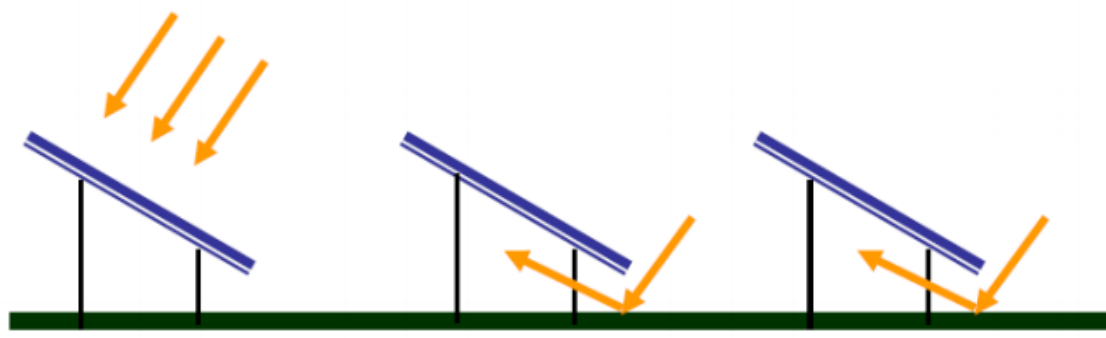
Σχήμα 2.9 Συναγωγή θερμότητας και διαφοροποίηση θερμοκρασίας

Η αμέσως επόμενη απορία που γεννιέται είναι εάν αυτή η θερμότητα που διαφεύγει από τα πλαίσια έχει την ικανότητα να αυξήσει σημαντικά τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα. Το φαινόμενο αυτό δεν συμβαίνει, για τον απλό λόγο ότι η μάζα του αέρα είναι πρακτικά άπειρη σε σχέση με τη μάζα των Φ/Β και είναι αδύνατο να αυξηθεί η θερμοκρασία του αέρα σε κάποια απόσταση από τα πλαίσια. Για την ακρίβεια, μόλις 1-2 εκατοστά (βλ. Σχήμα 2.9) από την επιφάνεια των πλαισίων, η θερμοκρασία είναι αυτή του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με μελέτη που εκπονήθηκε για λογαριασμό της "ΔΕΗ Ανανεώσιμες" και παρουσιάστηκε σε δημόσια εκδήλωση στη Μεγαλόπολη στις 13/4/2008, οι διαφορές της θερμοκρασίας του αέρα στο κέντρο του σχεδιαζόμενου εκεί φωτοβολταϊκού σταθμού (ισχύος 50 MWp) για όλη την διάρκεια του 24ώρου αναμένεται να είναι μηδαμινές και να μη ξεπερνούν τους 0,25 °C. Σε ότι αφορά τη θερμοκρασία του εδάφους στο κέντρο του σχεδιαζόμενου Φ/Β πάρκου, η ίδια μελέτη έδειξε ότι αυτή δεν θα μεταβληθεί καθόλου.

Ένα κιλοβάτ (kWp) φωτοβολταϊκών σκιάζει περίπου 6 m² εδάφους (προβολή Φ/Β στο οριζόντιο επίπεδο). Εάν υποθέσουμε ότι η επιφάνεια αυτή δεν δεσμεύει πλέον καθόλου CO₂ (πράγμα παράλογο, αλλά θα υποθέσουμε ότι ισχύει αυτή την ακραία υπόθεση). Λαμβάνοντας υπόψη την βιβλιογραφία, τα εδάφη με χαμηλή βλάστηση (τυπική περίπτωση Φ/Β πάρκων) δεσμεύουν κοντά στα 0,045-1,23 Kg CO₂/m² ετησίως. Δεδομένου ότι ένα Φ/Β Σύστημα στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο 1.300 kWh/kWp·έτος, τα παραπάνω



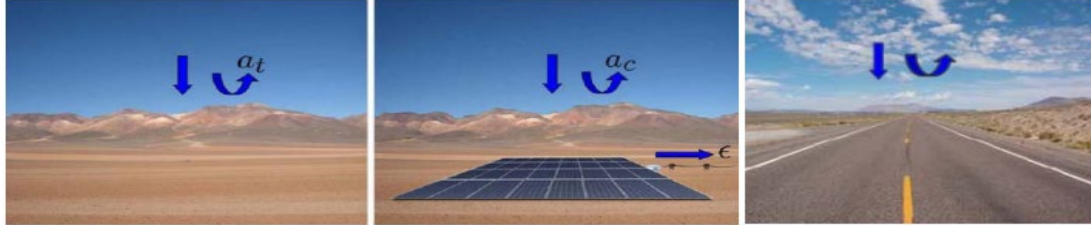
νούμερα αντιστοιχούν σε 0,2-5,7 g CO₂/kWh. Με άλλα λόγια, ακόμη κι αν κάνουμε την παράλογη υπόθεση ότι το έδαφος κάτω από τα Φ/Β παύει να δεσμεύει CO₂, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των Φ/Β επιβαρύνεται με μόλις 0,2-5,7 g CO₂/kWh, ποσότητα ανυπολόγιστη σε σύγκριση με τα ρυπογόνα ορυκτά καύσιμα. Φυσικά, η πρωτεύουσα υπόθεση που κάναμε δεν αντικρούει την πραγματικότητα και τα πράγματα είναι σημαντικά καλύτερα, αφού σε καμία περίπτωση δεν εμποδίζεται η ηλιακή ακτινοβολία από το να φτάσει στο έδαφος (ακόμη και κάτω από τα Φ/Β τα οποία έχουν απόσταση από το έδαφος το ελάχιστο 60-80 cm).



Σχήμα 2.10 Η απόσταση της κάτω άκρης Φ/Β πλαισίου από το έδαφος μας αποδεικνύει ότι δεν σκιάζεται πλήρως η βλάστηση που βρίσκεται κατάντη του

Για λόγους σύγκρισης και κατανόησης, να σημειωθεί επίσης πως, σήμερα, 230.000 στρέμματα στην Περιφέρεια Δ. Μακεδονίας όπου καταλαμβάνονται από λιγνιτικούς σταθμούς και λιγνιτωρυχεία, τα οποία έχουν πάρει την θέση και έχουν υποκαταστήσει αγροτικές, δασικές και χορτολιβαδικές εκτάσεις, μειώνοντας έτσι τη δυνατότητα απορρόφησης CO₂ από τις πράσινες αυτές εκτάσεις.

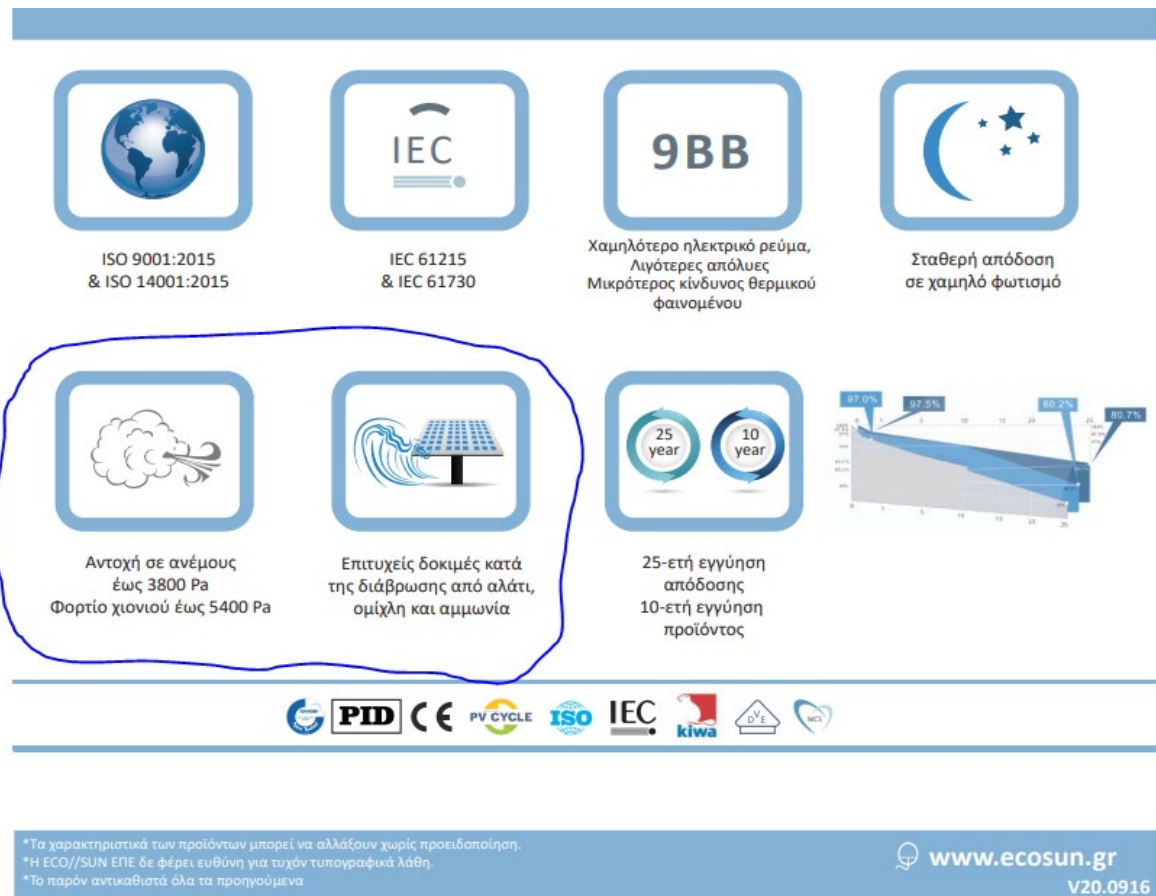
Η εγκατάσταση Φ/Β έχει ως επακόλουθο **αλλαγές στο ποσοστό ανάκλασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας**, με άλλα λόγια μεταβάλλεται η λευκαύγεια (albedo) του “γηπέδου εγκατάστασης”. Με την μείωση της λευκαύγειας (όσο πιο σκούρα είναι δηλαδή μια επιφάνεια και μειώνεται ο συντελεστής ανακλαστικότητας), τόσο μεγαλύτερο μέρος της Η/Μ ακτινοβολίας παραμένει στην επιφάνεια και συνεπώς ενδυναμώνεται ο μηχανισμός που προκαλεί την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης (temperature forcing). Στην περίπτωση των Φ/Β, ο μηχανισμός αυτός έχει κυρίως έμμεση επίδραση, αφού ένα μέρος της απορροφούμενης ακτινοβολίας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και στη συνέχεια μεταφέρεται στους καταναλωτές όπου μετασχηματίζεται και πάλι εμμέσως σε θερμότητα, όπου και αποτελεί την τελική μορφή μετασχηματισμού της ενέργειας.



Όλα όμως έχουν σχέση με το μέγεθος και την κλίμακα. Κατ' αρχήν να επισημάνουμε ότι η διαφορά στη λευκαύγεια μεταξύ του εδάφους και των Φ/Β δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη (η μέση λευκαύγεια του εδάφους είναι 0,20, ενώ η λευκαύγεια των φωτοβολταϊκών είναι 0,037-0,14), οι διαφορές είναι συνεπώς σχετικά ασήμαντες. Δεύτερον, αναφερόμαστε για αλλαγές σε σχετικά μικρές επιφάνειες, γεγονός που δεν μπορεί να επιδράσει στο κλίμα σε παγκόσμια εμβέλεια. Δεδομένου ότι η λευκαύγεια των Φ/Β είναι παραπλήσια της λευκαύγειας της ασφάλτου (0,05-0,10), το αποτέλεσμα στην αύξηση της θερμοκρασίας από την εγκατάσταση ενός μεγαβάτ (MWp) Φ/Β (σε ότι αφορά τις αλλαγές που σχετίζονται με τη λευκαύγεια και το temperature forcing) ισοδυναμεί περίπου με έναν αυτοκινητόδρομο μήκους 300 μέτρων. Ενώ όμως στον αυτοκινητόδρομο κινούνται οχήματα που εκλύουν ΑτΘ και θερμότητα, κάθε MWp Φ/Β αποτρέπει τον χρόνο την έκλυση περίπου 1.300 τόνων CO₂ (το ισοδύναμο 650 μέσων αυτοκινήτων), συμβάλλοντας σημαντικά στην αποτροπή των κλιματικών αλλαγών.

Το πυρίτιο, όχι μόνο δεν είναι τοξικό στο νερό, αλλά χρησιμοποιείται και για τον καθαρισμό του. Πέρα από τα αμμοδιυλιστήρια που είναι διεθνώς γνωστά, οι πιο σύγχρονοι τρόποι απολύμανσης του νερού κάνουν χρήση μικροσωματιδίων SiO₂ πάνω στα οποία επικάθονται μικροοργανισμοί και τοξικές ουσίες που απομακρύνονται στην συνέχεια από το νερό. Κατ' αυτό τον τρόπο μειώνεται η χρήση χημικών απολυμαντικών (όπως το χλώριο). Το πυρίτιο αποτελεί επίσης βασικό συστατικό της ανθρώπινης διατροφής και βρίσκεται σε αφθονία στην γνωστή σε όλους μας μπύρα. Μεταξύ άλλων, ενισχύει τα οστά και δρα αποτρεπτικά στην εμφάνιση της νόσου Alzheimer, μειώνοντας τη δράση του αργιλίου που θεωρείται ότι συνεισφέρει στην πιθανότητα εμφάνισης της νόσου αυτής. Τα εν δυνάμει τοξικά και βλαβερά ιχνοστοιχεία που περιέχονται στα Φ/Β (π.χ. μόλυβδος) βρίσκονται σε μικρές ποσότητες (0,5-5 γραμμάρια ανά τετραγωνικό μέτρο πλαισίου), ενθυλακωμένα σε πολλαπλές στρώσεις προστατευτικών υλικών και δεν απελευθερώνονται υπό κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος σε όλη την διάρκεια ζωής και λειτουργίας ενός Φ/Β Συστήματος. Όταν παύσει η λειτουργία του Φ/Β πάρκου, ο εξοπλισμός αυτός επιβάλλεται να πάει για ανακύκλωση.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια υφίστανται δοκιμές σε εξειδικευμένα εργαστήρια και πιστοποιούνται για αντοχή σε ακραίες συνθήκες, υψηλές ή πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, υψηλή υγρασία, χαλαζόπτωση, πιέσεις, ελκυσμούς και ταλαντώσεις. Δεν υπάρχει συνεπώς θέμα διαρροής οποιασδήποτε ουσίας λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων



Σχήμα 2.11 Μερικές από τις κυριότερες εργαστηριακές δοκιμές που υφίστανται τα Φ/Β πλαίσια πριν την εισαγωγή τους στην αγορά (πηγή Τεχνικό Φυλλάδιο εταιρείας ECO//SUN)

Μέχρι στιγμής πολύ σπάνια να έχουν καταγραφεί πυρκαγιές σε Φ/Β πάρκα και οι αρμόδιες πυροσβεστικές υπηρεσίες σε τόπους με μεγάλη πυκνότητα Φ/Β πάρκων θεωρούν το ενδεχόμενο αυτό εξαιρετικά απίθανο. Η πτώση κεραυνού μπορεί μεν να καταστρέψει κάποια πλαίσια και να τα καταστήσει μη λειτουργικά, δεν οδηγεί όμως σε στην εκδήλωση φαινομένου πυρκαγιάς. Αν για οποιοδήποτε λόγο όμως παρατηρηθεί θραύση του προστατευτικού γυαλιού (π.χ. από πυροβολισμό ή πτώση κεραυνού), εξαιτίας των πολλαπλών προστατευτικών στρώσεων, δεν προκαλείται αποκόλληση κομματιών γυαλιού ή ηλιακών κυττάρων.

Καθώς αναπτύσσεται η κυκλοφορία των Φ/Β, ολοένα και παραπάνω καινούργια προϊόντα μπαίνουν στην αγορά. Ορισμένα από τα προϊόντα αυτά στηρίζονται σε νέες τεχνολογίες, διαφορετικές από την κλασική τεχνολογία των Φ/Β κρυσταλλικού πυριτίου. Μία από τις τεχνολογίες αυτές είναι η τεχνολογία Φ/Β λεπτού υμενίου (Thin film) Τελλουριούχου καδμίου(CdTe).

Μόνο και μόνο από το όνομα παραπεμπόμαστε στο **κάδμιο**, ουσία που αναγνωρίζεται ως άκρως επικίνδυνη και βλαβερή. Το θεμιτό ερώτημα που προκύπτει είναι εάν η τεχνολογία αυτή ορθά έχει εισέλθει στη αγορά, ενώ αφορά εμμέσως και άλλες τεχνολογίες thin film, όπως τα CIS και τα CIGS, τα οποία επίσης περιέχουν μία λεπτή στρώση με ενώσεις καδμίου. Προφανώς, τα ερωτήματα αυτά ετέθησαν και υπόψη των αρμοδίων αρχών όταν πριν από μερικά χρόνια έπρεπε να αποφασιστεί αν θα επιτραπεί ή όχι την κυκλοφορία αυτών των προϊόντων. Με την έκκληση λοιπόν πολλών αξιόπιστων αρμόδιων φορέων για



την γνωμοδότηση περί της επικινδυνότητας ή μη των Φ/Β CdTe. Μεταξύ αυτών συγκαταλέγονται το Brookhaven National Laboratory (BNL) και το National Renewable Energy Laboratory των ΗΠΑ, το Κέντρο Ερευνών της ΕΕ στην Ispra της Ιταλίας, τα γερμανικά Ινστιτούτα Fraunhofer και GSF Χημικής Οικολογίας, το Γερμανικό Υπουργείο Περιβάλλοντος, αλλά και πολλά πανεπιστήμια, εξάγοντας μια συμπαγή και αποδεκτή γνώμη. Η ομόφωνη γνώμη των παραπάνω φορέων είναι πως, όχι μόνο δεν τίθεται θέμα επικινδυνότητας από τη χρήση Φ/Β τεχνολογίας CdTe, αλλά η ΑΚΖ των προϊόντων αυτών έδειξε πως υπερτερούν περιβαλλοντικά ως προς άλλες ενεργειακές τεχνολογίες. Συγκεκριμένα, η επισκόπηση των διαθέσιμων ερευνών έδειξε ότι:

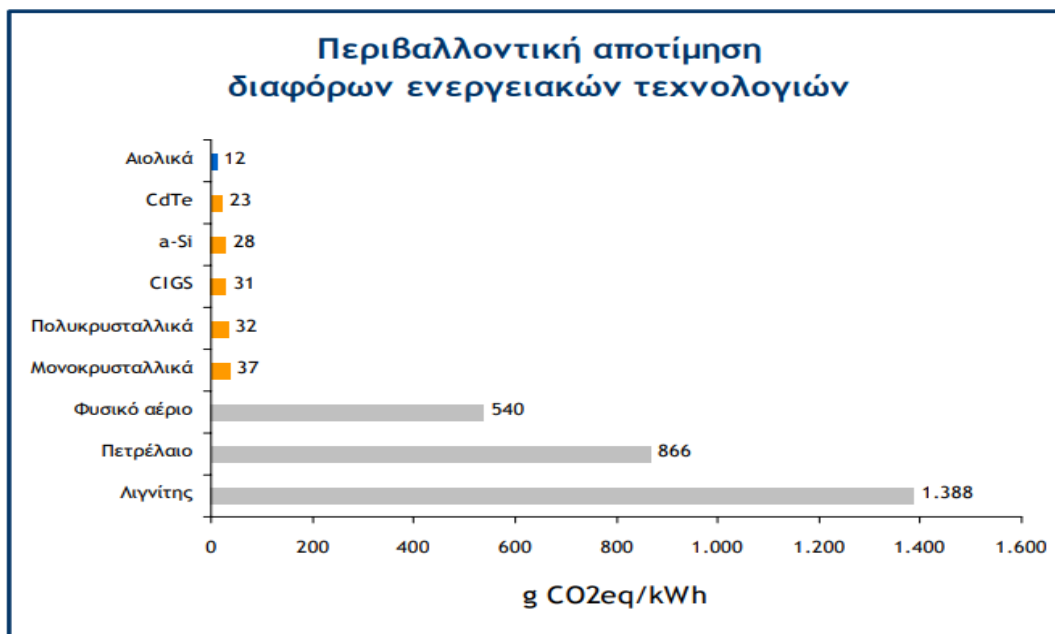
- Η χρήση και λειτουργία των φωτοβολταϊκών τεχνολογίας CdTe είναι απολύτως ασφαλής και, υπό κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος, δεν υπάρχει πιθανότητα διαφυγής ενώσεων καδμίου.

- Ακόμη και στην περίπτωση θραύσης των Φ/Β, δεν παρατηρείται έκπλυση και διαφυγή του περιεχόμενου CdTe.

- Στην περίπτωση εμπλοκής ενός Φ/Β συστήματος σε πυρκαγιά (κάτι που πάντως θεωρείται πρακτικά αδύνατο για Φ/Β πάρκα), η εκλυόμενη ποσότητα καδμίου είναι εξαιρετικά μικρή και, σε κάθε περίπτωση, εκατομμύρια φορές μικρότερη από την ποσότητα καδμίου που εκλύεται κάθε χρόνο αναπόφευκτα από την καύση ορυκτών καυσίμων. Κάθε δευτερόλεπτο που περνά, από την καύση ορυκτών καυσίμων για ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα εκλύονται στην ατμόσφαιρα σχεδόν πενταπλάσιες ποσότητες καδμίου απ' αυτές που θα εκλυθούν αν τυχόν καεί ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο CdTe.

- Ήδη από σήμερα υπάρχει διεθνώς η υποδομή ώστε, όσα φωτοβολταϊκά πλαίσια CdTe ολοκληρώσουν τον ωφέλιμο χρόνο ζωής τους, να συλλέγονται και να ανακυκλώνονται, ούτως ώστε να διασφαλιστεί ότι δεν θα υπάρξει καμία διαρροή καδμίου στο περιβάλλον.

- Η ανάλυση του κύκλου ζωής των φωτοβολταϊκών CdTe έδειξε ότι η τεχνολογία αυτή είναι φιλικότερη προς το περιβάλλον από άλλες ενεργειακές τεχνολογίες. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει τις ισοδύναμες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_{2eq}) από την παραγωγή μίας κιλοβατώρας, όπως προκύπτει από την ανάλυση κύκλου ζωής για διάφορες ενεργειακές τεχνολογίες. Να σημειώσουμε πως καθώς βελτιώνεται η παραγωγική διαδικασία και η απόδοση των φωτοβολταϊκών, μειώνεται και το περιβαλλοντικό αποτύπωμά τους και αυτό ισχύει για όλες τις τεχνολογίες φωτοβολταϊκών.



Σχήμα 2.12 Έκλυση CO₂eq ανά παραγόμενη kWh διαφόρων ενεργειακών τεχνολογιών, όπως προκύπτει από την ΑΚΖ διαφόρων ενεργειακών τεχνολογιών

- ✓ Κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από Φ/Β, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης ενός περίπου κιλού διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα (με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες του δικτύου)
- ✓ Ένα κιλοβάτ φωτοβολταϊκών αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,3 τόνων διοξειδίου του άνθρακα. Χρειάζονται 2 στρέμματα δάσους ή περίπου 100 δέντρα για να απορροφήσουν αυτή την ποσότητα CO₂
- ✓ Για να παραχθεί η ίδια ηλεκτρική ενέργεια με πετρέλαιο, απαιτούνται 2,2 βαρέλια πετρελαίου κάθε χρόνο. Από περιβαλλοντική άποψη, αποφεύγοντας 1.300 κιλά CO₂ ετησίως είναι σαν να κάνει ένα μέσο αυτοκίνητο 7.000 χιλιόμετρα λιγότερα κάθε χρόνο
- ✓ Επιπλέον, η υποκατάσταση ρυπογόνων καυσίμων από Φ/Β συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου κα.). Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν το κλίμα της Γης, ενώ η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον (πηγή ΣΕΦ-Περιβάλλον, 2011)
- ✓ Αν και η διαδικασία ανακύκλωσης μπορεί να προσφέρει οικονομικά οφέλη από την πώληση πρώτων υλών, ο κύριος λόγος για τον οποίο τα Φ/Β πλαίσια πρέπει να ανακυκλωθούν είναι ότι δεν απελευθερώνονται στο περιβάλλον δυνητικά επιβλαβή υλικά και βλαβερές / τοξικές ενώσεις
- ✓ Μέχρι σήμερα, έχουν αναπτυχθεί ώριμες διαδικασίες ανακύκλωσης για ΦΒ πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si) και Τελλουριούχου καδμίου (CdTe)



Παράδειγμα έτους 2019: Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα για το 2019

Κατά το κλείσιμο του έτους 2019 στην Ελλάδα ήταν εγκατεστημένα 2.828 μεγαβάτ (MWp) Φ/Β, εκ των οποίων τα 2.255 MWp επί εδάφους και τα υπόλοιπα (573 MWp) βρισκόταν σε στέγες κτιρίων.

Δέσμευση γης

Η προβολή στο οριζόντιο επίπεδο των Φ/Β πλαισίων των 2.255 MWp καλύπτει κοντά 12.600 στρέμματα, είναι δηλαδή λίγο μικρότερη από την έκταση του Δήμου Αμαρουσίου στην Αττική ή του Δήμου Νεάπολης-Συκεών στη Θεσσαλονίκη.

Η συνολική έκταση που δεσμεύουν αυτά τα 2.255 MWp (συμπεριλαμβάνοντας τα διάκενα μεταξύ των Φ/Β συστοιχιών και την περιμετρική απόσταση ασφαλείας από τα όρια των γηπέδων) είναι κοντά 40.000 στρέμματα, όση δηλαδή είναι η έκταση του Δήμου Αθηναίων.

Για λόγους σύγκρισης, η έκταση που καταλαμβάνουν οι λιγνιτικοί σταθμοί και τα λιγνιτωρυχεία είναι, σύμφωνα με τη ΔΕΗ, 253.000 στρέμματα, είναι δηλαδή 6,3 φορές μεγαλύτερη από την έκταση που δεσμεύουν τα φωτοβολταϊκά.

Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ, η γεωργική γη στην Ελλάδα ανέρχεται κοντά σε 32,54 εκατ. στρέμματα (στατιστικά για το 2016 δημοσιευμένα το Σεπτέμβριο του 2018), εκ των οποίων καλλιεργούνται τα 29 εκατ. στρέμματα. Από τα 3,5 εκατ. στρέμματα που δεν καλλιεργούνται, μόνο το 52% θεωρείται ότι διατηρούνται σε καλή γεωργική και περιβαλλοντική κατάσταση. Τα φωτοβολταϊκά δεσμεύουν το 0,12% της γεωργικής γης ή αλλιώς το 0,03% της έκτασης της χώρας. Η γεωργική έκταση που μένει ακαλλιέργητη είναι 88 φορές μεγαλύτερη από την έκταση που δεσμεύουν όλα μαζί τα φωτοβολταϊκά.

Κατανάλωση νερού

Για το καθάρισμα των Φ/Β πλαισίων απαιτούνται κατά μέσο όρο 0,114 m³ νερού ανά παραγόμενη MWh (εύρος τιμών 0,1-0,13 m³/MWh). Ποσότητα η οποία είναι 30,5 φορές μικρότερη ανά παραγόμενη MWh σε σχέση με έναν λιγνιτικό σταθμό (σύμφωνα με τη ΔΕΗ, οι λιγνιτικοί σταθμοί καταναλώνουν κατά μέσο όρο 3,478 m³ νερού ανά παραγόμενη MWh).

Το 2019 παρήχθησαν περίπου 3,962 TWh από τα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά, δηλαδή απαιτήθηκαν περίπου 451.000 m³ νερού για τον καθαρισμό των φωτοβολταϊκών, όσο δηλαδή καταναλώνουν ετησίως 4.600 νοικοκυριά.



Διαχείριση από την πλευρά της ζήτησης

Στην δεκαετία του 1980, οι ΡΑΕ άρχισαν να αναγνωρίζουν ότι η εξοικονόμηση ενέργειας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως “πηγή ενέργειας” η οποία θα συγκρινόταν απευθείας με τις παραδοσιακές πηγές προσφοράς ενέργειας. Εάν οι επιχειρήσεις ηλεκτρισμού μπορούσαν να βοηθήσουν τους καταναλωτές να είναι πιο αποδοτικοί στην χρήση της Εηλ., παρέχοντας τις ίδιες ενεργειακές υπηρεσίες με λιγότερες κιλοβατώρες, και εάν μπορούσαν να το κάνουν αυτό με κόστος χαμηλότερο από αυτό της προμήθειας ενέργειας, τότε θα ήταν προς το δημόσιο συμφέρον η εφαρμογή ενός τέτοιου σχεδιασμού. Εκείνο που προέκυψε λοιπόν είναι μια διαδικασία η οποία αποτελείται “ολοκληρωμένος σχεδιασμός πόρων” (integrated resource planning – IRP) ή, όπως αναφέρεται ενίοτε, σχεδιασμός ελάχιστου κόστους (least cost planning – LCP). Το καινούργιο και καθοριστικό στοιχείο του ολοκληρωμένου σχεδιασμού πόρων ήταν η ενσωμάτωση προγραμμάτων επιχειρήσεων ηλεκτρισμού, τα οποία έχουν σχεδιαστεί για να ελέγχουν την κατανάλωση ενέργειας από την πλευρά του καταναλωτή. Αυτά είναι γνωστά ως προγράμματα διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης (demand side management – DSM), αναφέρονται περισσότερο σε προγράμματα σχεδιασμένα για την εξοικονόμηση ενέργειας. Περιλαμβάνει:

- Πρόγραμμα εξοικονόμησης/ενεργειακής απόδοσης που έχουν στόχο να μειώνουν την κατανάλωση κατά την διάρκεια όλων ή των περισσότερων ωρών της ζήτησης
- Πρόγραμμα διαχείρισης φορτίου τα οποία μειώνουν την αιχμή ζήτησης, μετατοπίζουν την ζήτηση Εηλ. από τις ώρες αιχμής σε περιόδους μειωμένης ζήτησης
- Προγράμματα υποκατάστασης καυσίμων, τα οποία επηρεάζουν έναν χρήστη ως προς την επιλογή του μεταξύ ηλεκτρικού ρεύματος και φυσικού αερίου. Για παράδειγμα, η Εηλ. που απαιτείται για κλιματισμό μπορεί σχεδόν να εξαλειφθεί μέσω της αντικατάστασης του συστήματος ψύξης με συμπιεστή με ένα σύστημα βασισμένο στην ψύξη με απορρόφηση, είτε στην ηλιακή ψύξη

Αναπόκριση στην ζήτηση

Οι έξυπνοι μετρητές και τα οικιακά δίκτυα προσφέρουν επιλογές για διαχείριση των φορτίων από τους χρήστες, με την δυνατότητα έναρξης και τερματισμού λειτουργίας ατομικών φορτίων από μακριά, σε συνδυασμό με ενδείξεις τιμών καταναλώσεων σε σχεδόν πραγματικό χρόνο είτε και με άλλα κίνητρα από τις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού, είναι εύκολο να φανταστεί κανείς προγράμματα που θα επιδιώκουν την μετατόπιση της λειτουργίας φορτίων από τις ώρες αιχμής της ζήτησης. Για παράδειγμα, αποφάσεις για την χρονική στιγμή της ημέρας που θα γίνει χρήση οικιακών συσκευών (πλυντήριο πιάτων, ρούχων, θερμοσίφωνα, πιστολάκι, στεγνωτήριο κλπ.) μπορούν να επηρεαστούν από υποδείξεις που δυνητικά φανερώνουν τον αντίκτυπο στους λογαριασμούς ρεύματος.

Οι κυριότερες αιτίες της αιχμής ζήτησης είναι τα φορτία φωτισμού και ψύξης του καλοκαιρινού μεσημεριού στα κτίρια. Ο φωτισμός με LED είναι τώρα περισσότερο αποδοτικός από τους λαμπτήρες φθορισμού, διαρκούν περίπου δέκα φορές περισσότερο, δεν έχουν θέματα με τον υδράργυρο και είναι πολύ πιο εύκολες στην διαχείριση μέσω ροοστάτη. Αισθητήρες επιτρέπουν σε φωτιστικά να μειώνουν τον φωτισμό τους σε απόκριση εισερχόμενου φυσικού φωτισμού ημέρας ή συστημάτων ανταπόκρισης στην ζήτηση (DR). Η απορριπτόμενη θερμότητα από τα φωτιστικά σε εμπορικά κτίρια αυξάνει τα φορτία κλιματισμού και ψύξης, οπότε ο πιο αποδοτικός και ελεγχόμενος φωτισμός μπορεί



επίσης να μειώσει τις απαιτήσεις για κλιματισμό. Η ανταπόκριση στην ζήτηση αναφέρεται στην απόρριψη φορτίου κατά την διάρκεια περιόδων αιχμής ζήτησης, που σημαίνει ότι δεν χρησιμοποιείται τόσο συχνά, και όταν χρησιμοποιείται, μπορεί να θεωρηθεί ως κάποια ενόχληση. Μια νέα έννοια, αποκαλούμενη *κατανομή ζήτησης* (demand dispatch) είναι παρόμοια με την ανταπόκριση στην ζήτηση ως προς το ότι περιλαμβάνει το άνοιγμα και το κλείσιμο φορτίων, αλλά αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται συνεχόμενα καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και του έτους. Η κατανομή ζήτησης είναι ανάλογη με την συνεχή κατανομή του ενεργητικού της παραγωγής στην πλευρά του μετρητή, όπου βρίσκεται η επιχείρηση ηλεκτρισμού. Και οι δύο έννοιες προορίζονται για την εξισορρόπηση της αναλογίας παραγωγής/φορτίου. Η διακοπή λειτουργίας (κλείσιμο) ενός φορτίου προς στιγμήν έχει το ίδιο αντίκτυπο με την στιγμιαία αύξηση της προσφοράς. Τόσο η κατανομή της παραγωγής όσο και η κατανομή της ζήτησης μπορούν να παρέχουν την βοηθητική υπηρεσία που ονομάζεται *ρύθμιση ή ρύθμιση συχνότητας*. Όπως περιγράφεται από τους Brooks et. al (2010), η κατανομή ζήτησης εκμεταλλεύεται την ευελιξία στον προγραμματισμό μερικών ειδών φορτίων. Για παράδειγμα, ένα συνδεδεμένο ηλεκτρικό όχημα θα μπορούσε να έχει ένα ευέλικτο πρόγραμμα φόρτισης βασισμένο στον απλό στόχο διασφάλισης της πλήρους φόρτισης του οχήματος. Η φιλοσοφία είναι, ότι πολλές συσκευές ευρείας και καθημερινής χρήσης (πλυντήρια, θερμοσίφωνες, φορτιστές μπαταριών ηλεκτρονικών συσκευών, κύκλοι απόψυξης στα ψυγεία, ηλεκτροκίνητα οχήματα κα.) θα έχουν ενσωματωμένη δυνατότητα *αμφίδρομης επικοινωνίας*, ώστε να επιτρέπεται στους διαχειριστές του δικτύου να επιδρούν όταν οι συσκευές αυτές βρίσκονται σε λειτουργία. Για παράδειγμα, όταν ένα σύννεφο βρίσκεται πάνω από έναν μεγάλο Φ/Β σταθμό, συναθροισμένα καταναμεημένα Φορτία θα μπορούσαν γρήγορα και εύκολα να σβηστούν για λίγο, χωρίς κανένας να προσέξει αλλαγή στην επίδοση των συσκευών του. Ένας ακόμη περισσότερο ενδιαφέρον στόχος για την κατανομή της ζήτησης είναι η **ρύθμιση της συχνότητας**. Τα περισσότερα εργοστάσια παραγωγής (που ακολουθούν το φορτίο) μπορούν να αυξομειώνουν αργά την τάση, ώστε να ανιχνεύουν τις σχετικά μικρές προβλέψιμες ημερήσιες αλλαγές στο φορτίο. Πρόκειται για τον σταθερό εκλεπτυσμένο συντονισμό της εξισορρόπησης του φορτίου που παρέχουν οι υπηρεσίες ρύθμισης. Οι υπηρεσίες ρύθμισης που διανέμονται σε διαστήματα 4sec, δύναται να παρέχουν ρύθμιση ισχύος προς τα πάνω, πράγμα που σημαίνει ότι αυξάνουν την ισχύ όταν είναι απαραίτητο ή/και την ρύθμιση της ισχύος προς τα κάτω, που σημαίνει ότι μειώνουν την ισχύ για να ακολουθήσουν μειωμένα φορτία. Ο δείκτης κλειδί για την ανισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης είναι η απόκλιση από την επιθυμητή συχνότητα των 50Hz (Ελληνικό δίκτυο). **Όταν η ζήτηση υπερβαίνει την προσφορά, η συχνότητα μειώνεται, ενώ όταν η προσφορά υπερβαίνει την ζήτηση, η συχνότητα αυξάνεται.** Πολλά φορτία θα μπορούσαν να παρέχουν αυτόματα υπηρεσίες ρύθμισης προς τα κάτω, αν είχαν ενσωματωμένες ικανότητες για ανίχνευση της συχνότητας που θα προσάρμοζε την ζήτηση ισχύος κατά την διάρκεια πτώσεων συχνότητας, έτσι δεν θα χρειαζόταν καμία ειδοποίηση για την διανομή ενέργειας. Ωστόσο, καλύτερος έλεγχος θα πραγματοποιούνταν εάν τα φορτία μπορούσαν να συναθροιστούν και να ελεγχθούν από μια εξωτερική υπηρεσία - συνολικά. Μια ιδιαίτερως ενδιαφέρουσα προοπτική είναι η παρακάτω, αν φανταστεί κανείς συναθροισμένους στόλου *ηλεκτρικών οχημάτων* (Electric Vehicles, EV) που παρέχουν υπηρεσίες κατανομής της ζήτησης σε μια επιχείρηση ηλεκτρισμού ή στον διαχειριστή δικτύου. Το ίδιο το όχημα, όταν συνδέεται κάθε φορά στην πρίζα, θα παρέχει πληροφορίες στον όποιο πάροχο υπηρεσιών φόρτισης, για την τοποθεσία, την κατάσταση του συσσωρευτή, επιλογή επαναφόρτισης και άλλες χρήσιμες λειτουργίες. Ο οδηγός θα παρέχει πληροφορίες για τον αριθμό των μιλίων που επιθυμεί να διανύσει και τότε η φόρτιση πρέπει να ολοκληρωθεί. Ο πάροχος υπηρεσιών φόρτισης, με την χρήση αλγορίθμων, θα



βελτιστοποιεί την παροχή υπηρεσιών ανάμεσα στα πολλαπλά οχήματα που είναι την ίδια χρονική στιγμή διασυνδεδεμένα. Η τιμή που θα πληρώσει ο χρήστης για την φόρτιση, θα συνδέεται με το πόσο ευέλικτος είναι ο ιδιοκτήτης του οχήματος σε σχέση με την απαίτηση για φόρτιση. Ο πάροχος υπηρεσιών φόρτισης, με πολλά οχήματα υπό τον έλεγχό του, θα απαντά στις εντολές της κατανομής φορτίου (load dispatch) που προέρχονται από τον διαχειριστή δικτύου, καθορίζει έτσι ποια διασυνδεδεμένα οχήματα πρέπει να φορτιστούν για τα επόμενα λίγα δευτερόλεπτα, ώστε οι οδηγοί να συμμορφώνονται με την εντολή του διαχειριστή. Οι υπηρεσίες ρύθμισης απαιτούνται 24 ώρες την μέρα, και έτσι αυτή η υπηρεσία ρύθμισης είναι πολύτιμη κατά την διάρκεια της νύχτας όπως επίσης και κατά τις περιόδους αιχμής. Καθώς η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων γίνεται περισσότερο σημαντική από ποτέ (εν έτη 2020 ξεκινάει στην Ελλάδα να δίνονται σημαντικές κρατικές επιδοτήσεις προς τον τομέα της ηλεκτροκίνησης καθώς και της αποθήκευσης Εηλ.), η κατανομή της ζήτησης θα μπορούσε να ενθαρρύνει την μετατόπιση του προτιμώμενου σημείου λειτουργίας (Preferred Operating Point – POP), ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ανάγκη για ρύθμιση προς τα πάνω και να μεγιστοποιηθεί η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων στην κατανομή ζήτησης. Αυτό θα μπορούσε να εξαπλώσει την ηλεκτροκίνητη φόρτιση σε όλο το 24ωρο της ημέρας χωρίς να αυξάνεται η αιχμή ζήτησης για ηλεκτρισμό.

Υπηρεσίες Ευελιξίας

Ο Μεταβατικός Μηχανισμός Αποζημίωσης Ευελιξίας (ΜΜΑΕ) προσφέρει Υπηρεσίες Ευελιξίας που χρειάζονται για λόγους ασφάλειας του ηλεκτρικού συστήματος (εξισορρόπηση του συστήματος) λόγω της συμμετοχής των ΑΠΕ στο φορτίο του ηλεκτρικού συστήματος. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ είναι διαρκώς μεταβαλλόμενη και πολλές φορές απρόβλεπτη, συγκρινόμενη με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής. Συνεπώς, για την εξισορρόπηση – ασφάλεια του συστήματος απαιτείται η συμμετοχή ευέλικτων μονάδων παραγωγής οι οποίες μπορούν να εξισορροπήσουν άμεσα τις ανωτέρω μεταβολές.

Ως Υπηρεσία Ευελιξίας ορίζεται η ταχεία αύξηση ή μείωση της ισχύος έγχυσης ή απορρόφησης του επιλεγέντος Παρόχου ώστε να καλύπτει τη ζήτηση του ΕΣΜΗΕ, ακολουθώντας τις Εντολές Κατανομής του Διαχειριστή του ΕΣΜΗΕ. Οι Πάροχοι πρέπει να έχουν την ικανότητα ανταπόκρισης εντός τριών (3) ωρών από την έκδοση σχετικής Εντολής Κατανομής του Διαχειριστή, να ακολουθούν έναν γρήγορο κύκλο λειτουργίας, με ρυθμό μεταβολής της ισχύος του για αύξηση ή μείωση της έγχυσης/απορρόφησης μεγαλύτερο ή ίσο με οχτώ (8) MW το λεπτό και δυνατότητα απόκρισης για τουλάχιστον τρεις (3) συνεχόμενες ώρες.

Αποθήκευση Εηλ

Καθώς προχωράει η ανάπτυξη των ΑΠΕ, η διατήρηση της ισορροπίας στο δίκτυο γίνεται όλο και πιο δύσκολη. Με μέτρια ποσοστά διείσδυσης καλύτερη πρόβλεψη, η μεταβλητότητα στην προσφορά ενέργειας όταν ο άνεμος επιβραδύνει ή σύννεφα περνούν πάνω από Ηλιακούς Σταθμούς μπορεί να αντιμετωπιστεί με έναν συνδυασμό επιλογών γρήγορης αναδιάταξης της προσφοράς ενέργειας, όπως οι αεριοστρόβιλοι και οι ΥΗΣ. Η αναζήτηση για μεγάλης κλίμακας σταθερή αποθήκευση ηλεκτρισμού που να συμπληρώνει αυτές τις επιλογές βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη. Επιπρόσθετα, υπάρχει σημαντική δυνατότητα για



οχήματα τροφοδοτούμενα από συσσωρευτές (EV) που θα παρέχουν όχι μόνο υπηρεσίες ρύθμισης αλλά και αποθήκευση στο δίκτυο (grid-storage).

Σταθερή Αποθήκευση σε Συσσωρευτές

Ως τεχνική διαχείρισης του φορτίου, η αποθήκευση επιτρέπει στις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού να κόψουν τις αιχμές ζήτησης ενέργειας και να γεμίσουν τις "δεξαμενές" (απορρόφηση ενέργειας κατά την διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης, ώστε να παρέχεται σε περιόδους αιχμής). Μερικά από αυτά τα συστήματα αποθήκευσης δεν θα βοηθούσαν μόνο το δίκτυο να παρέχει ενέργεια κατά την διάρκεια των αιχμών ζήτησης, αλλά θα παρείχαν επίσης στο δίκτυο βοηθητικές υπηρεσίες, **όπως αποθέματα γρήγορης ανταπόκρισης, στρεφόμενη εφεδρεία (spinning reserve), σταθερότητα τάσης, ρύθμιση συχνότητας και υποστήριξη άεργου ισχύος**. Μέχρι πρόσφατα, ο μόνος τρόπος αποθήκευσης στο δίκτυο ήταν με συμβατικά Υδροηλεκτρικά (ΥΗ) φράγματα, μερικές φορές επαυξημένα με εγκαταστάσεις που επιτρέπουν το νερό να αντλείται προς τα πάνω σε μια άλλη δεξαμενή όταν η ζήτηση είναι χαμηλή, και μετά να επανατροφοδοτείται πίσω μέσω υδροστροβίλων όταν η ζήτηση είναι υψηλή. Αυτά τα συστήματα αντλησιοταμίευσης είναι δύσκολο να κατασκευαστούν και αποτελούν οικονομικά αποδοτική επένδυση τα μεγάλα συστήματα, ενώ είναι γεγονός ότι προσφέρουν αρκετά μεγάλη απόδοση (75-85%). Νέες επιλογές που αναπτύσσονται περιλαμβάνουν συστήματα συσσωρευτών, στρεφόμενους σφονδύλους (flywheels), υπερπυκνωτές, ενεργειακή αποθήκευση μέσω πεπιεσμένου αέρα (CAES), και αναστρεπτή διαδικασία ηλεκτρόλυσης – κυψέλης καυσίμου με αποθήκευση υδρογόνου. Ένα παράδειγμα ενός πολλά υποσχόμενου συσσωρευτή για σταθερές εφαρμογές αποτελεί το ενεργειακό σύστημα οξειδοαναγωγής βαναδίου, του αποκαλούμενου συσσωρευτή ροής, όπου ηλεκτρολύτες αποθηκευμένοι σε μεγάλα πλαστικά δοχεία κυκλοφορούν συνεχώς μέσω των κυψελών της μπαταρίας. Αυξάνοντας τον όγκο των δοχείων αυξάνεται η αποθηκευμένη ενέργεια, ενώ αυξάνοντας τον αριθμό των στοιβάδων κυψελών αυξάνεται η ισχύς που το σύστημα μπορεί να δώσει. Το θειούχο νάτριο (NaS) αποτελεί ένα άλλο παράδειγμα μιας πολλά υποσχόμενης νέας τεχνολογίας συσσωρευτή, προσαρμοσμένη σε μεγαλύτερης κλίμακας εφαρμογές δικτύου. Αυτοί οι συσσωρευτές έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, υψηλές αποδόσεις κύκλου ζωής (89-92%), μεγάλη διάρκεια ζωής, και η κατασκευή τους γίνεται από φθηνά υλικά. Από την άλλη μεριά, πρόκειται για συσσωρευτές από λιωμένο μέταλλο που συνήθως λειτουργούν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (300-350 °C). Το υγρό νάτριο είναι διαβρωτικό και πολύ εύφλεκτο όταν εκτίθεται στον αέρα και την υγρασία, ενώ υπήρξαν αρκετές μεγάλες πυρκαγιές σε νέες εγκαταστάσεις. Νέες τεχνολογίες που αναπτύσσονται φαίνεται πιθανό ότι θα επιτρέψουν την λειτουργία σε θερμοκρασίες κάτω των 100 °C.



Ρύποι κατά την παραγωγή των Φ/Β

Τοξικές για την φύση ουσίες, συγκρινόμενες με αυτές της βιομηχανίας ημιαγωγών δημιουργούνται κατά την διαδικασία παραγωγής ηλιακών κυττάρων με βάση το πυρίτιο, πάντοτε όμως εντός ορίων. Τα τελικά προϊόντα δεν περιέχουν καταστρεπτικά για το περιβάλλον συστατικά εκτός από τις συγκολλήσεις. Στις συγκολλημένες συνδέσεις, χρησιμοποιείται πολύ συχνά σαν υλικό ο μόλυβδος σε συγκέντρωση περίπου 40%. Σαν αποτέλεσμα, τα Φ/Β Συστήματα μπορούν να αποτελούνται από έως και 300 g για κάθε kWp. Η Mitsubishi Electric Corporation χρησιμοποιεί **συγκόλληση απουσία μολύβδου** σε μονάδες τους εδώ και πολλά χρόνια. Αυτές οι εναλλακτικές κασσίτερου / αργύρου ενώσεις δεν έχουν ακόμη χρησιμοποιηθεί από άλλους κατασκευαστές Φ/Β λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας συγκόλλησης και τις συναφείς τεχνολογικές απαιτήσεις. Τα Φ/Β Τελλουριούχου καδμίου (CdTe) και Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CIS) στις μέρες μας έχουν μερίδιο στην παγκόσμια αγορά μικρότερο από 4%. Τα Φ/Β CdTe συγκεκριμένα, περιέχουν ως και 170 g/kWp ή 900 mg/kg καδμίου (Giese et.al, 2002). Ωστόσο αυτό βρίσκεται σε ενώσεις που δεν είναι βλαβερές. Παρόλα αυτά τα παλιά CdTe Φ/Β είναι επικίνδυνα απόβλητα. Σε κανονικές συνθήκες μπορεί να μην υπάρχει κίνδυνος όμως σε περίπτωση φωτιάς, και μόνο, δηλητηριώδη αέρια μπορούν να απελευθερωθούν. Δοκιμές σε ραγισμένα Φ/Β έδειξαν ότι τα επίπεδα του καδμίου που μέσω της βροχής είχαν εκπλυθεί και περάσει στα υπόγεια ύδατα ήταν πάνω από το επιτρεπτό όριο για το πόσιμο νερό (Steinburger, 1995). Τα CIS Φ/Β γενικά αποτελούνται από λεπτά φιλμ με βάση θειούχο κάδμιο. Το ποσοστό καδμίου σε αυτά είναι μικρότερο από το 1% της αντίστοιχης ποσότητας στα CdTe Φ/Β. Μια άλλη κρίσιμη ουσία στα CIS Φ/Β είναι το σελήνιο αλλά χρησιμοποιείται σε πολύ μικρές ποσότητες. Γενικά τα CIS Φ/Β θεωρούνται λιγότερο επιβλαβή σε σχέση με τα CdTe. Τα δεύτερης γενιάς CIS Φ/Β αναμένεται να εισέλθουν στην αγορά τα επόμενα χρόνια. Αυτά θα περιέχουν θείο αντί για σελήνιο.

Σύμφωνα με την ως τώρα διαθέσιμη βιβλιογραφία τα απόβλητα των Φ/Β πλαισίων αν δεν διατεθούν σωστά μπορούν να έχουν τις ακόλουθες αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία:

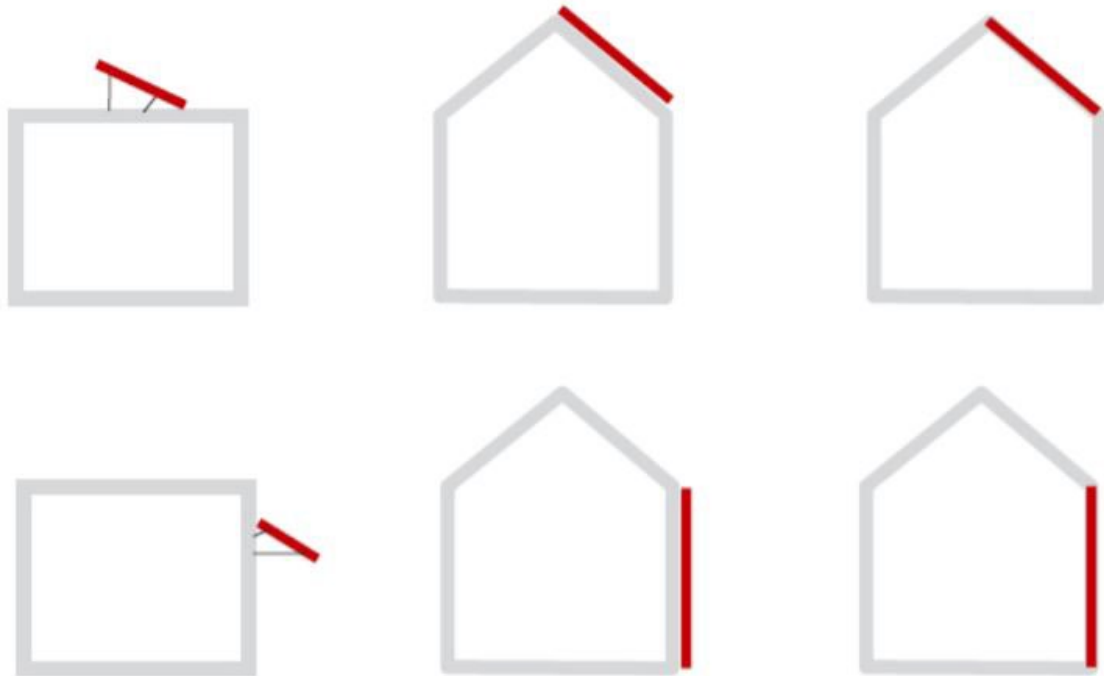
- i. Έκπλυση εδάφους με μόλυβδο
- ii. Έκπλυση εδάφους με κάδμιο
- iii. Απώλεια συμβατικών (ενεργοβόρων) υλικών, κυρίως αλουμίνιο και γυαλί
- iv. Απώλεια σπάνιων υλικών, όπως το Ασήμι, το Ίνδιο, το Γάλλιο και το Γερμάνιο

Τέλος, στις θετικές περιβαλλοντικές επιδόσεις που πρέπει να επισημανθούν όσον αφορά την ενεργειακή παραγωγή, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παραγωγή ενέργειας από τα Φ/Β το 2019 (περί τις 3,962 TWh) αποσόβησε την έκλυση περίπου 3,72 εκατ. τόνων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και κοντά 13.756.000 m³ νερού, τα οποία θα απαιτούσαν οι συμβατικές ρυπογόνες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής για τον καθαρισμό τους.



2.3. Χωροταξικός Σχεδιασμός

Στο παρακάτω σχήμα (βλ. Σχήμα 2.13) αναπαρίστανται οι κυριότεροι τρόποι ενσωμάτωσης των Φ/Β σε κτίρια, σε αυτές τις περιπτώσεις, και αν λάβει κανείς υπόψη του ότι η ενσωμάτωση των Φ/Β πραγματοποιείται σε επιφάνειες, που δεν άμεσα εκμεταλλεύσιμες και χρήσιμες στο σύνολό τους, **επιτυγχάνεται εργονομία του χώρου και αποφυγή της δέσμευσης γης** (επιφάνειας εδάφους) για συστήματα ίδιας εγκατεστημένης ισχύος. Ακόμη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως σκίαστρο, παρακάμπτοντας την δόμηση για αυτό τον σκοπό.



Σχήμα 2.13 Διάφοροι τρόποι ενσωμάτωσης των Φ/Β στον κτιριακό τομέα

ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ

Η επιλογή της πλέον κατάλληλης θέσης για την κατασκευή ενός έργου ΑΠΕ θα πρέπει να έχει ως στόχο την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση των συγκριτικών πλεονεκτημάτων της περιοχής εγκατάστασης, των φυσικών της πόρων αλλά και της ταυτόχρονης μείωσης των περιβαλλοντικών και κοινωνικών πιέσεων.

Βέβαια ο χωροταξικός σχεδιασμός των ΑΠΕ δεν εμφανίστηκε από τα πρώτα βήματα κατασκευής και εγκατάστασης αυτών, δημιουργώντας αρκετά προβλήματα. Το 2008 εγκρίθηκε με το ΦΕΚ 2464 Β/03/12/2008 το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και της στρατηγικής μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΣΜΠΕ) αυτού, το οποίο διαμορφώνει



πολιτικές χωροθέτησης έργων ΑΠΕ, καθορίζει ασύμβατες χρήσεις και ελάχιστες αποστάσεις εγκατάστασης (κατά κύριο λόγο το συγκεκριμένο πλαίσιο εστιάζει στα Αιολικά έργα, διακρίνει την χώρα σε κατηγορίες Αιολικής εγκατάστασης με βασικό κριτήριο το εν δυνάμει εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό).

Απλοποιημένη ανάλυση κύκλου ζωής των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια: σημερινή κατάσταση (δεκαετία του 1990) και μελλοντικές (τωρινές) τάσεις

Η ενσωμάτωση των Φ/Β συστημάτων στα κτίρια παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τους συμβατικούς Φ/Β σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής επί εδάφους. Οι κύριοι στόχοι της παρούσας μελέτης είναι η ποσοτική αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων των ενσωματωμένων στα κτίρια Φ/Β συστημάτων σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους και η αναγνώριση των βέλτιστων λύσεων για τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής τους αποδοτικότητας και του δυναμικού άμβλυνσης του CO₂ (βασικό θερμοκηπιακό αέριο). Πρώτον, έχουν μελετηθεί ορισμένες υπάρχουσες εφαρμογές, δεύτερον, έχει αναπτυχθεί μια παραμετρική ανάλυση των πιθανών βελτιώσεων στην ισορροπία του συστήματος (BalanceOfSystem - BOS). Τέλος, τα δύο παραπάνω βήματα έχουν συνδυαστεί και συσχετιστεί με την ανάλυση των τεχνολογιών κρυσταλλικού πυριτίου (mono-Si & poly-Si). Τα αποτελέσματα αναφέρονται βάσει διαφόρων δεικτών, με κυριότερους: τον χρόνο απόσβεσης της ενέργειας που απαιτήθηκε, την εκπομπή CO₂ και ισοδύναμες εκπομπές CO₂. Οι δείκτες δείχνουν ότι η ενσωμάτωση των Φ/Β συστημάτων αυξάνει σαφώς τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα της σημερινής τεχνολογίας, ενώ αυτά τα οφέλη θα αυξηθούν περαιτέρω με τις μελλοντικές Φ/Β τεχνολογίες (LCA Frankl et.al, 1998 Progress in Photovoltaics). Τα μελλοντικά (τωρινά) βελτιστοποιημένα ενσωματωμένα Φ/Β συστήματα σε κτίρια (δώμα, κεραμοσκεπή, στέγη) αναμένεται να έχουν χρόνο απόσβεσης της ενέργειας περίπου 1,5 έτη (1 έτος με ανάκτηση θερμότητας – στα υβριδικά) και να εξοικονομήσουν κατά τη διάρκεια της ζωής τους περισσότερες από 20 φορές την ποσότητα CO₂ που παράγεται κατά την κατασκευή τους (34 φορές με θερμότητα– στα υβριδικά).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τη χρήση τους, τα Φ/Β (PV) συστήματα δεν προκαλούν εκπομπές. Παρόλα αυτά, όπως και με οποιοδήποτε άλλο βιομηχανικό προϊόν, χρειάζονται τόσο υλικά όσο και ενέργεια για να κατασκευαστούν (ανάπη διεργασίες) και να αποσυντεθούν (κατάντη διεργασίες), οι οποίες έχουν κάποια επίδραση στο περιβάλλον. Η ενσωμάτωση Φ/Β συστημάτων στα κτίρια παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά Φ/Β εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής που βρίσκονται σε ανοιχτές εγκαταστάσεις (πεδιάδες, βουνά κλπ.). Σημαντικά πλεονεκτήματα αυτών είναι η δέσμευση επιφανειών που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί ή δύναται να χρησιμοποιηθούν για άλλους σκοπούς, η εξοικονόμηση δομικού υλικού που απαιτείται για δομές υποστήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων-συστοιχιών, η αντικατάσταση των υλικών περιβλήματος του κτιρίου και η δυνατότητα ανάκτησης ενός σημαντικού κλάσματος της θερμικής ενέργειας που διαχέεται από αυτά.



Μεθοδολογία: Απλοποιημένη Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Συμπεριλαμβανομένης της πολυπλοκότητας των υπό μελέτη συστημάτων και του μεγάλου εύρους των υλικών που παίρνουν μέρος στην ανάλυση, μια απλοποιημένη ανάλυση κύκλου έχει εφαρμοστεί για την συγκεκριμένη τεχνολογία ΑΠΕ. Τα αποτελέσματα (output) εξάγονται σε όρους κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπής CO₂. Στην ανάλυση, συνδυάζονται διάφοροι παράμετροι - δείκτες για την ανάλυση τεχνολογιών κρυσταλλικού πυριτίου. Κάποιες υποθέσεις και απλοποιήσεις που έχουν υιοθετηθεί σε σχέση με διάφορα θέματα:

- i. Όρια του συστήματος: όλα τα Φ/Β συστήματα θεωρούνται στην ανάλυση ότι συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο (διασυνδεδεμένα), ο συνδυασμός των παραγόμενων Φ/Β πλαισίων, υλικών για την ισορροπία του συστήματος (BOS) και Φ/Β παραγωγή (ηλεκτρική και θερμική) έχουν θεωρηθεί ως προς το ανάλυση “σύστημα”. Ενώ, η εξόρυξη των πρώτων υλών, όλα τα στάδια μεταφοράς και ανακύκλωσης δεν συμπεριλαμβάνονται στην εν λόγω ανάλυση
- ii. Το χρονικό πλαίσιο: τα αποτελέσματα παρουσιάζουν τόσο τις ήδη υπάρχουσες Φ/Β τεχνολογίες κρυσταλλικού πυριτίου (“βασικό” σενάριο) όσο και μελλοντικές τεχνολογίες. Δύο πιθανά επίπεδα βελτίωσης (“ενδιάμεσα” και “βέλτιστα” σενάρια) έχουν ενεργοποιηθεί. Οι βελτιστοποιήσεις εδώ θεωρούνται σίγουρα τεχνικά εφικτές και δεν βασίζονται σε κάποια σημαντική τεχνολογική πρόοδο. Η πραγματική περίοδος όπου θα έρθει η υιοθέτηση μεγάλης κλίμακας παραγωγή θα εξαρτηθεί από την εξέλιξη των προγραμμάτων Έρευνας και Ανάπτυξης (R&D), των επενδύσεων και της (Φ/Β) αγοράς
- iii. Πηγές δεδομένων: στην περίπτωση των Φ/Β, τα δεδομένα ποικίλουν εξίσου στον τομέα της παραγωγής και της παραγωγής ενέργειας από τόπο σε τόπο. Έχει υιοθετηθεί ένας μέσος όρος ιταλικών δεδομένων για όλες τις παραμέτρους που εξαρτώνται από την τοποθεσία (site-dependent), όπως για παράδειγμα: η μέση ετήσια εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (με υιοθετούμενη τιμή τις 1700 kWh/m² σε 30° κεκλιμένη επιφάνεια), η κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές CO₂ συσχετίζονται με την παραγωγή των Φ/Β πλαισίων, την απόδοση και τις εκπομπές CO₂ από το συνολικό μείγμα της ηλεκτροπαραγωγής. Τα τελευταία στοιχεία έχουν υπολογιστεί δια μέσο ενός συγκεκριμένου λογισμικού (TEMIS) στις Ιταλικές οριακές συνθήκες. Όλες οι παραπάνω παραδοχές θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως λογικές (συμβατές) εκτιμήσεις για ανάλογες τοπογραφικά περιοχές (όπως η Ελλάδα).

Όσον αφορά την παραγωγή των υλικών Ισορροπίας του Συστήματος (BOS), οι τιμές της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών CO₂ ενδέχεται να ποικίλουν εξαιρετικά από χώρα σε χώρα ή ακόμα και από διαφορετικούς Σταθμούς Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας της ίδιας περιοχής. Αρκετές βάσεις δεδομένων έχουν αναθεωρηθεί και οι μέσες τιμές πολλών εξ’ αυτών έχουν χρησιμοποιηθεί για υπολογισμούς.

Ανάλυση της Ισορροπίας του Συστήματος (BOS)

Τύποι Εγκαταστάσεων



Για την σύγκριση Φ/Β συστημάτων, δύο μείζον κατηγορίες αναγνωρίζονται, επονομαζόμενες “συμβατικές” εγκαταστάσεις (Φ/Β σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) και Φ/Β συστήματα ενσωματωμένα σε κτίρια. Η τελευταία κατηγορία δύναται να διαχωριστεί σε υπό-κατηγορίες, ανάλογα με το μέρος του κτιρίου στο οποίο εγκαθίσταται η Φ/Β διάταξη (ταράτσα ή δώμα, κεραμοσκεπή, πρόσοψη κλπ.). Επιπλέον, η ταξινόμηση εξαρτάται αφενός εάν το Φ/Β σύστημα τοποθετείται σε ήδη υπάρχουσες δομές (π.χ. συστήματα αναβάθμισης), είτε αφετέρου σχεδιάζεται ταυτόχρονα με μία καινούρια δομή (ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις εξ αρχής). Εν τέλει, ολοκληρωμένα υβριδικά συστήματα με απαγωγή της εκλυόμενης θερμότητας λαμβάνονται υπόψη. Οι διαφορετικοί τύποι εγκαταστάσεων συμπεριλαμβανομένων της ανάλυσης BOS εμφανίζονται στο Πίνακα 2.3

Φ/Β Εργοστάσια παραγωγής Εηλ.	Συμβατικά Φ/Β Εργοστάσια παραγωγής Εηλ. σε εξωτερικά πεδία. Αυτή η εγκατάσταση απαιτεί προσεκτική προετοιμασία του εδάφους (επιφάνεια στήριξης) και ειδικές δομές για την υποστήριξη των Φ/Β. Η έκθεση των Φ/Β στην ηλιακή ακτινοβολία είναι βέλτιστη με την χρήση μέσων σταθερού νότιου προσανατολισμού (για περιοχές Β. Ημισφαιρίου) ή συστημάτων παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου
Δώμα - Ταράτσα	Σε αυτόν τον τύπο εγκατάστασης, τα Φ/Β είναι σταθερά στην επίπεδη επιφάνεια μιας ταράτσας μέσω κατάλληλων ελαφρών σχετικά διατάξεων. Η έκθεση βελτιστοποιείται με κατάλληλο (νότιο) προσανατολισμό και κλίση
Κεραμοσκεπή (αναβάθμιση διάταξης)	Τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται απευθείας στην ήδη υπάρχουσα επιφάνεια της σκεπής. Η έκθεση της επιφάνειας των Φ/Β στις ηλιακές ακτίνες δεν μπορεί να είναι πάντα βέλτιστη, επειδή είναι μια λειτουργία εκ των υστέρων. Οι απώλειες του συστήματος ενδέχεται να είναι υψηλότερες. Μέσες απώλειες της τάξης 10% σε σχέση με την βέλτιστη περίπτωση αναφοράς (Φ/Β ηλεκτροπαραγωγή ή επίπεδη ταράτσα) έχουν ληφθεί υπόψη
Κεραμοσκεπή (ολοκληρωμένη διάταξη)	Το Φ/Β σύστημα και το κτίριο σχεδιάζονται μαζί. Η πιθανότητα σχεδιασμού καλύτερης έκθεσης των Φ/Β πλαισίων στις ηλιακές ακτίνες και της χρήσης συστημάτων ψύξης σ' αυτά οδηγεί σε ελαφρώς μειωμένες απώλειες (5%) σε σχέση με την περίπτωση αναφοράς. Τα Φ/Β πλαίσια υποκαθιστούν μέρη της σκεπής από την αρχή των εργασιών. Επιπλέον, παρατηρείται



	επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας εξαιτίας των δομικών υλικών, τα οποία έχουν υποκατασταθεί από τα Φ/Β πλαίσια
Πρόσοψη (αναβάθμιση διάταξης)	Τα Φ/Β πλαίσια χρησιμοποιούνται ως υλικά επένδυσης ώστε να καλύψουν μια ήδη υπάρχουσα πρόσοψη. Απώλειες της τάξης του 38% συγκριτικά με την βέλτιστη περίπτωση προκαλούνται από την μειωμένη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε μια κατακόρυφη επιφάνεια με γεωγραφικό πλάτος (φ) της Κεντρικής Ιταλίας ($\sim 42,5^\circ$)
Πρόσοψη (ολοκληρωμένη διάταξη)	Το Φ/Β σύστημα και το κτίριο προγραμματίζονται και σχεδιάζονται μαζί. Οι απώλειες είναι 2% χαμηλότερες από την αναβαθμισμένη πρόσοψη (προηγούμενη περίπτωση). Και σε αυτή την περίπτωση έχουμε εξοικονόμηση ενέργειας εξαιτίας της υποκατάστασης των συμβατικών δομικών υλικών από τα Φ/Β πλαίσια
Φ/Β επένδυση (αναβάθμιση)	Τα Φ/Β πλαίσια λειτουργούν ως επένδυση πρόσοψης. Ωστόσο, σχηματίζουν κλίση σε σχέση με την πρόσοψη, σχηματίζοντας έτσι έναν "Φ/Β πριονωτό τοίχο". Οι απώλειες παίρνουν τιμή ίδια με αυτή της αναβαθμισμένης κεραμοσκεπής
Συστήματα με ανάκτηση θερμότητας	Η απόδοση της ισορροπίας του συστήματος (BOS) είναι η ίδια με τα ολοκληρωμένα συστήματα. Επιπροσθέτως, μία μέση ανάκτηση θερμότητας $2\text{kWh} / 1\text{kWh}_{\text{produced}}$ έχει τεθεί σε εφαρμογή

Πίνακας 2.3 Ταξινόμηση διαφορετικών τύπων Φ/Β εγκαταστάσεων

Υλικά	Ενεργειακό περιεχόμενο υλικών	Συγκεκριμένες εκπομπές CO ₂ συνολικά (διαδικασία + ενέργεια) (kg CO ₂ /kg υλικού)
-------	-------------------------------	---



	Ολική πρωτογενής ενέργεια (A') (MJ _{th} / kg)	Ηλεκτρισμός (kW _{el} / kg) (MJ _{th} / kg) ^a		↓
Χάλυβας	32	2.20	20.25	1.91
A' αλουμίνιο	198	17	156.51	10.59
B' αλουμίνιο	12.60	0	0	0.51
Ελαφρύ σκυρόδεμα	4.40	0	0.92	0.28
Σκυρόδεμα	1.63	0.04	0.37	0.16
Οπλισμένο σκυρόδεμα	6.06	0.15	1.38	0.40
Χαλκός	70	4.72	44	3.09
Γυαλί	14.40	0.12	1.10	0.77
PVC	66.80	4.26	39.22	4.20
Αργίλος	10.70	0.05	0.46	0.66

Πίνακας 2.4 Πρωτογενές ενεργειακό περιεχόμενο και συγκεκριμένες εκπομπές CO₂ των υλικών BOS (μέσες τιμές έχουν υιοθετηθεί από αναφορές)

Η αποδοτικότητα του Ιταλικού μείγματος (παραπλήσιο με το Ελληνικό) παραγωγής ηλεκτρισμού (~ 39,1%) έχει θεωρηθεί για την μετατροπή του ηλεκτρισμού σε A' κατανάλωση ενέργειας. Αυτή η τιμή μετράει μόνο στο κομμάτι της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, και όχι για ολόκληρο τον κύκλο ζωής.

Υπάρχουσες εγκαταστάσεις

Συγκεκριμένα περιεχόμενα πρωτογενούς ενέργειας και συντελεστών εκπομπής διαφόρων υλικών χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς που εμφανίζονται στον πίνακα. Φυσικά, μπορεί να προκύψουν μεγάλες διαφορές ανάλογα με τον τύπο του υλικού, την παραγωγική διαδικασία και τον τόπο παραγωγής. Για το εκάστοτε υλικό που υποδεικνύει ο πίνακας έχουν αναχθεί και υιοθετηθεί μέσες τιμές από ποικίλες πηγές.

Η πρώτη παρατήρηση είναι η **υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτογενή ενέργεια** σε ένα Φ/Β Σταθμό επί εδάφους (ελάχιστα υψηλότερη από 1800MJ_{th}/m²), εξαιτίας των τεράστιων ποσοτήτων **οπλισμένου σκυροδέματος, χάλυβα και αλουμινίου** που απαιτούνται για τις δομές, οι οποίες είναι απαραίτητες για την στήριξη των Φ/Β μονάδων.

Αντιθέτως, τα περισσότερα **συστήματα στα κτίρια** έχουν στο σύνολό τους περιεκτικότητα σε πρωτογενή ενέργεια γύρω στα 600MJ_{th}/m². Κυριότερες εξαιρέσεις αποτελούν οι επίπεδες ταράτσες, λόγω της υπέρμετρης εναπόθεσης χάλυβα για της βάσεις στήριξης όπου και απαιτούνται, καθώς και Φ/Β επενδύσεις όπου εμπεριέχουν σε μεγάλο βαθμό το υπερβολικά ενεργειακά απαιτητικό πρωτογενές (A') αλουμίνιο. Σε μικρότερο βαθμό, το A' αλουμίνιο είναι επίσης υπεύθυνο για το ενεργειακό περιεχόμενο (BOS) των ολοκληρωμένων κεραμοσκεπών. Εν τέλει, το “κεραμίδι Φ/Β” εμφανίζει επίσης σχετικά υψηλή ενεργειακή περιεκτικότητα, που αποδίδεται στην ανάγκη για μεγάλες ποσότητες σε αργίλου (πηλού), περίπου 1,7m² / m² Φ/Β πλαισίου.



Μελλοντικές εγκαταστάσεις (Τωρινές)

Στην εποχή μας, οι Φ/Β εγκαταστάσεις στα κτίρια πρέπει να σχεδιάζονται με γνώμονα να συνυπολογίζονται σε όλο τον κύκλο ζωής των υλικών. Αυτό είναι απαραίτητο για ένα ενεργειακά – συνειδητό, ενεργειακά - αποδοτικό, και περιβαλλοντικά υγιή σχεδιασμό των συστημάτων.

Δύο προσεγγίσεις μπορούν να ακολουθηθούν, πιο συγκεκριμένα: ελαχιστοποίηση των απόλυτων ποσοτήτων των υλικών και χρήση ενός μεγάλου κλάσματος από ανακυκλώσιμα, δευτερογενή (B') υλικά.

(α) οι μελλοντικές εγκαταστάσεις θα περιέχουν 80% B' αλουμίνιο – κάτι το οποίο μειώνει δραματικά την ενεργειακή κατανάλωση για τα περισσότερα Φ/Β συστήματα σε κτίρια

(β) ελαφρύ σκυρόδεμα – υποστηρικτικών δομών πιθανών θα χρησιμοποιείται για εγκαταστάσεις σε επίπεδες ταράτσες, για οικονομικούς λόγους όσο και για απλοποίηση στην εγκατάσταση και την συντήρηση

(γ) θα γίνεται χρήση προηγμένου τύπου αργίλου για "φ/β κεραμίδια", τα οποία θα επιφέρουν μείωση ενεργειακής κατανάλωσης της τάξης του 30%

Εάν όλα τα προαναφερθέντα – παραπάνω παράγοντες ληφθούν υπόψη, η σύγκριση μεταξύ του BOS ενεργειακού περιεχομένου Φ/Β ηλεκτροπαραγωγών σταθμών και **Φ/Β συστημάτων σε κτίρια** γίνεται ριζικά ευνοϊκή για τα τελευταία.

Ενεργειακό προφίλ Φ/Β Συστημάτων Κρυσταλλικού Πυριτίου (η κατάσταση του 1995)

Ο χρόνος αποπληρωμής (απόσβεσης) της ενέργειας (**Energy Pay-Back Time**) διαφορετικών Φ/Β συστημάτων με πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου (mono-Si) της εποχής. Ο χρόνος αυτός μας δίνει τον απαιτούμενο χρόνο που χρειάζεται ένα Φ/Β Σύστημα να παράσχει εκείνο το ποσό ενέργειας το οποίο και καταναλώθηκε για την παραγωγή του ίδιου:

EPBT (years) = Καταναλισκόμενη ενέργεια για το σύστημα παραγωγής / Ετήσια παραγωγή ενέργειας από το σύστημα

Το **EPBT** των Φ/Β συστημάτων της εποχής (το 2.000') είναι αρκετά υψηλό, ακόμα και εάν τα συστήματα έχουν εγκατασταθεί σε μέρη με σχετικά υψηλή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (όπως η Ελλάδα). Ο κύριος λόγος: η χαμηλή απόδοση (σε όρους αμφότερα της χρήσης υλικών και ενέργειας) της πρώτης ύλης κρυσταλλικού πυριτίου και την διαδικασία παραγωγής των στρώσεων, όπου δεν είναι βέλτιστα για την παραγωγή φ/β κυττάρων. Ο συνδυασμός αυτών των δεδομένων μαζί με την υψηλή ειδική κατανάλωση ενέργειας της διαδικασίας καθαρισμού του πυριτίου και χειρισμού της βιομηχανίας ηλεκτρονικών προκαλεί πολύ μεγάλους ρυθμούς κατανάλωσης ενέργειας (Βλέπε πίνακα 2.5). Οι τιμές πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι ακόμα χειρότερες εξαιτίας της μειωμένης απόδοσης (παραγωγής) μάζας πυριτίου.



Χρονική Ανάλυση Τεχνολογιών Φ/Β Κρυσταλλικού Πυριτίου						
	Εποχή (1995)		Ενδιάμεσο (2010)		Τωρινός μέσος όρος (2021)	
	<u>mono-Si</u>	<u>poly-Si</u>	<u>mono-Si</u>	<u>poly-Si</u>	<u>mono-Si</u>	<u>poly-Si</u>
Απόδοση κυττάρου (%)	14,5	12,5	16	15	22	19
Απόδοση πλαισίου (%)	11,2	10,3	14	13,3	19	17
Κατανάλωση ηλεκτρισμού κατά την διάρκεια της παραγωγής πλαισίων (kWh _{el} /kWp)	9683	12723	5909	5744	2881	1896
Επεξεργασία θερμότητας & περιεχόμενο Α' ενέργειας των απαραίτητων υλικών για την παραγωγή (kWh _{th} /kWp)	3682	4455	2680	2847	727	760
Εκπομπές CO ₂ κατά την διάρκεια της παραγωγής πλαισίων (kgCO ₂ /kWp)	6288	8366	3861	3896	1354	994
Μέση Διάρκεια ζωής πλαισίων (y)	25	25	25	25	30	30

Πίνακας 2.5 Τεχνολογικές παράμετροι παλαιότερων και τωρινών Φ/Β πλαισίων c-Si

Λοιπές παράμετροι που συνυπολογίστηκαν: Φ/Β εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής με BOS (ισορροπία του συστήματος) ηλεκτρική απόδοση (85%), αποδοτικότητα μείγματος παραγωγής ηλεκτρισμού στην Ελλάδα (κοντά 39%), απώλειες δικτύου διανομής (9%), για ολοκληρωμένα συστήματα, το Α' ενεργειακό περιεχόμενο των υλικών δόμησης υποκαθίσταται από τα μέρη των Φ/Β. Πρέπει να σημειωθεί ότι η κύρια συνεισφορά ενεργειακού περιεχομένου των τωρινών Φ/Β πλαισίων προέρχεται από πυρίτιο ως πρώτη ύλη. Η κατανάλωση ενέργειας έχει κατανομηθεί στην βιομηχανία Φ/Β σε μία μαζική βάση.

Εξαιτίας της μεγάλης συμβολής των Φ/Β πλαισίων, η εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων σε κτίρια μειώνει το EPBT (χρόνο αποπληρωμής ενέργειας) σε περιορισμένη έκταση μέγιστο το 18%) για φ/β κεραμίδια). Οι προσόψεις παρουσιάζουν ακόμα χειρότερα αποτελέσματα λόγω της κακής έκθεσης (προσανατολισμού) προς τον ήλιο στα συγκεκριμένα γεωγραφικά



πλάτη. Το πιο αποδοτικό Φ/Β σύστημα φαίνεται να είναι η απλή εγκατάσταση σε ταράτσες. Ωστόσο, το EPBT ελαττώνεται σε μεγάλο βαθμό εάν μπει στην εξίσωση και η μεταβλητή της απαγωγής θερμότητας. Στα ολοκληρωμένα συστήματα, τουλάχιστον ένα μέρος της θερμότητας που χάνεται από τα Φ/Β πλαίσια μπορεί να ανακτηθεί με κάποιο μέσο καναλιού αέρα μεταξύ των πίσω πλακών του πλαισίου και της ταράτσας (ή πρόσοψης). Αυτή η ροή αέρα έχει διπλή επίδραση: επιτρέπει την εκμετάλλευση του θερμού αέρα προς το κτίριο για κλιματισμό ή/και προθέρμανση νερού. Ακόμη, χρησιμοποιείται για την ψύξη των φ/β κελιών αυξάνοντας έτσι την απόδοσή τους. Στην συγκεκριμένη μελέτη υποθέτουμε μια μέση ετήσια τιμή $2 \text{ kWh}_{\text{th}}$ ανακτώμενη θερμότητα ανά παραγόμενη kWh_{el} από το Φ/Β Σύστημα. Η τιμή αυτή βασίζεται σε απλές εγκαταστάσεις όπου χρησιμοποιούν μικρούς ανεμιστήρες ως βοηθητικό εξάρτημα ανακυκλοφορίας αέρα. Σε αυτή την περίπτωση, η απαγωγή θερμότητας σε μια κεκλιμένη κεραμοσκεπή μπορεί να μειώσει το EPBT 2 φορές περισσότερο (by more than a factor of 2) από έναν παράγοντα σε σχέση με έναν Φ/Β σταθμό ηλεκτροπαραγωγής. Είναι επίσης αξιοσημείωτο να αναφέρουμε ότι οι Φ/Β προσόψεις αποκτούν ενδιαφέρον μαζί με σύστημα ανάκτησης θερμότητας¹⁷. Παρόλα αυτά, δεδομένου των δυσκολιών αποτελεσματικής ανάκτησης και χρήσης της θερμότητας καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου, αυτά τα αποτελέσματα πρέπει να ερμηνεύονται με ευλάβεια.

Τα αποτελέσματα υποδιαιρούνται σε σχέση με τα διάφορα βήματα παραγωγής Φ/Β συστημάτων πυριτίου, πιο συγκεκριμένα, με την προετοιμασία υψηλής καθαρότητας της Α' ύλης πυριτίου, την κοπή των πλινθωμάτων πυριτίου προς στρώσεις, την παραγωγή των κυττάρων, την συναρμολόγηση των πλαισίων και την ισορροπία του συστήματος (BOS). Εξάλλου, η συνεισφορά της διαδικασίας ηλεκτρισμού και Α' ενεργειακού περιεχομένου των υλικών ξεχωρίζονται.

Μελλοντικές τάσεις (Δεκαετία του 2020)

Στο μέλλον, η παραγωγή κρυσταλλικού πυριτίου θα απαιτεί σημαντικά μειωμένη ενέργεια. Όποια ειδική τεχνολογία (μόνο – και πολυκρυσταλλικού πυριτίου θα συμπληρώνονται από την βιομηχανία ηλεκτρονικών, είτε ηλιακές βαθμίδες πυριτίου), η αλυσίδα παραγωγής θα είναι βέλτιστη για την παραγωγή ηλιακών ενεργειακών κυττάρων. Ένα μικρότερο ποσό Α' ύλης πυριτίου θα απαιτείται για την παραγωγή ενός κυττάρου, ενώ οι αποδόσεις των κυττάρων/πλασίων θα αυξηθούν.

Οι σημαντικά μειωμένες τωρινές τιμές κατανάλωσης ενέργειας (βλ. Πίνακα 2.5) έχουν προέλθει κυρίως από 3 τομείς:

α) την πολύ υψηλότερη αποδοτικότητα μάζας πυριτίου (πολύ καλύτερη χρήση της Α' ύλης πυριτίου ανά εγκατεστημένο kWp),

β) εσωτερική ανακύκλωση και

γ) λιγότερη ειδική ενέργεια καταναλωτικής διαδικασίας

Ως συνέπεια, ο αναμενόμενος EPBT ενός βελτιωμένου (τωρινού) Φ/Β σταθμού παραγωγής Εηλ. μονοκρυσταλλικού πυριτίου μειώνεται 3 φορές περισσότερο (by more than a factor of 3) από έναν παράγοντα σε σχέση με τους Φ/Β σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής της εποχής (δεκαετία του 1990).

¹⁷ Για να υπολογίσουμε την απαιτούμενη Α' ενέργεια, η υποκαθιστάμενη θερμότητα υποτίθεται ότι παράγεται από βραστήρες μεθανίου



Εξάλλου, δυνάμει της μειωμένης ενεργειακής κατανάλωσης για την παραγωγή πλαισίων, η ισορροπία του συστήματος (BOS) παίζει έναν σημαντικότερο ρόλο στην συνολική ενεργειακή ισορροπία¹⁸. Αυτό σημαίνει ότι η ενσωμάτωση στα κτίρια δίνει αναλογικά παραπάνω οφέλη από' τι εκείνη την εποχή. Το **EPBT** ενός πλήρως ολοκληρωμένου συστήματος σε κτιριακό περιβάλλον (πιο συγκεκριμένα σε ταράτσα) μονοκρυσταλλικού πυριτίου αναμένεται να είναι 45% μικρότερο σε σχέση με αυτό ενός Φ/Β σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Το αναμενόμενο EPBT ενός ολοκληρωμένου κυρτής οροφής (κεραμοσκεπή) σύστημα με ανάκτηση θερμότητας είναι τόσο χαμηλό όσο 1 χρόνος, ενώ μελλοντικά θα μειωθεί περαιτέρω.

Εν τέλει, η αρνητική συνεισφορά ισορροπίας του συστήματος (BOS) για ολοκληρωμένες Φ/Β προσόψεις και ταράτσες πρέπει να σημειωθεί. Αυτό το αποτέλεσμα (θεωρητικά) αντανακλά την πιθανή χρήση Φ/Β πλαισίων ώστε να αντικαταστήσουν συμβατικά δομικά υλικά επένδυσης κτιρίων. Τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα σημαντικά στην περίπτωση πλαισίων "Aluκο bond"¹⁹. Η απαιτούμενη ενέργεια για να παραχθεί αλουμινόχαρτο πάχους ενός χιλιοστού είναι πολύ υψηλή (δαπανηρή), μεγαλύτερη από το ενεργειακό περιεχόμενο ενός ολοκληρωμένου Φ/Β συστήματος πρόσοψης. Ως συνέπεια, η συνεισφορά του BOS είναι αρνητική. Ο προγραμματισμός και σχεδιασμός ενός Φ/Β συστήματος πρόσοψης αντί ενός "Aluκο bond" συστήματος πρόσοψης μπορεί συνεπώς να θεωρηθεί και να γίνει αντιληπτό ως μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας. Αν και, καθαρά θεωρητικά, αυτό το αποτέλεσμα αναδεικνύει την ανάγκη για ενεργειακά-συνειδητούς αρχιτέκτονες & μηχανικούς να δίνουν προσοχή στην κρυμμένη ενεργειακή περιεκτικότητα των οικοδομικών υλικών.

Μελέτες έδειξαν ότι τα περιβαλλοντικά κέρδη των ενσωματωμένων Φ/Β συστημάτων σε κτίρια σε σχέση με συμβατικά Φ/Β εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθεί αναλόγως, για παράδειγμα, η απόδοση παραγωγής CO₂ για ένα ολοκληρωμένο Φ/Β σύστημα σε στέγη σε συνδυασμό με σύστημα ανάκτησης της θερμότητας αναμένεται να είναι κοντά στις 3 φορές υψηλότερο απ' ότι ένας συμβατικός Φ/Β σταθμός παραγωγής Εηλ. Η αξιοσημείωτη βελτίωση που επιτεύχθηκε από Φ/Β συστήματα μπορεί επίσης να εκφραστεί σε όρους ειδικών εκπομπών κατά την διάρκεια ζωής τους. Το 1998, για έναν Φ/Β σταθμό παραγωγής Εηλ. μονοκρυσταλλικού πυριτίου έχει τιμή ειδικής εκπομπής περίπου 0,2kg CO₂/kWh_{el}. Αυτό προκαλείται κυρίως από έμμεσες εκπομπές συμπληρωμένες από υψηλή κατανάλωση ηλεκτρισμού κατά την παραγωγή των Φ/Β πλαισίων. Μελλοντικά, η τιμή αυτή αναμένεται να ελαττωθεί στα 0,06kg CO₂/kWh_{el} για Φ/Β σταθμό παραγωγής Εηλ. και στα 0,04kg CO₂/kWh_{el} για ενσωματωμένα Φ/Β σε στέγες.

	PV plant	ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ				ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ			ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΑΠΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜ!		
		Ταράτσα	Κεραμοσκεπή	Φ/Β επίστρωση	Πρόσοψη	Κεραμοσκεπή	φ/β κεραμίδι	Πρόσοψη-γυαλί	Κεραμοσκεπή	Πρόσοψη-γυαλί	
EPBT (years)	2,65	1,7	1,78	1,85	2,5	1,5	1,5	2,4	0,9	1,4	

Πίνακας 2.6 Με την χρήση Excel. Αναμενόμενος χρόνος ανάκτησης της ενέργειας (EPBT) για τωρινά Μονοκρυσταλλικά Φ/Β Συστήματα, με μέση ετήσια ενέργεια ακτινοβολίας 1700 kWh/m² στις 30° κλίση, επιφάνεια νότια προσανατολισμένη και απόδοση φ/β κυττάρου 18%

¹⁸ Αυτό αναμένεται να είναι ακόμα σχετικότερο στην περίπτωση των thin films

¹⁹ Ένα τέτοιο πλαίσιο συνίσταται από ένα σάντουιτς δύο λεπτών φύλων αλουμινίου μαζί με μία σκληρή στρώση από έλασμα μεταξύ αυτών. Συνήθως παίρνουν μέρος σε μοντέρνα γραφεία κτιρίων



Συμπεράσματα και Ενδείξεις

Μία λεπτομερής ανάλυση του Α' ενεργειακού περιεχομένου της Ισορροπίας Συστημάτων (BOS) για διάφορα Φ/Β συστήματα διεξήχθη. Με μερικές εξαιρέσεις, η BOS - ενεργειακή σύνθεση των περισσότερων Φ/Β συστημάτων σε κτίρια είναι γύρω στις 3 φορές χαμηλότερη σε σχέση με αυτή των Φ/Β σταθμών παραγωγής Εηλ. Μελλοντικά, αυτό το ενεργειακό περιεχόμενο θα ελαττωθεί περαιτέρω δια μέσο της μείωσης των "απόλυτων" ποσοτήτων υλικών και με την χρήση μεγάλου μέρους κλασμάτων από ανακυκλώσιμα υλικά.

Η μελέτη υποστηρίζει ότι ήδη εκείνη την εποχή, η ενσωμάτωση Φ/Β συστημάτων σε κτίρια παρουσιάζει ευνοϊκά αποτελέσματα σε σύγκριση με συμβατικούς Φ/Β σταθμούς παραγωγής Εηλ., εξίσου σε όρους ενεργειακής παραγωγής και σε όρους αποφυγής εκπομπών CO_{2eq}. Αυτά τα οφέλη αυξάνονται σημαντικά εάν η εγκατάσταση επιτρέπει την απαγωγή ενός τουλάχιστον μέρους της θερμότητας που διαρρέεται από τα Φ/Β πλαίσια

2.4. Καταλληλότητα Εγκατάστασης

Οι μικρές εγκαταστάσεις έχουν υψηλότερο κόστος ανά εγκατεστημένο kW, με σχετικό κόστος:

- ✚ Φ/Β διασυνδεδεμένα με το δίκτυο (οικιακά είτε σταθμοί επί εδάφους) ~ 1.000 €/kWp
- ✚ Αυτόνομα Φ/Β ~ 3.500 €/kWp → το κόστος μεταβάλλεται με τον τύπο της μπαταρίας, την ποιότητα του συστήματος και την αυτονομία που είναι ικανό να παρέχει στους χρήστες

A. Τα συστήματα ιχνηλάτισης της τροχιάς του ήλιου (tracking systems) παρέχουν κατά μέσο όρο 30% αυξημένες αποδόσεις σε σχέση με σταθερές βάσεις στήριξης. Το σημαντικό μέγεθος των συστημάτων αυτών (κυρίως λόγω του ύψους τους) αυξάνει τις απαιτήσεις χώρου σε σχέση με ένα σύστημα σταθερών βάσεων, περίπου 1,5 με 2 φορές, κάτι που οφείλεται στις μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των συστημάτων αυτών για την αποφυγή σκιάσεων. Ακόμη, όλα τα συστήματα παρακολούθησης χρήζουν συντήρησης λόγω της ύπαρξης ηλεκτρο-μηχανικών ή ηλεκτρο-υδραυλικών μέσων κίνησης

B. Εξαιτίας του σημαντικού τους ύψους, είναι απαραίτητη ή έκδοση οικοδομικής άδειας (έστω μικρής κλίμακας). Η διαδικασία αυτή επιφέρει αύξηση του κόστους και του χρόνου υλοποίησης της εγκατάστασης. Ακόμη, είναι δυσκολότερη ή συντήρηση / αλλαγή φθαρμένων μερών, που επιβεβαιώνει την πολυπλοκότητα των συστημάτων αυτών σε θέματα αδειοδότησης, λειτουργίας και συντήρησης



Εγκατάσταση Φ/Β Σταθμών σε ανεκμετάλλευτα εδάφη που δεν χρήζουν γεωργικής χρήσης στην Ελληνική Επικράτεια

Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ, η γεωργική γη στην Ελλάδα ανέρχεται σε 32,54 εκατ. στρέμματα (στατιστικά για το 2016 δημοσιευμένα το Σεπτέμβριο του 2018), εκ των οποίων καλλιεργούνται τα 29 εκατ. στρέμματα. Αυτό σημαίνει ότι τα Φ/Β, όσον αφορά την εγκατεστημένη ισχύ επί εδάφους μέχρι και τα τέλη του 2019, δεσμεύουν περίπου το 0,12% της γεωργικής γης ή αλλιώς το 0,03% της έκτασης της χώρας. Στα τέλη του 2019 στην Ελλάδα ήταν εγκατεστημένα 2.828 MWp Φ/Β, εκ των οποίων τα 2.255 επί εδάφους και τα υπόλοιπα 573 σε στέγες κτιρίων (πηγή ΣΕΦ). Η προβολή στο οριζόντιο επίπεδο των Φ/Β πλαισίων επί εδάφους καλύπτει κοντά στα 12.600 στρέμματα, ενώ η συνολική έκταση που δεσμεύουν αυτά τα 2.255 MWp μαζί με τα διάκενα μεταξύ των Φ/Β στοιχειοσειρών και την περιμετρική απόσταση ασφαλείας από τα όρια των γηπέδων είναι περίπου 40.000 στρέμματα. Από τα 3,5 εκατ. στρέμματα που δεν καλλιεργούνται, μόνο το 52% θεωρείται ότι διατηρούνται σε καλή γεωργική και περιβαλλοντική κατάσταση.

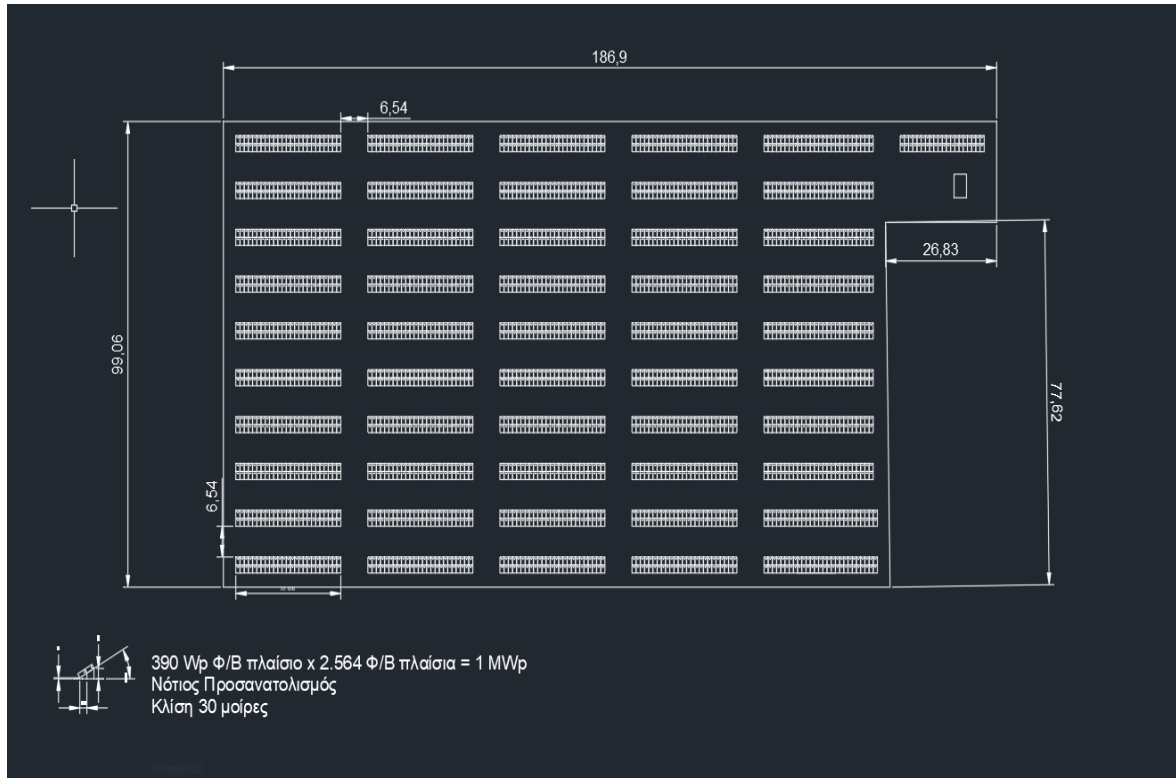
Με τον αποκλεισμό εξ' επαγωγής, το υπολειπόμενο 48% από τα εδάφη που δεν ενδείκνυται για γεωργική χρήση και άρα δεν συμπεριλαμβάνεται στα γόνιμα εδάφη και ως γη υψηλής παραγωγικότητας (ΓΥΠ), δηλαδή 1,68 εκατ. στρέμματα, δύναται να εγκατασταθούν Φ/Β σταθμοί χωρίς την δέσμευση ωφέλιμου εδάφους για γεωργική χρήση. Από μελέτες, υπολογισμούς και γενικότερα με εμπειρικό γνώμονα, εγκατεστημένη ισχύ **1 MWp Φ/Β σταθμού απαιτεί περίπου 16 στρέμματα εδάφους για την άνετη και βέλτιστη χωροθέτηση**. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν εμπόδια για την βέλτιστη χωροθέτηση (κατάλληλη κλίση και απόσταση μεταξύ στοιχειοσειρών), η εγκατάσταση 1 MWp μπορεί να εφαρμοστεί και σε μικρότερη έκταση από τα 16 στρέμματα, έχοντας όμως ως επίπτωση την χαμηλότερη απόδοση του Φ/Β σταθμού. Στο σχήμα 2.14 απεικονίζεται η χωροθέτηση ενός Φ/Β σταθμού 1 MWp με την χρήση του Λογισμικού AutoCAD που απαιτήθηκαν 16 στρέμματα, όπου:

- Τα Φ/Β πλαίσια (390 Wp έκαστο) είναι διπλής σειράς, ενώ απαιτήθηκαν 2.564 πλαίσια
- Για την συγκράτηση των πλαισίων ίδιας σειράς στις βάσεις αφέθηκαν 2 εκατοστά μεταξύ του κάθε πλαισίου, όπου παίρνουν μέρος τα μεταλλικά κλαμς (συγκρατητές)
- Απόσταση μεταξύ των στοιχειοσειρών (τραπεζίων): Ύψος στοιχειοσειράς επί 3 (με αποτέλεσμα ελάχιστη σκίαση και βέλτιστη απόδοση)
- Η απόσταση από την περιφράξη είναι 3 μέτρα σε όλα τα σημεία
- Ο Υποσταθμός (Μ/Σ) μετρήθηκε ως 15 τ.μ., ενώ πλησίον του αφέθηκε επιπλέον χώρος για την σύνδεση με το δίκτυο Μ.Τ. και λοιπές απαραίτητες διατάξεις

Με την εύλογη υπόθεση ότι δυνητικά μπορούν να καλυφθούν τα 1,5 εκατ. στρέμματα εξ' αυτών: **93.750 Φ/Β σταθμοί του 1 MWp** (δηλαδή 93.750 MWp) δύναται να εγκατασταθούν στην Ελληνική Επικράτεια χωρίς την δέσμευση ωφέλιμου εδάφους για γεωργική χρήση. Με έναν μέσο όρο παραγωγής Εηλ. ανά εγκατεστημένο kW για Φ/Β Συστήματα επί εδάφους τις **1.400 kWh/kWp·yr**, οι εν λόγω Φ/Β Σταθμοί θα παράγουν σε ετήσια βάση **131,25 TWh**. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι ως χώρα καταναλώνουμε μέσο όρο 55 – 60 TWh, οι παραπάνω υπολογισμοί μας δείχνουν ότι υπερκαλύπτεται η ενεργειακή ζήτηση, βέβαια αυτό δεν είναι τελείως σωστό, εφόσον τα Φ/Β Συστήματα παράγουν ενέργεια κατά την έκθεσή τους στον Ήλιο. Έτσι, κατά την διάρκεια μη ηλιοφάνειας και της νύχτας, οι επιπλέον (περίσσεια)



ενέργεια που έχει παραχθεί τις ηλιόλουστες μέρες θα πρέπει να αποθηκεύεται σε βέλτιστες κατά περίπτωση διατάξεις, και να αποδίδεται κατά την ζήτηση.



Σχήμα 2.14 Σχεδίαση στο Λογισμικό AutoCAD Φ/Β σταθμού 1 MWp σε 16 στρέμματα εδάφους

Διαθέσιμο δυναμικό για την εκμετάλλευση επιφανειών σε κτίρια στην Ελλάδα προς εγκατάσταση Φ/Β Συστημάτων

Εκτιμάται ότι το διαθέσιμο δυναμικό για την εκμετάλλευση κατάλληλων επιφανειών σε οροφές κτιρίων στην Ευρώπη ανέρχεται σε 600 GWp. Στην Ελλάδα, η συνολική ηλιακά εκμεταλλεύσιμη επιφάνεια σε οροφές κτιρίων εκτιμάται στα 80 με 90 km² (19.768 με 21.004 στρέμματα, αντίστοιχα) → Προσεγγιστικά και εμπειρικά, σε μια κεραμοσκεπή απαιτούνται περίπου 60τμ. ανά 10 kWp (πηγή ΣΕΦ). Λαμβάνοντας το κατώτερο όριο συνολικής ηλιακά εκμεταλλεύσιμης επιφάνειας σε οροφές (δώματα είτε κεκλιμένες στέγες - κεραμοσκεπές) κτιρίων στην Ελλάδα τα 80 τετραγωνικά χιλιόμετρα (80.000.000 τετραγωνικά μέτρα).

- ✓ Για Φ/Β πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου χρειάζεται περίπου 7-10 τ.μ/kWp για κεραμοσκεπή και 15 τ.μ/kWp για δώμα.

Για λόγους χωροθέτησης, θα υποθέσουμε ότι υφίστανται οι επιφάνειες αυτές ισοκατανομημένες στην Ελληνική Επικράτεια ως:

- 40.000.000 τετραγωνικά μέτρα ως δώματα (οριζόντιες οροφές κτιρίων) Με την παραπάνω προϋπόθεση, στις συνολικά ηλιακά εκμεταλλεύσιμες επιφάνειες σε οροφές, **στα δώματα δύναται να εγκατασταθούν 2.666.667 kWp** στην Ελληνική Επικράτεια, όπου καθώς η κλίση ρυθμίζεται βέλτιστα από τις βάσεις στήριξης (ειδικά εάν



είναι ρυθμιζόμενες ώστε ο χρήστης να έχει την δυνατότητα π.χ. ανά εποχή να τις ρυθμίζει βέλτιστα).

Με έναν μέσο όρο παραγωγής Εηλ. ανά εγκατεστημένο kW τις **1.350 kWh/kWp·yr**, τα εν λόγω Φ/Β Συστήματα θα παράγουν σε ετήσια βάση ~ **3.600 GWh** η αλλιώς 3,6 TWh.

- ο 40.000.000 τετραγωνικά μέτρα ως κεκλιμένες επιφάνειες σε οροφές κτιρίων Με την παραπάνω προϋπόθεση, στις συνολικά ηλιακά εκμεταλλεύσιμες επιφάνειες σε οροφές, **στις κεραμοσκεπές δύναται να εγκατασταθούν 4.000.000 kWp** (παίρνοντας τα $\frac{10}{\text{τ.μ./kWp}}$). Με έναν μέσο όρο παραγωγής Εηλ. ανά εγκατεστημένο kW τις **1.250 kWh/kWp·yr** (εξαιτίας της ενσωμάτωσης σε ήδη υφιστάμενες επιφάνειες), τα εν λόγω Φ/Β Συστήματα θα παράγουν σε ετήσια βάση περί τις **5.000 GWh** η αλλιώς 5 TWh.

Στο παρακάτω σχήμα (Βλ. σχήμα 2.15) απεικονίζεται ένας ιδιαίτερα καινοτόμα σχεδιασμένος Φ/Β Σταθμός επί εδάφους με περιστρεφόμενη βάση στήριξης (αλουμινίου), όπου έχει ρόδες περιστροφής. Ένα τέτοιο σύστημα, με την βοήθεια μιας αυτοματοποιημένης διάταξης (μικροεπεξεργαστή) που θα κινούσε βέλτιστα ολόκληρη την διάταξη στην διάρκεια της ημέρας (από την Ανατολή έως την Δύση του ηλίου), αντιγράφοντας δηλαδή την λειτουργία ενός συστήματος μονού άξονα (1-axis), θα είχαμε επίτευξη βέλτιστου προσανατολισμού σε κάθε ώρα της ημέρας με επακόλουθη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος, ενώ ταυτόχρονα παραλείπονται τα ηλεκτρομηχανικά μέρη ενός συμβατικού μονοαξονικού συστήματος ιχνηλάτισης της τροχιάς του ήλιου και της συντήρησης που αυτά απαιτούν. Έτσι, με την υποβοήθηση ενός σερβοκινητήρα (π.χ. Arduino), τα επιπλέον έξοδα ενός τέτοιου Φ/Β Συστήματος, θα ήταν μόνο η αρχική επένδυση της περιστρεφόμενης διάταξης μαζί με τον σερβοκινητήρα. Η επιπλέον μελέτη ενός τέτοιου συστήματος, μαζί με το βέλτιστο εύρος εγκατεστημένης ισχύος όπου δυνητικά μπορεί να λειτουργήσει, την βέλτιστη χωροθέτηση και τόπου εγκατάστασης, φαίνονται μια πολύ ενδιαφέρουσα προοπτική προς την συνολική βελτίωση της αειφορικής συμπεριφοράς και απόδοσης των Φ/Β Συστημάτων.



Σχήμα 2.15 Φ/Β Σταθμός επί εδάφους με περιστρεφόμενη βάση στήριξης



3. Ανάλυση Κύκλου Ζωής Φ/Β Συστημάτων

Οι συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων, και ειδικότερα CO₂, στα διάφορα στάδια ζωής ενός Φ/Β Συστήματος ποικίλουν ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία και χρήση των εν λόγω συστημάτων. Όσο περνούν τα χρόνια και η τεχνολογία εξελίσσεται, μειώνονται και οι εκπομπές ρύπων ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Σύμφωνα με παλιότερες εκτιμήσεις για τα διαφορετικά στάδια του Κύκλου Ζωής ενός Φ/Β που εγκαθίσταται σε οροφές κτιρίων, υπολογίστηκε ότι οι συνολικές εκπομπές κυμαίνονται από 100 έως 170 kg CO_{2eq} ανά παραγόμενη kWh, εκπομπές κατά πολύ μικρότερες συγκρινόμενες με αυτές ενός Λιγνιτικού Σταθμού. Το μεγαλύτερο δε ποσοστό των ρύπων αυτών αφορά το στάδιο παραγωγής των φ/β κυψελίδων.

Φάση	Παράμετρος	Ποσότητα
1. Εξόρυξη λιγνίτη	Θέση Τύπος ορυχείων % υπερκείμενα στον λιγνίτη	Πτολεμαίδα Επιφανειακός 3,3 – 5 m ³ /tn
2. Μεταφορά	Αέριες εκπομπές	TSP 1.525 tn/yr NOx 203 tn/yr SO ₂ 94,5 tn/yr CO ₂ 114.946 tn/yr
3. Παραγωγή Ηλεκτρισμού	Καύσιμο Θέση Εγκ. Ισχύς Παραγωγή ενέργειας Αέριες εκπομπές	Λιγνίτης Άγιος Δημήτριος 366,5 MWp 2.199.000 MWh TSP 556 tn/yr NOx 2.170 tn/yr SO ₂ 2.615 tn/yr CO ₂ 2.902.680 tn/yr
4. Κατασκευή Σταθμού	Υλικά	107.500 tn ατσάλι 1980.000 tn τσιμέντο
5. Απόβλητα	Στερεά Απόβλητα Υγρά Απόβλητα	12.200.000 m ³ /yr (λιγνιτωρυχείο) 355.000 tn/yr (σταθμός) 1.500.000 tn/yr

Πίνακας 3.1 Βασικά χαρακτηριστικά του κύκλου ζωής ενός Λιγνιτικού Σταθμού (περιοχή Αγ. Δημητρίου Πτολεμαΐδας)

Τα συμπεράσματα από εκτίμηση που διεξήχθη το 2013 (Edgar G. Hertwich et. al) δείχνουν ότι η ανάλυση υποδηλώνει ότι η εκτέλεση/λειτουργία μεγάλης κλίμακας της αιολικής, Φ/Β, και Συγκεντρωτικής Ηλιακής Ισχύος έχουν το δυναμικό να μειώσουν τις σχετιζόμενες με ρύπανση περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής ηλεκτρισμού (ενέργειας στην ουσία), όπως τις εκπομπές ΑτΘ, την οικοτοξικότητα του πόσιμου νερού, τον ευτροφισμό και την έκθεση σε εκπομπές σωματιδιακής ύλης. Η ρύπανση που προκαλείται από υψηλότερες απαιτήσεις υλικού αυτών των τεχνολογιών ΑΠΕ είναι μικρή, σε σχέση με τις απευθείας εκπομπές των Ατμοηλεκτρικών Σταθμών Παραγωγής Εηλ. (ΑΗΣ). Οι απαιτήσεις χύμα υλικών (κατά την εκπόνηση Φ/Β Συστημάτων) φαίνονται διαχειρίσιμες, αλλά σε καμία περίπτωση αμελητέες, συγκρινόμενες με τους τωρινούς ρυθμούς παραγωγής των υλικών



αυτών. Ο **Χαλκός**, όπου καλύπτει η εν λόγω ανάλυση, η προμήθεια του οποίου εμφανίζει ερωτηματικό για την αφθονία και την εξεύρεση.

Όσον αφορά το 2010, το 90% της Φ/Β αγοράς σε όρους παραγωγής ηλεκτρισμού κατείχαν τα Φ/Β βασισμένα στο πυρίτιο, ενώ το υπόλοιπο μερίδιο αποτελείται από Φ/Β πλαίσια λεπτού υμενίου. Το μερίδιο των Φ/Β βασισμένα στο πυρίτιο σταδιακά μειώνεται στο 20%, όσον αφορά το 2050, βάση της ανάλυσης που διεξήχθη το 2013: “Ολοκληρωμένη αξιολόγηση κύκλου ζωής σεναρίων παροχής Ηγλ. επιβεβαιώνουν το παγκόσμιο περιβαλλοντικό όφελος των τεχνολογιών χαμηλού άνθρακα”

Ο ενεργειακός τομέας έχει τεράστια σχέση με το κλίμα εφόσον επιδράει στις κλιματικές συνθήκες και την ποιότητα της ατμόσφαιρας, κυρίως δια μέσου των εκπομπών που παράγονται κατά την διάρκεια των διαδικασιών παραγωγής ενέργειας και κατανάλωσης ενέργειας. Σύμφωνα με την ΙΕΑ, το 2018, οι παγκόσμιες εκπομπές που συσχετίζονται με το CO₂ αυξήθηκαν κατά 1,7% και έφτασαν το ιστορικό μέγιστο των 33,1 Gt CO₂. Η παραγωγή ενέργειας εξαρτάται ακόμα από τα ορυκτά καύσιμα σε πολλές χώρες παρά το γεγονός ότι η χρήση των ΑΠΕ αυξάνεται διαρκώς. Ο τομέας της μεταφοράς κατέχει επίσης ένα σημαντικό μερίδιο στις συνολικές εκπομπές ΑΤΘ που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, ενώ λοιποί τομείς που συνεισφέρουν στις εκπομπές είναι η γεωργία, η βιομηχανία, ο οικιακός τομέας κλπ.

Η ΕΕ έχει ήδη δημοσιεύσει το νέο ρυθμιστικό νομικό πλαίσιο που θέτει τους νέους στόχους προς επίτευξη για το έτος 2030. Οι στόχοι αναφέρονται σε:

- α) την μείωση των εκπομπών ΑΤΘ κατά 40% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2005
- β) κατ' ελάχιστον 27% μερίδιο της Ανανεώσιμης Ενεργειακής Κατανάλωσης
- γ) την βελτίωση την ενεργειακής απόδοσης
- δ) η ολοκλήρωση της εσωτερικής ενεργειακής αγοράς μέσω του υπάρχοντος στόχου εσωτερικής ηλεκτροδότησης 10% έως το 2020, με όραμα την επίτευξη 15% έως το 2030.

Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί η στενή διασύνδεση του ενεργειακού τομέα με τους υδατικούς πόρους, την χρήση γης και την παραγωγή τροφίμων. Οι τομείς της ενέργειας, του νερού, της εδαφοκάλυψης, του κλίματος και της τροφής μπορούν να θεωρηθούν ως ένα “πλέγμα” όπου ο κάθε τομέας αλληλοεπιδρά με τους υπόλοιπους με φαινόμενα ανάδρασης (M. P Papadopoulos et. Al, 2019).

Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ)

Η ΑΚΖ είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την Περιβαλλοντική Αποτίμηση διαφόρων τεχνολογιών ΑΠΕ

Το σκεπτικό του Κύκλου Ζωής είναι ότι κάθε φάση σε μια ολοκληρωμένη αλυσίδα παραγωγής ενός προϊόντος από την πρώτη ύλη έως το τέλος ωφέλιμης χρήσης/λειτουργίας του (από την κούνια στον τάφο – candle to grave), έχει μια ευθύνη και ένα ρόλο να παίξει στην επιβάρυνση της φύσης, εξαιτίας την κατανάλωσης των φυσικών πόρων, των εκπομπών διαφόρων ουσιών και άλλων ανταλλαγών με το περιβάλλον (π.χ. ακτινοβολία).

Για να μειώσουμε το Περιβαλλοντικό μας αποτύπωμα, τις επιβαρύνσεις μας στο περιβάλλον δηλαδή, απαιτείται να κατανοήσουμε από πού προέρχονται και πως εξελίσσονται τα προϊόντα/συστήματα και οι διεργασίες ενδιαφέροντος. Είναι απαραίτητη η διαδικασία αυτή καθώς τα προϊόντα ή οι διεργασίες πολύ πιθανόν να έχουν διαφορετικές πιέσεις προς την φύση κατά την διάρκεια των διαφορετικών σταδίων του κύκλου ζωής τους (μετάλλαξη ή μετεξέλιξη αυτών).



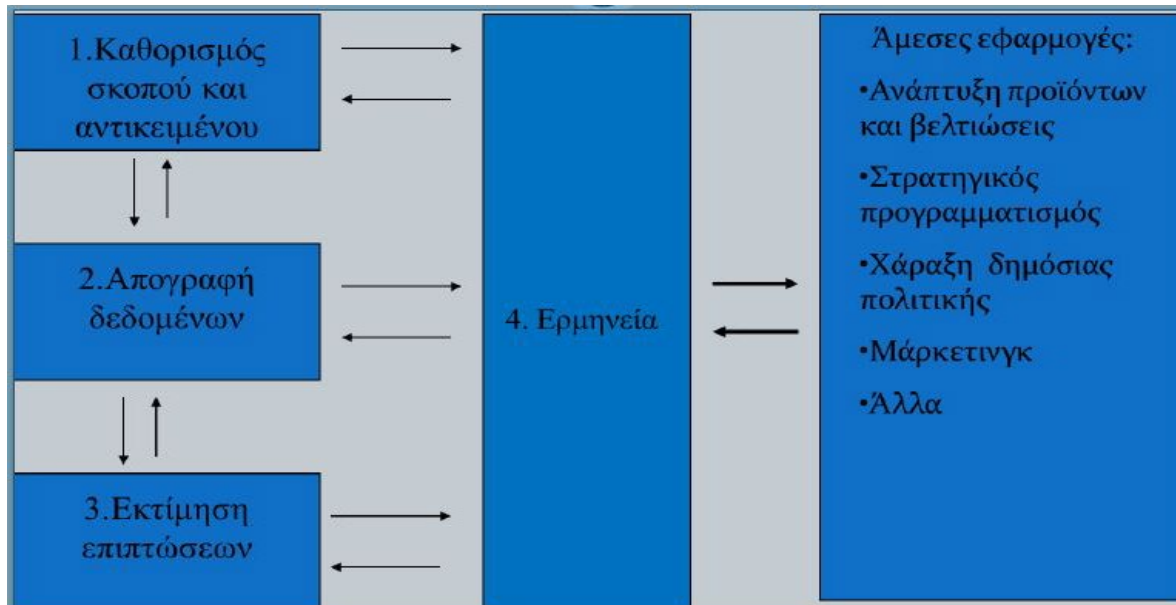
Αποτύπωμα του ανθρώπου στο περιβάλλον: περιγράφει πως οι ανθρώπινες δραστηριότητες καταβάλουν πιέσεις και επιπτώσεις στο κλίμα και στην φύση γενικότερα. Χωρίζονται σε:

- Περιβαλλοντικά
Του Άνθρακα (CF, όπου αφορά το ποσό CO₂ και άλλων ΑτΘ που εκπέμπονται κατά την διάρκεια ενός ολοκληρωμένου κύκλου ζωής ενός προϊόντος), του Νερού (WF), το Ενεργειακό (ENF), του Αζώτου (NF), των Εκπομπών (EMF), της Χρήσης Γης (LF), της Μείωσης της Βιοποικιλότητας (BF) κλπ.
- Κοινωνικοοικονομικά

Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 14040, η ΑΚΖ ορίζεται ως: η μέθοδος αξιολόγησης των περιβαλλοντικών θεμάτων και ενδεχόμενων επιπτώσεων στην φύση που συνδέονται με ένα προϊόν ή διεργασία

Οι Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις (ΠΕ) σχετίζονται με:

- Την κατανάλωση ενέργειας (ΦΤΘ, όξινη βροχή, εξάντληση φυσικών πόρων)
 - Την τοξικότητα που συνδέεται με χρήση αγροχημικών-λιπασμάτων
 - Μείωση της ποιότητας του εδάφους (υποβάθμιση, ρύπανση, διάβρωση, ερημοποίηση κα)
 - Εξάντληση υδατικών αποθεμάτων
 - Μείωση της Βιοποικιλότητας
-
- ✓ Αποτελεί εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και λήψης αποφάσεων, που καταγράφει, ποσοτικοποιεί και συγκρίνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με ένα προϊόν, μια διεργασία ή υπηρεσία
 - ✓ Ολοκληρωμένο εργαλείο πληροφόρησης, με σκοπό την πρόληψη και αποτροπή περιβαλλοντικών πιέσεων στα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος / υπηρεσίας, προσανατολισμένο σε αυτά για την ορθή Διαμόρφωση περιβαλλοντικής Στρατηγικής και επιρροή στα σχέδια παραγωγής και κατανάλωσης. Επιπλέον, αποτρέπει την μεταβίβαση του προβλήματος (όχλησης στο περιβάλλον) από το ένα στάδιο του κύκλου ζωής ενός προϊόντος/διεργασίας σε άλλο σε διάφορους τομείς (εκπομπές, ρύπανση, Α' ενεργειακό περιεχόμενο υλικών κλπ.)



Σχήμα 3.1 Στάδια της Μεθοδολογίας AKZ κατά τα πρότυπα ISO 14040 – 14043

1^{ον} Καθορισμός Σκοπού και Αντικειμένου

- Περιγραφή του συστήματος: υλικά, διεργασίες και προϊόντα που πρέπει να μελετηθούν
- Καθιέρωση Μονάδας Μέτρησης
- Όρια του συστήματος, απαιτούμενο βάθος ανάλυσης
- Κατηγοριοποίηση των ΠΕ
- Καθορισμός των απαιτούμενων δεδομένων καθώς και της ποιότητας αυτών (πηγή δεδομένων, μέθοδος συλλογής, τρόπος παραγωγής και επεξεργασίας τους κλπ.)
- Σημείο αναφοράς για τις εισροές και εκροές που σχετίζονται με το υπό μελέτη σύστημα (π.χ. λειτουργική μονάδα, η οποία ορίζεται ως 1 τόνος ξηρής βιομάζας)
→ και σε αυτή την περίπτωση μας ενδιαφέρει να βρούμε τις εκπομπές στο περιβάλλον από την ή/και τις πρακτικές καλλιέργειας της συγκεκριμένης ξηρής βιομάζας.

Κλιματική αλλαγή = $\text{kgCO}_{2\text{eq}} / \text{tn ξηρής βιομάζας}$

→ π.χ. *Όξυνση* = $\text{kgSO}_{2\text{eq}} / \text{tn ξηρής βιομάζας}$,

Ευτροφισμός = $\text{kg Nox} + \text{PO}^-_{\text{eq}} / \text{tn ξηρής βιομάζας}$

Εξόρυξη ορυκτών πόρων = $\text{kg C}_{\text{eq}} / \text{tn ξηρής μάζας}$

2^{ον} Απογραφή – Ποσοτική Καταγραφή Ροών & Ανταλλαγών Μάζας και Ενέργειας από και προς το Σύστημα

- Συλλογή δεδομένων
- Υπολογισμός περιβαλλοντικών φορτίων σε σχέση με την λειτουργική μονάδα
- Κατηγορίες επιπτώσεων (σημαντικότερες) κατά την αναδίπλωση σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (ΕΙΣΡΟΕΣ → ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ → ΕΚΡΟΕΣ)



3^ο Εκτίμηση Επιπτώσεων: Αντιστοιχεί τα αποτελέσματα της απογραφής στις ΠΕ



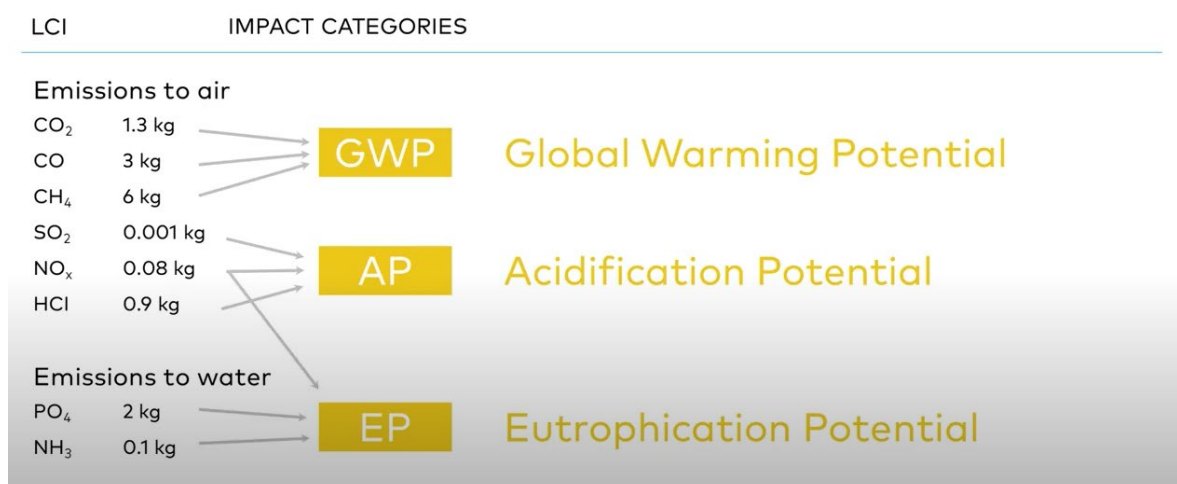
4. Ερμηνεία Αποτελεσμάτων

Είναι το στάδιο κατά το οποίο:

- Τα αποτελέσματα των προηγούμενων σταδίων και όλες οι παραδοχές εξετάζονται και αξιολογούνται από την άποψη της πληρότητας και της ευρωστίας
- Αναγνωρίζονται τα δυνατά και τα αδύναμα σημεία της μελέτης
- Εκπληρώνονται οι στόχοι της μελέτης
- Επιβεβαιώνονται τα αποτελέσματα της εν λόγω μελέτης
- Ανάλυση ευαισθησίας, δημιουργία υποθέσεων
- Προτάσεις για μελλοντική εξέλιξη/μεταβολή



Σχήμα 3.2 LCI: Απογραφή Κύκλου Ζωής & LCIA: Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής



Σχήμα 3.3 Δείκτες των ενδεχομένων επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής, ως προς τις εκπομπές σε περιβαλλοντικά μέσα

Πρακτικό - Εισαγωγικό Παράδειγμα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Παράδειγμα: Η Συναρπαστική Διαδρομή που Κρύβει το.. ΤΥΡΙ

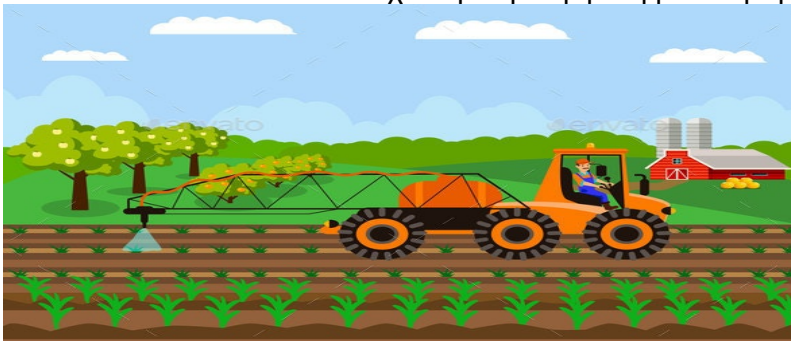


shutterstock.com • 123674986

Ξεκινάει με μια Αγελάδα..



Βασικά, πριν από αυτήν, με την τροφή της (βλάστηση)..
Βασικά ξεκινάει ακόμα πιο πίσω, από το έδαφος και την διαθεσιμότητά/
παραγωγικότητά/γονιμότητά του, τα λιπάσματα και τα εντομοκτόνα, το νερό που έχει
καταναλωθεί ώστε να αναπτυχθεί η συγκεκριμένη βλάστηση..



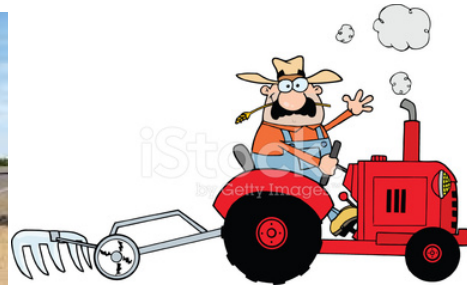
Οι οποίες καλλιέργειες μεταβάλλονται και αποδίδουν συναρτήσει πολλών παραμέτρων,
όπως είναι η τοποθεσία και η γεωμορφολογία, το κλίμα, η κλίση, η μέθοδος άρδευσης, η
πανίδα και η χλωρίδα, η υδρογεωλογία της περιοχής κα..



Επιστρέφοντας και πάλι στην Αγελάδα, η οποία μαζί με την τροφή και το νερό που της
παρέχονται χρειάζεται φάρμακα (αντιβιοτικά), τα οποία είναι δαπανηρά συνήθως και
παράγονται με συγκεκριμένες (ορθές και μη) διαδικασίες παραγωγής από συγκεκριμένες
πρώτες ύλες..



Μπορεί να δίνουν γάλα ως προϊόν αλλά επίσης εκλύουν μεθάνιο σε μεγάλες ποσότητες, το οποίο είναι ΑΤΘ κατά πολλές φορές ισχυρότερο σε σχέση με το CO₂. Το γάλα αυτό που δίνουν οι εκάστοτε φάρμες, μεταφέρεται με κάποιο τρόπο στα εργοστάσια παραγωγής τυριού (Logistics), τα οχήματα αυτά ανάλογα την απόσταση του προορισμού τους έχουν επίσης διαφορετική κατανάλωση καυσίμου, διαφορετικές ενεργειακές απαιτήσεις στο σύστημα συντήρησης (ψύξης) και γενικότερα τεχνολογίες που χρησιμοποιούν για την αποδοτικότητά τους..



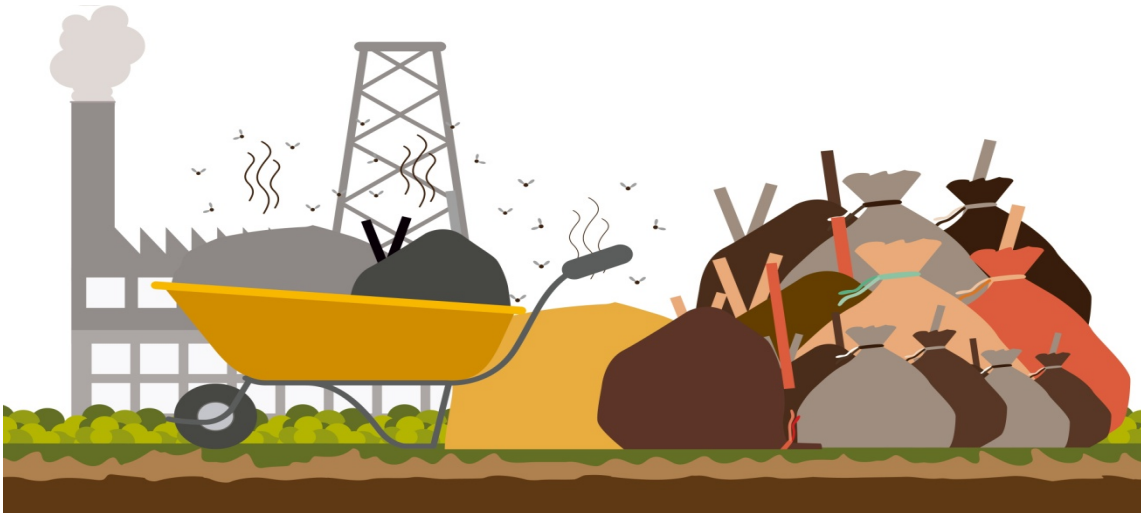
Ενώ, ο αγρότης χρειάζεται ηλεκτρισμό για τις μηχανές γάλακτος και καύσιμα για τα αγροτικά μηχανήματα..

Φτάνοντας στο εργοστάσιο, το οποίο χρησιμοποιεί ενέργεια, η οποία μπορεί να προέρχεται από ρυπογόνους σταθμούς που χρησιμοποιούν άνθρακα, είτε από ηπιότερους έως πολύ φιλικούς προς το περιβάλλον σταθμούς. Επιπλέον χρησιμοποιούν και άλλα υλικά για να επιτευχθεί η παραγωγή του τυριού, τα οποία με την σειρά τους έχουν χαράξει μία πορεία που τα χαρακτηρίζει..

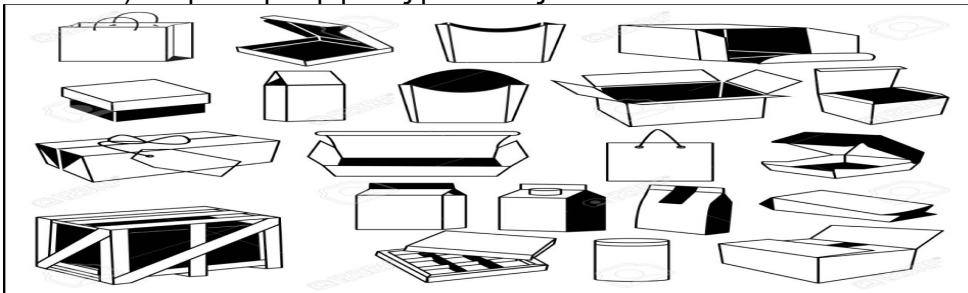




Εν συνεχεία υπεισέρχεται ο παράγοντας των αποβλήτων (τοξικών ή μη) και λυμάτων του εκάστοτε εργοστασίου και ο τρόπος διαχείρισης αυτών που ακολουθεί..



Το πακετάρισμα του τελικού προϊόντος συντίθεται και αυτό από συγκεκριμένες πρώτες ύλες, οι οποίες προέρχονται και ανακτώνται από συγκεκριμένους πόρους (π.χ. δέντρα ή πλαστικό) και με συγκεκριμένες μεθόδους..



Πίσω από όλη αυτή την ιστορία βρίσκεται η προτίμηση των καταναλωτών για τους τύπους προϊόντων και την επακόλουθη επίδραση αυτών προς τον πλανήτη.



Low energy
and water
consumption
processes



Corporate
Sustainability
Management
System



Materials from
Recycling



Processes
without
hazardous
chemicals



Traditional
materials with
low
environmental
impact



Ethical
practices along
the supply
chain



Materials from
responsibly
managed
forests

Κάποιες εταιρείες υπεισέρχονται σε περιβαλλοντικούς ελέγχους και Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (ΣΠΔ) μόνο για την εικόνα και το “τσεκάρισμα” ότι έχουν περάσει από αυτό το στάδιο, αλλά όταν μια εταιρεία αντιληφθεί που βρίσκονται τα “καυτά σημεία” στην διαδρομή ενός προϊόντος, μπορεί να διαχειριστεί τους συσχετιζόμενους



κινδύνους, την εξοικονόμηση πόρων και χρημάτων όπου είναι εφικτό και να καρπωθεί τις ευκαιρίες που ανοίγονται στην αγορά..



Αντιλαμβάνοντας τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος ή/και μιας υπηρεσίας έχουμε την ικανότητα να πάρουμε σωστότερες αποφάσεις, να επιλέξουμε τους κατάλληλους προμηθευτές από τις γεωγραφικά κατανομημένες περιοχές, τα κατάλληλα υλικά και τεχνολογίες με τις αντίστοιχα κατάλληλες συσκευασίες και την ανάλογη διάρκεια ζωής που προσφέρουν.

- ✓ *Ο τρόπος που κατανοούμε τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, είτε μιας εταιρείας, είτε μιας υπηρεσίας μας επιτρέπει να πάρουμε τις σωστές αποφάσεις*
- ✓ *Με τις σωστές αποφάσεις τα προϊόντα τελικής διάθεσης θα γίνονται καταλληλότερα*

3.1. Πληροφορίες για Λογισμικά ΑΚΖ

Τα λογισμικά μοντελοποιούν κάθε στοιχείο ενός προϊόντος ή συστήματος όσον αφορά την προοπτική του κύκλου ζωής, εξοπλίζοντας επιχειρήσεις με τις κατάλληλες αμφίδρομες πληροφορίες ώστε να έχουν την δυνατότητα να λαμβάνουν τις καλύτερες αποφάσεις στην παραγωγή και τον κύκλο ζωής του εκάστοτε προϊόντος από ένα τετράδιο (μικρή κλίμακα) έως ένα εργοστάσιο παραγωγής χάρτου.

Παρέχουν επίσης μια εύκολα προσβάσιμη και συνεχώς ανανεωμένη συμπαγής βάση δεδομένων όπου τεκμηριώνει τα κόστη, την ενέργεια και το περιβαλλοντικό αντίκτυπο της προμήθειας και του εξευγενισμού κάθε πρώτης ύλης ή επεξεργασμένου συστατικού ενός κατασκευασμένου αντικειμένου. Επιπλέον, εξετάζουν τις επιπτώσεις στο περιβάλλον που παρουσιάζονται εναλλακτικές επιλογές για την παραγωγή, διανομή, ανακύκλωση, ρύπανση και αειφορία.

Πλεονεκτήματα και προστιθέμενη αξία Επιχειρήσεων από την χρήση λογισμικού για ΑΚΖ και αειφορίας προϊόντων και υπηρεσιών

Παρέχει απαντήσεις στις πιο απαιτητικές ερωτήσεις βιωσιμότητας ενός προϊόντος, συμβάλλει στα εξής:

- Έρευνα και Ανάπτυξη (R&D), Ανάπτυξη προϊόντος και Σχεδιασμός
- Βιωσιμότητα / Περιβαλλοντικός Τομέας
- Εμπόριο και Επικοινωνία
- Λειτουργίες και Διεργασίες
- Αλυσίδα Προμηθειών



Αποτελεί νέας γενιάς λύση για την βιωσιμότητα των προϊόντων, με την πανίσχυρη μηχανή Εκτίμησης Κύκλου Ζωής για την στήριξη των παρακάτω επιχειρηματικών εφαρμογών:

Εκτίμηση Κύκλου Ζωής

- Σχεδιασμός για το Περιβάλλον: ανάπτυξη προϊόντων που να συναντούν περιβαλλοντικά πρότυπα
- Επίδοση φιλική προς το περιβάλλον: μείωση υλικών, ενέργειας και χρήσης πόρων
- Οικολογικός Σχεδιασμός: ανάπτυξη προϊόντων με ηπιότερα περιβαλλοντικά αποτυπώματα, όπως λιγότερες εκπομπές ΑτΘ, με μειωμένη κατανάλωση υδατικών πόρων και μειωμένα απόβλητα
- Αποδοτικές αλυσίδες αξίας: Ενίσχυση της αποτελεσματικότητας των αλυσίδων αξίας (π.χ.) R&D, σχεδιασμός, παραγωγή, προμηθευτές, διανομή και μεταφορές

Κόστος Κύκλου Ζωής

- Μείωση κόστους: σχεδίαση και βελτιστοποίηση προϊόντων και διεργασιών με σκοπό την μείωση του κόστους

Αναφορά Κύκλου Ζωής

- Βιώσιμη Αγορά Προϊόντων: Κατάλληλες ετικέτες και αξιώσεις των βιώσιμων προϊόντων, Περιβαλλοντικές Δηλώσεις Προϊόντων (EPDs)
- Αναφορά Βιωσιμότητας: Περιβαλλοντική Επικοινωνία και αναφορά βιωσιμότητας του εκάστοτε προϊόντος
- Διασπορά γνώσης που αφορά την ΑΚΖ: αναφορά και ανάλυση για εσωτερικά τμήματα, διαχείριση και αλυσίδα προμηθειών

Περιβάλλον Εργασίας

- Υπεύθυνη Παραγωγή: ανάπτυξη διαδικασιών παραγωγής που ταυτίζονται με κοινωνικές ευθύνες
Τρία βήματα για την βιώσιμη επιτυχία προϊόντος:
 1. Χαρτογράφηση των επιδράσεων ενός προϊόντος, περιλαμβάνοντας τους όρους του άνθρακα, του νερού, των εκπομπών, των αποβλήτων, των υλικών και φυσικών πόρων, του κοινωνικού αντίκτυπου, τα κόστη, την υγεία και την ασφάλεια, μέσα από την αλυσίδα προμηθειών και τον κύκλο ζωής του.
 2. Αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων για το προϊόν ή σύγκριση διαφορετικών προϊόντων σε συνεργασία με κατάλληλα άτομα.
 3. Βελτιστοποίηση του προϊόντος εισάγοντας τον πιο αειφορικό σχεδιασμό που δύναται για το προϊόν και επικοινωνία των διαπιστευτηρίων (credits) μέσω αναφορών και αρμόδιων παραγόντων.

Οδηγεί την αειφορική επίδοση του προϊόντος μέσω του σχεδιασμού και του προγραμματισμού, παρέχοντας μοντελοποίηση, αναφορά και διαγνωστικά εργαλεία Βάσεις δεδομένων του λογισμικού :

- Εγκυκλοπαιδικά δεδομένα
- Ετήσια ενημέρωση/αναβάθμιση
- Δεδομένα πραγματικού κόσμου και συνθηκών



- Πάνω από 9.000 προφίλ (με ακριβή και σχετικά δεδομένα σημαίνει ότι αναπτύσσεται η δυνατότητα ταχείας εκτίμησης επιδράσεων, αναγνώριση καυτών σημείων και βελτιστοποίηση της αειφορικής επίδοσης)
- Εσωτερική Συνοχή (εργασία με δεδομένα από διαφορετικούς τομείς, με την σιγουριά για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων)
- Περιεκτικότητα Δεδομένων

Το λογισμικό συνδυάζει την μοντελοποίηση και την αναφορά, τα περιεχόμενα δεδομένων και εμπειρογνωμοσύνη με σκοπό την οικονομία του χρήματος, βελτιώνει το όνομα μίας εταιρείας στην αγορά και μειώνει τον ρίσκο των αποφάσεων που λαμβάνονται. Επιτρέπει στους χρήστες να αξιολογήσουν τα δυνητικά περιβαλλοντικά φορτία ενός προϊόντος είτε υπηρεσίας κατά την παραγωγή αυτού, την χρήση και την απόθεση (τέλος ωφέλιμης ζωής), οδηγεί στην αειφορική απόδοση των προϊόντων/υπηρεσιών μέσω του σχεδιασμού και του ορθολογικού προγραμματισμού.

Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Organization for Standardization) ISO, η AKZ ορίζεται από το ISO 14044 Standards ως:

η κατάρτιση και αξιολόγηση των εισροών/εκροών καθώς και οι δυνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός προϊόντος/υπηρεσίας κατά την διάρκεια ζωής του

Ο οργανισμός ISO συνεργάζεται στενά με την Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (International Electrotechnical Commission) IEC σε όλα τα θέματα της ηλεκτροτεχνικής τυποποίησης. Οι δημοσιεύσεις ως Διεθνής Τυποποίηση απαιτούν έγκριση τουλάχιστον από τα 3/4 των μελών – οργάνων που παίρνουν μέρος στην ψηφοφορία. Η πρώτη έκδοση του ISO 14044, μαζί με το ISO 14040:2006, ακυρώνουν και αντικαθιστούν τα ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000 και του ISO 14043:2000, τα οποία έχουν τεχνικά αναθεωρηθεί. Η αυξημένη προσοχή στην σημαντικότητα την προστασίας της φύσης, και οι πιθανές επιπτώσεις όπου συσχετίζονται με προϊόντα, παραγόμενα και καταναλισκόμενα, έχει αυξημένο ενδιαφέρον στην ανάπτυξη μεθόδων για την καλύτερη κατανόηση και ταξινόμηση αυτών των επιπτώσεων. Μία από τις τεχνικές όπου έχει αναπτυχθεί για χάρη αυτού του σκοπού είναι η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ).

Η AKZ μπορεί να βοηθήσει :

- Στον εντοπισμό ευκαιριών για την βελτίωση την περιβαλλοντικής επίδοσης προϊόντων σε ποικίλα σημεία του κύκλου ζωής τους
- Στην πληροφόρηση ατόμων όπου συσχετίζονται με την λήψη αποφάσεων στην βιομηχανία, την κυβέρνηση και σε ΜΚΟ (π.χ. για στρατηγικό σχεδιασμό, ορισμό προτεραιοτήτων, σχεδιασμό προϊόντος / διαδικασίας παραγωγής ή/και επανασχεδιασμό)
- Στην επιλογή σχετικών δεικτών περιβαλλοντικής επίδοσης, συμπεριλαμβανομένων τεχνικών μέτρησης κλπ.
- Στην Αγορά (π.χ. εφαρμογή και προώθηση ετικέτας με οικολογικό σήμα)



Η ΑΚΖ εξετάζει τις περιβαλλοντικές πτυχές και τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (χρήση πόρων και περιβαλλοντικές συνέπειες των εκπομπών) καθόλη την διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος από την απόκτηση της πρώτης ύλης δια μέσου της παραγωγικής διαδικασίας, χρήσης, την μεταχείριση στο τέλος ζωής του, ανακύκλωση και τελική απόθεση.

Υπάρχουν τέσσερις φάσεις σε μία μελέτη ΑΚΖ (προϊόντος/συστήματος/διαδικασίας):

- a) Ο προσδιορισμός στόχου και σκοπού
- b) Η ανάλυση αποθεμάτων
- c) Η εκτίμηση των επιπτώσεων και
- d) Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Ο σκοπός, συμπεριλαμβανομένων των ορίων του συστήματος και του βαθμού λεπτομέρειας μίας ΑΚΖ, εξαρτάται από το θέμα και από τον προορισμό χρήσης της μελέτης. Το βάθος και το εύρος της ΑΚΖ μπορεί να διαφέρει αρκετά σε συνάρτηση με τον στόχο της εκάστοτε ιδιαίτερης ΑΚΖ.

Η φάση ανάλυσης αποθεμάτων κύκλου ζωής (Life Cycle Inventory Analysis - LCI) έρχεται δεύτερη σε μία ΑΚΖ. Θεωρείται ως ένα αποθετήριο εισροών/εκροών δεδομένων με συνεκτικότητα στο υπό μελέτη σύστημα. Εμπλέκει την συλλογή των δεδομένων, τα οποία είναι απαραίτητα για να συναντήσουμε τους στόχους της ορισμένης μελέτης.

Η φάση εκτίμησης επιπτώσεων του κύκλου ζωής (Life Cycle Impact Assessment – LCIA) έρχεται τρίτη σε μία ΑΚΖ. Ο σκοπός μίας LCIA είναι να παρέχει επιπλέον πληροφορίες για να βοηθήσει στην εκτίμηση των αποτελεσμάτων της LCI ενός συστήματος προϊόντος, έτσι ώστε να κατανοήσουμε καλύτερα την περιβαλλοντική τους σημασία.

Η ερμηνεία του κύκλου ζωής έρχεται ως τελευταία φάση στην διαδικασία της ΑΚΖ, στην οποία τα αποτελέσματα μίας LCI ή μίας LCIA, ή και των δύο συνίστανται και συζητιούνται ως βάση συμπερασμάτων, προτάσεων και για την λήψη αποφάσεων σε συμφωνία με τον στόχο και τον σκοπό που έχουν προσδιοριστεί.

ΑΚΖ για Μονάδες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΜΠΗΕ):

Τα στάδια τα οποία θα πρέπει να περιλαμβάνει μια ΑΚΖ, για την καταγραφή και μελέτη των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (ΑΤΘ) → με κύριο δείκτη το CO₂ από ενεργειακά συστήματα σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία είναι τα εξής:

- α) ανεύρεση, εξόρυξη και επεξεργασία ενεργειακών φυσικών πόρων
- β) εξόρυξη 1^{ων} υλών για την κατασκευή των υποδομών του σταθμού παραγωγής
- γ) κατασκευή της εκάστοτε τεχνολογίας ηλεκτροπαραγωγής
- δ) μεταφορά των καυσίμων
- ε) άλλη συναφή δραστηριότητα που αφορά μεταφορές π.χ. για τον παροπλισμό της μονάδας και την ανακύκλωση κάποιων υλικών της
- στ) απώλειες ενέργειας σε θερμότητα
- ζ) διαχείριση των αποβλήτων

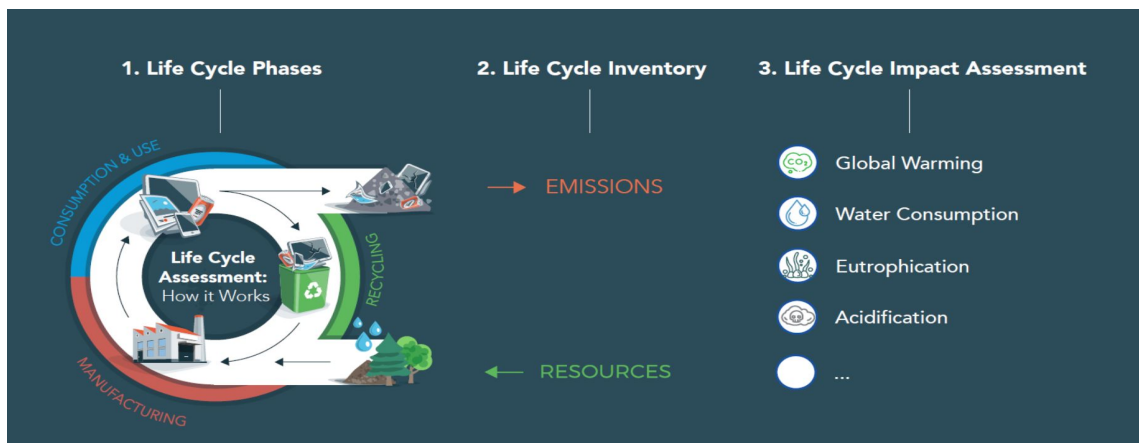


Τα ενεργειακά συστήματα εκπέμπουν ΑτΘ και έτσι συνεισφέρουν στον ανθρωπογενές κομμάτι του Φαινομένου του Θερμοκηπίου (ΦΤΘ). Οι εκπομπές αυτές, προέρχονται από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής της κάθε μονάδας αλλά και από τον κύκλο ζωής του καυσίμου που χρησιμοποιούν.

- ✓ Ο αντικειμενικός σκοπός μιας ΑΚΖ, είναι να εντοπίζει και να κατατάσσει τις διάφορες περιβαλλοντικές πιέσεις σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής και όχι να τις μετακυλήσει από το ένα στάδιο στο άλλο
- ✓ Καταλληλόλητα ΜΠΗΕ (συμβατική, συνδυασμένου κύκλου είτε ΑΠΕ) για κάλυψη φορτίων αιχμής – φορτίων βάσης, εφόσον η θερμική απόδοση αυξάνεται ανάλογα με τον συντελεστή φορτίου
- ✓ Οι κύριες εκπομπές ΑτΘ από μονάδες Ηλεκτροπαραγωγής ΑΠΕ, οφείλονται κυρίως στα στάδια της παραγωγής των εξαρτημάτων και της εξόρυξης των 1^{ων} υλών για την κατασκευή τους

Τα φωτοβολταϊκά απαιτούν από 11 έως 40 φορές περισσότερο χαλκό απ' ό τι οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας, ενώ αντίστοιχα οι ανεμογεννήτριες χρειάζονται 14 φορές περισσότερο σίδηρο

«Η παραγωγή δύο ετών χαλκού και ενός έτους σιδήρου αρκεί για να οικοδομήσει ένα ενεργειακό σύστημα χαμηλού άνθρακα, ικανό να προμηθεύσει τις παγκόσμιες ανάγκες ηλεκτρικού ρεύματος το 2050», αναφέρουν οι Edgar Hertwich and Thomas Gibson. Παρ' όλα αυτά είναι φανερό πως χρειάζεται μεγάλη περίσκεψη στην κατανάλωση των φυσικών πόρων, ειδικά του χαλκού. **Το κύριο μέτωπο παραμένει η εξοικονόμηση ενέργειας και η αποδοτικότητα των συστημάτων.**



Σχήμα 3.4 Ανάδραση μεταξύ της ΑΚΖ και των σταδίων της



4. Δυναμικό Παραγωγής στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, η παραγωγή της Εηλ. από την ΔΕΗ, βασίζεται κυρίως στην καύση του λιγνίτη, ο οποίος είναι άμεσα διαθέσιμος στην ελληνική επικράτεια. Εντούτοις, η ρύπανση του περιβάλλοντος από την καύση του λιγνίτη είναι εξαιρετικά υψηλή. Ειδικότερα, ο μέσος συντελεστής εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, από το συνολικό σύστημα παραγωγής της ΔΕΗ, ήταν 1,3kg/kWh το 1990, μειώθηκε στο 1kg/kWh το 2008, με στόχο να περιοριστεί στα 0,9kg/kWh το 2015. Εξακολουθεί όμως να είναι από τους μεγαλύτερους στην Ευρώπη.

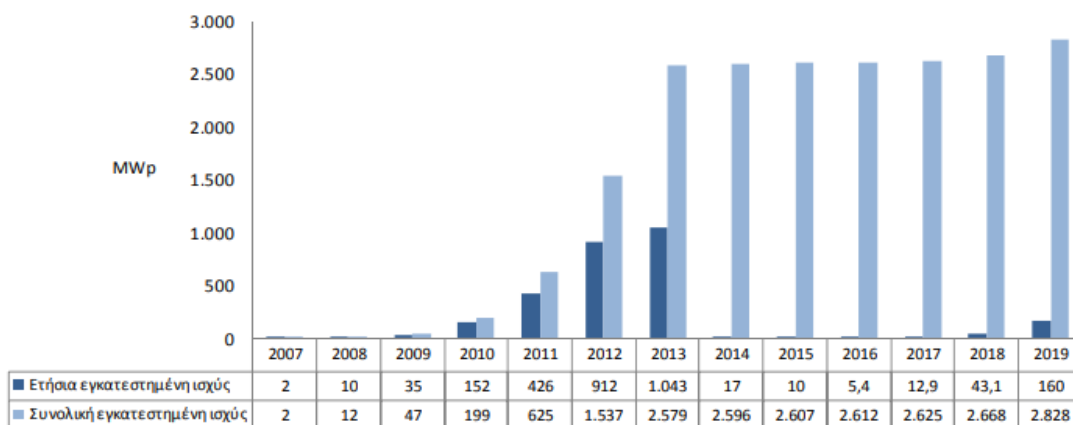
Εν έτη 2018 και πριν, ο Όμιλος Κοπελούζου, μέσω των "Piritium A.E." και "Silcio A.E." διέθετε δύο εργοστάσια στην βιομηχανική περιοχή της Πάτρας για την παραγωγή φ/β κυψελών και πλαισίων πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Η PIRITIUM A.E. χρησιμοποιούσε κατάλληλο για Φ/Β εφαρμογές πυρίτιο (SoGSi) με σκοπό την παραγωγή περίπου 33 MWp πλακιδίων πολυκρυσταλλικού πυριτίου (wafers), η SILCIO A.E. είχε την ικανότητα παραγωγής φωτοβολταϊκών κυψελών (cells) ισχύος 30 MWp και φωτοβολταϊκών πλαισίων (modules) ισχύος 24 MWp. Τον Μάιο του 2018 ανακοινώθηκε η πώληση των προαναφερθέντων εταιρειών – εργοστασίων παραγωγής Φ/Β σε τούρκικη εταιρεία. *Ο διευθύνων σύμβουλος της τουρκικής εταιρείας ανέφερε ως αιτία διακοπής της παραγωγής Φ/Β των ελληνικών εργοστασίων, τα οποία κατείχαν μία οκταετή παρουσία, στον αθέμιτο ανταγωνισμό των Κινεζικών εργοστασίων παραγωγής Φ/Β.*

Οριστικά στατιστικά στοιχεία ελληνικής αγοράς φωτοβολταϊκών για το 2018

Το 2018 ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση όλων των φωτοβολταϊκών σταθμών (πλην ενός) που προκρίθηκαν από τον πιλοτικό διαγωνισμό του Δεκεμβρίου 2016, ενώ η αγορά των συστημάτων αυτοπαραγωγής παρουσίασε μια αύξηση 11,8% σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά, παραμένοντας πάντως σε επίπεδα σημαντικά χαμηλότερα του δυναμικού της χώρας. Για ακόμη μια χρονιά, τα φωτοβολταϊκά κάλυψαν περίπου το 7% των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια, φέρνοντας την Ελλάδα στην τέταρτη θέση διεθνώς (μετά από Ονδούρα, Ιταλία και Γερμανία) σε ότι αφορά στη συμβολή των φωτοβολταϊκών στη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (πηγή ΣΕΦ, 03/2019).



Ελληνική αγορά φωτοβολταϊκών



Πίνακας 4.1 Ελληνική αγορά Φ/Β 2007 – 2019

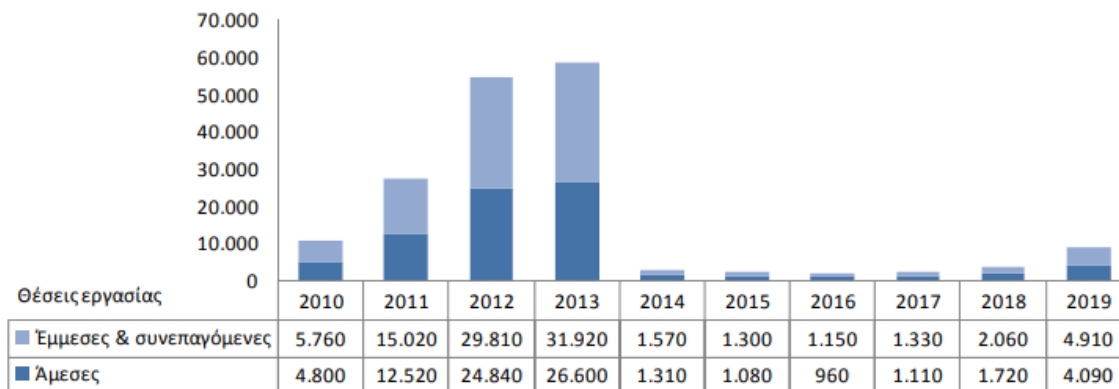
Το 2018, η αγορά φωτοβολταϊκών συντήρησε 3.700 ισοδύναμες θέσεις πλήρους απασχόλησης (άμεσες, έμμεσες και συνεπαγόμενες), ενώ, το 2019 συντήρησε κοντά στις 9.000 ισοδύναμες θέσεις πλήρους απασχόλησης. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε την έξαρση των Φ/Β που υπήρξε της 4ετίας από το 2010 έως το 2013, κατά την οποία υπερκαλύφθηκε και ο στόχος της ΕΕ για το 2020. Ο κλάδος αναδεικνύει επίσης τη σημασία των μικρής κλίμακας έργων στην τοπική ανάπτυξη. Το 2016, για παράδειγμα, οι εγκαταστάσεις μικρών φωτοβολταϊκών επί στεγών στην ΕΕ παρείχαν τριπλάσιες θέσεις εργασίας και καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ) από τις αντίστοιχες μεγάλες εγκαταστάσεις επί εδάφους. Αυτό οφείλεται στο ότι οι μικρές εγκαταστάσεις απαιτούν περισσότερο εργατικό δυναμικό για την εγκατάσταση και συντήρηση των συστημάτων. Επιπλέον, το 75% των θέσεων εργασίας στα φωτοβολταϊκά αφορούν τοπική απασχόληση.

Οι άμεσες θέσεις εργασίας και η άμεση ΚΠΑ αφορούν αποκλειστικά τον κλάδο των φωτοβολταϊκών (παραγωγή εξοπλισμού, εγκατάσταση, λειτουργία και συντήρηση), ενώ οι έμμεσες άλλους κλάδους (π.χ. μεταφορά εξοπλισμού, κατασκευή εξειδικευμένου εξοπλισμού, υπηρεσίες).

- ✓ Βάση του ΣΕΦ, τα Φ/Β Συστήματα δημιουργούν τις περισσότερες θέσεις εργασίας από όλες τις ΑΠΕ. Καθίστανται δηλαδή, ο μεγαλύτερος εργοδότης της πράσινης ενέργειας



Φωτοβολταϊκά και θέσεις εργασίας



²⁰ Πίνακας 4.2 Θέσεις εργασίας στον τομέα των Φ/Β Συστημάτων για την περίοδο 2010 – 2019

4.1. Εθνική Αυτονομία

Το ουσιώδες όμως θέμα είναι να σταματήσουμε να εκμεταλλευόμαστε την υγεία εκατοντάδων χιλιάδων κατοίκων των λιγνιτικών περιοχών (που πνίγονται απ' τους ρύπους του άνθρακα και των εξ' αυτού παραγώγων), κι εκατομμυρίων κατοίκων πόλεων που αδυνατούν να απολαύσουν καθαρή και φθηνή ενέργεια ηλεκτρικών αυτοκινήτων, λόγω της δουλείας μας στο πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο. Το θέμα επίσης είναι ν' απαλλαγούμε από την εξωφρενική ενεργειακή εξάρτηση της χώρας από το εξωτερικό: 70% της ενέργειάς²¹ μας εισάγεται από άλλα κράτη – κατά 50% υψηλότερο από τον μέσον ευρωπαϊκό όρο. Όσον αφορά την Εηλ. (βλ. Πίνακα 4.4) περί του 1/5 ετησίως εισάγεται από άλλα κράτη. Το σκάνδαλο τούτο συνιστά κίνδυνον εθνικόν, συγκρίσιμο με τα χειρότερα σενάρια του εξ ανατολών κινδύνου, σε περίπτωση ανατάραξης της γεωπολιτικής μας κατάστασης μεταξύ των γειτονικών μας κρατών. Το κυριότερο όμως όλων είναι να μην εξαρτόμαστε από άλλα κράτη για την ενεργειακή μας επάρκεια.

Στην ενεργειακή μετάβαση της χώρας και στις προσπάθειες να μειωθεί η εξάρτησή της Ελλάδας από τον άνθρακα αναφέρθηκαν οι: Ανδρέας Σιάμισης, Διευθύνων Σύμβουλος στα ΕΛΠΕ και Κωνσταντίνος Ξιφαράς Διευθύνων Σύμβουλος της ΔΕΠΑ. Όπως εξήγησε, όταν μιλάμε για απεξάρτηση από τον άνθρακα, εννοούμε τρεις βασικές περιοχές, την χρήση ενέργειας των καταναλωτών, την προμήθεια ενέργειας και την μετατροπή ενέργειας από μια μορφή σε μια άλλη. Τονίζοντας πως «η μείωση του

²⁰ Ο υπολογισμός των άμεσων θέσεων εργασίας ανά εγκατεστημένο μεγαβάτ (MWp) γίνεται με χρήση της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε για λογαριασμό της Διεθνούς Συνομοσπονδίας Εργατικών Συνδικάτων, τα αποτελέσματα της οποίας επιβεβαιώνονται και από αντίστοιχους υπολογισμούς του Διεθνούς Οργανισμού για τις ΑΠΕ (IRENA) αλλά και των μεθοδολογιών που ακολουθούνται στις ΗΠΑ. Οι θέσεις αυτές εργασίας δημιουργούνται τόσο τοπικά (στον τόπο εγκατάστασης του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής) όσο και υπερτοπικά (ειδικά για την παραγωγή του εξοπλισμού). Για τον υπολογισμό συνεπώς των θέσεων εργασίας σε επίπεδο χώρας, συνυπολογίσαμε το ποσοστό του εξοπλισμού που παράγεται σε εθνικό επίπεδο και δεν εισάγεται από τρίτη χώρα

²¹ Το ποσοστό αυτό δεν αφορά μόνο την Εηλ. Αφορά όλους τους ενεργειακούς πόρους, όπως τα καύσιμα



ενεργειακού μας αποτυπώματος είναι ο μόνος δρόμος προς τα εμπρός». «Το φυσικό αέριο είναι το πιο φιλικό προς το περιβάλλον από τα συμβατικά καύσιμα, παρέχει υψηλή απόδοση, είναι πολύ ανταγωνιστικό σε σχέση με τα υπόλοιπα καύσιμα και διαθέτει ολοκληρωμένη και ασφαλή λύση για την αποθήκευσή του ενώ μπορεί να δράσει συμπληρωματικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρέχοντας σταθερότητα στο σύστημα», Σύμφωνα μάλιστα με στοιχεία έρευνας που παρέθεσε «η αντικατάσταση των λιγνιτικών μονάδων για ηλεκτρισμό και θέρμανση από μονάδες φυσικού αερίου θα μείωνε τις εκπομπές άνθρακα κατά 10% στους τομείς αυτούς, ενώ ακόμα κι αν όλη η παραγωγή ηλεκτρισμού από λιγνίτη σταματούσε μέσα σε έναν χρόνο, η εγχώρια παραγωγή φυσικού αερίου θα μπορούσε να καλύψει την ζήτηση». Παράλληλα ανέφερε ότι οι υποδομές του φυσικού αερίου θα πρέπει να αναπτυχθούν περαιτέρω για να καλύψουν περιοχές που τώρα εξαρτώνται από τον λιγνίτη και άλλα καύσιμα και για να υποστηρίξουν μελλοντικά και την μεταφορά υδρογόνου.

Η ενεργειακή μετάβαση είναι μια μακρά διαδικασία, θα έχει όμως μεγάλα πλεονεκτήματα για τους πολίτες, ανέφερε από πλευράς του ο κ. Αριστοτέλης Χαντάβας, Επικεφαλής Ευρώπης της Enel Green Power αφού με τον τρόπο αυτό θα δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις για οικονομική ενέργεια ενώ θα συμβάλλει και στην κλιματική αλλαγή. Παράλληλα τόνισε την σημασία του να «βασισόμαστε στις δικές μας πηγές ενέργειας γιατί με τον τρόπο αυτό θα διασφαλίσουμε την εθνική μας αυτονομία» (Πηγή energia.gr).

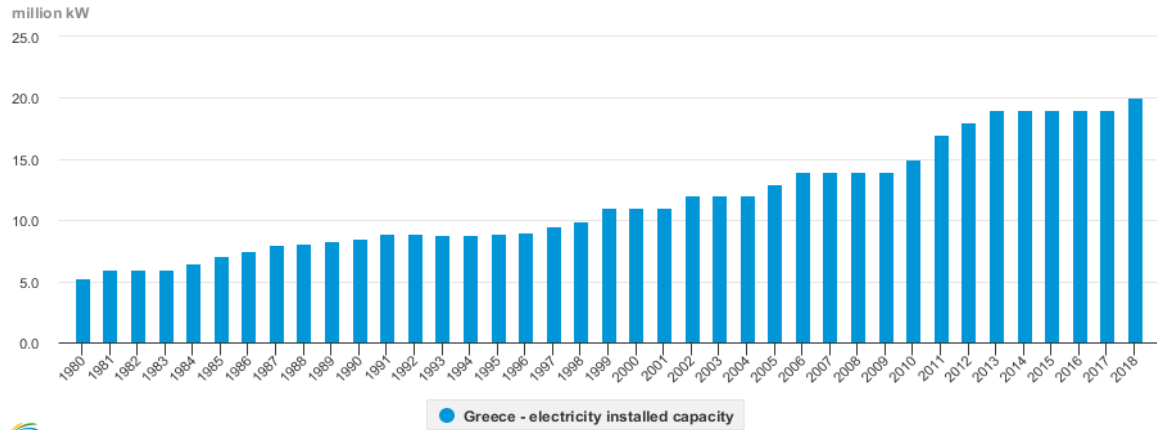
ΔΕΙΚΤΕΣ	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Εισαγωγή Ηλεκτρισμού (billion kWh)	5,8	9,5	11	9,8	8,7	8,6	11
Εξαγωγή Ηλεκτρισμού (billion kWh)	3,9	0,6	1,5	1	2,5	2,3	1,1
Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας (quad Btu)	1,132	1,125	1,134	1,118	1,168	1,169	-
Πρωτογενής Κατανάλωση - net consumption (billion kWh)	53	53	54	57	58	51	54

Πίνακας 4.3 Πηγή <https://www.eia.gov/international/data/world>

- ✓ Βάση του Εθνικού Γραφείου Ενέργειας (ΕΙΑ), στο ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας, για το έτος 2018, οι ΑΠΕ συνέβαλλαν στο 26% της συνολικής ζήτησης ενέργειας, δηλαδή λίγο περισσότερο από το ¼ της εθνικής κατανάλωσης ενέργειας προήλθε από ηπιότερες τεχνολογίες προς την φύση και τον άνθρωπο.
- ✓ Στο σχήμα 4.4, όπου απεικονίζεται η συνολική παραγωγή Εηλ. από ΑΠΕ (TWh) σε ετήσια βάση στην Ελλάδα για χρονοσειρά από το 1980 (πηγή eia), μπορούμε να δούμε την θετική αυξητική συμβολή των ΑΠΕ στο συνολικό ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας, όπου εν έτη 2019 (~ 17 TWh) συνέβαλε κοντά στα 3/10 της συνολικής ενεργειακής ζήτησης, με συνολική πρωτογενή κατανάλωση κοντά στις 54 TWh.



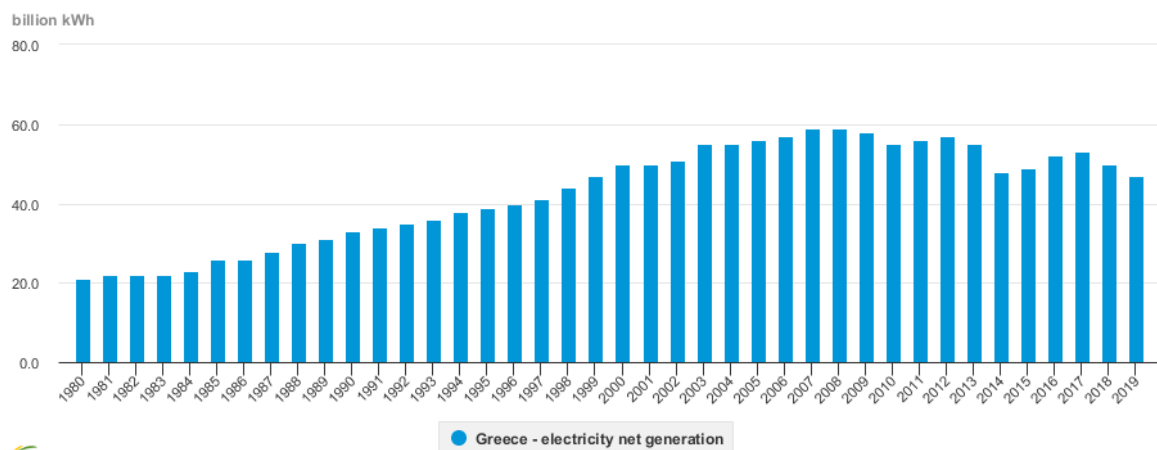
Total Electricity Capacity Annual



eia Source: U.S. Energy Information Administration

Σχήμα 4.1 Συνολική Χωρητικότητα (GWp) Ηλεκτρισμού σε ετήσια βάση στην Ελλάδα για χρονοσειρά από το 1980 (πηγή eia)

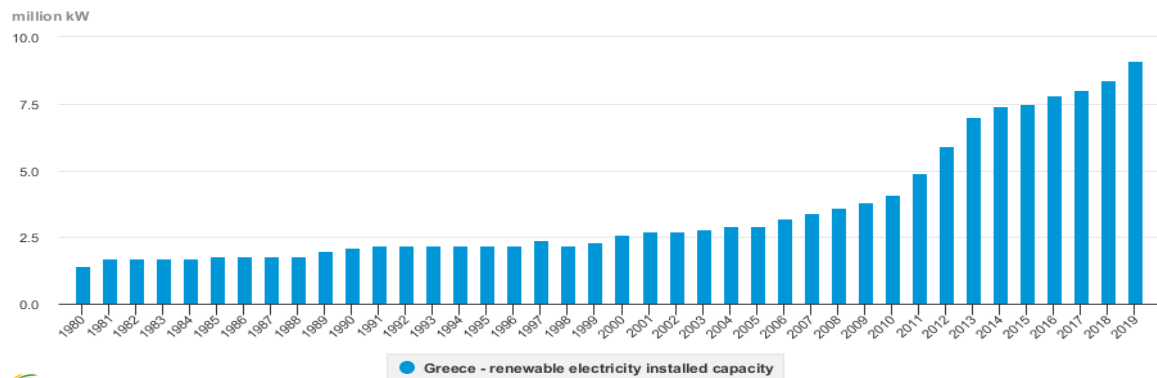
Total Net Generation Annual



eia Source: U.S. Energy Information Administration

Σχήμα 4.2 Συνολική Καθαρή Παραγωγή Εηλ. (TWh) σε ετήσια βάση στην Ελλάδα για χρονοσειρά από το 1980 (πηγή eia)

Total Renewables Annual

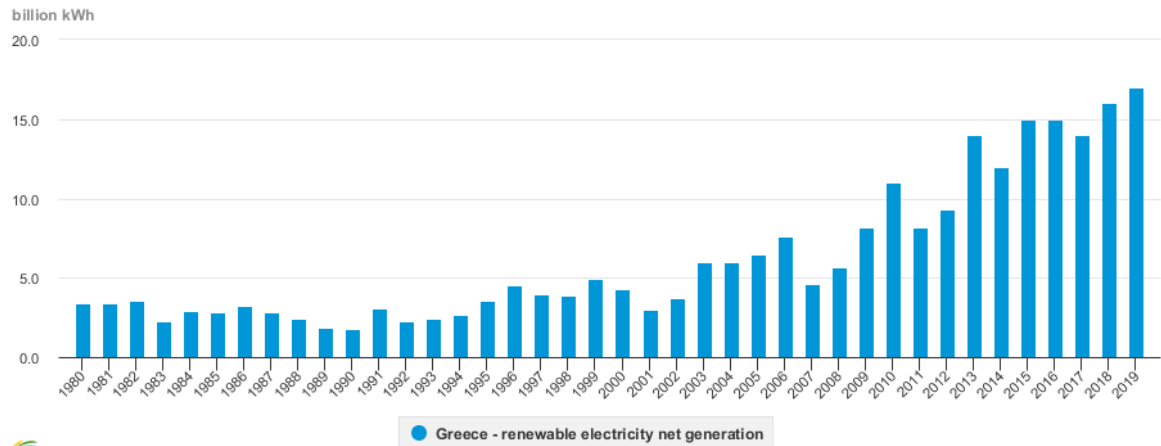


eia Source: U.S. Energy Information Administration

Σχήμα 4.3 Συνολική Χωρητικότητα ΑΠΕ (GWp) Εηλ. σε ετήσια βάση στην Ελλάδα για χρονοσειρά από το 1980 (πηγή eia)



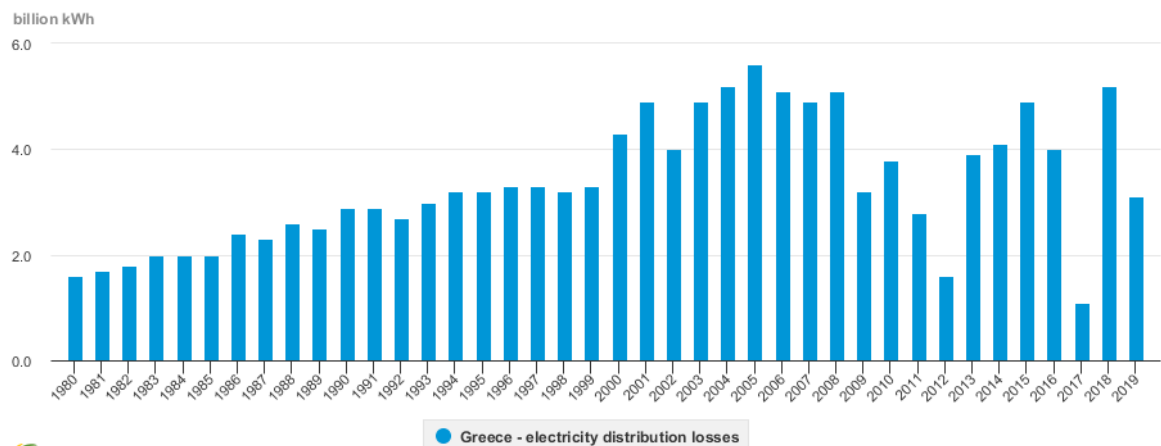
Total Renewables Annual



Source: U.S. Energy Information Administration

Σχήμα 4.4 Συνολική Παραγωγή Εηλ. από ΑΠΕ (TWh) σε ετήσια βάση στην Ελλάδα για χρονοσειρά από το 1980 (πηγή eia)

Total Distribution Losses Annual



Source: U.S. Energy Information Administration

Σχήμα 4.5 Συνολικές Απώλειες Διανομής Εηλ. (TWh) ετησίως στην Ελλάδα για χρονοσειρά από το 1980 (πηγή eia)



4.2. Μείωση Μεταφορικών

Τα καύσιμα στις μεταφορές

Έχει υπολογιστεί ότι στις χώρες της ΕΕ, για το έτος 2003, μερίδιο περίπου 30% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας αντιστοιχούσε στον τομέα των μεταφορών, ενώ όπως διαπιστώθηκε η τάση αυτή είναι αυξητική και ότι από το συγκεκριμένο μερίδιο κοντά στο 95% αντιστοιχούσε στην κατανάλωση παραγώγων πετρελαίου. Οι μεταφορές στις μέρες μας, είτε αφορούν ανθρώπους είτε εμπορεύματα, διακρίνονται σε τρεις διακριτές κατηγορίες, τις επίγειες χερσαίες, τις θαλάσσιες και τις εναέριες. Οι τελευταίες δύο, με εξαίρεση ελάχιστων περιπτώσεων, χρησιμοποιούν κοινή πηγή ενέργειας τα συμβατικά υγρά καύσιμα (μαζούτ και κηροζίνη συνήθως, αντίστοιχα), τα οποία είναι προϊόντα διύλισης πετρελαίου. Οι μεταφορές επί του εδάφους (επίγειες), μπορούν να διαφοροποιηθούν στην πηγή ενέργειας τους έναντι των άλλων δύο, δηλαδή τα συμβατικά καύσιμα δεν αποτελούν την μοναδική πηγή. Βέβαια κατέχουν το μεγαλύτερο μέρος, αλλά σε αυτή την κατηγορία μεταφορών δύναται η μεγαλύτερη διείσδυση στο ενεργειακό τους μείγμα και λοιπών πηγών ενέργειας, όπου με την πάροδο του χρόνου το ποσοστό αυτό μεγαλώνει όλο και περισσότερο.

Η εξοικονόμηση ενέργειας στις μεταφορές

Τρεις είναι οι βασικοί άξονες γύρω από τους οποίους θα πρέπει να στραφούμε για να επιτύχουμε θετικά αποτελέσματα στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας στις μεταφορές:

- Ορθολογική, επιλεκτική και βέλτιστη χρήση των διαθέσιμων μέσων μεταφοράς (περπάτημα, ποδήλατο, χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς, εκμετάλλευση της βέλτιστης μεταφορικής ικανότητας ενός οχήματος μεταφοράς)
- Χρήση οχημάτων τα οποία ενσωματώνουν τεχνολογίες υψηλής απόδοσης (υψηλή απόδοση σημαίνει καλύτερη εκμετάλλευση της καταναλισκόμενης ενέργειας, παραλαβή περισσότερης ωφέλιμης ενέργειας από την ούτως ή άλλως καταναλισκόμενη)
- Οικολογική/ οικονομική οδήγηση με την έννοια της ελαχιστοποίησης της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά επιβάτη και χιλιόμετρο διανυθείσας απόστασης (χρήση μεγάλης σχέσης μετάδοσης που συνδέεται με χαμηλές στροφές κινητήρα και κατά το δυνατόν σταθερή ταχύτητα χωρίς απότομες αυξομειώσεις)

Οφέλη από την εξοικονόμηση καυσίμων

- Μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και τους εξωγενείς ενεργειακούς πόρους και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου
- Μείωση του κόστους μεταφοράς, με άμεση συνέπεια στην αύξηση των διαθέσιμων οικονομικών πόρων



- Μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και του ρυθμού της κλιματικής αλλαγής
- Μείωση των επικίνδυνων υποπροϊόντων καύσης και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Αύξηση της βιωσιμότητας των ενεργειακών πόρων

Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου στα οχήματα οδικών μεταφορών

Οι σπουδαιότεροι από τους παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου στα οχήματα οδικών μεταφορών είναι (Πηγή ΚΑΠΕ – Εξοικονόμηση Ενέργειας στις Μεταφορές):

Η τεχνολογία και η απόδοση του κινητήρα

Το είδος και η απόδοση του καυσίμου

Τα χαρακτηριστικά και η κατάσταση του οχήματος

Το είδος της διαδρομής

Ο χαρακτήρας του οδηγού και ο τρόπος οδήγησης

- ✓ Με την μείωση των μεταφορικών, όσον αφορά τα καύσιμα, ελαττώνονται οι εισαγωγές καυσίμων και η ρύπανση στην ατμόσφαιρα.
- ✓ Ακόμη, όσον αφορά τα Φ/Β Συστήματα, η παραγωγή μέρους ή/και ολοκληρωμένων Φ/Β Συστημάτων εντός της Ελληνικής Επικράτειας θα είχε πολλαπλά οφέλη σε όρους αμεσότητας και περιβαλλοντικού αντίκτυπου.



4.3. Απόσυρση Φωτοβολταϊκών και κατάλληλη διαχείριση

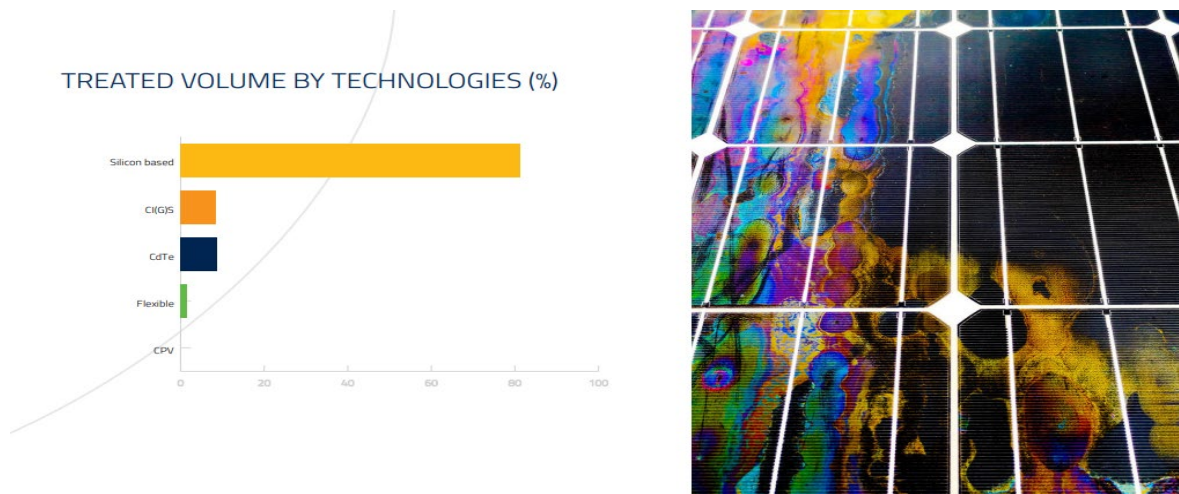
Η PV CYCLE είναι μια ευρωπαϊκή μη κερδοσκοπική οργάνωση, που ιδρύθηκε τον Ιούλιο του 2007 για να εφαρμόσει τη δέσμευση της Φ/Β βιομηχανίας στο να δημιουργήσει ένα εθελοντικό πρόγραμμα επιστροφής και ανακύκλωσης για τα μη χρήσιμα πλέον Φ/Β πλαίσια, αναλαμβάνοντας την ευθύνη για όλη τη διαδικασία της εφοδιαστικής διαχείρισης τους. Η PV CYCLE αυτή την εποχή καλύπτει περίπου το 90% της Ευρωπαϊκής Αγοράς. Μέσω της δραστηριότητας της προσδοκάτε η δημιουργία βιώσιμων ενεργειακών λύσεων, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός Φ/Β πλαισίου, από την προμήθεια των Α' υλών μέχρι και την ανακύκλωσή του.

ΠΡΩΤΟΠΟΡΙΑ ΣΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ (PV CYCLE)

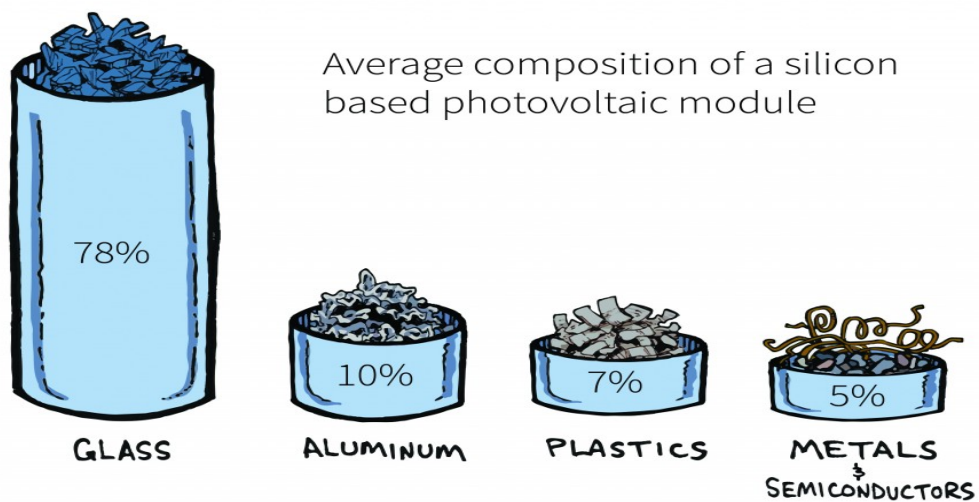
Βρυξέλλες, Φεβρουάριος 2016 - PV CYCLE, το πρώτο πρόγραμμα διαχείρισης των αποβλήτων του κόσμου για όλους τους τύπους Φ/Β τεχνολογιών, ανακοίνωσε ένα νέο ρεκόρ στην ανακύκλωση των Φ/Β μονάδων με βάση το πυρίτιο, επιτυγχάνοντας ένα ποσοστό ανακύκλωσης 96%.

Η νέα διαδικασία επιτρέπει την ανακύκλωση νιφάδων πυριτίου, ενός συνδυασμού ελασμάτων EVA, ημιαγωγών και μετάλλων με βάση το πυρίτιο, με οικονομικό και περιβαλλοντικά ορθό τρόπο. Η προηγμένη διαδικασία εφαρμόζεται επί του παρόντος σε έναν από τους συνεργάτες ανακύκλωσης της PV CYCLE στην Ευρώπη για μονάδες Φ/Β με βάση το πυρίτιο. Όλοι οι τύποι φωτοβολταϊκών τεχνολογιών είναι εξίσου κατάλληλοι για ανακύκλωση. Η ανακύκλωση φωτοβολταϊκών μονάδων επιτρέπει την ανάκτηση διαφόρων πρώτων υλών και βοηθά στη διατήρηση των φυσικών πόρων. Σήμερα, γυαλί, αλουμίνιο, χαλκός, πλαστικά από τα καλώδια και κουτί διακλάδωσης, ορισμένοι ημιαγωγοί καθώς και ασήμι μπορούν να ανακυκλωθούν. Άλλα υλικά όπως τα πλαστικά EVA μπαίνουν στην ανάκτηση ενέργειας.

Το PV CYCLE είναι σήμερα το μοναδικό σύστημα που εγγυάται ολοκληρωμένη ανακύκλωση για όλα τα είδη φωτοβολταϊκών μονάδων, συμπεριλαμβανομένων πυριτίου, CdTe, CIGS και εύκαμπτων μονάδων (Jan Clyncke, CEO of PV CYCLE Association).



Σχήμα 4.6 Επεξεργασμένος όγκος ανά τεχνολογία Φ/Β (%). Ετήσια αναφορά από την PV CYCLE για το έτος 2019



© PV CYCLE 2016

Σχήμα 4.7 Μέση σύνθεση ενός Φ/Β πλαισίου που βασίζεται στο πυρίτιο



To recycle 1 tonne of silicon based photovoltaic modules compares to approximately 1.2 tonnes of CO² emissions.

1.2t compare to:

350 small cars
less per year



6 trees planted

4,600 km not
driven by an
average car



© PV CYCLE

Σχήμα 4.8 Η Ανακύκλωση ενός τόνου Φ/Β πλαισίων που βασίζονται στο πυρίτιο, μπορεί να συγκριθεί με την αποφυγή έκλυσης 1,2 τόνων διοξειδίου του άνθρακα

Οικονομικές πτυχές

Στο πλαίσιο του έργου Cu-PV, συγκρίθηκαν τρεις διαφορετικές μέθοδοι ανακύκλωσης Φ/Β μονάδων. Η πρώτη μέθοδος που ανέπτυξε η Technical Plating περιλαμβάνει μια ροή διεργασίας στην οποία αφαιρούνται το κουτί διακλάδωσης, το πλαίσιο αλουμινίου και το πίσω φύλλο. Οι μονάδες με σπασμένο γυαλί αποτεφρώνονται σε κλίβανο θαλάμου με αποτέλεσμα θραύσματα υάλου, ηλιακού στοιχείου και υλικό "καρτέλας". Από τις μονάδες με αδιάσπαστο γυαλί κόβεται το "σάντουιτς" ενθυλάκωσης/στοιχείου από το γυαλί. Το σάντουιτς αποτεφρώνεται σε κάμινο θαλάμου και το γυαλί καθαρίζεται μηχανικά. Η δεύτερη μέθοδος, που αξιολογείται στο έργο Cu-PV από το ECN, περιλαμβάνει μια ροή διεργασιών, κατά την οποία, αφού αφαιρείται το κουτί διακλάδωσης, το πλαίσιο αλουμινίου και το πίσω φύλλο, το υπολειπόμενο πλαίσιο θερμαίνεται σε αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης με αποτέλεσμα θραύσματα υάλου, ηλιακού στοιχείου και υλικό "καρτέλας". Αυτή η μέθοδος ανακύκλωσης γίνεται πιο κερδοφόρα όταν υπεισέρχεται στις Φ/Β μονάδες με **θερμοπλαστικό ως ενθυλακωτικό** που έχει σχεδιαστεί πρόσφατα στο Cu-PV. Αποδείχθηκε ότι κατά την ανακύκλωση Φ/Β μονάδων με θερμοπλαστικό ως ενθυλακωτικό, η θραύση των κυττάρων κατά τη διάρκεια η ανακύκλωση μειώνεται δραστικά. Η τρίτη διαδικασία ανακύκλωσης αναπτύχθηκε από την Eurotron και το ECN. Αυτή η διαδικασία κόβει το ηλιακό στοιχείο από το γυαλί με αποτέλεσμα πλήρη ηλιακά κύτταρα να



μπορούν να καθαριστούν. Αυτή η διαδικασία είναι δυνατή μόνο για τις νέες σχεδιασμένες Φ/Β μονάδες που χρησιμοποιούν θερμοπλαστικά. Μέσα στο έργο Cu-PV η οικονομική σκοπιμότητα αυτών των τριών νέων μεθόδων ανακύκλωσης διερευνήθηκε. Όταν η ποσότητα των Φ/Β μονάδων στο τέλος του κύκλου ζωής υπερβαίνει ένα ετήσιο ποσό περισσότερων από περίπου 3.000 τόνους (150.000 τεμάχια), εκτιμήθηκε ότι η ανακύκλωση αυτών των ενοτήτων μπορεί να αποδώσει μια θετική επιχειρηματική περίπτωση. Με βάση την υπόθεση που έγινε σε αυτούς τους υπολογισμούς, η ημι-αυτοματοποιημένη διαδικασία τεχνικής επένδυσης έχει καλή απόδοση επιστροφής της επένδυσης (ROI). Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται για υπερσύγχρονες φωτοβολταϊκές μονάδες με EVA ως ενθυλακωτικό και αποδίδει όχι επιπλέον κέρδος όταν το θερμοπλαστικό χρησιμοποιείται σε Φ/Β μονάδες. Η ανακύκλωση πρόσφατα σχεδιασμένων φωτοβολταϊκών μονάδων με θερμοπλαστικό ως ενθυλακωτικό χρησιμοποιώντας τις μεθόδους ανακύκλωσης που αναπτύχθηκαν από την Eurotron και το ECN ή τον αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης, αναμένεται να γίνει πιο κερδοφόρος από τη μέθοδο ανακύκλωσης της Τεχνικής Επιμετάλλωσης όταν ο όγκος αυξάνεται και η τιμή του ανακτηθέντος πυριτίου μπορεί να πραγματοποιηθεί. Αυτό είναι εν μέρει αποτέλεσμα του υψηλότερου επίπεδο αυτοματισμού που προβλέπεται για αυτές τις διαδικασίες ανακύκλωσης. Απαιτούν την υψηλότερη επένδυση, αλλά με αυτήν την επένδυση προβλέπεται η υψηλότερη τιμή πώλησης για τις πρώτες ύλες που εξάγονται από μια Φ/Β μονάδα.

- ✓ Όταν η Φ/Β μονάδα ανακυκλώνεται σύμφωνα με αυτές τις βελτιωμένες διαδικασίες, αυτό έχει επίσης θετικό αντίκτυπο στο οικολογικό αποτύπωμα των Φ/Β μονάδων.

Προτάσεις Βιωσιμότητας προς Ανακοίνωση

- i. Προώθηση στις δημόσιες εκστρατείες ότι οι Φ/Β μονάδες συνεισφέρουν σημαντικά στην πρόληψη αποβλήτων, λόγω της εγγύησης προϊόντος από τον κατασκευαστή για 10 χρόνια και αντίστοιχη εγγύηση απόδοσης προϊόντος για 20+ χρόνια
- ii. Να δοθεί έμφαση στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα προϊόντος (PEFCR) για Φ/Β μονάδες, και την προώθηση της χρήσης ανακυκλωμένων υλικών στα προϊόντα

Σημεία συλλογής (ή/και μεταφόρτωσης) της PV CYCLE στην Ελλάδα

- Filiacom AE, στην Θεσπρωτία
- Smart-power, στην Θεσσαλονίκη
- ECO//SUN, στην Θεσσαλονίκη
- Krannich Solar HELLAS, στο Καλοχώρι Θεσσαλονίκης
- Messaritis, Χαλάνδρι Αττικής
- ARServices, Παλαιό Φάληρο Αττικής



4.4. Η ανακύκλωση στην Ελλάδα

Ανακύκλωση Φ/Β πλαισίων: Ιχνηλάτηση της υφιστάμενης κατάστασης στην Ελληνική αγορά

Το ερευνητικό και επιστημονικό γίνεσθαι αναφέρει ως αποδεκτή διάρκεια ζωής των Φ/Β πλαισίων άνω των 30 ετών λειτουργίας ηλεκτροπαραγωγής, χρονικό διάστημα όπου καλύπτει την νομική διάρκεια ισχύος της σύμβασης αγοραπωλησίας ή/και συμψηφισμού της Εηλ., που συνάπτεται μεταξύ του παραγωγού ενέργειας και του ΔΕΔΔΗΕ. Έχοντας ως γνώμονα ότι στην Ελλάδα α) οι 1^{οι} Φ/Β σταθμοί στην ουσία τέθηκαν σε λειτουργία την χρονιά 2007, ενώ το μεγαλύτερο μέρος του συνόλου αυτών (91,7 %) ηλεκτροδοτήθηκαν αρκετά πιο μετά, δηλαδή μεταξύ της τριετίας 2011 με 2013 β) η διάρκεια που ισχύει η σύμβαση μεταξύ του ενεργειακού συμψηφισμού της Εηλ. ή αγοραπωλησίας, σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες νομοθετικές ρυθμίσεις ανέρχεται κοντά στα 25 έτη (ή/και περισσότερο) γ) ο στόχος που επιδιώκεται για εγκατεστημένη ισχύ από την Φ/Β τεχνολογία στο ενεργειακό μείγμα διαφόρων τεχνολογιών ΑΠΕ για το 2020 είχε ήδη καλυφθεί (και με το παραπάνω) από το έτος 2013. Εάν υποθέσουμε ότι υφίσταται αποξήλωση για τους πρώτους Φ/Β σταθμούς του 2007 μετά το πέρας της 25ετίας, δηλαδή κοντά στο έτος 2032 (όπου θα έχουν ολοκληρώσει θεωρητικά τον κύκλο ζωής τους), θα δημιουργηθεί συσσώρευση τεράστιου όγκου αποβλήτων από Φ/Β σταθμούς προς διαχείριση με εκκίνηση το συγκεκριμένο έτος. Προβλέπεται ότι θα συγκεντρωθούν κατά την περίοδο 2032 με 2040 από το σύνολο της ελληνικής επικράτειας κοντά στους 235.000 τόνους Φ/Β πλαισίων προς ανακύκλωση και κατάλληλη διαχείριση, μια τέτοια ποσότητα μπορεί κανείς να την συγκρίνει, σε όρους βάρους, με 168.000 συμβατικά ΙΧ αυτοκίνητα. Εκτίμηση, η οποία είναι πιθανότατα συντηρητική, διότι δεν εμπεριέχει ποσότητα Φ/Β πλαισίων που ενδεχομένως θα συσσωρευτεί μετά το έτος 2020 εξαιτίας της απόρριψής τους, είτε λόγω δυσλειτουργιών που έχουν εμφανίσει (αποκόλληση στεγανοποιητικής μεμβράνης, διάβρωση εσωτερικών συνδέσεων αγωγιμότητας, αποχρωματισμός αντιανακλαστικής επίστρωσης και εμφάνιση φαινομένου PID) που αποδεδειγμένα μειώνουν την ηλεκτροπαραγωγή των Φ/Β πλαισίων, είτε εξαιτίας της τεχνολογικής αναβάθμισης που σημειώνεται διαρκώς (ειδικά στον συγκεκριμένο τομέα), όπου σε συνδυασμό με τις νέες νομοθετικές διατάξεις (σταθερές ταρίφες π.χ.), η εγκατάσταση νέας προηγμένης γενιάς Φ/Β πλαισίων με βελτιωμένους θερμοκρασιακούς συντελεστές και λοιπά τεχνικά πλεονεκτήματα, θα καθίσταται άκρως δελεαστική και κερδοφόρα για την ανατροφοδότηση ήδη υφιστάμενων Φ/Β σταθμών όπου παρουσιάζουν χαμηλό ή/και μέτριο δείκτη απόδοσης (performance ratio). Εάν θεωρήσουμε ως τυπικό Φ/Β πλαίσιο (ισχύος 215Wp και βάρος 22 κιλά), να συνίσταται από 16,6 κιλά γυαλί, 2,3 κιλά αλουμίνιο και τα υπόλοιπα 3,1 κιλά να μοιράζονται στα διάφορα λοιπά συστατικά, με τυπικό ποσοστό ανάκτησης γυαλιού και αλουμινίου το 95%, στο τέλος των διεργασιών κατεργασίας προς την ορθή διαχείριση των απορριφθέντων Φ/Β πλαισίων έχουμε ότι 15,8 κιλά γυαλιού και 2,2 κιλά αλουμινίου ανά αποσυρθέν πλαίσιο δύναται να επαναχρησιμοποιηθούν ως δευτερογενή (B') υλικά στην γραμμή παραγωγής ποικίλων προϊόντων. Όσον αφορά την προστασία της φύσης, η ανακύκλωση ενός τόνου Φ/Β πλαισίων με βάση το πυρίτιο ως ημιαγώγιμο υλικό ισοδυναμεί με την αποτροπή έκλυσης 800 – 1.200 κιλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Βλ. παραπάνω σχήματα).



Μέχρι και πριν λίγα χρόνια, ελληνική νομοθεσία δεν υποχρέωνε την συλλογή, κατάλληλη επεξεργασία και ανακύκλωση των Φ/Β πλαισίων που έχουν φθαρεί σε οποιοδήποτε στάδιο της ζωής τους (μεταφορά, εγκατάσταση, παραγωγική λειτουργία κλπ.). Με την υπουργική απόφαση όμως 23615/651/Ε.103 (ΦΕΚ Β' 1184/9-5-2017) θεσπίστηκαν στην χώρα μας κανόνες, διαδικασίες και μέτρα για την κατάλληλη διαχείριση των απορριφθέντων ΑΗΗΕ. Τα Φ/Β πλαίσια προς απόσυρση εντάσσονται ως πεδίο εφαρμογής της εν λόγω απόφασης στην 4^η κατηγορία του 1^{ου} παραρτήματος αυτής για την μεταβατική περίοδο από 13 Αυγούστου 2012 έως 14 Αυγούστου 2018 και στην 4^η κατηγορία του 2^{ου} παραρτήματος αυτής για την περίοδο μετά την 15^η Αυγούστου 2018. Σκοπός της συμμόρφωσης της ελληνικής με την ευρωπαϊκή νομοθεσία είναι η συμβολή στην αειφόρο παραγωγή και κατανάλωση με την πρόληψη της παραγωγής αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού και με την επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και άλλες μορφές ανάκτησης αυτών, ώστε να μειωθεί η ποσότητα τους προς τελική διάθεση και να υποβοηθηθεί η αποδοτική χρήση των πόρων και η ανάκτηση πολύτιμων Β' πρώτων υλών. Παράλληλα, επιδιώκεται η βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων όλων των φορέων που εμπλέκονται στον κύκλο ζωής του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού και η εξειδίκευση της εφαρμογής της αρχής της διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού, προκειμένου να επιτυγχάνεται με αποδοτικότερο τρόπο η προστασία του περιβάλλοντος και της υγείας. Αρμόδια αρχή για την εφαρμογή της προαναφερθείσας υπουργικής απόφασης, αλλά και γενικότερα για την έγκριση εθνικών συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης ανά προϊόν είναι ο οργανισμός ΕΟΑΝ, ο οποίος υπάγεται στην εποπτεία και στον έλεγχο του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

Για παράδειγμα, η αποξήλωση του Φ/Β εξοπλισμού από τον γηραιότερο Φ/Β σταθμό στην Γερμανία (έτος εγκατάστασης: 1983 στην νήσο Pellworm με εγκατεστημένη ισχύ τα 300kWp) και η επακόλουθη δοκιμαστική επαναχρησιμοποίηση των πλαισίων αυτών σε Β' κατασκευή Φ/Β πλαισίων, μας δείχνουν έμπρακτα ότι είναι γεγονός η κατασκευή πολύ καλής ποιότητας Φ/Β εξοπλισμός, με σκοπό να δύναται η ανάκτηση εν τέλει περίπου του 90% της αρχικής ισχύς εξόδου του εν λόγω Φ/Β σταθμού. Σύμφωνα με τα ευρήματα των Frisson et.al, ο δείκτης ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής (EPBT) ενός Φ/Β πλαισίου τεχνολογίας πυριτίου, το οποίο έχει κατασκευαστεί με υλικά από διεργασίες ανακύκλωσης, είναι κατά μέσο όρο τέσσερις φορές μικρότερος από τον αντίστοιχο ενός Φ/Β πλαισίου όμοιας τεχνολογίας που έχει παραχθεί από αχρησιμοποίητα υλικά. Συμπερασματικά όμως, η ανακύκλωση Φ/Β πλαισίων στην τωρινή κατάσταση δεν αποτελεί μια βιώσιμη οικονομικά επιχειρηματική κίνηση λόγω του μη μετρήσιμου όγκου αποβλήτων προς κατάλληλη διαχείριση και κατεργασία, με αντίκτυπο την δικαιολογημένη στροφή της βιομηχανίας σε λύσεις διακρατικών συμφωνιών, είτε και η επεξεργασία των Φ/Β πλαισίων σε συνδυασμό με μονάδες υποδοχής και άλλων ρευμάτων αποβλήτων παρόμοιας κατηγορίας. Κατά τους Choi και Fthenakis, η κατάλληλη περάτωση της συγκομιδής και μεταφοράς των Φ/Β πλαισίων (αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα) προς εναπόθεση στα σημεία ανακύκλωσης, αλλά και η αφομοίωση απλών και γρήγορων μεθόδων με αυτόματη ρύθμιση βελτιστοποιημένης κατεργασίας τέτοιου είδους ρευμάτων αποβλήτων αποτελούν ύψιστες προκλήσεις, οι οποίες είναι αναγκαίο να λάβουν την κατάλληλη αποτελεσματική αντιμετώπιση με την δημιουργία ενός οικονομικά βιώσιμου επιχειρηματικού πλάνου. Η ανάλυση των Achilles et.al όσον αφορά την ορθή διαχείριση ΑΗΗΕ στην ελληνική επικράτεια στοχεύει στην ανάδειξη της καθοριστικής σημασίας των εξόδων του δικτύου αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας, με ιδιαίτερη μέριμνα στα έξοδα μεταφοράς των αποβλήτων, όπου θεωρείται ο παράγοντας κλειδί για την διαμόρφωση του τελικού κόστους κατάλληλης διαχείρισης και ανακύκλωσης ενός απορριφθέντος προϊόντος. Ως διαδικασία, η ανακύκλωση Φ/Β πλαισίων που συμπλήρωσαν τον κύκλο ζωής τους διαιρείται



μακροσκοπικά σε τρεις επιμέρους κατηγορίες: αποκόλληση, διαχωρισμός και εξαγωγή/διύλιση. Παρεμπιπτόντως, εμπόδια που πρέπει να προσπεραστούν προκύπτουν συνεχώς όσον αφορά την αποτελεσματικότητα και πολυπαραμετρικότητα της οποιαδήποτε διαδικασίας, τις απαιτήσεις ενέργειας και τον οικονομικό παράγοντα για την περάτωση αυτής, καθώς και την κατάλληλη χρήση χημικών διαλυμάτων που απαιτούνται, με τις επακόλουθες αρνητικές επιπτώσεις που αυτά ενδεχομένως να επιφέρουν στην φύση κατά την χρήση τους.

Εξίσου σημαντική πρόκληση προς υπέρβαση καθίσταται ο αρχικός κατασκευαστικός σχεδιασμός της δομής των Φ/Β πλαισίων να εκτελείται με γνώμονα την εύκολη αποσυναρμολόγησή τους προς απλοποίηση της ανακύκλωσης των Φ/Β πλαισίων και της επαναχρησιμοποίησης των συστατικών τους. Με την ανακύκλωση Φ/Β πλαισίων 2^{ης} γενιάς (τεχνολογίας λεπτού υμενίου) επιφέρεται υψηλή κερδοφορία εξαιτίας της ανάκτησης-εκμετάλλευσης δυσεύρετων (με πολύ μικρή αφθονία στην φύση) συστατικών τους μερών, όπως το Γάλλιο, το Ίνδιο και το Τελλούριο. Τα συγκεκριμένα μέταλλα υπερέχουν κατά πολύ σε αξία στο χρηματιστήριο από αυτήν του Αλουμινίου, υλικό όπου εξάγεται αφθόνως από την απόρριψη συμβατικών Φ/Β πλαισίων 1^{ης} γενιάς (βασισμένα στο πυρίτιο). Ο **οργανισμός PV CYCLE** (βλέπε παραπάνω), πολύ σημαντική πρωτοβουλία και εγχείρημα στο κομμάτι της ορθής διαχείρισης των απορριφθέντων-φθαρμένων Φ/Β πλαισίων στην ΕΕ. Έχει παρουσία στα περισσότερα ευρωπαϊκά κράτη, όπως και στην Ελλάδα, με πιστοποιημένα σημεία συλλογής απορριφθέντος εξοπλισμού Φ/Β πλαισίων όλων των υπαρχόντων τεχνολογιών (με εξαίρεση τα Φ/Β πλαίσια της First Solar), τα οποία μεταφέρονται στα συνεργαζόμενα σημεία-εργοστάσια ανακύκλωσης για επιπλέον επεξεργασία, με κεντρική ιδέα τις “βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές χωρίς υπερβολικό κόστος”. Από πλευράς συνεισφοράς σε ανακυκλώσιμο υλικό στην δράση της οργάνωσης PV CYCLE βρίσκονται η Γερμανία (~ 7.000 tn), η Ιταλία (~ 1.800 tn) και η Ισπανία (~ 1.000 tn), με τα Φ/Β τεχνολογίας πυριτίου να κατέχουν την συντριπτική πλειοψηφία (~ 80%) από τον ολικό όγκο των πλαισίων που υπόκεινται σε επεξεργασία. Με τις μεθόδους επεξεργασίας του, ο οργανισμός επιτυγχάνει ανάκτηση υλικών σε ποσοστό της τάξης του 85% του βάρους ενός πλαισίου για τα Φ/Β βασισμένα στο πυρίτιο και της τάξης του 95% για τις λοιπές Φ/Β τεχνολογίες της αγοράς. Σε αντιδιαστολή με τα λεγόμενα της βιομηχανίας που ασχολείται με τα Φ/Β για αειφορική διαχείριση καθ’ όλο τον κύκλο ζωής των Φ/Β πλαισίων, η εκτίμηση του οργανισμού PV CYCLE είναι ότι στην εποχή μας περίπου το 40% των συμβεβλημένων εταιρειών με μακροχρόνια μοντέλα προστασίας του περιβάλλοντος και ορθής διαχείρισης, δεν φαίνεται να συμμορφώνονται με τις νομοθετικές ρυθμίσεις και απαιτήσεις της κοινοτικής νομοθεσίας, κάτι το οποίο μπορεί να διωχθεί ποινικά από τους κατάλληλους φορείς, με επιβολή προστίμου και με απαγόρευση λειτουργίας, έχοντας ως σκοπό την συνολική ορθή-σε κοινή γραμμή διαχείριση ολόκληρου του κύκλου ζωής της Φ/Β τεχνολογίας.

Η εταιρία ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΑΕ, με την υπόσταση ενός συλλογικού συστήματος εναλλακτικής διαχείρισης στην Ελλάδα, με εφαρμογή σε όλο το φάσμα των κατηγοριών ΑΗΗΕ, εισέρχεται στον τομέα διαχείρισης αποβλήτων Φ/Β τεχνολογίας, με την ανάπτυξη κατάλληλου-περιβαλλοντικά και νομικά ορθού πλάνου όσον αφορά την σχετική κοινοτική οδηγία (αναφέρει ο Χ. Αγγελικόπουλος, τεχνικός διευθυντής περιβάλλοντος της εταιρίας).

Επίσης, μεγάλο ενδιαφέρον όσον αφορά την ελληνική πραγματικότητα, εμφανίζει η σύμπραξη εσωτερικών εγχώριων εταιρειών και της επιστημονικής κοινότητας μέσω των εκπαιδευτικών σχολών στα πλαίσια του προγράμματος “ Επανασχεδιασμός και Ανακύκλωση Φ/Β πλαισίων, RE-PV”. Μια τέτοια συνεργασία επικεντρώνεται, όπως σημειώνουν οι ερευνητές **Δρ. Ι. Κατσιγιαννης και Καθ. Ν. Μπιλάλης** του Πολυτεχνείου



Κρήτης ως συντονιστικός φορέας του συγκεκριμένου έργου: «Στη δημιουργία εναλλακτικών επιχειρηματικών ευκαιριών που θα ανακύψουν από το σχεδιασμό μιας βέλτιστης διαδικασίας διαχείρισης αποβλήτων Φ/Β πλαισίων, κατόπιν εκτίμησης των μελλοντικών παραγόμενων ποσοτήτων προς απόσυρση ανά γεωγραφικό νομό, εύρεσης κατάλληλων σημείων χωροθέτησης μονάδων ανακύκλωσης σε όλη την ελληνική επικράτεια, κριτικής αξιολόγησης των υφιστάμενων μεθόδων ανακύκλωσης και ανάπτυξης ενός παραμετροποιημένου συστήματος προσομοίωσης της λειτουργίας μιας μονάδας ανακύκλωσης Φ/Β πλαισίων».

Σε πρόσφατη χρονική περίοδο η εταιρεία ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΕΠΕ εκτέλεσε υπόψιν μιας εταιρείας που δραστηριοποιείται στον τομέα των ΑΠΕ με σημαντική παρουσία στην Ελλάδα, ένα πρότυπο για τα ελληνικά δεδομένα, ευρείας εμβέλειας έργο για την ανακύκλωση 85 τόνων Φ/Β πλαισίων τεχνολογίας λεπτού υμενίου που έχουν συμπληρώσει τον κύκλο ωφέλιμης ζωής τους.

Σε τελική ανάλυση, η μη συμβατική διαχείριση απορριφθέντων Φ/Β πλαισίων έχει πρωταρχική σημασία, με σκοπό η Φ/Β τεχνολογία να διατηρήσει και να συνεχίσει στα επόμενα χρόνια αδιαμφισβήτητη την εικόνα μιας εξ' ολοκλήρου βιώσιμης και φιλικής προς την φύση τεχνολογίας. Με τα αρχικά δειλά δείγματα που εμφανίζει η πολιτεία να έχει ευαισθητοποιηθεί, των σχετικών φορέων ανακύκλωσης, των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων και συγκεκριμένων επιχειρήσεων-ομίλων-παραγωγών που επενδύουν προς αυτή την πορεία, εκδηλώνονται ήδη στην χώρα μας και υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω βελτιστοποίηση-ευαισθητοποίηση.

- ✓ Ως απλοί χρήστες και επικαρπωτές των Φ/Β Συστημάτων δεν βοηθάμε στην συνολική ορθή πορεία τους, εν αντιθέσει υπάρχει ανάγκη για συστηματική επένδυση σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής των Φ/Β Συστημάτων, από την αρχική σχεδίαση και παραγωγή έως το τέλος της ωφέλιμης ζωής τους και την περαιτέρω αξιοποίηση που μπορούμε να επιτύχουμε μέσω της ανακύκλωσης

ΟΦΕΛΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Μέσω της ανακύκλωσης του φθαρμένου-παλιού ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΗΗΕ) συμβάλουμε στην ελαχιστοποίηση της εξόρυξης Φυσικών Πόρων και μεριμνούμε για την αποφυγή της ρύπανσης από τοξικές και βλαβερές ουσίες για τον άνθρωπο και τον πλανήτη μας. Επιπλέον, συμμετέχουμε στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην μείωση των θερμοκηπιακών αερίων, με πιο ορατό και αισθητό όφελος την ελαχιστοποίηση του όγκου αποβλήτων που καταλήγουν ανεξέλεγκτα στους ΧΥΤΑ. Τα οικονομικά οφέλη που απορρέουν μέσω της ανακύκλωσης αγγίζει πέρα από τις εταιρείες ανακύκλωσης και τον απλό πολίτη εφόσον μέσω της ανακύκλωσης του ΗΗΕ ελαφρύνεται το κόστος που προκύπτει από την συγκομιδή και την μεταφορική προς εναπόθεση. Οι κατασκευαστές που παράγουν προϊόντα από ανακυκλωμένα υλικά έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τις ανάγκες τους σε πρώτες ύλες και ενεργειακές πηγές, χρειάζονται λιγότερο εξοπλισμό, λιγότερες εγκαταστάσεις για επεξεργασία και βασίζονται λιγότερο σε ξένα εισαγόμενα προϊόντα, όπως το πετρέλαιο.



ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ

Αρχικά, συνήθως το πρώτο βήμα (κατεργασία) που παίρνει μέρος στην διαδικασία ανακύκλωσης των απορριφθέντων Φ/Β πλαισίων είναι η αφαίρεση της ρητίνης EVA, η οποία έχει λειτουργεί ως μια επιπλέον δυνατή αντίσταση στην υγρασία. Για την απομάκρυνσή τους γίνεται χρήση διαφόρων μεθόδων, όπως η διάλυση με νιτρικό οξύ και η αποσύνθεση θερμικά, όμως αυτές έχουν παρουσιαστεί να μην είναι επαρκείς για την ολική απομάκρυνση της ρητίνης EVA. Διάφορες δυσκολίες ώθησαν προς την ανεύρεση νέων μεθόδων ανακύκλωσης των Φ/Β πλαισίων, όπως την ανάκτηση του γυαλιού με την χρήση οργανικού διαλύτη, την απομάκρυνση της EVA θερμικά και την αφομοίωση του πυριτίου με χημική χαρακτηριστική, ώστε να επιτευχθεί απομάκρυνση προσμίξεων μετάλλου στην επιφάνεια των φ/β κυττάρων που ανακτώνται. Επιπλέον και πιο ειδικά, έχει επιτευχθεί η δημιουργία μεγάλης απόδοσης πυριτίου με την ανακύκλωση Φ/Β πλαισίων χρησιμοποιώντας επιφανειοδραστικές ουσίες. Με την συγκεκριμένη επεξεργασία να αποτελεί σημείο κλειδί για την ασφάλεια του περιβάλλοντος αλλά και την ασφαλέστερη επεξεργασία των απορριφθέντων υλικών.

Υιοθέτηση των αρχών της Αντίστροφης Εφοδιαστικής Αλυσίδας (ΑΕΑ)

Εφαρμόζοντας την αντίστροφη ροή διεργασιών (reverse logistics) για ένα προϊόν από μια εταιρεία, αυτή στην συνέχεια επωφελείται σημαντικά και αποκτάει δυνατό στρατηγικό πλεονέκτημα. Ο κύριος σκοπός που έχει η εφαρμογή της ΑΕΑ είναι η επαναχρησιμοποίηση (reuse) με πολλαπλά οφέλη στην προστασία της φύσης, πέρα όμως από αυτά αποτελεί και κερδοφόρα κίνηση για την όποια επιχείρηση. Η ΑΕΑ είναι χρήσιμη και σημαντική για τους εξής λόγους:

- i) Επαναχρησιμοποίηση ωφέλιμων τμημάτων ενός προϊόντος που παλαιότερα ήταν απορριπτόταν
- ii) Μεγιστοποίηση του κέρδους μιας επιχείρησης με την ορθή χρήση της ΑΕΑ αφού ταυτόχρονα μειώνεται το κόστος ανακύκλωσης
- iii) Εκπλήρωση των υποχρεώσεων που έχει μια επιχείρηση προς το κράτος όσον αφορά το περιβαλλοντικό της αντίκτυπο
- iv) Προνόμια στους πελάτες, εφόσον το πλάνο υπάγει επιστροφή προϊόντος κατά το τέλος της ωφέλιμης χρήσης του πίσω στην επιχείρηση

Υπάρχουν τρεις τρόποι για να εφαρμόσει μια βιομηχανία Φ/Β τις αρχές της αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας:

- i) Στον ίδιο χώρο που βρίσκεται η επιχείρηση – εργοστάσιο να συνυπάρχουν με τις εγκαταστάσεις που θα παίρνουν μέρος οι διεργασίες της ΑΕΑ, με την ταυτόχρονη απαίτηση για ευρύχωρες εγκαταστάσεις
- ii) Οι διεργασίες της ΑΕΑ να πραγματοποιούνται από την ίδια επιχείρηση – εργοστάσιο αλλά σε διαφορετική τοποθεσία
- iii) Οι δραστηριότητες αυτές να πραγματοποιούνται από άλλη εταιρεία, πιθανώς, αυτή να έχει εξειδίκευση πάνω σε αυτόν τον τομέα και να μην κάνει παραγωγή προϊόντων αλλά να δρα για την αύξηση και ανάκτηση της προστιθέμενης αξίας αυτών

Οποιαδήποτε επιχείρηση – εργοστάσιο ανά τον κόσμο, ανεξάρτητα με το είδος των προϊόντων που παράγουν, είναι δυνητικοί χρήστες της ΑΕΑ, με έναν από τους παραπάνω τρόπους, επιλέγοντας με οικονομικό συμφέρον ή με γνώμονα να ταιριάζει βέλτιστα στον τύπο του προϊόντος που παράγουν και να έχει κέρδος. Οι βιομηχανίες – εργοστάσια



παραγωγής μεγάλης ποσότητας ή/και ευρείας γκάμας προϊόντα επικαρπώνονται περισσότερο κάνοντας χρήση της ΑΕΑ, ανακτώντας μεγάλο μέρος υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στην παραγωγική διαδικασία και μειώνοντας ταυτόχρονα την εξόρυξη νέων Φυσικών Πόρων αλλά και την ανεύρεσή τους.

Η απόσυρση των φθαρμένων-μη χρήσιμων πλέον Φ/Β μπορεί να πραγματοποιηθεί με συγκεκριμένα Container, τα οποία βρίσκονται σταθερά σε επιλεγμένα σημεία συγκομιδής. Επιπλέον, το δίκτυο των σημείων διάθεσης και συγκομιδής προτείνεται να εξαπλώνεται συνέχεια, με σκοπό να μπαίνουν στο παιχνίδι όλος ο κλάδος που δραστηριοποιείται με τα Φ/Β Συστήματα (από τους μικρής κλίμακας χρήστες μέχρι τους παραγωγούς στα δίκτυα Μέσης και Υψηλής Τάσης). Για την διαλογή και επεξεργασία των ανακτηθέντων προϊόντων, η συνεργασία με τον οργανισμό PV CYCLE είναι υψηλής σημασίας, εφόσον παρέχει εύκολη σχετικά και αξιόπιστη λύση για την απόρριψη και τελική ανακύκλωση των μη ωφέλιμων Φ/Β πλαισίων, καθώς και των λοιπών υλικών που δύναται να χρησιμοποιηθούν ξανά. Οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται με όλο το φάσμα γύρω από την εμπορία και χρήση Φ/Β Συστημάτων υποχρεώνονται να δεσμεύσουν τα Φ/Β πλαίσια που δεν είναι πλέον ωφέλιμα (αν όχι ολόκληρο τον πλέον μη χρήσιμο και ωφέλιμο εξοπλισμό ενός Φ/Β Συστήματος), σε συνεργασία και συμφωνία πάντοτε με τους συνεργαζόμενους πελάτες – παραγωγούς – χρήστες, με τις τελευταίες νομοθετικές ρυθμίσεις για περισυλλογή και ανακύκλωση των Φ/Β πλαισίων.

Λαμβάνοντας υπόψη μια εργασία που διεξήχθη από πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών στην οργάνωση και διοίκηση βιομηχανικών συστημάτων στο Πανεπιστήμιο Πειραιά με θέμα “Μελέτη Βιωσιμότητας Εταιρείας Ανακύκλωσης Φ/Β Συστημάτων στην Ελλάδα”, τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

Καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ)	επένδυσης:	15.788.774,58€
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR):	21%	(για τα 11 χρόνια λειτουργίας)
Επιτόκιο προεξόφλησης:	6%	

Επομένως, η εν λόγω επένδυση κρίνεται όχι μόνο βιώσιμη, αλλά και ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα για τον οποιονδήποτε επενδυτή. Έτσι, η ανακύκλωση των Φ/Β πλαισίων, πέρα από μια επιβεβλημένη περιβαλλοντικά λύση, φαίνεται να είναι και μια κερδοφόρα επένδυση. Έχοντας υπόψη το σημαντικό δυναμικό της Ελλάδας και των γύρω περιοχών (Βαλκάνια, Τουρκία, Βόρεια Αφρική) στην ανάπτυξη Φ/Β Συστημάτων, η χώρα μας αποφαίνεται να είναι επικερδής σε μεγάλο βαθμό, διενεργώντας ως κόμβος ανακύκλωσης Φ/Β Συστημάτων, λαμβάνοντας πάντα μέριμνα για το κόστος και τα καύσιμα που απαιτούνται για τις υπηρεσίες μεταφοράς των συστημάτων αυτών με σκοπό την ανακύκλωση και ορθολογική διαχείρισή αυτών.



Συμπεράσματα / Προτάσεις

Τα ορυκτά καύσιμα (π.χ. πετρέλαιο, φυσικό αέριο, λιγνίτης) είναι πεπερασμένα με συγκεκριμένα αποθέματα στον πλανήτη μας, ενώ η υπερεκμετάλλευσή τους και οι γεωλογικοί αιώνες που απαιτούνται για την διαμόρφωσή τους, τα καθιστά ακόμα πιο σπάνια. Παράλληλα, η εξόρυξη, η μεταφορά και η ενεργειακή μετατροπή των ορυκτών καυσίμων έχουν προκαλέσει σημαντικές μεταβολές στην ποιότητα του περιβάλλοντος. Η κοινωνική ζωή και οι οικονομικές δραστηριότητες ειδικά στις μέρες μας βασίζονται σε μία ασφαλή και συνάμα διαθέσιμη παροχή ενέργειας. Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι κοντά σε ποσοστό 65% των παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών CO_{2eq} προέρχεται από την παραγωγή Εηλ. (που έχουν ως βάση τον άνθρακα), με το αντίστοιχο ποσοστό στις ανεπτυγμένες χώρες να φθάνει το 80%. Επομένως, μία αειφόρος παροχή (πηγή) ενέργειας είναι η βάση για μια βιώσιμη καθημερινότητα στις ζωές και στις πράξεις μας, επειδή οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις οποιουδήποτε προϊόντος είτε υπηρεσίας βασίζονται σημαντικά, πέρα από την κατανάλωση ενέργειας, στις παρεχόμενες πηγές ενέργειας και την μετατροπή τους.

Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία. Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια ανεξάντλητη μορφή ενέργειας. Έτσι, όταν υλοποιηθεί κάποιο σύστημα εκμετάλλευσής της για την παραγωγή ωφέλιμης ενέργειας (ηλεκτρικής είτε θερμικής για παράδειγμα), η πρώτη ύλη-καύσιμο είναι δωρεάν και δεν υποβάλλεται ποτέ στις διακυμάνσεις των αγορών ενέργειας. Η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους θερινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στην αποφυγή black-out και στην μείωση του συνολικού κόστους ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.

Κατά την επιλογή του τύπου Φ/Β που θα επιλέξουμε θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ως που έχουμε για εγκατάσταση Φ/Β πλαισίων, διότι ανάλογα την τεχνολογία του φ/β, τον βαθμό απόδοσης φ/β, τις θερμοκρασίες σε έναν τόπο, έχουμε εν τέλει μεταβολές στην τελικά παραγόμενη / προσλαμβανόμενη Εηλ. από το σύστημά μας και έτσι θα πρέπει πάντα να εκτιμάμε την κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

Το κόστος για την αγορά και εγκατάσταση ενός Φ/Β Συστήματος δεν είναι παντού το ίδιο, αλλά εξαρτάται από την ωριμότητα της αγοράς, το είδος και το μέγεθος της εφαρμογής. Σύμφωνα με τα μέχρι τώρα στοιχεία, το κόστος των Φ/Β πλαισίων μειώνεται κατά 4-5% τον χρόνο τα τελευταία 25 χρόνια.

Για τις διάφορες τεχνολογίες ΑΠΕ υπάρχει σημαντικά διαφοροποιημένη μεταβολή της διαθεσιμότητάς τους στην διάρκεια του χρόνου, μήνα, ημέρας ακόμα και ώρας. Για παράδειγμα, η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη αποκλειστικά κατά την διάρκεια της ημέρας και πιο άφθονη κατά την διάρκεια του θέρους.

Ένα κιλοβάτ Φ/Β αποτρέπει κάθε χρόνο (με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες του δικτύου) 1,3 τόνους διοξειδίου του άνθρακα, ενώ χρειάζονται 2 στρέμματα δάσους ή 100 περίπου δέντρα για να απορροφήσουν αυτήν την



ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα. Για να παραχθεί η ίδια Εηλ. με πετρέλαιο, απαιτούνται 2,2 βαρέλια πετρελαίου κάθε χρόνο.

Η Απόδοση Πόρων και Ενέργειας προσφέρει ένα ισχυρό και αποδοτικό σε θέμα κόστους εργαλείο για να κατορθώσουμε ένα βιώσιμο μέλλον. Εξοικονομεί χρήματα και περικόπτει τις εκπομπές γρηγορότερα από οποιαδήποτε άλλη επιλογή μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.

Είδαμε ότι τα συστήματα παρακολούθησης τροχιάς του ήλιου μπορεί να φανούν πολύ αποδοτικά/κερδοφόρα σε ένα Φ/Β σύστημα αλλά η εγκατάστασή τους δεν είναι πάντα η βέλτιστη λύση, καθώς αυξάνουν σημαντικά το κόστος/πολυπλοκότητα και δεν μπορούν να τοποθετηθούν σε όλα τα πεδία λόγω του βάρους και του μεγέθους τους.

Τα υψηλής εγκατεστημένης ισχύος διασυνδεδεμένα στο δίκτυο (Μ.Τ.) Φ/Β Συστήματα έχουν τα πλεονεκτήματα της οικονομίας κλίμακας (economies of scale) σε σχέση με τα μικρότερου μεγέθους συστήματα, αλλά μειονεκτούν στο γεγονός ότι πρέπει να ανταγωνιστούν την χονδρική αγορά Εηλ.

Ο συνδυασμός υψηλού ηλιακού δυναμικού και αξιόλογου αιολικού δυναμικού, καθιστά τα υβριδικά συστήματα ΑΠΕ μία από τις βέλτιστες λύσεις για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένων και αυτόνομων συστημάτων. Στην χώρα μας, με 6.000 νησιά και βραχονησίδες στα πελάγη του Αιγαίου και του Ιονίου, εκ των οποίων τα 117 είναι κατοικημένα, τα υβριδικά συστήματα αποτελούσαν και αποτελούν ελκυστική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους.

Με την μεγάλη κλίμακα εφαρμογή των **Φ/Β Συστημάτων σε κτίρια** θα αυξηθεί σημαντικά το ποσοστό Εηλ. από Φ/Β, συμβάλλοντας στην επίτευξη των στόχων του Κιότο για μείωση των εκπομπών που προκαλούν το ΦτΘ. Μια σημαντική παράμετρος είναι η δέσμευση γης για τους μεγάλους (κυρίως) κεντρικούς σταθμούς, όταν οι υποδομές λαμβάνουν χώρα πάνω στο έδαφος. Η χρήση γης αποφεύγεται πλήρως, στις περιπτώσεις που τα Φ/Β Συστήματα εγκαθίστανται σε επιφάνειες κτιρίων. Εκτιμάται ότι το διαθέσιμο δυναμικό από την εκμετάλλευση κατάλληλων επιφανειών σε οροφές κτιρίων στην Ευρώπη ανέρχεται σε 600 GWp. Στην Ελλάδα, η συνολική ηλιακά εκμεταλλεύσιμη επιφάνεια σε οροφές κτιρίων εκτιμάται στα 80 με 90 km² (19.768 με 21.004 στρέμματα, αντίστοιχα). Τα τωρινά ενσωματωμένα Φ/Β συστήματα σε κτίρια (δώμα, κεραμοσκεπή, στέγη) αναμένεται να έχουν χρόνο αποπληρωμής ενέργειας (EPBT) περίπου 1,5 έτη (1 έτος με ανάκτηση θερμότητας – στα υβριδικά) και να εξοικονομήσουν κατά τη διάρκεια της ζωής τους περισσότερες από 20 φορές την ποσότητα CO₂ που παράγεται κατά την κατασκευή τους (34 φορές με θερμότητα– στα υβριδικά). Στα ολοκληρωμένα συστήματα, τουλάχιστον ένα μέρος της θερμότητας που χάνεται από τα Φ/Β πλαίσια μπορεί να ανακτηθεί με κάποιο μέσο καναλιού αέρα μεταξύ των πίσω πλακών του πλαισίου και της ταράτσας (ή πρόσοψης). Αυτή η ροή αέρα έχει διπλή επίδραση: επιτρέπει την εκμετάλλευση του θερμού αέρα προς το κτίριο για κλιματισμό ή/και προθέρμανση νερού. Ακόμη, χρησιμοποιείται για την ψύξη των φ/β κελιών αυξάνοντας έτσι την απόδοσή τους. Το EPBT ενός πλήρως ολοκληρωμένου συστήματος σε κτιριακό περιβάλλον (πιο συγκεκριμένα σε ταράτσα) μονοκρυσταλλικού πυριτίου αναμένεται να είναι 45% μικρότερο σε σχέση με αυτό ενός Φ/Β σταθμού ηλεκτροπαραγωγής.

Η σημασία των μικρής κλίμακας Φ/Β Συστημάτων στην τοπική ανάπτυξη. Το 2016, για παράδειγμα, οι εγκαταστάσεις μικρών φωτοβολταϊκών επί στεγών στην ΕΕ παρείχαν τριπλάσιες θέσεις εργασίας και καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ) από τις αντίστοιχες μεγάλες



εγκαταστάσεις επί εδάφους. Αυτό οφείλεται στο ότι οι μικρές εγκαταστάσεις απαιτούν περισσότερο εργατικό δυναμικό για την εγκατάσταση και συντήρηση των συστημάτων. Επιπλέον, το 75% των θέσεων εργασίας στα φωτοβολταϊκά αφορούν τοπική απασχόληση.

Η υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτογενή ενέργεια σε ένα Φ/Β Σταθμό επί εδάφους (ελάχιστα υψηλότερη από $1800\text{MJ}_{\text{th}}/\text{m}^2$), εξαιτίας των τεράστιων ποσοτήτων οπλισμένου σκυροδέματος, χάλυβα και αλουμινίου που απαιτούνται για τις δομές, οι οποίες είναι απαραίτητες για την στήριξη των Φ/Β μονάδων. Αντιθέτως, τα περισσότερα συστήματα στα κτίρια έχουν στο σύνολό τους περιεκτικότητα σε πρωτογενή ενέργεια γύρω στα $600\text{MJ}_{\text{th}}/\text{m}^2$, όπου υπολογίζεται κοντά στις 3 φορές χαμηλότερη A' ενεργειακή περιεκτικότητα των συστημάτων αυτών.

Κυριότερες εξαιρέσεις αποτελούν οι επίπεδες ταράτσες, λόγω της μεγάλης σχετικά εναπόθεσης χάλυβα για της βάσεις στήριξης όπου και απαιτούνται (σε σχέση με τις κεκλιμένες στέγες), καθώς και Φ/Β επενδύσεις όπου εμπεριέχουν σε μεγάλο βαθμό το υπερβολικά ενεργειακά απαιτητικό πρωτογενές (A') αλουμίνιο.

Όπως παρατηρούμε από τους υπολογισμούς και τους πίνακες, τα υλικά Φ/Β Συστημάτων που έχουν πολύ υψηλή ενεργειακή περιεκτικότητα, καθώς και ανάλογες υψηλές εκπομπές ΑτΘ για την σύνθεσή τους, είναι:

- ❖ Το Πρωτογενές Αλουμίνιο (A') που χρησιμοποιείται κατά κόρον στις βάσεις στήριξης των Φ/Β Συστημάτων, στην πλαισίωση των Φ/Β πάνελ, καθώς και στις καλωδιώσεις ως μέσο μεταφοράς της Εηλ.
- ❖ Ο χαλκός, ο οποίος αποτελεί εξίσου υλικό των καλωδιώσεων
- ❖ Το πολυμερές PVC, όπου χρησιμοποιείται σε διάφορα μέρη των Φ/Β Συστημάτων, όπως ως περίβλημα των καλωδιώσεων και υλικών σύνδεσης, ως υλικό σύνθεσης του κουτιού διακλαδώσεων (junction box) κα.

Το υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο του πρωτογενούς Αλουμινίου (A') και του Χαλκού, όπου χρησιμοποιούνται στις βάσεις στήριξης των Φ/Β πλαισίων, ως υλικό του πλαισίου, καθώς και στις καλωδιώσεις, αντίστοιχα. Δύο προσεγγίσεις μπορούν να ακολουθηθούν, πιο συγκεκριμένα: **ελαχιστοποίηση των απόλυτων ποσοτήτων των υλικών και χρήση ενός μεγάλου κλάσματος από ανακυκλώσιμα, δευτερογενή (B') υλικά.**

Αντιλαμβάνοντας τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος ή/και μιας υπηρεσίας έχουμε την ικανότητα να πάρουμε σωστότερες αποφάσεις, να επιλέξουμε τους κατάλληλους προμηθευτές από τις γεωγραφικά κατανεμημένες περιοχές, τα κατάλληλα υλικά και τεχνολογίες με τις αντίστοιχα κατάλληλες συσκευασίες και την ανάλογη διάρκεια ζωής που προσφέρουν.

- ✓ *Με τις σωστές αποφάσεις τα προϊόντα τελικής διάθεσης θα γίνονται καταλληλότερα*

Αποδείχθηκε ότι κατά την ανακύκλωση Φ/Β μονάδων με θερμοπλαστικό ως ενθυλακωτικό, η θραύση των κυττάρων κατά τη διάρκεια η ανακύκλωση μειώνεται δραστικά. Σε επίπεδο περιβαλλοντικών δεικτών, η ανακύκλωση 1 τn Φ/Β πλαισίων τεχνολογίας πυριτίου ισοδυναμεί με την αποφυγή έκλυσης $800 - 1.200 \text{ kgCO}_{2\text{eq}}$.

Ο (EPBT) ενός Φ/Β πλαισίου τεχνολογίας πυριτίου, το οποίο έχει κατασκευαστεί με υλικά από διεργασίες ανακύκλωσης, είναι κατά μέσο όρο τέσσερις φορές μικρότερος από



τον αντίστοιχο ενός Φ/Β πλαισίου όμοιας τεχνολογίας που έχει παραχθεί από αχρησιμοποίητα υλικά. Εξίσου σημαντική πρόκληση προς υπέρβαση καθίσταται ο αρχικός κατασκευαστικός σχεδιασμός της δομής των Φ/Β πλαισίων να εκτελείται με γνώμονα την εύκολη αποσυναρμολόγησή τους προς απλοποίηση της ανακύκλωσης των Φ/Β πλαισίων και της επαναχρησιμοποίησης των συστατικών τους.

Για τον καθαρισμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων απαιτούνται κατά μέσο όρο 0,114 m³ νερού ανά παραγόμενη MWh (εύρος τιμών 0,1-0,13 m³/MWh). Η ποσότητα αυτή είναι 30,5 φορές μικρότερη ανά παραγόμενη MWh από ένα λιγνιτικό σταθμό (σύμφωνα με τη ΔΕΗ, οι λιγνιτικοί σταθμοί καταναλώνουν κατά μέσο όρο 3,478 m³ νερού ανά παραγόμενη MWh). Το 2019 παρήχθησαν περίπου 3,962 TWh από τα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά, δηλαδή απαιτήθηκαν περίπου 452.000 m³ νερού για τον καθαρισμό των φωτοβολταϊκών, υπήρξε δηλαδή **εξοικονόμηση νερού** της τάξης των 13.300.000 m³ νερού εκείνο το έτος, εφόσον η εν λόγω ενέργεια παράχθηκε από Φ/Β και όχι από συμβατικές Λιγνιτικές Μονάδες.

Τα οφέλη από την χρήση της ηλιακής ενέργειας θα είναι πολύ πιο εμφανή αν εφαρμόζονται παράλληλα μέθοδοι εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης της ενέργειας. Μην ξεχνάμε ότι η εξοικονόμηση είναι η φθηνότερη και καθαρότερη μορφή ενέργειας



Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα	Τίτλος	Σελίδα
1.1	Βασικότερες Μορφές ΑΠΕ	16
1.2	Συσχέτιση της δυνατότητας παραγωγής Εηλ. από ηλιακούς σταθμούς με παραβολικά κάτοπτρα για διάφορες τοποθεσίες	17
1.3	Δομή του Ήλιου	22
1.4	Μέση Απόσταση μεταξύ Ήλιου – Γης, 1 Astronomic Unit (1 AU)	22
1.5	Απεικόνιση του ηλιακού μαγνητικού πεδίου	23
1.6	Φασματική αφετική ικανότητα ιδανικού μέλανος σώματος συναρτήσει του μήκους κύματος (λ)	24
1.7	Συνολική ημερήσια ηλιακή ενέργεια (MJ/m^2) η οποία προσπίπτει σε επίπεδο παράλληλο με την επιφάνεια της γης αμέσως έξω από την γήινη ατμόσφαιρα	26
1.8	Συνολική ημερήσια ηλιακή ενέργεια (MJ/m^2) η οποία προσπίπτει σε επίπεδο κάθετο στις ακτίνες του ήλιου αμέσως έξω από την γήινη ατμόσφαιρα.....	26
1.9	Εισερχόμενη Ηλιακή Ακτινοβολία στην Ατμόσφαιρα και η πορεία της.....	27
1.10	Η απομείωση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διέλευσή της μέσα από την γήινη ατμόσφαιρα	28
1.11	Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία δια μέσου της ατμόσφαιρας και των σωματιδίων που περιέχει	των 29
1.12	Ηλεκτρομαγνητικό (H/M) φάσμα	29
1.13	Προσπίπτουσα φωτεινή δέσμη στην διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών	31
1.14	Γωνία ζενίθ του ήλιου θ_z , γωνία ύψους του ήλιου α_s , γωνία αζιμούθιου του ήλιου γ_s , γωνία αζιμούθιου γ , και κλίση β για κεκλιμένη επιφάνεια με συγκεκριμένο προσανατολισμό	34
1.15	Περιοδικός Πίνακας Στοιχείων – Ατομικές Ιδιότητες Στοιχείων	35
1.16	Ηλιακός χάρτης για την περιοχή της Θεσσαλονίκης	36
1.17	Ηλιακές τροχιές κατά το θερινό και το χειμερινό ηλιοστάσιο, 21/06 & 21/12 αντίστοιχα..	39
1.18	Αντίστοιχα, η θέση (ύψος) του ήλιου στον ουράνιο θόλο για διαφορετικές εποχές	40
1.19	Δυναμική αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας	41
1.20	Τα Φ/Β καλύπτουν την μεσημεριανή αιχμή της κατανάλωσης.....	42
1.21	Η παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού ακολουθεί την εποχική ζήτηση	43
1.22	Δυναμικό Φ/Β ηλιακού ηλεκτρισμού στις Ευρωπαϊκές χώρες.....	43
1.23	Γραμμική Οικονομία	46



1.24	Κυκλική Οικονομία.....	47
1.25	Δείκτης Κυκλικότητας ενός Υλικού (MCI) με κλίμακα [0-1]	48
1.26	Κατεύθυνση ηλεκτρικού ρεύματος και ροή ηλεκτρονίων.....	53
1.27	Υδραυλικό Ισοδύναμο κύκλωμα σε αντιστοιχία με Ηλεκτρικό	54
1.28	Δομή του κρυστάλλου πυριτίου.....	57
1.29	Εσωτερική λειτουργικότητα στους μονωτές, ημιαγωγούς και αγωγούς	59
1.30	Ζώνες αγωγιμότητας και σθένους για Ge, Si και GaAs, Ενεργειακά Διάκενα Φ/Β	61
1.31	Ζώνη απογύμνωσης & ημιαγωγοί τύπου n και τύπου p	63
1.32	Εικονική αναπαράσταση νόθευσης (doping) κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si)	63
1.33	Ράβδος πυριτίου προς κατασκευή κρυσταλλικών Φ/Β πυριτίου	65
1.34	Τομή Φ/Β πλαισίου και ο τρόπος που συνδέονται τα φ/β στοιχεία με τα υπόλοιπα υλικά προς διαμόρφωσή του	65
1.35	Επεξεργασία της 1 ^{ης} ύλης.....	66
1.36	Βασικά μέρη που αποτελείται ένα φ/β λεπτού υμενίου τεχνολογίας CdTe	69
1.37	Απλοποιημένη διαφοροποίηση μεταξύ Φ/Β πλαισίων Μονοκρυσταλλικού και Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου	72
1.38	Μονοκρυσταλλικά (Monocrystalline, Mono-Si)	73
1.39	Πολυκρυσταλλικά (Polycrystalline, Poly-Si)	74
1.40	Μερίδιο αγοράς ΦΒ τεχνολογιών λεπτού υμενίου για το έτος 2017.....	77
1.41	Άμορφα Φ/Β Λεπτού υμενίου (a-Si thin film)	78
1.42	Σχηματική απεικόνιση τομής φ/β κελιού άμορφου πυριτίου και γραφική παράσταση	78
1.43	Φόρτιση Ηλεκτροκίνητου οχήματος μέσω εύκαμπτων Φ/Β λεπτού υμενίου.....	79
1.44	Φ/Β πλαίσιο μικροκρυσταλλικού πυριτίου & μικρόμορφου πυριτίου, αντίστοιχα.....	80
1.45	Συγκεντρωτικά φ/β στοιχεία	81
1.46	Παραδείγματα συγκεντρωτικών Φ/Β συστημάτων	82
1.47	Υβριδικό ΦΒ/θερμικό (PV/T) πλαίσιο	83
1.48	Φ/Β πλαίσια διπλής όψης.....	83
1.49	Σχεδίαση κάτοψης οικιακής στέγης στο λογισμικό AutoCAD	84
1.50	Κατηγορίες και λειτουργία Φ/Β συστημάτων	84
1.51	Διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα με το κεντρικό δίκτυο	85



1.52	Αυτόνομο ή αποκεντρωμένο Φ/Β Σύστημα.....	89
1.53	Μεταβολή της τάσης κατά την φόρτιση συσσωρευτή και η θετική επίδραση της αεριοποίησης	92
1.54	Επίδραση της χωρητικότητας ενός συσσωρευτή με την διακύμανση του ρυθμού εκφόρτισης	93
1.55	Η ικανότητα της μπαταρίας μολύβδου-οξέος εξαρτάται από τον ρυθμό εκφόρτισης και τη θερμοκρασία	95
1.56	Λειτουργία ενός Μ/Τ με ενσωματωμένο Ρ/Φ.....	97
1.57	Είδη συστημάτων ιχνηλάτισης της τροχιάς του ήλιου (tracking systems)	100
1.58	Σύγκριση των χαρακτηριστικών I-V για συνθήκες STC και NOCT	102
1.59	Σημεία λειτουργίας Φ/Β πλαισίου για διαφορετική ένταση ακτινοβολίας.....	103
1.60	Εξάρτηση χαρακτηριστικής καμπύλης I-V από την ηλιακή ακτινοβολία και την θερμοκρασία.....	103
1.61	Εξάρτηση καμπύλης P-V του MPP από την ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία, αντίστοιχα	103
1.62	Εξάρτηση από την ηλιακή ακτινοβολία της V_{oc} και του I_{sc} ενός φ/β στοιχείου πυριτίου... ..	104
1.63	Χαρακτηριστικές I-V για ένταση ακτινοβολίας 1 kW/m^2 , σε τέσσερα ΦΒ πλαίσια των 75 W_p διαφορετικής τεχνολογίας και γενιάς	104
1.64	Διάγραμμα σκίασης για περιοχή της Θεσσαλονίκης	105
1.65	Εκτιμώμενες απώλειες σκίασης και κατ' επέκταση απώλειας ισχύος για δύο διαφορετικές προσεγγίσεις συνδεσμολογίας	108
1.66	Επιδράσεις της σκίασης φ/β στοιχείων σε χαρακτηριστική I-V για ένα ΦΒ πλαίσιο	108
1.67	Δυνατότητα των διόδων παράκαμψης (bypass diodes) να αμβλύνουν τις επιδράσεις της σκίασης	109
1.68	Θερμικό διάγραμμα απόδοσης ενός Φ/Β Συστήματος ανάλογα με την κλίση και τον προσανατολισμό.....	110
1.69	Παραγωγή Φ/Β πυριτίου	113
1.70	Κλίση και Προσανατολισμός Φ/Β πλαισίου, αντίστοιχα	114
1.71	Απαιτούμενη επιφάνεια (σε m^2) διαφόρων τεχνολογιών για να αποκτήσουν εγκατεστημένη ισχύ 1 kW_p	116
1.72	Τομή 6 Διασταυρώσεων (Multi-junction solar cells) Σχεδιασμός Ηλιακού Κυττάρου.....	118
1.73	Χαρακτηριστική I-V μιας αντλίας νερού (κινητήρα) DC συνδυάζεται με τις χαρακτηριστικές I-V ενός Φ/Β πλαισίου.....	120
1.74	Ο κύκλος ζωής του H_2 από ΑΠΕ.....	121
1.75	Μίμηση Φωτοσύνθεσης από ηλιακή συσκευή	122



1.76	Αναπαράσταση της επιφάνειας που καλύπτουν τα Φ/Β στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό.....	123
1.77	Εμπορία ρύπων περιόδου 2005-2007 στην ΕΕ.....	132
1.78	Ποσοστό δωρεάν δικαιωμάτων ανά τομέα και ανά περίοδο.....	135
1.79	Απεικόνιση των περιοχών NATURA 2000 στην Ελληνική Επικράτεια, οι οποίες καταλαμβάνουν πάνω από το 27%.....	139
1.80	Απεικόνιση των υψομετρικών οροσειρών άνω των 500 μέτρων που καταλαμβάνουν περιοχές NATURA (πηγή ΕΛΕΤΑΕΝ).....	139
1.81	Ο δυναμικός Χάρτης απεικονίζει τις γραμμές μεταφοράς 400 kV και τις διασυνδέσεις της ηπειρωτικής χώρας με την νησιωτική και με τις χώρες του εξωτερικού.....	142
1.82	Παραγωγή ανά Καύσιμο & Ισοζύγιο Διασυνδέσεων για το 2020 έως τον Οκτώβριο.....	142
1.83	Φορτίο Συστήματος για τις 20/02/2021.....	143
1.84	Εθνικού Κέντρο (Ψηφιακού) Ελέγχου Ενέργειας στο Κρουονέρι.....	143
1.85	Γράφημα ETA 2 ετών με δεδομένα από τον ΔΑΠΕΕΠ και την χρήση Excel.....	145
2	Μελέτη από την SOLARGIS για 25ετή δυναμικό Φ/Β ηλεκτρισμού σε παγκόσμια κλίμακα.....	154
2.1	Απαραίτητα μέρη ενός Θερμικού Σταθμού παραγωγής Εηλ.....	156
2.2	Βασικότερα μέρη Α/Γ οριζόντιου άξονα χωρίς τον πύργο στήριξης.....	163
2.3	Ημερήσια Ηλιακή ενέργεια και μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου στην Κρήτη.....	166
2.4	Υλικά (σε τόνους) που απαιτεί ο εκάστοτε τύπος πηγής ενέργειας (τεχνολογίας ΑΠΕ) ανά παραγόμενη TWh.....	167
2.5	Γράφημα Αλουμινίου, Πηγή ΙΕΑ.....	168
2.6	Γράφημα Αλουμινίου, Πηγή ΙΕΑ.....	168
2.7	Ενεργειακή απόσβεση Φ/Β τεχνολογιών.....	171
2.8	Ενεργειακή απόσβεση Φ/Β Συστημάτων.....	171
2.9	Συναγωγή θερμότητας και διαφοροποίηση θερμοκρασίας.....	172
2.10	Η απόσταση της κάτω άκρης Φ/Β πλαισίου από το έδαφος μας αποδεικνύει ότι δεν σκιάζεται πλήρως η βλάστηση που βρίσκεται κατάντη του.....	173
2.11	Μερικές από τις κυριότερες εργαστηριακές δοκιμές που υφίστανται τα Φ/Β πλαίσια πριν την εισαγωγή τους στην αγορά.....	175
2.12	Έκλυση CO _{2eq} ανά εγκατεστημένη kWh διαφόρων ενεργειακών τεχνολογιών.....	177
2.13	Διάφοροι τρόποι ενσωμάτωσης των Φ/Β στον κτιριακό τομέα.....	184
2.14	Σχεδίαση στο Λογισμικό AutoCAD Φ/Β σταθμού 1 MWp.....	196
2.15	Φ/Β Σταθμός με περιστρεφόμενη βάση στήριξης.....	198



3.1	Στάδια της Μεθοδολογίας AKZ κατά τα πρότυπα ISO 14040 – 14043.....	201
3.2	LCI: Απογραφή Κύκλου Ζωής & LCIA: Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής.....	203
3.3	Δείκτες των ενδεχομένων επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής, ως προς τις εκπομπές σε περιβαλλοντικά μέσα.....	203
3.4	Ανάδραση μεταξύ της AKZ και των σταδίων της.....	212
4.1	Συνολική Χωρητικότητα (GWp) Εηλ. ετησίως στην Ελλάδα για χρονοσειρά από το 1980 (πηγή eia)	216
4.2	Συνολική Καθαρή Παραγωγή Εηλ. (TWh) ετησίως στην Ελλάδα για χρονοσειρά από το 1980 (πηγή eia)	216
4.3	Συνολική Χωρητικότητα ΑΠΕ (GWp) Εηλ. ετησίως στην Ελλάδα για χρονοσειρά από το 1980 (πηγή eia)	216
4.4	Συνολική Παραγωγή Εηλ. από ΑΠΕ (TWh) ετησίως στην Ελλάδα για χρονοσειρά από το 1980 (πηγή eia)	217
4.5	Συνολικές Απώλειες Διανομής Εηλ. (TWh) ετησίως στην Ελλάδα για χρονοσειρά από το 1980 (πηγή eia)	217
4.6	Επεξεργασμένος όγκος ανά τεχνολογία Φ/Β (%). Ετήσια αναφορά από την PV CYCLE για το έτος 2019.....	221
4.7	Μέση σύνθεση ενός Φ/Β πλαισίου που βασίζεται στο πυρίτιο	221
4.8	Με την Ανακύκλωση ενός τόνου Φ/Β πλαισίων που βασίζονται στο πυρίτιο, μπορεί να συγκριθεί με την αποφυγή έκλυσης 1,2 τόνων διοξειδίου του άνθρακα.....	222



Κατάλογος Πινάκων

Εικόνα	Τίτλος	Σελίδα
1.1	Το ενεργειακό διάκενο και το μέγιστο μήκος κύματος (αποκοπής) από το οποίο τα ηλεκτρόνια δεν διεγείρονται	πάνω 60
1.2	Μέσες απώλειες φ/β στοιχείου και αντίστοιχα η απόδοσή του (100% - 82% \approx 18%)	70
1.3	Βασικά χαρακτηριστικά των πιο διαδεδομένων τύπων μπαταριών	91
1.4	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα, ο ρόλος της Φ/Β τεχνολογίας	130
1.5	Σύνοψη των στόχων της ΕΕ για το κλίμα.....	131
2.1	Συνολική Ετήσια Ηλιακή Ακτινοβολία (kWh/m ²) ανάλογη της κλίσης για την περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	για 164
2.2	Κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή γυαλιού και αλουμινίου.....	167
2.3	Ταξινόμηση διαφορετικών τύπων Φ/Β εγκαταστάσεων	188
2.4	Πρωτογενές (Α') ενεργειακό περιεχόμενο και συγκεκριμένες εκπομπές CO ₂ των υλικών BOS.....	189
2.5	Τεχνολογικές παράμετροι τωρινών και μελλοντικών Φ/Β πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου.....	191
2.6	Χρόνος Ενεργειακής απόσβεσης (EPBT) με την χρήση Excel	194
3.1	Βασικά χαρακτηριστικά του κύκλου ζωής ενός Λιγνιτικού Σταθμού.....	198
4.1	Ελληνική αγορά Φ/Β 2007 – 2019.....	213
4.2	Θέσεις εργασίας στον τομέα των Φ/Β Συστημάτων για την περίοδο 2010 - 2018.....	214
4.3	Πηγή https://www.eia.gov/international/data/world	215



Βιβλιογραφία/ Ηλεκτρονικές Πηγές

Κεφ. 1 Κατσίγιαννης, Ι. (2019) Ήπιες Μορφές Ενέργειας: Διδακτικές σημειώσεις. Χανιά, Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Κρήτης

Κεφ. 1 Κατσίγιαννης, Ι. (2017) Ηλιακή Γεωμετρία: Διδακτικές σημειώσεις. Χανιά, Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Κρήτης

Κεφ. 1 Ήπιες Μορφές Ενέργειας, διαφάνειες εκπαιδευτικού υλικού ΑΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, τμήμα Μηχανολογίας

Κεφ. 1 Σάλτας, Β. (2018) Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική: Διδακτικές σημειώσεις. Χανιά, Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Κρήτης

Κεφ. 1 Επίσημος Ιστότοπος Wikipedia, Ήλιος και Ηλιακή Ενέργεια

Κεφ. 1 Καββαδίας, Κ. (2016). Σύγχρονος Ηλιακός Χάρτης της Ελλάδος με Εφαρμογή σε Υβριδικά Συστήματα ΑΠΕ, (Διδακτορική Διατριβή)

Κεφ. 1 Επίσημος Ιστότοπος Διεθνώς Αναγνωρισμένου Λογισμικού AKZ (<http://www.gabi-software.com/international/index/>)

Κεφ. 1 <https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/solar-panels/photovolt> (προσπέλαση στις 18/12/20)

Κεφ. 1 Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών (TOTTE 2010, Β' ΕΚΔΟΣΗ)

Κεφ. 1 Βασίλειος Δ. Μπιτζιώνης κα.2015. Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας

Κεφ. 1 Ημιαγωγοί, Διδακτικές σημειώσεις. Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών, ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ http://www.electronics.teipir.gr/personalpages/papageorgas/download/Electronics/ch02_gr_2.pdf

Κεφ. 1 ΣΑΛΤΑΣ Β. Εργαστηριακός Οδηγός Φυσικής (2015), Αποθετήριο Κάλλιπος. Χανιά, Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Κρήτης

Κεφ. 1 Ι. Κατσίγιαννης 2008. Βελτιστοποίηση Δομής και Οικονομική Αξιολόγηση Απομονωμένου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας που Βασίζεται σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, (Διδακτορική Διατριβή)

Κεφ. 1 Επίσημος Ιστότοπος Wikipedia, Αειφόρος Ανάπτυξη

Κεφ. 1 Επίσημος Ιστότοπος ΔΕΔΔΗΕ, <https://www.deddie.gr/>

Κεφ. 1 Επίσημος Ιστότοπος ΑΔΜΗΕ, <https://www.admie.gr/>

Κεφ. 1 Επίσημος Ιστότοπος ΔΑΠΕΕΠ, <https://www.dapeep.gr/>

Κεφ. 1 Επίσημος Ιστότοπος ΡΑΕ, <https://www.rae.gr/>

Κεφ. 1 Κατσανεβάκης Αναστάσιος, Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός, Σχολή Τεχνολογικών εφαρμογών, ανοιχτά ακαδημαϊκά μαθήματα, 2007



Κεφ. 1 Ένας πρακτικός τεχνικός οδηγός, ΣΕΦ 2013

Κεφ. 1 Μιχάλης Πέτσιος, Διδάκτωρ Μηχανικός της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ. Αναρτήσεις της Τεχνικής Εταιρείας MP Energy

Κεφ. 1 Επίσημος Ιστότοπος Ευρωπαϊκού Γραφείου Διαστήματος (ESA) esa.int. Δορυφορικά Συστήματα Ισχύος

Κεφ. 1 Επίσημος Ιστότοπος του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) ypen.gov.gr

Κεφ. 2 Από την άμμο στο Φ/Β πλαίσιο (οι εγκαταστάσεις παραγωγής της SolarWorld AG στο ΦΡΑΪΜΠΕΡΓΚ

Κεφ. 2 Ελληνικά Καλώδια: <https://www.cablel.com/el/>

Κεφ. 2 Συσσωρευτές Sunlight, <https://www.systems-sunlight.com/el/>

Κεφ. 2 Franklin et.al (1998). LCA_ Progress in Photovoltaics

Κεφ. 2 Gilbert M. Masters 2016. Συστήματα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ισχύος από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Επιστημονική Επιμέλεια Γεώργιος Παπαδάκης

Κεφ. 2 Ιορδάνης Ν. Κιοσκερίδης 2017. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Εφαρμογές των Ηλεκτρονικών Ισχύος

Κεφ. 2 Χ. Κορωνάιος κα., 2005. Ανάλυση Κύκλου Ζωής Διεργασιών Παραγωγής Υδρογόνου. Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής, ΑΠΘ

Κεφ. 2 Επίσημος Ιστότοπος Michanikos.gr

Κεφ. 3 M.P. Papadopoulou et.al. Assessing climate change impacts of Greek energy mix based on LCA

Κεφ. 3 Edgar G. Hertwich et.al, 2013. Integrated life-cycle assessment of electricity-supply scenarios confirms global environmental benefit of low-carbon technologies

Κεφ. 3 Επίσημος Ιστότοπος Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) www.cres.gr

Κεφ. 3 Διδακτικές Σημειώσεις Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Κεφ. 3 Επίσημος Ιστότοπος Διεθνώς Αναγνωρισμένου Λογισμικού AKZ (<http://www.gabi-software.com/international/index/>)

Κεφ. 3 Photovoltaic Geographical Information System, <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>

Κεφ. 3 Global Solar Atlas, <https://globalsolaratlas.info/map>

Κεφ. 3 European Platform of Life Cycle Assessment, <https://ec.europa.eu/environment/ipp/lca.htm>

Κεφ. 3 ISO 14044:2006, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines, <https://www.iso.org/standard/38498.html>



Κεφ. 4 Επίσημος Ιστότοπος του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Ανακύκλωσης Φ/Β Συστημάτων (PV CYCLE) <http://www.pvcycle.org/>

Κεφ. 4 Ανακύκλωση Φ/Β πλαισίων (2017): Ιχνηλάτηση της Υφιστάμενης Κατάστασης στην Ελληνική Αγορά <https://renewables.messaritis.gr/anankiklosi-fotovoltaikon-plaision/>

Κεφ. 4 Πρωτοποριακή Μέθοδος Μετατρέπει τα Σκουπίδια σε Γραφένιο. Ηλεκτρονική πηγή: <https://newpost.gr/enviroment/5e3130c4794c109e661edd33/protoporiaki-methodos-metatrapei-ta-skoypidia-se>

Κεφ. 4 Ενίσχυση των Φ/Β κυψελών με γραφένιο. Ηλεκτρονική πηγή:

<https://greenbuilding.gr/ilektrologika/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%B1-%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AD%CE%BD%CE%B9%CE%BF/>

Κεφ. 4 Επίσημος Ιστότοπος Συνδέσμου Ελλήνων Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ) https://helapco.gr/pdf/PV_Environment.pdf

Κεφ. 4 ΚΑΠΕ, Βιώσιμες Μεταφορές, Αειφόρος Κινητικότητα, http://www.cres.gr/cres/pages/exe/exe_metafores_2.html

Κεφ. 4 Μαρινόπουλος Θεόδωρος, 2017. Ανακύκλωση Φωτοβολταϊκών Πάνελ, Ανάκτηση Πυριτίου και Άλλων Μετάλλων Μέσω Χημικής Επεξεργασίας

Κεφ. 4 Παναγιωτόπουλος Ιωάννης (Διπλωματική), Μελέτη Βιωσιμότητας Εταιρείας Ανακύκλωσης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στην Ελλάδα. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου – Πανεπιστημίου Πειραιά