

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΑ  
ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΑΠΟΤΕΛΟΥΜΕΝΑ ΑΠΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΚΑΙ  
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΕΞΥΠΝΑ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΚΤΙΡΙΑ**



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΝΤΑΦΟΓΙΑΝΝΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΠΛΑΝΗΣ ΣΩΚΡΑΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2016

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Διπλωματική Εργασία που εκπονήθηκε στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας, με τίτλο: «*Συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας*» και πραγματοποιείται η δυναμική διαχείριση των φορτίων σε υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας αποτελούμενα από φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτρια και μπαταρίες για την χρήση σε έξυπνα ενεργειακά κτίρια. Η αυξανόμενη τάση ενσωμάτωσης συστημάτων ΑΠΕ στα κτίρια οδηγεί σε μεθόδους για την καλύτερη αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας σύμφωνα με τα φορτία ζήτησης.

Στην εργασία αυτή παράγεται ένας αλγόριθμος ο οποίος χρησιμοποιεί την αναλυτική επαναληπτική μέθοδο για τον υπολογισμό του βέλτιστου υβριδικού συστήματος για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μιας οικίας. Στον αλγόριθμο αυτό γίνεται ακόμα διαχείριση ορισμένων μετακινουμένων φορτίων για την καλύτερη αξιοποίηση της εμφανιζόμενης περίσσειας ενέργειας. Επιπρόσθετα στον αλγόριθμο ενσωματώνεται η πρόβλεψη της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά και η εκτίμηση της ζήτησης φορτίου.

Ευχαριστώ τον αρχικά επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Ελένη Καπλάνη για την πολύτιμη βοήθεια και για τις πολύτιμες συμβουλές της και τον μετέπειτα επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Σωκράτη Καπλάνη, για την βοήθεια και καθοδήγηση που επέδειξε για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Νταφογιάννης Παναγιώτης  
Ιούλιος 2016

**Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο φοιτητής  
Νταφογιάννης Παναγιώτης

.....

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δυναμική διαχείριση των φορτίων σε υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας αποτελούμενα από φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτρια και μπαταρίες για την χρήση σε έξυπνα ενεργειακά κτίρια. Για την διαχείριση των μετακινούμενων φορτίων με δυναμικό τρόπο ο αλγόριθμος εκμεταλλεύεται την περίσσεια ενέργεια που παράγεται από το σύστημα των ανανεώσιμων πηγών, λαμβάνοντας υπόψη τις προτιμήσεις των χρηστών. Η μέθοδος προσομοίωσης που ακολουθείται είναι η επαναληπτική και διενεργείται σε ωριαία βάση όλο το χρόνο και συμπεριλαμβάνει τις εποχικές και εβδομαδιαίες διακυμάνσεις στο ωριαίο προφίλ φορτίου. Τέλος, στον αλγόριθμο ενσωματώνεται και η πρόβλεψη της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά και η εκτίμηση της ζήτησης φορτίου.

Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται κάποια στοιχεία σχετικά με την ενεργειακή κατανάλωση παγκοσμίως. Επίσης γίνεται ανάλυση των οικιακών φορτίων καθώς και της σήμανσης των συσκευών ανά ενεργειακή κατηγορία.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια σύντομη βιβλιογραφική αναφορά των υπαρχόντων μεθόδων για τον υπολογισμό των φορτίων καταναλώσεως και των παραγόντων που επιδρούν στην οικιακή ηλεκτρική κατανάλωση.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται μια ανασκόπηση των ευρύτερα διαδεδομένων βάσεων λήψης των μετεωρολογικών δεδομένων και κάποιων εμπειρικών μοντέλων εκτίμησης της ηλιακής ακτινοβολίας τόσο σε ημερήσια όσο και σε ωριαία βάση.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται μια ευρύτερη παρουσίαση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η νομοθεσία που ακολουθήθηκε για την ενίσχυση της παρουσίας των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο των χωρών.

Στο κεφάλαιο 5 αναπτύσσονται τα ενεργειακά υβριδικά συστήματα αποτελούμενα από Φ/Β και Α/Γ καθώς και οι μπαταρίες ως μέσο αποθήκευσης της ενέργειας. Επιπλέον γίνεται σύντομη παρουσίαση των διαφόρων μοντέλων υπολογισμού των προαναφερθέντων μερών του συστήματος καθώς και των κριτηρίων αξιολόγησής τους από τεχνικής και οικονομικής άποψης.

Στο κεφάλαιο 6 παρατίθενται τα διάφορα είδη κτιρίων ανάλογα με την ενεργειακή τους συμπεριφορά και συστήματα ελέγχου και αυτοματισμοί που χρησιμοποιούνται σε αυτά. Εν συνεχεία παρουσιάζεται η διαχείριση της ζήτησης οικιακών φορτίων και βιβλιογραφική ανασκόπηση παλαιότερων ερευνών σχετικών με αυτή.

Στο κεφάλαιο 7 αναλύεται το ηλιακό και αιολικό δυναμικό της περιοχής που εξετάζεται.

Στο κεφάλαιο 8 γίνεται ανάλυση των υπολογιστικών μεθόδων που ακολουθήθηκαν για την εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο. Σε ακολουθία παρουσιάζονται οι μεθοδολογίες για την δημιουργία των διαφορετικών προφίλ καταναλώσεων και της μετατόπισης κάποιων φορτίων. Έπειτα περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των υβριδικών συστημάτων και την επιλογή της βέλτιστης οικονομοτεχνικά λύσης.

Στο κεφάλαιο 9 παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα που εξήχθησαν και αφορούν την επίδραση της ακτινοβολίας, όπως λήφθηκε και εκτιμήθηκε, καθώς και της επίδραση των διαφορετικών καμπυλών φορτίου στην διαστασιολόγηση του ενεργειακού υβριδικού συστήματος. Έπειτα εξήχθησαν τα βέλτιστα οικονομικά συστήματα κατά περίπτωση. Στο τέλος η επίδραση της μετατόπισης των φορτίων στην αξιοπιστία του συστήματος παρουσιάζεται.

Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται μια σύνοψη των αποτελεσμάτων που παρήχθησαν. Τα μοντέλα πρόβλεψης εμφάνισαν κάποιες διαφοροποιήσεις όσον αφορά στα παραγόμενα ενεργειακά υβριδικά συστήματα, ανάλογα με την βάση λήψης των δεδομένων, όπου η αρχική αυξημένη διαφορά των παραγόμενων γεννητριών σταδιακά συγκλίνει με την αύξηση της χωρητικότητας των μπαταριών. Από τα δυο σενάρια μικρότερο σύστημα απαιτείται για το σενάριο II το οποίο εκμεταλλεύεται καλύτερα το ταίριασμα της παραγωγής με την ζήτηση, λόγω των υψηλών ηλιακών δεδομένων, κατά τις ώρες της υψηλότερης ζήτησης. Η μετατόπιση των φορτίων δίνει επίσης σημαντικά αποτελέσματα και αυξάνει την αξιοπιστία των παραγόμενων συστημάτων και αποτελεί καινοτομία για την καλύτερη αξιοποίηση της περίσσειας ενέργειας.

## **ABSTRACT**

Aim of this project is the development of a complex simulation algorithm for the dynamic management of loads in hybrid PV/wind systems with batteries storage bank employed in intelligent energy buildings. The accomplishment of load shifting in time is conducted by dynamic load management by making use of the available excess energy produced by the hybrid PV/wind system, and taking into account the user energy consumption preferences. Simulation is performed on an hourly basis for the whole year, and seasonal and weekly variations in the load profile are considered. Finally, the prediction of solar irradiance and load estimation is built-in the algorithm.

In chapter 1 are presented several informative data that refer to the worldwide energy consumption. Also, an analysis of the residential loads is done and the labeling of the appliances per energy class.

At chapter 2 a short reference of the world literature is presented, associated to the estimation of load consumption and the factors affecting the residential energy consumption.

At chapter 3 is performed a review of the wider known meteorological databases and of some empirical models for the solar irradiance estimation, on an hourly or daily basis.

At chapter 4 a wider presentation of the renewable energy resources and the legislation adopted for enhancing RES presence in the energy balance of the countries.

At chapter 5 are presented the hybrid energy systems constituted of PVs and WTs with batteries as a storage bank. Additionally, a short description is done of the existing models for the calculation of the aforementioned system parts and the evaluation criteria under technical and economical perspective.

At chapter 6 are listed the various types of buildings according to their energy performance and control and automation systems used in them. Then is presented the energy management of the residential loads demand and a literature review of previous research works on this.

At chapter 7 is analyzed the solar and wind potential for the site under examination.

At chapter 8 is presented an analysis of the computational methods used to estimate the solar radiation on a horizontal and inclined plane. In sequence are presented the methodologies for generating the different consumption profiles

and load shifting. Then is described the procedure followed for the sizing of hybrid energy systems and adoption of the optimum techno- economic solution.

At chapter 9 are presented the comparative results obtained concerning the effects of radiation, as obtained and evaluated and the effect of different load curves in design of the energy hybrid system. Then the optimum systems produced per case under economic perspective. At the end the effect of shifting loads on system reliability is presented.

At last chapter is presented a summary of the obtained results. The forecasting models showed some variations at the produced hybrid energy systems, depending on the used database, where the initial increased difference of the obtained generators gradually converged when battery capacity increases. Among the two scenarios smaller system is required for the scenario II whose production matches better with the load demand due to the high solar data, during the hours of highest demand. Loads shifting also yields significant results and increases the reliability of the produced systems and constitutes an innovation proposal which for the best utilization of the excess energy.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ.....	5
1.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ.....	7
1.2. ΟΙΚΙΑΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ.....	10
1.3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΤΙΚΕΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ.....	11
2. ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΦΟΡΤΙΩΝ.....	13
2.1. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ.....	13
2.1.1. Μοντέλα Στατιστικής/παλινδρόμησης.....	14
2.1.2. Μοντέλα Μηχανικής.....	15
2.1.3. Μοντέλα με την χρήση Νευρωνικών Δικτύων.....	16
2.2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΟΙΚΙΑΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ.....	17
2.2.1. Χρονικοί παράγοντες.....	18
2.2.2. Κοινωνικο-οικονομικοί παράγοντες.....	18
2.2.3. Παράγοντες κατοικίας.....	23
2.2.4. Παράγοντες συσκευών.....	27
3. ΒΑΣΕΙΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	31
3.1. ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	32
3.2. ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	34
3.2.1. Εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας με την χρήση εμπειρικού μοντέλου(ημερήσια).....	35
3.2.2. Εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας με την χρήση εμπειρικού μοντέλου(ωριαία).....	36

4.	ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ .....	39
5.	ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	47
5.1.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	48
5.1.1.	Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια ως μέρος του υβριδικού συστήματος .....	49
5.1.2.	Η ανεμογεννήτρια ως μέρος του υβριδικού συστήματος .....	51
5.1.3.	Οι μπαταρίες ως μέσω αποθήκευσης του υβριδικού συστήματος.....	54
5.2.	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	57
5.2.1.	Αξιοπιστία ισχύος .....	58
5.2.2.	Ανάλυση του κόστους του συστήματος.....	59
5.3.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ .....	61
5.4.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	62
6.	ΈΞΥΠΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΚΤΙΡΙΑ .....	63
6.1.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΤΙΡΙΩΝ .....	64
6.1.1.	Συμβατικά συστήματα ελέγχου.....	64
6.1.2.	Έξυπνα συστήματα ελέγχου .....	65
6.2.	ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΤΙΡΙΩΝ.....	66
6.2.1.	Αυτοματισμός Οικιακών Λειτουργιών (DOMOTICS) .....	66
6.2.2.	Έξυπνη παρακολούθηση στην οικιακή διαχείριση.....	67
6.3.	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ (DSM).....	68
6.4.	ΕΡΕΥΝΕΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ Α.Π.Ε. ....	70
7.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΖΕΤΑΙ .....	73
8.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ .....	79
8.1.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ 79	
8.1.1.	Μεθοδολογία πρόβλεψης της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας .....	80
8.1.2.	Μεθοδολογίες πρόβλεψης της ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας .....	80
8.2.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΩΡΙΑΙΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ.....	84
8.3.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΣ ΦΟΡΤΙΩΝ.....	87
8.4.	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΦΟΡΤΙΩΝ.....	90



8.5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	92
8.5.1. Ανάλυση της ανεμογεννήτριας .....	93
8.5.2. Ανάλυση φωτοβολταϊκής γεννήτριας .....	95
8.5.3. Ανάλυση της συστοιχίας μπαταριών .....	96
8.5.5. Οικονομική ανάλυση του συστήματος .....	100
8.6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΡΟΗΣ .....	102
9. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	107
9.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	107
9.2. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ.....	111
9.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΤΑ ΜΕΤΑΚΙΝΟΥΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ .....	114
9.4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ.....	118
9.5. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	121
9.6. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	125
9.7. ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	129
9.8. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	133
10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	139
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	142

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην σημερινή εποχή η ενέργεια, η οποία αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα ανάπτυξης κάθε χώρας του πλανήτη, παρουσιάζει συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση. Δυστυχώς όμως αυτή η αυξανόμενη ανάγκη για ενέργεια έχει κάποιες καταστροφικές επιπτώσεις στο περιβάλλον (ρύπανση, φαινόμενο του θερμοκηπίου, αύξηση των επιπέδων του CO<sub>2</sub>, μόλυνση των υδάτινων πόρων κ.α).

Έως σήμερα η ηλεκτρική ενέργεια, αντίθετα με τα πολλά και ιδιαίτερα σημαντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει και για τα οποία η χρήση της είναι ευρέως διαδεδομένη, έχει ένα σημαντικό μειονέκτημα: Δεν υπάρχει ένας οικονομικά αποτελεσματικός τρόπος μακροχρόνιας αποθήκευσής της, όταν βεβαίως αναφερόμαστε σε ισοδύναμα ενέργειας με αυτά που καθημερινά παράγονται. Η παραγωγή και η κατανάλωσή της πρέπει δηλαδή να γίνονται ταυτόχρονα. Η άμεση λοιπόν κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας έχει προφανώς ως συνέπεια η παραγωγή της να οφείλει να συμπίπτει κατά το δυνατό με τη ζήτησή της. Περίσσεια παραγόμενη ενέργεια σημαίνει ότι αυτή θα χαθεί υπό τη μορφή άλλων μορφών ενέργειας όπως πχ θερμότητας, ενώ ελλιπής παραγωγή της θα σημαίνει αδυναμία κάλυψης της ζήτησής της και πιθανώς και άλλα προβλήματα, όπως απώλεια της ευστάθειας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Για την καλύτερη αξιολόγηση, διαστασιολόγηση και εκμετάλλευση των συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητη η διερεύνηση των φορτίων της ζήτησης και των παραγόντων που τα επηρεάζουν. Συνεπώς, για την περίπτωση των κτιρίων του οικιακού τομέα έχει βρεθεί ότι σημαντική επίδραση προέρχεται από την ποικιλομορφία των νοικοκυριών, την ενεργειακή συμπεριφορά των ενοίκων στην καθημερινότητά, όπως και διάφοροι κοινωνικο-οικονομικοί παράγοντες κ.ά.<sup>[1,2]</sup> Η δυσκολία στην αξιολόγηση αυτών των παραγόντων έγκειται στο κόστος του εξοπλισμού της έρευνας, σε νομοθετικά εμπόδια περί προσωπικών δεδομένων, αλλά και στην μεταβολή της χρήσης της ενέργειας σε κάποιες έρευνες που γενικά στην ξένη βιβλιογραφία αναφέρεται ως “rebound effect”<sup>[3]</sup>.

Στα πλαίσια της αναζήτησης λύσεων συζητήθηκαν και κάποιες προτάσεις εξοικονόμησης της ενέργειας μέσω της πιο ορθολογικής χρήσης της και χωρίς να μειώνονται τα επίπεδα διαβίωσης των ανθρώπων. Για τον λόγο αυτό, μέσω της ανάπτυξης και βελτίωσης των τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, όπως επίσης και μέσω των αυτοματισμών,

μπορούν να επιτευχθούν και οι δύο στόχοι της μείωσης της κατανάλωσης της ενέργειας, μείωση της περίσσειας παραγόμενης ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, τα βιοκαύσιμα και η παλιρροϊκή ενέργεια είναι ελκυστικές επιλογές ενώ παράγουν μικρή ή μηδενική ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τις συμβατικές πηγές, καθώς παράγονται από φυσικές πηγές όπως το ηλιακό φως, τον άνεμο, την βροχή και τις διάφορες μορφές βιομάζας. Αυτές οι πηγές δεν είναι μόνο ανανεώσιμες αλλά επίσης έχουν χαμηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

Στον κτιριακό τομέα, η εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού και η ενσωμάτωση των ενεργειακά αποδοτικότερων τεχνολογιών είναι προϋπόθεση για την πλήρη αξιοποίηση του ενεργειακού δυναμικού σε οποιαδήποτε περιοχή<sup>[4]</sup>. Η μέγιστη αξιοποίηση αυτή του δυναμικού, έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση στις ενεργειακές ανάγκες ενός κτιριακού συνόλου. Με την τοποθέτηση έξυπνων συστημάτων για την διαχείριση ηλεκτρικών εγκαταστάσεων<sup>[5]</sup>, μηχανολογικών εγκαταστάσεων, συστημάτων παραγωγής ενέργειας βασιζόμενων σε ΑΠΕ αλλά και ηλεκτρικών συσκευών δημιουργώντας ένα ενοποιημένο σύστημα για να προσφέρουν θερμική άνεση, ασφάλεια και εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και χρημάτων στους ενοίκους των κτιρίων. Τα κτίρια τα οποία έχουν προσαρτημένα συστήματα παραγωγής και διαχείρισης ενέργειας από ΑΠΕ γενικότερα αποκαλούνται «έξυπνα ενεργειακά κτίρια».

Προς την κατεύθυνση αυτή, η αξιοποίηση ενός συνδυασμού τεχνολογιών και συστημάτων βασισμένο στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας αποτελεί προϋπόθεση για τη βελτίωση των ενεργειακών και περιβαλλοντικών συνθηκών ενός τόπου. Σήμερα, υπάρχουν πολλά και διαφορετικά ενεργειακά συστήματα τα οποία είναι δυνατόν να ενσωματωθούν στα κτίρια με σκοπό την μερική ή ολική κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Τα κυριότερα από αυτά είναι<sup>[6]</sup>:

- Φωτοβολταϊκά συστήματα
- Ηλιακά θερμικά συστήματα
- Αιολικά συστήματα
- Γεωθερμικά συστήματα
- Συστήματα συμπαραγωγής ταυτόχρονα ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας
- Συστήματα αξιοποίησης βιομάζας μέσω ανακύκλωσης οργανικής ύλης κλπ.

Λόγο της στοχαστικής φύσης των ΑΠΕ, οι συσχετιζόμενες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας αδυνατούν να καλύψουν από μόνες τους πλήρως τα ηλεκτρικά φορτία. Έτσι έχουν ανακύψει ζητήματα σχετικά με την καλύτερη εκμετάλλευσή τους, ακόμη και με την χρήση αποθηκευτικών μέσων για την κάλυψη των φορτίων σε εικοσιτετράωρη βάση. Εξαιτίας της διαλείπουσας φύσης των ΑΠΕ η χρήση πλέον περισσότερων της μιας πηγής, έχει οδηγήσει

στην ανάπτυξη των υβριδικών ενεργειακών συστημάτων με σκοπό την αύξηση της αξιοπιστίας τους και ταυτόχρονη μείωση του κόστους τους<sup>[7]</sup>. Τα υβριδικά ενεργειακά συστήματα μπορεί να αποτελούνται είτε από δυο και άνω μονάδες παραγωγής μέσω ΑΠΕ ή και ακόμη συνδυασμός μιας τουλάχιστον μονάδας από ΑΠΕ μαζί με μια ή περισσότερες μονάδες παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές.

Ο σχεδιασμός και το μέγεθος των υβριδικών συστημάτων διαφοροποιείται ανάλογα με την εφαρμογή. Μια από τις κυριότερες εφαρμογές των συστημάτων αυτών σήμερα είναι για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε αγροτικές εγκαταστάσεις, σε περιοχές όπου η σύνδεση τους με το ηλεκτρικό δίκτυο αλλά και η μεταφορά του καυσίμου θεωρούνται οικονομικά ασύμφορες. Άλλοι τομείς εφαρμογής που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια είναι ο κτιριακός τομέας (αστικά κτίρια, νοσοκομεία, σχολεία, ξενοδοχεία), αλλά και σε συστήματα αφαλάτωσης ή και σε κτηνοτροφικές μονάδες.

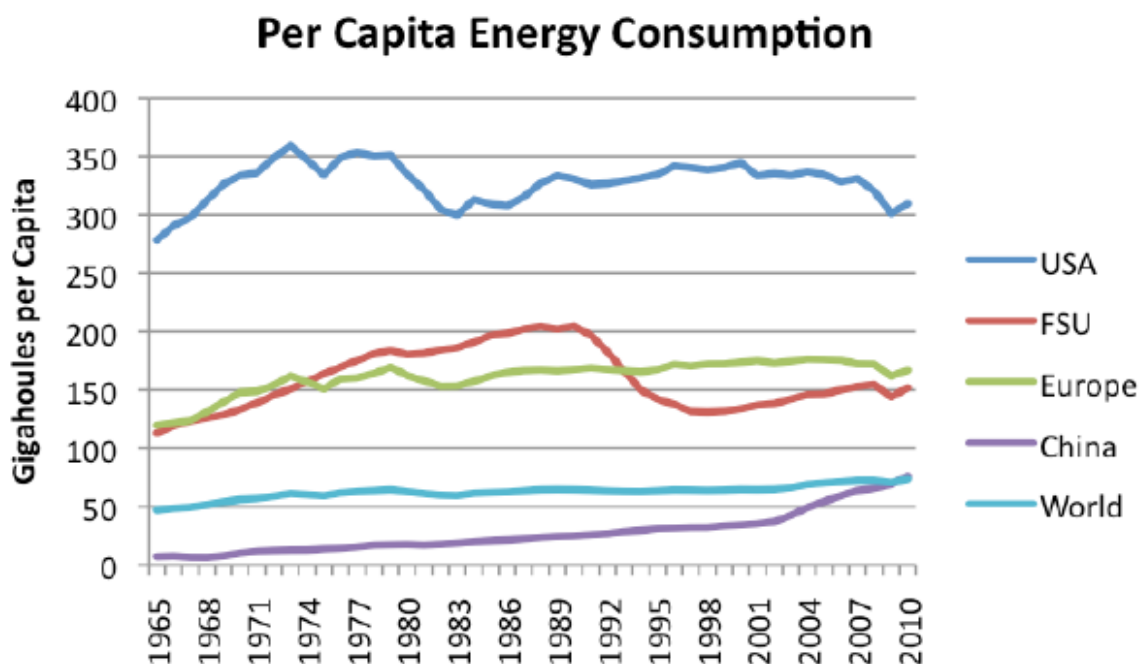
Για τον σχεδιασμό ενός υβριδικού συστήματος πρέπει να ληφθούν υπόψη ένας αριθμός παραγόντων όπως<sup>[8]</sup>:

- Η διαθεσιμότητα και η βέλτιστη εκμετάλλευση του δυναμικού των ΑΠΕ.
- Η εθνική πολιτική με την δημιουργία κινήτρων για την προώθηση των ΑΠΕ και ειδικότερα των υβριδικών τεχνολογιών.
- Αύξηση του ποσοστού διείσδυσης ΑΠΕ τεχνολογιών για την παραγωγή ενέργειας μέσω υβριδικών συστημάτων.
- Στοιχεία του καταναλισκόμενου φορτίου όπως η ημερήσια κατανάλωση (kWh), η διακύμανση και η ύπαρξη μεγίστων τιμών καθώς και η τοποθεσία της εξεταζόμενης περιοχής.
- Το οικονομικό όφελος του εγκαταστάτη-επενδυτή από την εγκατάσταση, λειτουργία και συντήρηση του συστήματος καθώς και την αξιοπιστία του, μεριμνώντας παράλληλα και για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εγκατάστασης.



# 1. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ

Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί εδώ και δεκαετίες αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής του συνόλου σχεδόν των ανθρώπινων κοινωνιών. Η χρήση της είναι απαραίτητη για την κάλυψη καθημερινών ανθρώπινων αναγκών, για την κίνηση –μεταφορά, καθώς και για την παρασκευή βιομηχανικών και γεωργικών αγαθών. Έτσι ένας από τους κυριότερους στόχους των συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ήταν πάντα η επαρκής παροχή του ηλεκτρισμού, για την κάλυψη του συνόλου των απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια.



**Διάγραμμα 1. 1** Κατανάλωση ενέργειας κατά κεφαλή (GJ/year). (πηγή: S. Kaplanis, 8<sup>th</sup> Egeenergy Conference Afyon Kocatepe, 11-13 May 2016)

Στο διάγραμμα 1.1 παρουσιάζεται η κατά κεφαλή ενεργειακή κατανάλωση από το 1965 έως το 2010. Οι ΗΠΑ εμφανίζουν σταθερά πολύ υψηλότερες καταναλώσεις από τις άλλες χώρες ή ενώσεις. Η πρώην Σοβιετική Ένωση (FSU), ενώ μέχρι το 1989 περίπου εμφανίζει έντονα αυξητική τάση στην κατανάλωση ενέργειας, έπειτα μια ραγδαία πτώση για τα επόμενα 5 περίπου χρόνια συμβαίνει. Αντίθετα, η Ευρωπαϊκή Ένωση από το 1974 και έπειτα εμφανίζει μια συνολικά σχεδόν σταθερή ενεργειακή κατανάλωση. Η Κίνα

δείχνει από το 2000 και μετά έναν υψηλό ρυθμό της κατά κεφαλήν κατανάλωσης μέχρι και το 2010. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην δέσμευση που απορρέουν από το πρωτόκολλο του Κιότο<sup>[9]</sup> το οποίο συνιστά στις χώρες να μειώσουν τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, αλλά δεν τις αποθαρρύνει να εισάγουν προϊόντα από χώρες που χρησιμοποιούν τον άνθρακα ως κύριο καύσιμο για τον ηλεκτρισμό.

**Πίνακας 1. 1** Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση κατά κεφαλήν και ανά νοικοκυριό χωρών της Ευρώπης από το 2000-2013(πηγή Enerdata).

	Μέση ηλεκτρική κατανάλωση των νοικοκυριών ανά κεφαλή (kWh/cap)		Μέση ηλεκτρική κατανάλωση ανά ηλεκτροδοτούμενο νοικοκυριό (kWh/hh)		Ηλεκτρική κατανάλωση των ηλεκτρικών συσκευών και του φωτισμού ανά ηλεκτροδοτούμενο νοικοκυριό (kWh/hh)	
	2013	2000 - 2013 (%/έτος)	2013	2000 - 2013 (%/έτος)	2013	2000 - 2013 (%/έτος)
Austria	2081	0,8	4746	0,2	3098	1,2
Belgium	1770	-2,0	4093	-2,4	2541	-0,6
Cyprus	1619	0,5	4499	-0,3	3408	1,4
Denmark	1772	-0,6	3820	-1,0	2832	-0,7
Finland	3993	1,0	8371	0,4	3010	-3,1
France	2533	1,4	5830	0,9	2769	1,2
Germany	1716	0,6	3362	-0,1	2133	0,8
Greece	1716	2,2	4256	1,1	2667	1,6
Ireland	1783	0,5	4879	-0,5	2520	0,3
Italy	1087	0,1	2485	-0,8	1836	-0,5
Lithuania	894	4,5	1991	3,3	1671	3,5
Luxembourg	1550	-1,2	3795	-1,6	3795	-1,6
Netherlands	1454	0,5	3232	0,1	2646	0,4
Norway	7383	-0,3	16497	-0,6	6929	-2,3
Spain	1554	2,8	4038	1,4	2565	1,8
Sweden	4062	-1,2	8192	-1,2	5505	0,4
United Kingdom	1769	-0,5	4143	-0,8	3050	-0,3
Iceland	2528	1,2	6502	0,2	6502	0,2
Switzerland	2322	0,5	5178	0,2	2821	0,3
<b>Europe</b>	<b>1567</b>	<b>0,8</b>	<b>3926</b>	<b>0,2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

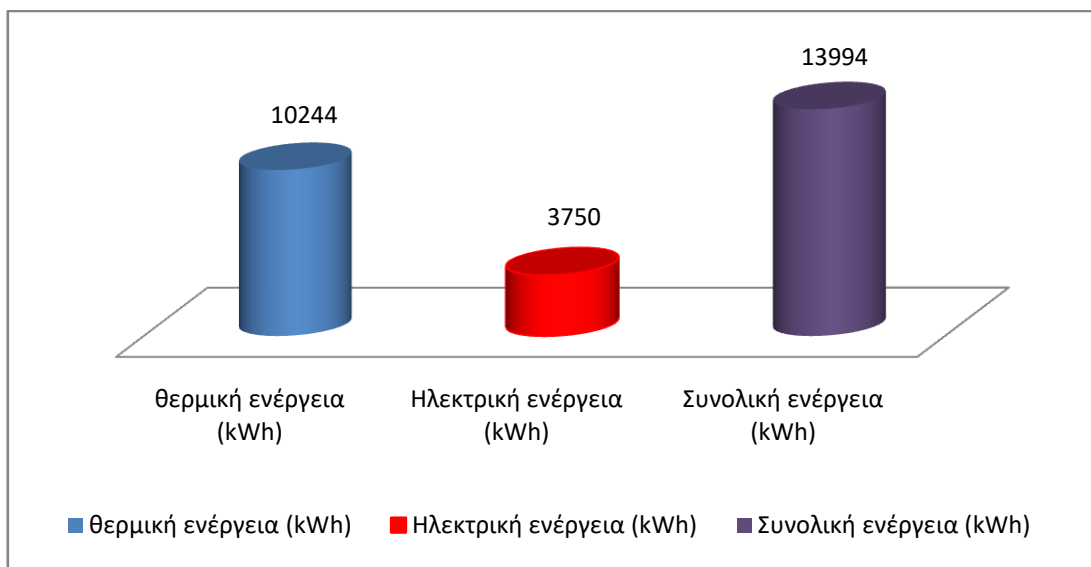
Στην Ευρώπη η κατά κεφαλήν ηλεκτρική κατανάλωση εμφανίζεται αυξημένη κατά 0,8%/έτος από το 2000-2013, πίνακας 1.1. Για την Ελλάδα αντίστοιχα το ποσοστό αυτό είναι 2,2%/έτος. Όσον αφορά την ηλεκτρική κατανάλωση ανά νοικοκυριό για την Ελλάδα είναι αυξημένη κατά 1,1%/έτος σε σύγκριση με την Ευρώπη που είναι μόλις 0,2%/έτος.

## 1.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

Το σύνολο των ενεργειακών αναγκών μιας οικίας, ανάλογα με τις δραστηριότητες που προκύπτουν μέσα στο σπίτι, μπορούν να χωριστούν σε θερμικές ανάγκες και ηλεκτρικές ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας.

Η Ελληνική Στατιστική Αρχή, με την βοήθεια του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), διενέργησαν την Έρευνα Κατανάλωσης Ενέργειας στα νοικοκυριά <sup>[10]</sup>, με περίοδο διεξαγωγής της έρευνας χειμερινούς (Οκτώβριος 2011-Απρίλιος 2012) και καλοκαιρινούς μήνες (Μάιος 2012-Σεπτέμβριος 2012).

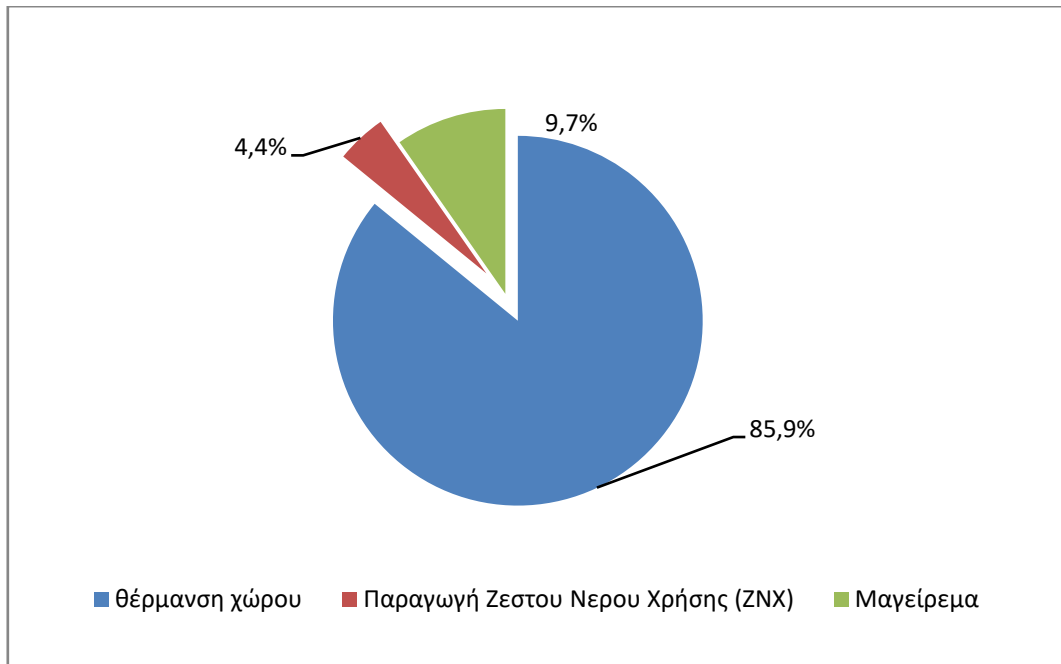
Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι κάθε ελληνικό νοικοκυριό καταναλώνει συνολικά 13994 kWh ετησίως, όπως βλέπουμε και στην παρακάτω διάγραμμα 1.2.



**Διάγραμμα 1.2** Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά νοικοκυριό (πηγή: ΕΛΣΤΑΤ 2012)

Η κατανάλωση της συνολικής θερμικής ενέργειας των 10244 kWh υπολογίστηκε για την θέρμανση, την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και το μαγείρεμα των νοικοκυριών, και σύμφωνα με την μέση τιμή των καυσίμων κατά τις περιόδους αναφοράς, όπως επίσης και σύμφωνα με την θερμογόνο δύναμη κάθε καυσίμου. Στο διάγραμμα που ακολουθεί (διάγραμμα 1.3) παρουσιάζεται αναλυτικά η κατανομή της θερμικής ενέργειας κατά την τελική της χρήση.

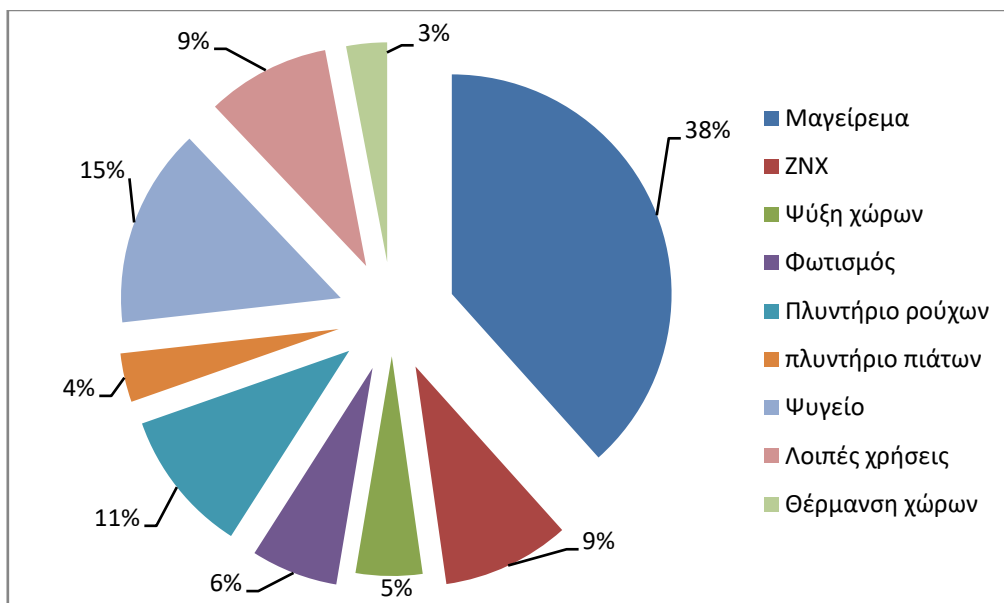




**Διάγραμμα 1.3** Μέση κατανάλωση θερμικής ενέργειας ανά νοικοκυριό (πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 1.2, που αφορά την έρευνα που διεξήγαγε η Ελληνική Στατιστική Αρχή<sup>[10]</sup>, με την βοήθεια του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), η μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά νοικοκυριό ανέρχεται σε 3750 kWh.

Κατανέμοντας αυτό το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας στις διάφορες κατηγορίες φορτίων, όπως αυτές αναλύθηκαν παραπάνω, εξάγεται το ακόλουθο διάγραμμα 1.4.



**Διάγραμμα 1.4** Κατανομή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά την τελική χρήση.

Από το παραπάνω διάγραμμα της ποσοστιαίας κατανομής κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας παρατηρείται ότι για το μαγείρεμα χρησιμοποιείται το 38.4 % της συνολικής ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας. Στην συνέχεια ακολουθεί η κατανάλωση χρήσης του ψυγείου με 14.7 %, ενώ μόνο το 4.9 % αφορά την ψύξη των χώρων.

Σύμφωνα με την συγκεκριμένη έρευνα, οι κατοικίες που ερευνήθηκαν ήταν μόνιμες και χρησιμοποιούνταν τουλάχιστον έξι μήνες τον χρόνο, έτσι ώστε να διαθέτουν λογαριασμούς τόσο για χειμερινούς όσο και για θερινούς μήνες.

Η κατανάλωση ενέργειας επηρεάζεται άμεσα από το βαθμό αστικότητας της περιοχής στην οποία βρίσκεται η κατοικία. Στον πίνακα 1.2 που ακολουθεί παρουσιάζει τη ηλεκτρική και την θερμική ενέργεια που καταναλώνει ετησίως, κατά μέσο όρο, κάθε νοικοκυριό στην Ελλάδα, ανά βαθμό αστικότητας όπως μας τα παρουσίασε η έρευνα που διεξήγαγε η Ελληνική Στατιστική Αρχή<sup>[10]</sup>.

**Πίνακας 1. 2** Ετήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά βαθμό αστικότητας (Πηγή ΕΛΣΤΑΤ).

	<b>Θερμική ενέργεια [kWh]</b>	<b>Ηλεκτρική ενέργεια [kWh]</b>
<b>Αστικές περιοχές</b>	8.453	4.000
<b>Αγροτικές περιοχές</b>	16.923	3.070

Αυτό που συμπεραίνουμε και μας αναδεικνύει αυτή η έρευνα είναι ότι οι ανάγκες των νοικοκυριών σε ηλεκτρική ενέργεια είναι υψηλότερες στις αστικές περιοχές ενώ οι ανάγκες σε θερμική ενέργεια είναι πολύ μεγαλύτερες στις αγροτικές περιοχές.

Όμως η παραπάνω έρευνα δεν είναι η μόνη προσπάθεια εύρεσης της μέσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας που έχει πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 1.3:

**Πίνακας 1. 3** Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά νοικοκυριό και ανά άτομο για την Ελλάδα

	<b>PEPESEC<sup>11</sup> (2009)</b>	<b>REMODECE<sup>12</sup> (2006-2008)</b>	<b>Ε.Σ.Υ.Ε (2004)</b>	<b>EUROCO<sup>13</sup> (2000-2002)</b>
<b>Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας νοικοκυριού (kWh/έτος)</b>	4005	4016	4035	4658
<b>Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά άτομο (kWh/έτος/κάτοικο)</b>	1651	1165	1517	1704

## 1.2. ΟΙΚΙΑΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

Το άθροισμα των επιμέρους οικιακών ηλεκτρικών φορτίων που ενεργοποιούνται κατά την διάρκεια της ημέρας μέσα σε μια οικία δημιουργούν την ημερήσια καμπύλη φορτίου. Ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετούν, οι ηλεκτρικές αυτές οικιακές συσκευές μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες φορτίων. Αυτές είναι:

**Φωτισμός:** Εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες (ηλιοφάνεια, διάρκεια της ημέρας κ.τ.λ), καθώς επίσης και από τις συνήθειες των κατοίκων της οικίας. Χάρη στην ανάπτυξη της τεχνολογίας, υπάρχει πλέον η δυνατότητα μείωσης της κατανάλωσης της ενέργειας από φορτία φωτισμού της τάξεως του 30%-50%.

**Κλιματισμός χώρων:** Περιλαμβάνει τα φορτία θέρμανσης, ψύξης και εξαερισμού ή καθαρισμού του αέρα των εσωτερικών χώρων. Εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως οι κλιματολογικές συνθήκες, το εμβαδόν του χώρου, τον αριθμό των ατόμων που διαμένουν στην οικία, τα υλικά κατασκευής και μόνωσης του κτιρίου κ.α. Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, ότι λόγω της αύξησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η χρήση συσκευών καθαρισμού του αέρα των εσωτερικών χώρων έχει αυξητικές τάσεις.

**Θέρμανση νερού:** Σχετίζεται με τα φορτία μεταφοράς και θέρμανσης του νερού. Εξαρτάται από τον αριθμό ατόμων που διαμένουν στην οικία και από τις συνήθειές τους. Παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία έχει προχωρήσει πολύ σε αυτόν τον τομέα, με την ανάπτυξη εναλλακτικών τεχνολογιών, όπως οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, για την κάλυψη των φορτίων θέρμανσης νερού, στην Ελλάδα το μεγαλύτερο ποσοστό καταναλωτών συνεχίζει να κάνει χρήση του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα.

**Ηλεκτρικές συσκευές κουζίνας:** Περιλαμβάνουν τα φορτία που σχετίζονται με την άμεση και έμμεση παραγωγή του φαγητού. Στα άμεσα φορτία ανήκουν οι ηλεκτρικές κουζίνες, οι φούρνοι μικροκυμάτων και οι ηλεκτρικές ψηστιέρες, ενώ στα έμμεσα φορτία βρίσκονται τα ψυγεία, οι καταψύκτες, τα πλυντήρια πιάτων κ.τ.λ.

**Ηλεκτρονικά:** Σε αυτά τα φορτία ανήκουν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές μαζί με τα περιφερειακά τους, όπως οι εκτυπωτές, οι συσκευές δικτύου κ.α. Εντάσσονται σε ειδική κατηγορία, καθώς παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες, αφού για την προστασία τους συχνά χρησιμοποιούνται και διατάξεις που αποθηκεύουν ενέργεια, για την προστασία των δεδομένων σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος. Τα ηλεκτρονικά φορτία έχουν αυξανόμενη διείσδυση πλέον στα σπίτια, καθώς αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για κάθε μέλος του σπιτιού.

**Οπτικοακουστικά συστήματα:** Σε αυτά τα φορτία ανήκουν οι τηλεοράσεις, τα ραδιόφωνα, τα ηχεία, οι συσκευές αναπαραγωγής οπτικών δίσκων κ.τ.λ. Αποτελούν τα πιο διαδεδομένα φορτία ηλεκτρικής κατανάλωσης. Η συχνότητα ενεργοποίησής τους καθώς και η διάρκεια σε χρόνο λειτουργίας τους εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων, τις συνήθειές τους και τον τρόπο ζωής.

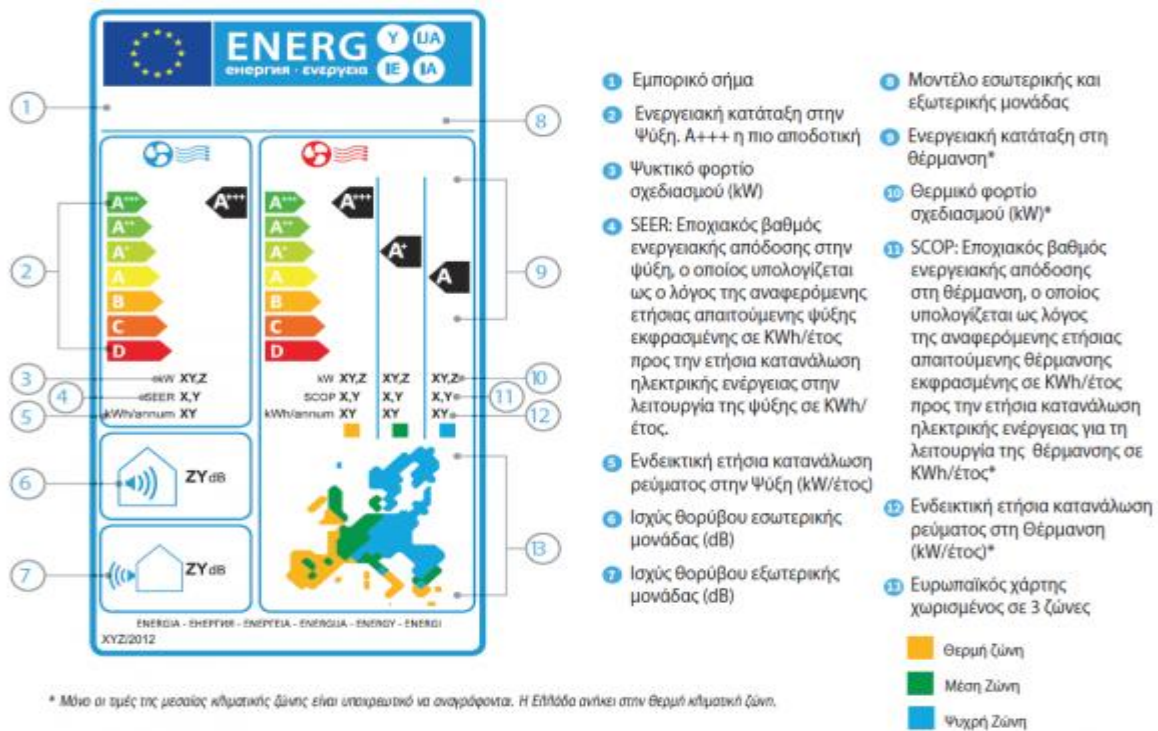
**Λοιπές οικιακές συσκευές:** Περιλαμβάνουν όλες τις υπόλοιπες οικιακές συσκευές οι οποίες δεν ανήκουν σε κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες, όπως το σίδερο, η ηλεκτρική σκούπα, οι στεγνωτήρες μαλλιών κ.τ.λ. Σε κάθε περίπτωση δεν θα μπορούσαν να παραβλεφθούν, καθώς καταναλώνουν σημαντικό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας

### **1.3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΤΙΚΕΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ**

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, όρισε την Ενεργειακή Ετικέτα (οδηγίες 92/75/ΕΟΚ και 2010/30/ΕΕ), η οποία υποχρεωτικά συνοδεύει όλα τα προϊόντα προς πώληση σε όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ανεξάρτητα από τη χώρα παραγωγής τους. Σύμφωνα με αυτή την οδηγία, όλες οι ηλεκτρικές συσκευές πρέπει να διαθέτουν ετικέτα, όπου θα αναφέρεται η ενεργειακή τους κλάση, σύμφωνα με την ποσότητα ενέργειας που καταναλώνουν κατά τη λειτουργία τους. Οι ενεργειακές κλάσεις μιας ηλεκτρικής συσκευής είναι 7, και κλιμακώνονται από το Α έως και το G, όπου η Α είναι η ενεργειακά αποδοτικότερη κλάση και η κλάση G είναι η ενεργειακά λιγότερο αποδοτική.

Ο σκοπός της έκδοσης της οδηγίας έγινε κυρίως για δύο λόγους. Ο πρώτος, είναι η παροχή κατανοητών, αναγνωρίσιμων και συγκρίσιμων πληροφοριών που αφορούν την κατανάλωση ενέργειας των ηλεκτρικών συσκευών. Ο δεύτερος λόγος είναι η ευαισθητοποίηση και στροφή των καταναλωτών προς ηλεκτρικές συσκευές υψηλής ενεργειακής κλάσης, οι οποίες εξοικονομούν ενέργεια και μειώνουν το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος, προστατεύοντας με τον τρόπο αυτό το περιβάλλον. Ας μην ξεχνάμε άλλωστε ότι δεδομένου ότι ο χρόνος ζωής μιας οικιακής συσκευής είναι, κατά κανόνα, μεγαλύτερος από 10 έτη, το χαμηλό ετήσιο κόστος λειτουργίας της αποτελεί έναν από τους βασικότερους παράγοντες επιλογής της.

Στο μέλλον οι ετικέτες αυτές, εκτός από τις ηλεκτρικές συσκευές, θα πρέπει να μπαίνουν και σε άλλα προϊόντα που καταναλώνουν ενέργεια, όπως επαγγελματικά ψυγεία και μηχανήματα εργοστασίων, αλλά και σε προϊόντα που δεν καταναλώνουν ενέργεια, αλλά έχουν σημαντική άμεση ή έμμεση επίδραση στην εξοικονόμηση ενέργειας, όπως τζάμια παραθύρων και εξώπορτες.



**Εικόνα 1.1** Δείγμα ενεργειακής ετικέτας μίας κλιματιστικής μονάδας<sup>1</sup>.

Οι κλιματιστικές μονάδες μπορούν να λειτουργήσουν τόσο για την ψύξη όσο και για την θέρμανση χώρων. Στον παρακάτω πίνακα 1.4 παρουσιάζεται η εξοικονόμηση της ενέργειας από την αντικατάσταση μια κλιματιστικής μονάδας λειτουργίας ψύξης χαμηλής ενεργειακής απόδοσης, με μια άλλη υψηλότερης ενεργειακής απόδοσης, υπό την προϋπόθεση ότι και οι δύο συσκευές έχουν την ίδια ονομαστική ισχύ (εκφρασμένη σε Btu/h).

**Πίνακας 1.4** Διαβάθμιση της ενεργειακής εξοικονόμησης ενέργειας των κλιματιστικών μονάδων ανάλογα με την κλάση.

ΤΑΞΗ	D	C	B	A	A+	A++	A+++
D							
C	13%						
B	26%	11%					
A	39%	23%	10%				
A+	52%	34%	21%	9%			
A++	90%	68%	51%	36%	25%		
A+++	121%	95%	75%	59%	45%	16%	

Για παράδειγμα, εάν αντικατασταθεί μια κλιματιστική μονάδα ψύξης ενεργειακής κλάσης B με μια άλλη κλιματιστική μονάδα ίδιας ονομαστικής ισχύος κλάσης A+++ , τότε επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξεως του 75%.

<sup>1</sup> [http://www.energylab.gr/ac-energy-efficiency/#!prettyPhoto\[group2\]/0/](http://www.energylab.gr/ac-energy-efficiency/#!prettyPhoto[group2]/0/)

## 2. ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΦΟΡΤΙΩΝ

Η δημιουργία μοντέλων για τους οικιακούς καταναλωτές για την πρόβλεψη και ανάλυση των καμπυλών φορτίου που παρουσιάζουν, αφορά μια διαδικασία η οποία αναλύει και τις στοχαστικές διακυμάνσεις των φορτίων. Η δυσκολία αποτύπωσης της οφείλεται κυρίως στους ακόλουθους παράγοντες:

- Ποικιλομορφία των νοικοκυριών, δηλαδή το μέγεθός τους, ο τρόπος κατασκευής τους, η θερμομονωτική τους ικανότητα κα.
- Ποικιλότητα ζωής, αφορά τις καθημερινές δραστηριότητες των καταναλωτών.
- Ερευνητική δυσκολία, διατάξεις οι νόμων οι οποίες πολλές φορές καταστύουν δύσκολη ή αδύνατη την συλλογή δεδομένων για τους καταναλωτές και την ενεργειακή τους συμπεριφορά.
- Κόστος εξοπλισμού, συσκευών και μετρητικών διατάξεων για την μέτρηση της κατανάλωσης, τα οποία είναι πολύ υψηλού κόστους.

Υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις για την μοντελοποίηση της οικιακής κατανάλωσης ηλεκτρισμού, κάθε ένα με τα δικά του δυνατά σημεία και αδυναμίες. Τα τρία βασικά μοντέλα είναι τα παρακάτω:

- Στατιστικής/παλινδρόμησης
- Μηχανική
- Νευρωνικά δίκτυα

### 2.1. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

Τα μοντέλα στατιστικής/παλινδρόμησης μπορεί να θεωρηθούν ότι είναι ‘top-down’ και ‘bottom-up’ μέθοδοι μοντελισμού. Η ‘top-down’ προσέγγιση χρησιμοποιείται σε μελέτες που μελετούν τα φορτία σε εθνικό επίπεδο και στοχεύουν να αποδώσουν την ηλεκτρική κατανάλωση του αποθέματος του σπιτιού στα χαρακτηριστικά των σπιτιών<sup>[14]</sup>. Η ‘bottom-up’ προσέγγιση χρησιμοποιείται σε μελέτες βασισμένη σε μεμονωμένες κατοικίες με σκοπό την δημιουργία σχέσεων ανάμεσα στα χαρακτηριστικά των νοικοκυριών και στην ηλεκτρική χρήση. Ένας αριθμός μελετών επίσης συνδυάζει και τις ‘top-down’ και τις ‘κάτω-πάνω’ προσεγγίσεις <sup>[15,16]</sup>. Τα μοντέλα Μηχανικής και των

Νευρωνικών Δικτύων, στο μεγαλύτερο μέρος τους, θεωρούνται ότι είναι ‘bottom-up’ προσεγγίσεις μοντελοποίησης, καθώς χρησιμοποιούν δεδομένα που συλλέχθηκαν σε οικιακό επίπεδο για να συμπεράνουν σχέσεις μεταξύ της χρήσης του ηλεκτρισμού και των χαρακτηριστικών των οικιών και των κατοίκων που μένουν σε αυτά.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στη μοντελοποίηση γενικότερα, αλλά και στην πρόβλεψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας έχουν χρησιμοποιηθεί και άλλες τεχνικές που βασίζονται στην υπολογιστική νοημοσύνη, όπως είναι οι «γενετικοί αλγόριθμοι»<sup>[17]</sup>, τα «έμπειρα συστήματα»<sup>[18]</sup> ή τα «μοντέλα βασισμένα σε πράκτορες»<sup>[19]</sup>.

### 2.1.1. Μοντέλα Στατιστικής/παλινδρόμησης

Στατιστικής/παλινδρόμησης και οικονομετρικές μέθοδοι είναι οι πιο συχνά εφαρμόσιμες για να ερευνήσουν την επιρροή τους κοινωνικό-οικονομικούς, οικιακούς και συσκευής παράγοντες της ηλεκτρικής οικιακής κατανάλωσης. Η μέθοδος στατιστικής/παλινδρόμησης μπορεί να θεωρηθεί και ‘top-down’ και ‘κάτω-πάνω’ μέθοδος ανάλυσης και ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανάλυση μεγάλων σετ δεδομένων και είναι πρακτικά χρήσιμα όταν ένα μεγάλο σετ δεδομένων υπάρχει, καθώς αυτά βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα και δίνουν μια καλή κατανόηση των μοτίβων ηλεκτρικής κατανάλωσης.

Οι O’Doherty et al.<sup>[20]</sup> χρησιμοποίησαν δεδομένα από μια Εθνική Έρευνα της Ποιοτικής Κατοικίας και εφάρμοσαν ένα γενικευμένο γραμμικό μοντέλο για να συμπεράνουν μια σχέση μεταξύ της ιδιόκτητης συσκευής και της κατανάλωσης ηλεκτρισμού. Η ανάλυσή τους έδειξε επεξηγηματικές μεταβλητές που είχαν μεγάλη σημασία για την ηλεκτρική κατανάλωση όπως: τα χαρακτηριστικά των κατοικιών; τοποθεσία, αξία και τύπος κατοικίας, καθώς επίσης και χαρακτηριστικά των ενοίκων; το εισόδημα, την ηλικία, την περίοδο της παραμονής, την κοινωνική τάξη και το είδος της κατοχής.

Οι Leahy και Lyons<sup>[21]</sup> εφάρμοσαν μια συνηθισμένη γραμμική παλινδρόμηση ελαχίστων τετραγώνων χρησιμοποιώντας δεδομένα της Έρευνας Οικογενειακών Προϋπολογισμών της Ιρλανδίας. Το διαθέσιμο εισόδημα, το μέγεθος του νοικοκυριού, η ηλικία της κατοικίας και η κοινωνικοοικονομική ομάδα ήταν μεταξύ των μεταβλητών που φάνηκαν ότι επηρεάζουν την κατανάλωση ηλεκτρισμού στο σπίτι.

Μια παραλλαγή της προσέγγισης της στατιστικής / παλινδρόμησης είναι το Μοντέλο Ζήτησης Υπό Όρους (CDA), το οποίο αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από τους Parti και Parti<sup>[22]</sup>. Μηνιαίοι λογαριασμοί ηλεκτρικού ρεύματος κατά τη διάρκεια ενός έτους παλινδρόμησαν έναντι διαγραμμάτων ιδιόκτητων συσκευών και δημογραφικών μεταβλητών όπως το εισόδημα των νοικοκυριών και ο αριθμός των ενοίκων στον διαχωρισμό της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε 16 διαφορετικές τελικές χρήσεις. Η μεθοδολογία αυτή έδειξε την μεγάλη

σημασία της ιδιόκτητης συσκευή επάνω στα μοτίβα ηλεκτρικής κατανάλωσης σε μια περίοδο 24 ωρών.

Ο Yohanis et al.<sup>[23]</sup> ανέλυσαν μοτίβα της ηλεκτρικής κατανάλωσης σε 27 αντιπροσωπευτικές κατοικίες στην Βόρεια Ιρλανδία. Τα ηλεκτρικά προφίλ φορτίων χαρακτηρίστηκαν με βάση τον τύπο κατοικίας, το εμβαδόν, τον αριθμό των ενοίκων, τον αριθμό των υπνοδωματίων, την κατοχή, την ηλικία και ενοίκων και το εισόδημα των νοικοκυριών. Ειδικότερα, οι συγγραφείς βρήκαν μια σημαντική σχέση ανάμεσα στην οικιακή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και στην έκταση του δαπέδου.

Οι Hart και de Dear<sup>[24]</sup> χρησιμοποίησαν παλινδρόμηση για να καθορίσουν μια σχέση μεταξύ της εξωτερικής θερμοκρασίας και της οικιακής κατανάλωσης ηλεκτρισμού στην Νέα Νότια Ουαλία, στην Αυστραλία. Η έρευνά τους κατέληξε ότι υπήρχε μια σημαντική σχέση μεταξύ της εξωτερικής θερμοκρασίας και της ηλεκτρικής κατανάλωσης και ότι τείνει να γίνεται εντονότερη κατά τις περιόδους με ψυχρότερο καιρό.

Ο Parker<sup>[25]</sup> επίσης κοίταξε για την επίδραση της εξωτερικής θερμοκρασίας στην ηλεκτρική κατανάλωση, εφαρμόζοντας μια γραμμική παλινδρόμηση. Για την μελέτη αυτή 15 λεπτά δεδομένα συλλέχτηκαν από 204 κατοικίες στην Κεντρική Φλόριντα, στις ΗΠΑ, κοιτάζοντας την τελική ηλεκτρική κατανάλωση, την θέρμανση/ψύξη χώρων και την θέρμανση νερού. Μια σημαντική σχέση βρέθηκε επίσης ανάμεσα στις τελικές χρήσεις όλου του ηλεκτρισμού και στην εξωτερική θερμοκρασία. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι και οι δύο προηγούμενες μελέτες που παρουσιάστηκαν από τους Hart και de Dear<sup>[24]</sup> και τον Parker<sup>[25]</sup> διεξήχθησαν σε θερμά κλίματα όπου ο ηλεκτρισμός χρησιμοποιείται συνήθως για την θέρμανση και την ψύξη των κατοικιών, κάτι το οποίο δεν παρατηρείται σε πιο εύκρατα κλίματα, όπως το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ιρλανδία.

## 2.1.2. Μοντέλα Μηχανικής

Τα μοντέλα Μηχανικής χρησιμοποιούν πληροφορίες όπως η ονομαστική ισχύς της συσκευής ή τα χαρακτηριστικά τελικής χρήσης για να δημιουργήσουν μια περιγραφή των μοτίβων ηλεκτρικής κατανάλωσης από την ‘bottom-up’. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που σχετίζονται με αυτά τα μοντέλα είναι ότι είναι η μόνη μέθοδος που μπορεί να μοντελοποιήσει την κατανάλωση ηλεκτρισμού, χωρίς ιστορικές πληροφορίες σχετικά με τη χρήση ηλεκτρισμού. Ωστόσο, τα μοντέλα της Μηχανικής μπορεί να είναι περίπλοκα στο να εφαρμοστούν και θα πρέπει να αξιολογηθούν.

Οι Yao και Steemers<sup>[26]</sup> ανέπτυξαν ένα δυναμικό μοντέλο λογισμικού για τη δημιουργία προφίλ φορτίου βασισμένο στα μοτίβα της πληρότητας, της ιδιόκτητης συσκευής και το ποσοστό χρήσης. Οι συγγραφείς κατηγοριοποίησαν τους καθοριστικούς παράγοντες ηλεκτρικής κατανάλωσης βασισμένοι σε 2



κατηγορίες: συμπεριφοράς και φυσικής, και οι δυο οι οποίοι συνδέονται δυνατά με τις οικιστικές συνθήκες πληρότητας. Οι καθοριστικοί παράγοντες συμπεριφοράς σχετίζονται με αποφάσεις που λαμβάνονται σε ωριαία / ημερήσια / εβδομαδιαία βάση σχετικά με τη χρήση συγκεκριμένων συσκευών. Οι καθοριστικοί παράγοντες φυσικής σχετίζονται με "σταθερές" μεταβλητές που δεν αλλάζουν συχνά ή και καθόλου με το χρόνο, όπως το μέγεθος της κατοικίας.

Οι Widen και Wackelgard<sup>[27]</sup> χρησιμοποίησαν δεδομένα χρήσης-χρόνου (δηλαδή πρόγραμμα των ενοίκων τις ζωντανές δραστηριότητες) καθώς επίσης και τις εκμεταλλεύσεις των συσκευών, τις εκτιμήσεις και τις διανομές του ημερήσιου φωτός για να παράγουν προφίλ ηλεκτρικού φορτίου. Τρία σετ Σουηδικών δεδομένων χρήσης-χρόνου και μετρήσεων ενέργειας χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση και την επικύρωση των αποτελεσμάτων. Οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη δημιουργία ατομικών προφίλ φορτίου.

Οι Shimoda et al.<sup>[28]</sup> μοντελοποίησαν την ηλεκτρική κατανάλωση σε ωριαία βάση για διάφορες κατοικίες και χαρακτηριστικά νοικοκυριά στην πόλη Οσάκα της Ιαπωνίας. Οι συγγραφείς έδειξαν ότι ο χρόνος χρήσης των ενοίκων, η εξωτερική θερμοκρασία, η αποδοτικότητα της συσκευής και τα θερμικά χαρακτηριστικά της κατοικίας όλα επηρέασαν σημαντικά το μοτίβο της ηλεκτρικής κατανάλωσης σε όλη την ημέρα.

Οι Capasso et al.<sup>[29]</sup> μοντελοποίησαν το μοτίβο ηλεκτρικής κατανάλωσης σε περίοδο 15 λεπτών, όπου διάφορα κοινωνικοοικονομικά, δημογραφικά, ψυχολογικά και συμπεριφορικά χαρακτηριστικά ενός ιδιοκτήτη σπιτιού, καθώς και τα χαρακτηριστικά της συσκευής χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή ενός προφίλ φορτίου ηλεκτρισμού. Το μοτίβο πληρότητας του ιδιοκτήτη του σπιτιού, όπως επίσης και η ιδιοκτησία της συσκευής, η χρήση και οι βαθμολογίες συνέβαλλαν σημαντικά για την κατασκευή των σχημάτων προφίλ φορτίου.

Οι Papadopoulos et al.<sup>[30]</sup> εφάρμοσαν το λογισμικό προσομοίωσης Energy Plus για να μοντελοποιήσουν την ενεργειακή χρήση δυο πολυοικογενειακών κτιρίων (πολυκατοικίες) για να προσδιοριστεί η βέλτιστη οικονομική και περιβαλλοντική απόδοση των τύπων θέρμανσης χώρου σε δύο ελληνικές πόλεις. Οι συγγραφείς συνέκριναν τρεις τύπους: το πετρέλαιο λέβητα, τις αντλίες θερμότητας και τα ηλεκτρικά καλοριφέρ και λέβητες αερίου, με το τελευταίο να ξεπερνά σημαντικά τα άλλα δύο είδη. Ωστόσο, οι συγγραφείς συμπέραναν επίσης ότι κάτω από ορισμένες συνθήκες οι ηλεκτροκίνητες αντλίες θερμότητας μπορούν να συναγωνιστούν με το φυσικό αέριο για την θέρμανση των χώρων και ευνοούν την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας στο σπίτι.

### **2.1.3. Μοντέλα με την χρήση Νευρωνικών Δικτύων**

Τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούν ένα μαθηματικό μοντέλο από βιολογικά δίκτυα για την προσομοίωση της ηλεκτρικής κατανάλωσης σε μια

κατοικία. Είναι μια παραλλαγή της μηχανικής υποομάδας, μοντελοποίηση εισόδου ορίζουσα τις μεταβλητές ως σειρά των νευρώνων. Κάθε νευρώνας μπορεί να αλληλεπιδράσει με άλλους μέσω ενός μηχανισμού ανατροφοδότησης. Ιστορικά έχουν χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της ζήτησης ηλεκτρισμού σε επίπεδο χρησιμότητας, ωστόσο, έχουν επίσης εφαρμοστεί σε οικιακό επίπεδο. Τα νευρωνικά δίκτυα μοντελοποιούν ένα σύνθετο αριθμό των παραμέτρων εισαγωγής που επηρεάζουν την ηλεκτρική κατανάλωση στο σπίτι όπως επίσης την επιρροή του κάθε παραμέτρου με τον άλλον. Οι ικανότητες αυτοδιδασκαλίας τους έχουν σαν αποτέλεσμα μπορεί να οδηγήσει σε ένα ακριβή μέσο μοντελοποίησης της ηλεκτρικής κατανάλωσης μέσα στο σπίτι. Ωστόσο, όπως τα CDA, τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν επίσης να υποφέρουν από προβλήματα πολύ-συγγραμμικότητας όπου υπάρχουν υψηλά επίπεδα κορεσμού συσκευής.

Οι Aydinalp et al.<sup>[31]</sup> ανέπτυξαν ένα νευρωνικό δίκτυο για να μοντελοποιήσουν την κατανάλωση ηλεκτρισμού για οικιακές συσκευές, φωτισμό και ψύξη χώρου στο σπίτι. Οι Aydinalp et al.<sup>[32]</sup> επέκτειναν αυτό το έργο για την ανάπτυξη μοντέλων νευρωνικών δικτύων για την θέρμανση χώρων και θέρμανση οικιακού ζεστού νερού. Οι Aydinalp et al.<sup>[33]</sup> επίσης πραγματοποίησαν μια σύγκριση των νευρωνικών δικτύων, ανάλυση της εξαρτώμενης ζήτησης και μηχανικές προσεγγίσεις για τη μοντελοποίηση της τελικής χρήσης κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα. Μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο νευρωνικού δικτύου που επηρέασαν την ηλεκτρική κατανάλωση ήταν οι ιδιότητες συσκευές και η χρήση, το εισόδημα, ο τύπος της κατοικίας και τη σύνθεση των νοικοκυριών.

## **2.2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΟΙΚΙΑΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ**

Σκοπός αυτής της ενότητας είναι η ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν την οικιακή ηλεκτρική κατανάλωση και γενικότερα κατηγοριοποιούνται σε χρονικούς, κοινωνικο-οικονομικούς, κατοικίας και συσκευών. Μια έρευνα της παγκόσμιας βιβλιογραφίας η οποία ασχολείται με αυτούς τους παράγοντες πραγματοποιήθηκε. Η κατανόηση της επίδρασης αυτών των παραγόντων μπορεί να βοηθήσει στην υιοθέτηση μιας αποτελεσματικής ενεργειακής πολιτικής και να συνδράμει στην μελλοντική πρόβλεψη της ηλεκτρικής κατανάλωσης στον οικιακό τομέα.

### 2.2.1. Χρονικοί παράγοντες

Τα ηλεκτρικά φορτία γενικά επηρεάζονται από τρεις διαφορετικούς χρονικούς παράγοντες, οι οποίοι περιγράφονται παρακάτω:

**Οι εποχικές μεταβολές:** Επιδρούν σημαντικά στην μορφή της καμπύλης του φορτίου. Ορισμένες από αυτές τις μεταβολές επιφέρουν σταδιακή μεταβολή της καμπύλης (όπως π.χ. η θερμοκρασία ή οι ώρες ηλιοφάνειας) και άλλες μεταβάλλουν την καμπύλη φορτίου απότομα (όπως η αλλαγή της ώρας από χειμερινή σε θερινή και το αντίστροφο, η έναρξη της σχολικής χρονιάς κ.α.). Οι μεταβολές αυτές, σταδιακές ή μη, επηρεάζουν τόσο την χρήση συσκευών θέρμανσης και κλιματισμού, όσο και τις δραστηριότητες των ανθρώπων, ανάλογα με την περιοχή του συστήματος.

**Η εβδομαδιαία/ημερήσια περιοδικότητα:** Σχετίζεται με τον κύκλο εργασιών ή ανάπαυσης του πληθυσμού, και επηρεάζει την μορφή της καμπύλης του φορτίου. Αυτό σημαίνει ότι κατά την διάρκεια του Σαββατοκύριακου, εξαιτίας της ανάπαυσης του πληθυσμού, η ζήτηση είναι μειωμένη, ενώ την Δευτέρα και την Παρασκευή, εξαιτίας του ότι είναι παραπλήσιες μέρες με το Σαββατοκύριακο, έχουν λίγο διαφορετική καμπύλη φορτίου. Τέλος, η Τρίτη, Τετάρτη και Πέμπτη έχουν παρόμοιες καμπύλες ως εργάσιμες ημέρες.

**Οι εθνικές και θρησκευτικές εορτές και αργίες:** Επιδρούν στην μορφή της καμπύλης του φορτίου με τρόπο παραπλήσιο του Σαββατοκύριακου, καθώς η εργασία του πληθυσμού είναι περιορισμένη, σε σχέση με μια εργάσιμη ημέρα. Τέλος, μείωση της ζήτησης παρατηρείται και κατά την διάρκεια εορταστικών τριημέρων.

**Απρόοπτοι παράγοντες:** Η οικιακή κατανάλωση επηρεάζεται ακόμη και από άλλους απροσδιόριστους/απρόοπτους παράγοντες όπως απεργίες, εκλογές, μια τηλεοπτική εκπομπή, εκδηλώσεις στην οικία, κάποια επισκευή ή ανακαίνιση, φιλοξενία άλλων προσώπων, επίσκεψη φίλων κ.ά.

### 2.2.2. Κοινωνικο-οικονομικοί παράγοντες

Σε διάφορες μελέτες γίνεται αναφορά και ταυτοποίηση ενός εύρους από κοινωνικό-οικονομικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ηλεκτρική κατανάλωση σε οικιακά κτίρια. Αυτοί οι παράγοντες μπορεί να κατηγοριοποιηθούν όπως παρουσιάζονται στις επόμενες υποενότητες.

#### 2.2.2.1. Αριθμός των ενοίκων

Οι περισσότερες προηγούμενες έρευνες οι οποίες εξέτασαν το θέμα κατέληξαν ότι υπάρχει μια σημαντική θετική σχέση ανάμεσα στο μέγεθος του νοικοκυριού και στην οικιακή ηλεκτρική χρήση, υποδηλώνοντας ότι καθώς ο

αριθμός των ανθρώπων που ζουν στην οικία αυξάνεται, τόσο περισσότερο ηλεκτρισμός χρησιμοποιείται .

Οι Leahy και Lyons<sup>[21]</sup> καθιέρωσαν ότι τα Ιρλανδικά νοικοκυριά τα οποία κατοικούνται μόνο έναν άνθρωπο κατανάλωσαν σημαντικά λιγότερο ηλεκτρισμό από τα νοικοκυριά με δύο ή περισσότερους ενοίκους, υπολογίζοντας ότι το νοικοκυριό ενός ατόμου χρησιμοποιεί περίπου 19% λιγότερο ηλεκτρισμό ανά εβδομάδα από το νοικοκυριό δύο ατόμων. Οι Brounen et al.<sup>[34]</sup> καθιέρωσαν ότι ένας επιπλέον ένοικος σε Γερμανικά νοικοκυριά αύξησε την ηλεκτρική χρήση περίπου 21%.

#### 2.2.2.2. Σύνθεση οικογένειας

Η σημαντική επίδραση της σύνθεσης της οικογένειας (δηλαδή η παρουσία παιδιών, εφήβων, ενηλίκων και γηραιών ανθρώπων) στην ηλεκτρική κατανάλωση σε οικιακά κτίρια έχει αναγνωριστεί ευρέως στη βιβλιογραφία.

Η παρουσία παιδιών και η επιρροή τους στην ηλεκτρική κατανάλωση δήχτηκε ότι ήταν σημαντική από τους Mc Loughlin et al.<sup>[22]</sup>, οι οποίοι καθόρισαν ότι οι ενήλικοι που ζουν μαζί με παιδιά στην Ιρλανδία κατανάλωσαν αρκετά περισσότερο ηλεκτρισμό από αυτούς που ζούσαν μόνοι ή με άλλους ενηλίκους. Οι Brounen et al.<sup>[34]</sup> αποκάλυψαν ότι νοικοκυριά στην Ολλανδία με παιδιά κατανάλωσαν σχεδόν ένα πέμπτο περισσότερο ηλεκτρισμό από οικογένειες χωρίς παιδιά, και αυτή η επίδραση ήταν μεγαλύτερη όταν η ηλικία των παιδιών αυξήθηκε. Οι συγγραφείς πιστεύουν ότι αυτό συνέβη γιατί τα μεγαλύτερα παιδιά βλέπουν περισσότερη τηλεόραση, χρησιμοποιούν ατομικούς υπολογιστές και είναι συχνότεροι χρήστες συσκευών παιχνιδιών. Παρόμοια αποτελέσματα δημοσιεύτηκαν από τους Wiesmann et al.<sup>[15]</sup> (Πορτογαλία) και τον Nielsen<sup>[35]</sup> (Δανία).

Αντίθετα με προηγούμενες μελέτες, οι Bartiaux και Gram-Hanssen<sup>[36]</sup> και οι Gram-Hanssen et al.<sup>[37]</sup> αποκάλυψαν ότι η παρουσία ενός ή περισσότερων μικρών παιδιών (0-9 χρονών) σε ένα νοικοκυριό είχε μια αρνητική επίδραση στην κατανάλωση, υποδεικνύοντας ότι η παρουσία παιδιών μείωσε τη μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Η επίδραση της παρουσίας εφήβων έχει επίσης αναφερθεί .Οι Bartiaux και Gram-Hanssen<sup>[36]</sup> και Gram-Hanssen et al.<sup>[37]</sup> αποκάλυψαν ότι η μέση ηλεκτρική κατανάλωση ήταν σημαντικά υψηλότερη σε νοικοκυριά με εφήβους (13-19 χρονών) απ' ότι χωρίς. Επιπρόσθετα, οι Bartusch et al.<sup>[38]</sup> βρήκαν σημαντική αύξηση της ετήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης ανά m<sup>2</sup> ηλεκτρικά θερμαινόμενης επιφάνειας για οικογένειες με εφήβους στην Σουηδία.

Οι Leahy και Lyons<sup>[21]</sup> καθόρισαν ότι μονογονεϊκά νοικοκυριά χρησιμοποίησαν σημαντικά περισσότερο ηλεκτρισμό από νοικοκυριά με δύο γονείς στα Ιρλανδικά νοικοκυριά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα μονογονεϊκά

νοικοκυριά χρησιμοποίησαν 10.4% περισσότερο ηλεκτρισμό ανά εβδομάδα από τα νοικοκυριά με δύο γονείς.

Οι Brounen et al.<sup>[34]</sup> καθόρισαν ότι τα γηραιότερα νοικοκυριά στην Ολλανδία κατανάλωσαν περίπου 2-4% λιγότερο ηλεκτρισμό από τα μεσαίας ηλικίας παντρεμένα ζευγάρια, υπονοώντας ότι παρόλο που οι άνθρωποι μεγαλύτερης ηλικίας μπορεί να περνάνε πιο πολύ χρόνο στο σπίτι, φαίνεται να έχουν λιγότερες συσκευές κατανάλωσης ενέργειας.

### 2.2.2.3. Ηλικία των ενοίκων

Η ηλικία των ενοίκων του νοικοκυριού και η επίδρασή του στην οικιακή ηλεκτρική κατανάλωση έχει υπάρξει το επίκεντρο ενός αριθμού από προηγούμενες μελέτες, οι οποίες ανέφεραν πολύ παρόμοιες επιδράσεις για διαφορετικά εύρη ηλικίας. Γενικά, η βιβλιογραφία προτείνει ότι υπάρχει μια σημαντική σχέση ανάμεσα στην ηλικία των ενοίκων και την κατανάλωση ηλεκτρισμού και ότι η κατανάλωση είναι μεγαλύτερη σε αυτά τα νοικοκυριά όπου η ηλικία των ενοίκων είναι περίπου στο εύρος των 50 και 65 χρονών. Για νοικοκυριά με των ενοίκων κάτω των 50 και άνω των 65 χρονών η ηλεκτρική κατανάλωση κατά συνέπεια αναφέρεται ότι είναι λιγότερη.

Οι Leahy και Lyons<sup>[21]</sup> υπέδειξαν ότι νοικοκυριά στην Ιρλανδία με ηλικία των ενοίκων ανάμεσα στα 45 και στα 64 χρησιμοποίησαν σημαντικά περισσότερο ηλεκτρισμό από αυτούς με εύρος 35-44 χρονών. Ωστόσο, καθώς η ηλικία αυξάνεται άνω των 64, η ηλεκτρική χρήση μειώνεται σημαντικά.

Οι Mc Loughlin et al.<sup>[22]</sup> βρήκαν ότι η ηλεκτρική κατανάλωση σε Ιρλανδικά νοικοκυριά με νεότερους ενοίκους (με ηλικία μεταξύ 18 και 35 χρονών) ήταν σημαντικά λιγότερη συγκρινόμενη με άλλες ηλικιακές κατηγορίες, 36-55 και 56 και άνω. Σε αυτή την περίπτωση, οι συγγραφείς πίστεψαν ότι αυτό μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι οι άνθρωποι μεσαίας ηλικίας είχαν περισσότερα παιδιά που ζούσαν στο σπίτι (έχοντας έτσι μεγαλύτερο αριθμό ενοίκων) και αυξημένα μοτίβα πληρότητας (δηλαδή ενοίκους στο σπίτι για μεγαλύτερη περίοδο της ημέρας). Συνάγοντας με τους προηγούμενους συγγραφείς, οι Kanousian et al.<sup>[39]</sup> αποκάλυψαν ότι σε Αμερικάνικα νοικοκυριά με ηλικία μεγαλύτερη από 55 και ανάμεσα σε 19 και 35 είχαν λιγότερη ηλεκτρική κατανάλωση. Οι συγγραφείς πρότειναν ότι νοικοκυριά με γηραιά μέλη τείνουν να είναι πιο ευσυνείδητα στο τρόπο χρήσης του ηλεκτρισμού, και επίσης τείνουν να χρησιμοποιούν λιγότερες ηλεκτρικές μικροσυσκευές, ενώ μέλη νοικοκυριού ανάμεσα στην ηλικία των 19 και των 35 είναι πιο πιθανόν να έχουν μια πλήρης απασχόλησης δουλειά και γι αυτό ξοδεύουν λιγότερο χρόνο στο σπίτι.

#### 2.2.2.4. Θέση απασχόλησης των ενοίκων

Η επίδραση της θέσης των ενοίκων στην οικιακή ηλεκτρική ζήτηση έχει επανειλημμένα αναφερθεί σαν ασήμαντο . Παρόλα αυτά, οι Yohanis et al.<sup>[23]</sup> δεν βρήκαν καμία σημαντική επίδραση της θέσης απασχόλησης των ενοίκων στην ηλεκτρική κατανάλωση στα σπίτια της Βόρειας Ιρλανδίας, παρατήρησαν ότι σπίτια που καταλαμβάνονταν κατά την διάρκεια της ημέρας από άνεργους ή συνταξιούχους ανθρώπους είχαν γενικά μικρότερες ηλεκτρικές καταναλώσεις από σπίτια μη κατειλημμένα κατά την διάρκεια της ημέρας.

#### 2.2.2.5. Μορφωτικό επίπεδο ενοίκων

Διαφορετικές επιδράσεις του μορφωτικού επιπέδου στην οικιακή ηλεκτρική ζήτηση έχουν αναφερθεί. Οι Gram-Hanssen et al.<sup>[37]</sup> παρατήρησαν ότι η ηλεκτρική κατανάλωση μειώθηκε σημαντικά με το επίπεδο μόρφωσης στην Δανία, εκ των οποίων, νοικοκυριά που αποτελούνταν από μέλη οικογένειας με μόρφωση μεγαλύτερη από το δημοτικό σχολείο (μέχρι 12 χρονών) παρουσίασαν σημαντικά λιγότερη χρήση ηλεκτρισμού από νοικοκυριά που αποτελούνταν από μέλη οικογένειας μορφωμένα με επίπεδο δημοτικού σχολείου. Σε αντίθεση, οι Zhou και Teng<sup>[40]</sup> καθόρισαν ότι οικογένειες με μεγαλύτερη μόρφωση από το δημοτικό σχολείο (μέχρι 12 χρονών) στην Κίνα είχαν υψηλότερη ηλεκτρική κατανάλωση. Οι Leahy και Lyons<sup>[21]</sup> αποκάλυψαν ότι αυτά τα Ιρλανδικά νοικοκυριά με μόνο δημοτικό σχολείο (μέχρι 12 χρονών) χρησιμοποιούν 6.4% λιγότερο ηλεκτρισμό ανά εβδομάδα από αυτούς που τελείωσαν το λύκειο.

Σύμφωνα με τους Bedir et al.<sup>[41]</sup> και Cramer et al.<sup>[42]</sup>, το μορφωτικό επίπεδο δεν επηρέασε σημαντικά την χρήση ηλεκτρισμού σε Γερμανικές και Αμερικάνικες κατοικίες.

#### 2.2.2.6. Κοινωνικό-οικονομική κατάταξη των ενοίκων

Η κοινωνική ομάδα, που ανήκουν τα μέλη ενός νοικοκυριού, έχει παρατηρηθεί να έχει μια σημαντική επίδραση στην ηλεκτρική ζήτηση σε Ιρλανδικά σπίτια από τους Mc Loughlin et al.<sup>[22]</sup> , οι Leahy and Lyons<sup>[21]</sup> ανέφεραν ότι η κοινωνικό-οικονομική θέση δεν επηρεάζει σημαντικά την χρήση ηλεκτρισμού σε Ιρλανδικά σπίτια.

Ειδικότερα, οι Mc Loughlin et al.<sup>[22]</sup> αποκάλυψαν ότι η κοινωνική θέση είχε μια θετική επίδραση στην τελική ηλεκτρική κατανάλωση, προτείνοντας ότι οι υψηλότεροι επαγγελματίες είχαν την τάση να καταναλώνουν περισσότερο ηλεκτρισμό από τους χαμηλούς επαγγελματίες, με τους πρώτους να έχουν την τάση να μένουν σε μεγαλύτερες οικίες και να έχουν μεγαλύτερο αριθμό ηλεκτρικών συσκευών, υποδηλώνοντας μια πιθανή επίδραση του εισοδήματος.

#### 2.2.2.7. Καθεστώς ιδιοκτησίας

Διαφορετικές σημαντικές και ασήμαντες επιδράσεις του καθεστώτος ιδιοκτησίας στην ηλεκτρική κατανάλωση σε οικιακά κτίρια έχει αναφερθεί. Ενώ μερικές μελέτες παρατήρησαν μια σημαντική αύξηση της κατανάλωσης σε ιδιόκτητα σπίτια, άλλοι ανέφεραν μια σημαντική αύξηση της ζήτησης σε νοικιασμένες οικίες <sup>[23,43]</sup>. Άλλες μελέτες κατέληξαν ότι ο τύπος χρήσης δεν έχει σημαντική επίδραση στην ηλεκτρική χρήση <sup>[39,41]</sup>.

Ο Wyatt<sup>[43]</sup> παρατήρησε ότι το συμβούλιο στέγασης και η ένωση σπιτιών στην Αγγλία είχε την χαμηλότερη μέση κατανάλωση για ηλεκτρισμό στις 3737kWh, και τα ιδιόκτητα νοικοκυριά είχαν το υψηλότερο στις 4607 kWh, ενώ, τα νοικιασμένα σπίτια ήταν στην μέση στις 4047 kWh. Ο συγγραφέας αναφέρει ότι το καθεστώς είναι δυνατόν να σχετίζεται με τον πλούτο και ότι οι νοικιασμένες ιδιοκτησίες είναι γενικά λιγότερες από τα ιδιόκτητα σπίτια. Τα αποτελέσματα επίσης καθιέρωσαν ότι η ηλεκτρική ζήτηση σε ενοικιαζόμενες κατοικίες είχαν μια πολύ παρόμοια ζήτηση με τα κοινωνικά ενοίκια. Οι Wiesmann et al.<sup>[15]</sup> επίσης κατέληξαν ότι τα Πορτογαλικά νοικοκυριά που έχουν το δικό τους σπίτι κατανάλωσαν σημαντικά περισσότερο ηλεκτρισμό από αυτούς που ζούσαν σε νοικιασμένα σπίτια.

#### 2.2.2.8. Εισόδημα του νοικοκυριού

Η σχέση ανάμεσα στο εισόδημα του νοικοκυριού και την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας έχει υπάρξει αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας. Ένας μεγάλος αριθμός μελετών έχει καταλήξει ότι η ηλεκτρική κατανάλωση αυξάνεται σημαντικά με το εισόδημα.

Ο Wyatt<sup>[43]</sup> βρήκε ότι η ηλεκτρική κατανάλωση της υψηλότερης ομάδας εισοδήματος στην Αγγλία (περισσότερο από £75,000 τον χρόνο) ήταν 1.9 φορές υψηλότερη από την χαμηλότερη ομάδα εισοδήματος (λιγότερο από £10,000 τον χρόνο). Επί πρόσθετα, οι Santamouris et al.<sup>[44]</sup> βρήκαν μια σχεδόν γραμμική σχέση ανάμεσα στην ετήσια δαπάνη για ηλεκτρισμό και το οικογενειακό εισόδημα στην Ελλάδα, διά του οποίου η δαπάνη για ηλεκτρισμό σε οικογένειες υψηλού εισοδήματος ήταν 1.6 φορές μεγαλύτερη από ότι σε οικογένειες χαμηλού εισοδήματος.

Ο Santamouris et al.<sup>[44]</sup> ανέλυσαν το ετήσιο ηλεκτρικό κόστος ανά ομάδα εισοδήματος και επιφάνεια ορόφου κατοικίας στην Ελλάδα και καθόρισαν ότι η ομάδα υψηλού εισοδήματος (περισσότερο από €100,000 ανά χρόνο) πλήρωσαν περίπου 38% περισσότερο ηλεκτρισμό ανά m<sup>2</sup> επιφάνειας ορόφου από την ομάδα χαμηλού εισοδήματος (λιγότερο από €9,000 ανά χρόνο). Οι συγγραφείς υπέθεσαν ότι αυτή η αύξηση του κόστους μπορεί να εξηγηθεί από την κατά πολύ υψηλότερη εγκατεστημένη ισχύς και χρήση των ηλεκτρικών συσκευών και εξοπλισμού σε νοικοκυριά των πλουσιότερων ομάδων.

Επί πρόσθετα, ο Santamouris et al.<sup>[44]</sup> εξέτασαν το ετήσιο κόστος ηλεκτρισμού ανά m<sup>2</sup> ανά άτομο και αποκάλυψαν ότι όσο λιγότερο το εισόδημα, τόσο περισσότερη η ηλεκτρική κατανάλωση ανά άτομο. Η ανάλυσή τους υπέδειξε ότι τα νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα πλήρωσαν σχεδόν 67% ανά m<sup>2</sup> περισσότερο ανά άτομο από αυτούς με υψηλό εισόδημα.

#### 2.2.2.9. Διαθέσιμο εισόδημα

Η επίδραση του διαθέσιμου εισοδήματος στην ηλεκτρική ζήτηση των οικιακών κατοικιών έχει συστηματικά αναφερθεί σαν σημαντικό και θετικό, υποδεικνύοντας ότι η ηλεκτρική ζήτηση αυξάνει με το αυξημένο διαθέσιμο εισόδημα του νοικοκυριού.

Πιο συγκεκριμένα, οι Leahy και Lyons<sup>[21]</sup> υπέδειξαν ότι στην Ιρλανδία καθώς ο αριθμός του διαθέσιμου εισοδήματος του νοικοκυριού αυξήθηκε κατά μια μονάδα, η ηλεκτρική χρήση αυξήθηκε κατά 4% ανά εβδομάδα. Παρόμοια, οι Brounen et al.<sup>[34]</sup> βρήκαν ότι μια αύξηση 1% του διαθέσιμου εισοδήματος στα Γερμανικά νοικοκυριά σχετιζόταν με μια αύξηση 11% της ηλεκτρικής χρήσης του νοικοκυριού.

### 2.2.3. Παράγοντες κατοικίας

Διάφοροι παράγοντες κατοικίας έχουν μελετηθεί στην βιβλιογραφία. Οι επόμενες υποενότητες παρουσιάζουν τους παράγοντες που σχετίζονται με την κατοικία.

#### 2.2.3.1. Τύπος κατοικίας

Η σχέση ανάμεσα στον τύπο της κατοικίας και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε οικιακά κτίρια έχει υπάρξει αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας. Ένας μεγάλος αριθμός μελετών κατέληξε ότι, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνει με τον βαθμό απομόνωσης, υποδηλώνοντας ότι οικογένειες που μένουν σε απομονωμένα σπίτια καταναλώνουν περισσότερο ηλεκτρισμό από ημί-απομονωμένα σπίτια, και αυτά καταναλώνουν περισσότερο από τις μονοκατοικίες και τα διαμερίσματα.

Οι Bartiaux και Gram-Hanssen<sup>[36]</sup> και οι Gram-Hanssen et al.<sup>[37]</sup> παρατήρησαν μια μεγαλύτερη μέση κατανάλωση των νοικοκυριών που ζούσαν σε απομονωμένα σπίτια απ' ότι σε ημί-απομονωμένα σπίτια και διαμερίσματα σε Δανία και Βέλγιο και καθόρισαν ότι η ετήσια ηλεκτρική χρήση σε οικογένειες σε απομονωμένα σπίτια ήταν, κατά μέσο όρο, σχεδόν διπλάσια από ότι σε διαμερίσματα.



Το προφίλ των ενοίκων του κτιρίου επίσης ταυτοποιήθηκε σαν πιθανός λόγος των μεταβολών στην χρήση ηλεκτρισμού ανάμεσα στους τύπους κατοικιών. Ο Wyatt <sup>[43]</sup> βρήκε ότι τα μπανγκαλούς στην Αγγλία είχαν χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρισμού, και απέδωσε αυτό στο γεγονός ότι τα μπανγκαλούς συχνά καταλαμβάνονται από γέρους ενοίκους που έχουν χαμηλότερη ηλεκτρική ζήτηση από τις οικογένειες.

#### *2.2.3.2. Ηλικία κατασκευής της οικίας*

Προηγούμενες μελέτες παρατήρησαν υψηλότερη οικιακή ηλεκτρική κατανάλωση σε νεότερα σπίτια, η οποία συνήθως αποδίδεται στην διείσδυση του κλιματισμού και άλλων υψηλής κατανάλωσης συσκευών. Άλλες μελέτες παρατήρησαν το αντίθετο, αναφέροντας μια μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρισμού στα νοικοκυριά για νεότερα σπίτια, συνδέοντας το αποτέλεσμα με την βελτιωμένη μόνωση και την χρήση πιο αποτελεσματικών συσκευών, φωτισμού και κλιματισμού .

Οι Wiesmann et al.<sup>[15]</sup> βρήκαν ότι τα νεότερα σπίτια στην Πορτογαλία κατανάλωσαν σημαντικά λιγότερο ηλεκτρισμό από ότι τα παλιότερα. Οι Leahy και Lyons<sup>[21]</sup> παρατήρησαν ότι τα Ιρλανδικά σπίτια που κατασκευάστηκαν πριν από το 1918 χρησιμοποίησαν σημαντικά περισσότερο ηλεκτρισμό ανά εβδομάδα (6.1%) από αυτά που χτίστηκαν μεταξύ του 1918 και του 1960, λόγω της αυξημένης απώλειας θέρμανσης που σχετίζεται με την λιγότερη μόνωση και χρήση ηλεκτρικής θέρμανσης και ντους αντί για κεντρική θέρμανση φυσικού αερίου. Σπίτια χτισμένα μετά το 2000 χρησιμοποίησαν σημαντικά λιγότερο ηλεκτρισμό από οικίες χτισμένες στην περίοδο 1918-1960.

Οι Brounen et al.<sup>[34]</sup> παρατήρησαν ότι τα Γερμανικά σπίτια χτισμένα την περίοδο 1980-1990 και 1990-2000 κατανάλωσαν 3.7% και 1.3% περισσότερο ηλεκτρισμό αντίστοιχα από σπίτια που χτίστηκαν μετέπειτα από το 2001.

Σε αντίθεση με άλλες μελέτες, μερικοί συγγραφείς βρήκαν ότι η επίδραση της ηλικίας της κατοικίας είναι ασήμαντη. Οι Hamilton et al.<sup>[45]</sup> καθόρισαν ότι δεν υπήρχε επίδραση της ηλικίας στην κατανάλωση ηλεκτρισμού σε κατοικίες της Αγγλίας. Η ηλεκτρική χρήση εμφανίστηκε να είναι πολύ παρόμοια σε παλαιές και νέες κατοικίες, με μόνο μια μικρή αύξηση στις νεότερες κατοικίες

#### *2.2.3.3. Πλήθος δωματίων οικίας*

Μια σημαντική σχετική σχέση ανάμεσα στους αριθμούς των δωματίων και την ηλεκτρική κατανάλωση σε οικιακά κτίρια έχει αναφερθεί στην βιβλιογραφία, που υποδηλώνει ότι καθώς ο αριθμός των δωματίων αυξάνεται, περισσότερος ηλεκτρισμός χρησιμοποιείται .

Οι Leahy και Lyons<sup>[21]</sup> καθόρισαν ότι Ιρλανδικές κατοικίες με μόνο ένα ή δύο δωμάτια χρησιμοποίησαν σημαντικά λιγότερο ηλεκτρισμό από σπίτια πέντε δωματίων. Παρόμοια, οι Bedir et al.<sup>[41]</sup> βρήκαν ότι ο αριθμός των δωματίων σε Γερμανικά σπίτια, και πιο συγκεκριμένα ο αριθμός δωματίων μελέτης/χόμπι συσχετιζόντουσαν σημαντικά θετικά με την ηλεκτρική κατανάλωση. Ο Tiwari<sup>[46]</sup> παρατήρησε ότι κάθε επιπλέον δωμάτιο στις Ινδικές κατοικίες οδήγησαν σε 11% περισσότερη ηλεκτρική δαπάνη.

Εν αντιθέσει, οι Brounen et al.<sup>[34]</sup> καθόρισαν ότι ένα επιπλέον δωμάτιο στα Γερμανικά σπίτια μείωσε την ηλεκτρική κατανάλωση κατά 0.5%, ενώ, οι Wiesmann et al.<sup>[15]</sup> βρήκαν ότι ο αριθμός των δωματίων ανά κατοικία στην Πορτογαλία είχε μη σημαντική επίδραση στην ηλεκτρική ζήτηση ενέργειας.

#### 2.2.3.4. Πλήθος υπνοδωματίων οικίας

Προηγούμενη έρευνα έχει αναφέρει ότι υπάρχει μια σημαντική και θετική σχέση ανάμεσα στον αριθμό των υπνοδωματίων και στην οικιακή ηλεκτρική κατανάλωση. Εκ των οποίων, μια αύξηση του αριθμού των υπνοδωματίων είχε σαν αποτέλεσμα μια αύξηση της ηλεκτρικής ενέργειας ζήτησης στα νοικοκυριά.

Πιο συγκεκριμένα, οι Mc Loughlin et al.<sup>[22]</sup> καθιέρωσαν ότι για κάθε επιπλέον υπνοδωμάτιο στις Ιρλανδικές κατοικίες, η ολική ηλεκτρική κατανάλωση κατά μέσο όρο αυξήθηκε 15.4% σε μια εξαμηνιαία περίοδο. Επιπλέον οι Hamilton et al.<sup>[45]</sup> στην Αγγλία βρήκαν ότι η ηλεκτρική ζήτηση αυξήθηκε γραμμικά από 1 σε 4 υπνοδωμάτια και ότι η αύξηση από 4, σε περισσότερα από 5 υπνοδωμάτια ήταν 12%.

Αντίθετα με προηγούμενες μελέτες, οι Bedir et al.<sup>[41]</sup> αποκάλυψαν ότι ο αριθμός των υπνοδωματίων σε Γερμανικά σπίτια δεν είχε καμία σημαντική επίδραση στην ηλεκτρική κατανάλωση: απέδωσαν στο γεγονός ότι το υπνοδωμάτιο χρησιμοποιείται συνήθως μόνο το απόγευμα, την νύχτα και νωρίς το πρωί για λίγο και δεν διαθέτει πολλές ηλεκτρικές συσκευές, σε σύγκριση με άλλα δωμάτια.

#### 2.2.3.5. Παρουσία συστημάτων ηλεκτρικής θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού χώρων

Διάφοροι συγγραφείς μελέτησαν την επίδραση διαφορετικών συστημάτων θέρμανσης χώρων στην ολική ηλεκτρική κατανάλωση του νοικοκυριού. Τα αποτελέσματα σταθερά συμφωνούν ότι υπάρχει μια σημαντική και θετική επίδραση της χρήσης ηλεκτρικών συστημάτων θέρμανσης στην ηλεκτρική κατανάλωση.

Οι Larsen και Nesbakken<sup>[47]</sup> υπολόγισαν την διαφορά στην ηλεκτρική κατανάλωση στις Νορβηγικές κατοικίες με φορητούς ηλεκτρικούς θερμαντήρες,

ενδοδαπέδια ηλεκτρική θέρμανση και ηλεκτρική κεντρική θέρμανση με άλλες κατοικίες και βρήκαν ότι όλα είχαν σημαντική επίπτωση στην ηλεκτρική κατανάλωση. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι τα σπίτια με φορητές ηλεκτρικές συσκευές θέρμανσης και/ή ηλεκτρική ενδοδαπέδια θέρμανση χρησιμοποίησαν 3700 kWh/έτος περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από τα σπίτια που δεν διέθεταν. Σε αντίθεση με προηγούμενες μελέτες, οι McLoughlin et al.<sup>[22]</sup> είδαν ότι το είδος της θέρμανσης χώρου δεν είχε καμία σημαντική επίπτωση στην ηλεκτρική κατανάλωση στις Ιρλανδικές κατοικίες. Πάραυτα, οι συγγραφείς πιστεύουν ότι αυτά τα αντιφατικά αποτελέσματα οφείλονται στην πολύ μικρή διεύθυνση της ηλεκτρικής θέρμανσης (λιγότερο από 3%) στο δείγμα των κατοικιών.

#### 2.2.3.6. Παρουσία ηλεκτρικών συστημάτων θέρμανσης νερού

Διάφορες μελέτες παρατήρησαν την σημαντική επιρροή της χρήσης συστημάτων θέρμανσης νερού στην ηλεκτρική ζήτηση των νοικοκυριών. Συνεπώς, τα αποτελέσματα υποδηλώνουν την θετική σύνδεση της θέρμανσης ζεστού νερού με ηλεκτρική ζήτηση ενέργειας.

Συγκεκριμένα, οι Larsen και Nesbakken<sup>[47]</sup> συμπέραναν ότι η ηλεκτρική κατανάλωση ήταν 2684kWh / έτος υψηλότερες για τις οικίες στις οποίες έκαναν ντους και 1014kWh/έτος υψηλότερη για αυτές που έκαναν μπάνιο και οι οποίες θερμαίνονταν με ηλεκτρικό θερμαντήρα συγκρινόμενες με άλλες κατοικίες στην Νορβηγία.

Άλλοι συγγραφείς παρατήρησαν επίσης μια στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ του αριθμού των ντους ανά εβδομάδα με την χρήση ηλεκτρικών συστημάτων θέρμανσης νερού και της οικιακής ηλεκτρικής ζήτησης [41]. Οι Bedir et al.<sup>[41]</sup> προσέθεσαν ότι υπήρχε ακόμη μια σημαντική συσχέτιση μεταξύ της ηλεκτρικής κατανάλωσης και του αριθμού των λουτρών ανά εβδομάδα, που έγιναν με την χρήση ηλεκτρικού συστήματος θέρμανσης του νερού, καθώς και η διάρκεια του κάθε λουτρού στις Γερμανικές οικίες.

#### 2.2.3.7. Είδη λαμπτήρων φωτισμού

Ενώ οι Bedir et al.<sup>[41]</sup> και οι Kavousian et al.<sup>[39]</sup> συμπέραναν ότι η χρήση ενεργειακών αποδοτικών λαμπτήρων φωτισμού συνδέεται με χαμηλότερη ηλεκτρική ενεργειακή κατανάλωση στην Ολλανδία και τις ΗΠΑ, αντίθετα οι Bartiaux και Gram-Hanssen<sup>[36]</sup> καθόρισαν ότι δεν υπήρχε σημαντική αντιστοιχία μεταξύ της παρουσίας χαμηλής κατανάλωσης λαμπτήρων και ηλεκτρικής κατανάλωσης στο Βέλγιο και την Δανία.

## 2.2.4. Παράγοντες συσκευών

Οι ηλεκτρικές συσκευές έχουν μια πολύ σημαντική συνεισφορά στην οικιακή ηλεκτρική κατανάλωση. Αυτός ο αντίκτυπος δεν αφορά μόνο στον αριθμό του κάθε τύπου ιδιόκτητων συσκευών, αλλά επίσης και την ζήτηση ενέργειας και την συχνότητα χρήσης.

### 2.2.4.1. Ιδιοκτησία συσκευών

Η σχέση μεταξύ του αριθμού των ιδιόκτητων οικιακών συσκευών και της ηλεκτρικής κατανάλωσης έχει υπάρξει το θέμα εκτεταμένης έρευνας.

Σημαντικά θετική επίδραση του συνολικού αριθμού των ιδιόκτητων οικιακών συσκευών στην ηλεκτρική κατανάλωση ευρέθηκε από διάφορους συγγραφείς. Ο Nielsen <sup>[35]</sup> προσδιόρισε ότι μια αύξηση του αριθμού των συσκευών κατά 1%, σε σπίτια στην Δανία, είχε ως αποτέλεσμα αύξηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης ρεύματος κατά 0,35%. Επιπλέον, οι Carlson et al [31] κατέληξαν ότι 12 τύποι συσκευών δικαιολογούσαν μέχρι και το 80% της κατανάλωσης μιας οικίας στην Αμερική καθώς και 3-5 τύποι συσκευών χαρακτηρίζουν το 50% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με τον Bedir et al.<sup>[41]</sup>, ο αριθμός των συσκευών εξήγησε την διακύμανση κατά 21% της ηλεκτρικής κατανάλωσης μεταξύ κατοικιών στην Ολλανδία.

Οι McLoughlin et al. <sup>[22]</sup> συμπέραναν ότι οι υπολογιστές (σταθεροί και φορητοί) έδειξαν σημαντική επίδραση στην ηλεκτρική κατανάλωση στις Ιρλανδικές κατοικίες. Οι σταθεροί υπολογιστές βρέθηκαν να είναι οι τρίτοι κατά σειρά μεγαλύτεροι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας μετά τα πλυντήρια πιάτων και τα στεγνωτήρια.

Η σημαντική επίδραση της χρήσης συστημάτων ηλεκτρικής θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού έχει εκτεταμένη αναφορά στην βιβλιογραφία. Πάραυτα, χωριστά από τις φορητούς ηλεκτρικούς θερμαντήρες οι οποίοι βρέθηκαν να έχουν σημαντική επίδραση στις μελέτες των Baker και Rylatt<sup>[48]</sup> στο Ηνωμένο Βασίλειο και των Larsen και Nesbakken<sup>[47]</sup> στην Νορβηγία, πολύ μικρή ή μηδαμινή επιρροή παρατηρήθηκε ότι είχαν οι μικρότερες συσκευές HVAC όπως επιτραπέζιοι ή επιτοίχιοι ανεμιστήρες ή αφυγραντήρες.

Η κατανάλωση των μαγειρικών συσκευών, όπως ηλεκτρικός φούρνος, απορροφητήρας και φούρνος μικροκυμάτων έχει μελετηθεί επίσης. Αξίζει να σημειωθεί εντωμεταξύ, η μείωση την οποία εμφάνισε στην κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος η αγορά ενός σύγχρονου ηλεκτρικού φούρνου όπως γίνεται αναφορά από τους Halvorsen και Larsen <sup>[49]</sup>. Αυτό αποδίδεται στην αντικατάσταση της παλιάς μη αποδοτικής συσκευής με μια πιο αποδοτική.

Εκτεταμένη έρευνα πραγματοποιήθηκε στην αναζήτηση της επίδρασης της κατοχής συσκευών συντήρησης και ψύξης, συμπεριλαμβανομένων ψυγείων, καταψυκτών και ερμαριών κατάψυξης. Η σημαντική επίδραση της κατοχής

ψυγείων στην ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος έχει αναγνωριστεί ως ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες πρόγνωσης στην ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος συγκρινόμενα με άλλες συσκευές. Όσον αφορά την ιδιοκτησία ενός καταψύκτη, οι Leahy και Lyons<sup>[21]</sup> βρήκαν ότι η ηλεκτρική κατανάλωση ήταν σημαντικά υψηλότερη στα Ιρλανδικά νοικοκυριά σε αυτά τα οποία διέθεταν συγκρινόμενα με αυτά χωρίς. Συγκεκριμένα, η μελέτη εμφάνισε ότι τα νοικοκυριά με καταψύκτη παρουσίασαν αύξηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης ενέργειας κατά 6,7% ανά εβδομάδα από τα νοικοκυριά που δεν διέθεταν τέτοια συσκευή.

Η κατοχή πλυντήριο πιάτων και η επίπτωση στην ηλεκτρική ζήτηση έχει γίνει επίκεντρο εκτεταμένων ερευνών. Οι McLoughlin et al.<sup>[22]</sup> προσδιόρισαν ότι, με μια διείσδυση κατά 67% των νοικοκυριών, τα πλυντήρια πιάτων είχαν την μεγαλύτερη συνεισφορά στην ηλεκτρική κατανάλωση στην Ιρλανδία. Επιπρόσθετα, οι Leahy και Lyons<sup>[21]</sup> ανέφεραν ότι η κατοχή ενός πλυντηρίου πιάτων αύξησε την ηλεκτρική κατανάλωση στις Ιρλανδικές κατοικίες για πλέον του 10,5% ανά εβδομάδα.

Διάφοροι μελετητές έχουν διερευνήσει την επίδραση της ιδιοκτησίας συσκευών πλύσης, συμπεριλαμβανομένου τα πλυντήρια, στεγνωτήρια και συσκευές σιδερώματος, στην οικιακή ζήτηση ηλεκτρικού. Ειδικά, οι Larsen και Nesbakken<sup>[47]</sup> απέδειξαν ότι οι Νορβηγικές κατοικίες με πλυντήριο ρούχων κατανάλωναν 2099 kWh περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια ανά έτος εν συγκρίσει με τα σπίτια τα οποία δεν διέθεταν. Χωριστά από την επίδραση της ιδιοκτησίας, οι Genjo et al.<sup>[50]</sup> προσδιόρισαν και την επίδραση του μεγέθους της πλυστικής συσκευής ως παράγοντα επίδρασης στην ηλεκτρική κατανάλωση για τις οικιακές συσκευές και τον φωτισμό, στην Ιαπωνία.

Η υψηλή επίπτωση της ιδιοκτησίας στεγνωτηρίου στην ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου αποτέλεσε το επίκεντρο εκτεταμένης έρευνας. Ειδικά, οι Leahy και Lyons<sup>[21]</sup> απέδειξαν ότι οι Ιρλανδικές κατοικίες που διαθέτουν στεγνωτήριο κατανάλωναν πάνω από 10,5% ηλεκτρικής ενέργειας ανά εβδομάδα από αυτές χωρίς.

#### 2.2.4.2. Χρήση των οικιακών συσκευών

Σύμφωνα με τους Zhou και Teng<sup>[40]</sup>, ο αριθμός των συσκευών αντικατοπτρίζει εν μέρει την επίδραση των ηλεκτρικών συσκευών στην οικιακή ηλεκτρική κατανάλωση. Είναι απαραίτητο επίσης να ληφθεί υπόψη και η συχνότητα χρήσης της συσκευής. Οι Bedir et al.<sup>[41]</sup> απέδειξαν ότι η διάρκεια χρήσης των συσκευών (συμπεριλαμβανομένων των συσκευών της τεχνολογίας της πληροφορίας, της ψυχαγωγίας, θέρμανσης ψύξης και αερισμού, πλύσης ρούχων και πιάτων) εξήγησε την μεταβολή σε ποσοστό 37% της ηλεκτρικής κατανάλωσης μεταξύ κατοικιών στην Ολλανδία. Πάραυτα, μικρή έρευνα έχει

γίνει για την εκτίμηση της επίδρασης των συσκευών στην ολική ηλεκτρική ζήτηση των κτιρίων κατοικιών.

Η χρήση εξοπλισμού ψυχαγωγίας, και πιο συγκεκριμένα τηλεοράσεις, έχει επίσης μελετηθεί. Σύμφωνα με τον Sanquist et al.<sup>[51]</sup>, βρήκε μια σημαντική επίδραση της τηλεόρασης στην οικιακή κατανάλωση στις Αμερικανικές οικίες. Παρατηρήθηκε από τους συγγραφείς ότι η επίπτωση ήταν υψηλότερη σε μεγαλύτερες κατοικίες, οι οποίες έτειναν στο να χρησιμοποιούν περισσότερες τηλεοράσεις.

Οι Mc Loughlin et al.<sup>[22]</sup> και Parker<sup>[25]</sup> επίσης καθόρισαν η χρήση κύριων μαγειρικών συσκευών, όπως ένας ηλεκτρικός φούρνος, δεν είχε σημαντική επίδραση στην ηλεκτρική κατανάλωση στις κατοικίες στην Ιρλανδία και τις ΗΠΑ.

Σημαντική θετικά συσχέτιση μεταξύ της διάρκειας και της συχνότητας της χρήσης πλυντήριο πιάτων με την ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου έχει αναφερθεί από τους Bedir et al.<sup>[41]</sup> και Bartiaux και Gram-Hanssen<sup>[36]</sup> για σπίτια στην Ολλανδία, το Βέλγιο και την Δανία. Οι ίδιοι συγγραφείς ανέφεραν επίσης μια σημαντική επίδραση των συσκευών πλυσίματος ρούχων, για τα πλυντήρια και τα στεγνωτήρια στην οικιακή ηλεκτρική ζήτηση.

#### *2.2.4.3. Ζήτηση ισχύος των συσκευών*

Η επίδραση της ζήτησης ισχύος των οικιακών συσκευών στην ολική ηλεκτρική κατανάλωση των οικιακών κτιρίων έχει ελάχιστη προηγούμενη ερευνητική προσοχή. Οι Kanousian et al.<sup>[39]</sup> διαπίστωσαν ότι τα Αμερικανικά νοικοκυριά που αγοράζουν ενεργειακά αποδοτικές συσκευές και κλιματιστικά είχαν υψηλότερα επίπεδα ημερησίων χαμηλών καταναλώσεων, εννοώντας ότι αυτές οι κατοικίες μείωσαν την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι συγγραφείς απέδωσαν αυτό το εύρημα στο "rebound effect"<sup>[1]</sup>, όπου μια αύξηση της απόδοσης των συσκευών καταλήγει σε μια αύξηση της χρήσης, άρα και σε αύξηση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης.



### **3. ΒΑΣΕΙΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**

Η χρήση των μετεωρολογικών δεδομένων για την μελέτη συστημάτων στα οποία συμπεριλαμβάνουν ΑΠΕ είναι επιτακτική. Τα δεδομένα θα πρέπει να είναι αξιόπιστα και άμεσα διαθέσιμα για τον σχεδιασμό, την βελτιστοποίηση, και εκτίμηση της απόδοσης συστημάτων από ΑΠΕ, για οποιαδήποτε τοποθεσία. Ο καλύτερος τρόπος για τον προσδιορισμό των δυναμικών των ηλιακών και ανεμολογικών δεδομένων σε μια τοποθεσία είναι να εγκατασταθούν όργανα μέτρησης όπως το πυρανόμετρο, το πυρηλιόμετρο και άλλα τα οποία μετρούν την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και ανεμόμετρα για την μέτρηση του ανέμου και της φοράς του. Για τη λήψη μετρήσεων με τα όργανα αυτά είναι επίπονη και δαπανηρή διαδικασία και γι' αυτό επιλέγεται η χρήση δεδομένων τα οποία ανακτώνται από αναγνωρισμένες βάσεις εξειδικευμένες στην διαχείριση των λήψη μετεωρολογικών δεδομένων απευθείας από τους σταθμούς ή μέσω παρεμβολής από κοντινούς σταθμούς στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Εξαιτίας της στοχαστικότητας με την οποία εμφανίζονται τα δεδομένα και με την μεταβλητότητα σε ωριαία, ημερήσια, μηνιαία, εποχιακή και ετήσια βάση είναι απαραίτητη η εισαγωγή διαφόρων μοντέλων πρόβλεψης για τον καλύτερο προσδιορισμό της απαιτούμενης εγκατεστημένης ισχύος. Ειδικά σε περιοχές όπου επιζητείται η ενεργειακή αυτονομία δίνεται ιδιαίτερη προσοχή, καθώς η αποτυχία στην εκτίμηση της διακύμανσης και η αδυναμία κάλυψης των φορτίων από άλλες εναλλακτικές συμβατικές πηγές μπορεί να δημιουργήσει καταστάσεις ανεπιθύμητες και πρόσθετες οικονομικές επιβαρύνσεις. Γι' αυτό τον λόγο έχουν αναπτυχθεί μοντέλα για την εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας, της ταχύτητας του ανέμου ακόμη και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος σε διάφορα σημεία ανά τον κόσμο.

Στην εικόνα 3.1 διακρίνουμε από αριστερά το πυρανόμετρο για την μέτρηση της ολικής ακτινοβολίας, πυρανόμετρο με στεφάνι σκέδασης για την μέτρηση της διάχυτης ακτινοβολίας, το ανεμόμετρο για την μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου και ένδειξη της φοράς του, αισθητήριο όργανο για την μέτρηση της υγρασίας και θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και βροχόμετρο ανατρεπόμενου κάδου για την μέτρηση της βροχόπτωσης.





**Εικόνα 3. 1** Όργανα μέτρησης μετεωρολογικών δεδομένων στο εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα.

Στη συνέχεια αναλύονται οι πιο γνωστές βάσεις δεδομένων που υπάρχουν για την λήψη μετεωρολογικών δεδομένων και ο τρόπος με τον οποίο εξάγονται τα στοιχεία ανά βάση. Μερικές από αυτές είναι οι SoDa, PVGIS, Meteororm, NASA SSE κá. Έπειτα γίνεται μια βιβλιογραφική αναφορά των μεθόδων για την πρόβλεψη της ηλιακής ακτινοβολίας σε ημερήσια και ωριαία βάση.

### 3.1. ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Υπάρχουν πολλές πηγές μετεωρολογικών δεδομένων από τις οποίες μπορούν να αναζητηθούν τα δεδομένα που απαιτούνται για την διαστασιολόγηση ενός συστήματος ΑΠΕ μιας ή περισσοτέρων μορφών ενέργειας. Αυτά μπορούν να αποκτηθούν ελεύθερα μέσα από τις ιστοσελίδες διάφορων φορέων (μετεωρολογικές υπηρεσίες χωρών, ιδιωτικών σταθμών, εκπαιδευτικών ιδρυμάτων κ.α.). Έτσι είναι σημαντικό να καταλάβουμε τα δυνατά σημεία και τις αδυναμίες κάθε πηγής δεδομένων. Στην παρούσα ενότητα θα επιδιωχθεί να γίνει μια συνοπτική ανασκόπηση των δημοφιλέστερων εξ αυτών και παρουσίαση του βασικού τρόπου απόκτησής των.

Η βάση δεδομένων SoDa<sup>2</sup> βασίζεται στην μέθοδο Heliosat η οποία μετατρέπει τις εικόνες που λαμβάνονται από μετεωρολογικούς δορυφόρους (HelioClim1-3) σε εκτιμήσεις της παγκόσμιας ακτινοβολίας στο επίπεδο του εδάφους. Η αρχή αυτής της μεθόδου, καθώς και των πιο τελευταίων μεθόδων, είναι ότι μια διαφορά στην παγκόσμια ακτινοβολία που γίνεται αντιληπτή από τον αισθητήρα πάνω στο δορυφόρο οφείλεται μόνο σε μια αλλαγή στο φαινομενικό albedo, το οποίο και αυτό οφείλεται στην αύξηση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την ατμόσφαιρα προς τον αισθητήρα.

Δεδομένα από το HelioClim-1 χρησιμοποιούνται για την περίοδο 1985-2005. Δεδομένα προμηθεύονται από τον δορυφόρο HelioClim-3 από 2/1/2004-31/12/2005. Τα εικονοκύτταρα (pixel) του Meteosat πρώτης γενιάς δορυφόρου εικόνων στην ορατή εμβέλεια είναι 2.5 χιλιόμετρα στο ναδίρ έναντι 3 χιλιομέτρων για το Meteosat δεύτερης γενιάς.

<sup>2</sup> <http://www.SoDa-is.com/eng/index.html>

Η βάση δεδομένων ακτινοβολίας PVGIS-classic<sup>3</sup> βασίζεται στα δεδομένα από τον Ευρωπαϊκό Άτλα για την ηλιακή ακτινοβολία. Τα δεδομένα συνίστανται από μετρήσεις εδάφους σταθμών από περίπου 560 σταθμούς στην Ευρώπη, για μία περίοδο από το 1981 έως το 1990. Έτσι, τα δεδομένα είναι μάλλον παλιά, και υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι το κλίμα έχει αλλάξει τα τελευταία 25-30 χρόνια, επηρεάζοντας επίσης και την ηλιακή ακτινοβολία. Τα δεδομένα του σταθμού έχουν στην συνέχεια χρησιμοποιηθεί με την χρήση της μαθηματικής παρεμβολής για να δώσουν τις τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας σε περιοχές ανάμεσα στους σταθμούς.

Η νέα βάση δεδομένων του PVGIS έχει δημιουργηθεί από την ηλιακή ακτινοβολία που έγινε διαθέσιμη από την Εφαρμογή Δορυφορικής Διευκόλυνσης της Κλιματικής Παρακολούθησης (CM-SAF). Οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας έχουν εκτιμηθεί από δορυφορικές εικόνες. Τα δεδομένα είναι σχετικά πρόσφατα, από το 1998 μέχρι τα μέσα του 2011, έτσι δεν θα πρέπει να υπάρχουν ισχυρές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, η χρήση των δορυφορικών δεδομένων έχει τα προβλήματά της. Το μέγεθος των εικονοκυττάρων (pixel) στις δορυφορικές εικόνες είναι περίπου 3-5 χιλιόμετρα, έτσι μικρότερες εικόνες όπως στενές κοιλάδες ανάμεσα σε βουνά δεν μπορούν να αναλυθούν.

Η NASA SSE<sup>4</sup> (πρόγραμμα ηλιακής ενέργειας και μετεωρολογικής επιφάνειας) υπολογίζει δορυφορικές μετρήσεις για το 1983-2005, που παρέχονται για οποιοδήποτε κελί μεγέθους 1°x° ενός πλέγματος για οποιοδήποτε μέρος του πλανήτη. Επίσης διαθέσιμο από αυτή την βάση δεδομένων, αλλά απευθείας εισαγωγές που δεν εφαρμόζονται στο PVsyst<sup>5</sup> είναι: ημερήσιες τιμές ακτινοβολίας ή θερμοκρασίας για οποιαδήποτε περίοδο από το 1983-2005. Σε αντίθεση με τις μετρήσεις εδάφους, το σετ δεδομένων του SSE είναι συνεχές και αδιάλειπτο για 22 χρόνια ολικών δεδομένων της ηλιακής ακτινοβολίας και άλλων μετεωρολογικών δεδομένων. Τα δεδομένα λαμβάνονται από διάφορες βάσεις, συμπεριλαμβανομένου του "Goddard Earth Observing Systems (GEOS-1), του International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP D-1), από δεδομένα του Geostationary και του Polar Satellites for Environmental Observation (GOES and POES), από τον European Geostationary satellite Meteosat.

Η βάση δεδομένων ακτινοβολίας Meteonorm<sup>6</sup> βασίζεται σε 20ετή περίοδο μετρήσεων, οι άλλοι μετεωρολογικοί παράμετροι κυρίως από 1961-1990 και 2000-μέσα 2009. Τα περισσότερα δεδομένα παίρνονται από την GEBA(Global Energy Balance Archive), από τον World Meteorological Organization (WMO/OMM) Climatological Normals 1961-1990 και από την Ελβετική βάση δεδομένων που καταρτίζεται από την MeteoSwiss και οι

---

<sup>3</sup> <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

<sup>4</sup> <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

<sup>5</sup> <http://www.pvsyst.com/en/>

<sup>6</sup> <http://www.meteonorm.com/>

περίοδοι 1981-1990 και 1987-2005 για την ηλιακή ακτινοβολία. Το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος επηρεάζεται από τη θολότητα της ατμόσφαιρας. Το Meteororm χρησιμοποιεί την έννοια του παράγοντος Linke θολότητα. Η πληροφορία της θολότητας στο meteororm βασίζεται στην ανάμειξη των δορυφορικών δεδομένων από τα δορυφορικά πειράματα MISR και MODIS και στις επίγειες μετρήσεις σταθμών από το Aeronet (AErosol RObotic NETwork, NASA). Συνήθως, δεδομένα μετρήσεων μπορεί μόνο να χρησιμοποιηθούν κοντά στην περιοχή ενός μετεωρολογικού σταθμού. Για άλλα σημεία, τα δεδομένα παρεμβάλλονται μεταξύ των διαφόρων σταθμών.

### 3.2. ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Εφαρμογές των δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας εμφανίζονται στην ηλιακή θέρμανση, μαγειρική, ξήρανση και τον εσωτερικό φωτισμό των κτιρίων κλπ. Για τον υπολογισμό των μετεωρολογικών δεδομένων ένας αριθμός συσχετίσεων και μεθόδων έχουν αναπτυχθεί βασιζόμενα στα άμεσα διαθέσιμα δεδομένα από την πλειονότητα των μετεωρολογικών σταθμών. Τα εμπειρικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας βασίζονται κυρίως στους ακόλουθους<sup>[52]</sup> παράγοντες:

- Αστρονομικοί παράγοντες (ηλιακή σταθερά, απόσταση γης-ήλιου, γωνία ηλιακής απόκλισης και γωνία ώρας).
- Γεωγραφικοί παράγοντες (γεωγραφικό πλάτος και μήκος, υψόμετρο της περιοχής).
- Γεωμετρικοί παράγοντες (αζιμούθια γωνία της επιφάνειας, γωνία κλίσης της επιφάνειας, γωνία ύψους του ήλιου, αζιμούθια γωνία του ήλιου).
- Φυσικοί παράμετροι (σκέδαση των μορίων του αέρα, περιεκτικότητα σε υδρατμούς, σκέδαση της σκόνης και άλλων συστατικών του αέρα όπως O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, κλπ).
- Μετεωρολογικοί παράγοντες (ακτινοβολία του ήλιου στο όριο της ατμόσφαιρας, διάρκεια ηλιοφάνειας, θερμοκρασία, βροχόπτωση, σχετική υγρασία, επίδραση της νέφωσης, θερμοκρασία εδάφους, εξάτμιση, αντανάκλαση του περιβάλλοντος χώρου, κα).

Ο κύριος σκοπός είναι η εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας είτε με την κλασική προσέγγιση ή χρησιμοποιώντας μεθόδους υπολογιστικό λογισμικό. Η μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας διενεργείται σε ωριαία, ημερήσια ή μηνιαία βάση. Οι προβλέψεις της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να είναι είτε βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα. Για το άμεσο μέλλον μπορούν να γίνουν χρησιμοποιώντας σχετικά απλές διαδικασίες με καλή ακρίβεια. Από την άλλη πλευρά, για μακροπρόθεσμες προβλέψεις απαιτούνται πιο πολύπλοκα μοντέλα.

Οι μέθοδοι που ακολουθούνται για την πρόβλεψη είναι<sup>[53]</sup>:

- Κλασική προσέγγιση  
 Η κλασική προσέγγιση όπου χρησιμοποιεί της ακόλουθες προσεγγίσεις για την πρόβλεψη
  - Η δυναμική προσέγγιση
  - Το εμπειρικό μοντέλο
- Η προσέγγιση με υπολογιστικό λογισμικό

Παρακάτω αναλύονται οι μέθοδοι που πρότειναν ορισμένοι ερευνητές και πιο συγκεκριμένα σχετικά με τα εμπειρικά μοντέλα, από την κλασική προσέγγιση.

### 3.2.1. Εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας με την χρήση εμπειρικού μοντέλου(ημερήσια)

Ο Angstrom <sup>[54]</sup> πρότεινε το πρώτο θεωρητικό μοντέλο για τον υπολογισμό της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας βασιζόμενο στην διάρκεια της ηλιοφάνειας. Ο Prescott J. <sup>[55]</sup> επανεξέτασε το μοντέλο για τον υπολογισμό της μηνιαίας μέσης ημερήσιας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας (MJ/m<sup>2</sup> ημέρα) σε μια οριζόντια επιφάνεια από την μηνιαία μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια στο όριο της ατμόσφαιρας με την χρήση της ακόλουθης σχέσης:

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (3.1)$$

όπου, H είναι η μηνιαία μέση ημερήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία, H<sub>0</sub> είναι η μέση ημερήσια ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας, S είναι οι μέσες μηνιαίες ημερήσιες ώρες ηλιοφάνειας (h), S<sub>0</sub> είναι η μέση μηνιαία διάρκεια της ημέρας (h), και οι σταθερές a και b είναι οι εμπειρικοί συντελεστές.

Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να υπολογιστεί με την χρήση υψηλού βαθμού συσχετίσεων. Οι Benson et al. <sup>[56]</sup> χρησιμοποίησαν μια μορφή σχέσης υψωμένη εις το τετράγωνο ανάμεσα στην ολική ηλιακή ακτινοβολία προς την ακτινοβολία στο επίπεδο της ατμόσφαιρας και πραγματικές/μέγιστες δυνατές ώρες ηλιοφάνειας.

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left( \frac{S}{S_0} \right) + c \left( \frac{S}{S_0} \right)^2 \quad (3.2)$$

Μια άλλη προσέγγιση της ημερήσιας ακτινοβολίας των Goodin et al. βελτιστοποίησαν το μοντέλο των Bristow and Campbell <sup>[57]</sup> προσθέτοντας τον όρο H<sub>0</sub> ο οποίος ενεργεί ως παράγοντας κλιμάκωσης επιτρέποντας έτσι στην θερμοκρασιακή διαφορά ΔT να μπορεί να περιλάβει ένα μεγαλύτερο εύρος των τιμών του H <sup>[58]</sup>:

$$\frac{H}{H_0} = a + \left[ 1 - \exp * \left( -\beta \left( \frac{\Delta T^c}{H_0} \right) \right) \right] \quad (3.3)$$

Όπου,  $\Delta T$  είναι η θερμοκρασιακή διαφορά,  $H_0$  είναι η μέση ημερήσια ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας και τα  $a$ ,  $b$  και  $c$  είναι εμπειρικοί συντελεστές, η φυσική σημασία των οποίων είναι  $a$ , είναι η μέγιστη αναμενόμενη ακτινοβολία σε μια καθαρή ημέρα, ενώ τα  $b$  και  $c$  ελέγχουν τον ρυθμό με τον οποίο προσεγγίζεται το  $a$  καθώς αυξάνει η θερμοκρασιακή διαφορά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι αυτό το μοντέλο παρέχει ακριβείς εκτιμήσεις της ακτινοβολίας σε τοποθεσίες χωρίς δυνατότητα λήψης μετρούμενων δεδομένων και επιπλέον ότι το μοντέλο μπορεί με επιτυχία να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές μακριά από την αναφερόμενη περιοχή <sup>[59]</sup>.

Για την εκτίμηση της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας ο Karplani S. <sup>[60]</sup> πρότεινε ένα συνημιτονοειδές μοντέλο για την κάθε ημέρα  $n_j$  και δίνεται από την εξίσωση:

$$H(n_j) = A + B * \cos \left( \frac{2*\pi*n_j}{365} + C \right) \quad (3.4)$$

όπου,  $n_j$  είναι οι μέρες του έτους, όπου η 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου έχει τιμή 1 και η 31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου παίρνει την τιμή 365, και  $A$ ,  $B$ , και  $C$  είναι σταθερές οι οποίες υπολογίζονται με την εφαρμογή της εξίσωσης προσαρμογής των μέσων μηνιαίων δεδομένων προηγούμενων ετών. Όπως αναφέρει και ο συγγραφέας/ερευνητής της μεθόδου, οι τιμές των σταθερών  $A$ ,  $B$  έχουν άμεση συσχέτιση με το γεωγραφικό πλάτος της εξεταζόμενης περιοχής. Τα αποτελέσματα της καμπύλης προσαρμογής για διάφορες πόλεις <sup>[61]</sup> έδωσαν πολύ υψηλούς συντελεστές συσχέτισης  $r \geq 0,99$ .

### 3.2.2. Εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας με την χρήση εμπειρικού μοντέλου(ωριαία)

Ο Jain <sup>[62]</sup> πρότεινε μια μέθοδο για την πρόβλεψη των ωριαίων τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας, χρησιμοποιώντας ημερήσια δεδομένα 11 ετών (1972-1982) αναλύοντας τα με την μέθοδο του Angstrom (εξίσωση 3.1) από την ακόλουθη εξίσωση:

$$I(h, n) = r(h) * H(n) \quad (3.5)$$

όπου,  $H(n)$  είναι η ημερήσια ακτινοβολία και υπολογίζεται από την εξίσωση 2.1 και το  $r(h)$  δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$r(h) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} * \exp \left[ - \frac{(h-12)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (3.6)$$

όπου,  $\sigma$  είναι η τυπική απόκλιση και  $h$  είναι η ώρες. Το  $r(h)$  βρέθηκε να προσαρμόζεται πολύ κοντά στα δεδομένα. Το μέσο της κανονικής κατανομής ελήφθη για το ηλιακό μεσημέρι και οι τιμές του ελήφθησαν  $\sigma$  για κάθε μήνα αντιστοιχίζοντας τις πειραματικές και τις θεωρητικές τιμές κατά το ηλιακό μεσημέρι ( $h=12$ ).

$$\sigma = \frac{1}{r(12) \cdot \sqrt{2\pi}} \quad (3.7)$$

Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν έδειξαν ότι για την περιοχή την οποία μελετήθηκε έδωσε ικανοποιητικές εκτιμήσεις των ωριαίων ακτινοβολιών από τις ημερήσιες τιμές της ακτινοβολίας, οι οποίες ήταν ανεξάρτητες από τις εποχιακές και κλιματικές συνθήκες.

Στην έρευνα που έκαναν οι Baig et al. <sup>[63]</sup> βασίστηκε στο μοντέλο του Jain και εισήγαγε έναν συντελεστή διόρθωσης. Η νέα πρόταση παρουσιάζεται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$r(h) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} * \exp \left[ - \frac{(h-12)^2}{2\sigma^2} \right] + \cos * \left[ 180 \frac{(h-12)}{(S_o-1)} \right] \quad (3.8)$$

όπου  $\sigma$  είναι η τυπική απόκλιση και η τιμή της είναι ίδια με αυτή που προέκυψε από το μοντέλο του Jain, και  $S_o$  είναι η διάρκεια της ημέρας σε ώρες μεταξύ ανατολής και δύσης και υπολογίστηκε από τις σχέσεις:

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left[ \frac{n_j + 284}{365} * 360^\circ \right] \quad (3.9)$$

$$S_o = \frac{2}{15} * \cos^{-1} * (-\tan \varphi * \tan \delta) \quad (3.10)$$

όπου  $\delta$  είναι η γωνία απόκλισης του ήλιου,  $n$  η μέρα του έτους ( $n_j=1, 1^{\text{η}}$  Ιανουαρίου), και το  $\varphi$  είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Η προσαρμογή της καμπύλης του Baig έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από ότι του Jain και προσαρμόστηκε καλύτερα στα πειραματικά δεδομένα, ακόμη και τις ώρες ανατολής και δύσης, όπου η προηγούμενη προσέγγιση παρέκλινε. Πάραυτα, σε κάποιες περιπτώσεις όπου υπήρχε ατμοσφαιρική θολότητα τα αποτελέσματα δεν προσαρμοζόταν πλήρως στα πειραματικά μετρούμενα. Προτείνεται, από τον ερευνητή, για την αποφυγή τέτοιων προβλημάτων η χρήση των μέσων τιμών της ακτινοβολίας από κάποια έτη και όχι τα δεδομένα μιας ημέρας.

Ο Karlanis<sup>[64]</sup> πρότεινε μια νέα συνημιτονοειδής προσέγγιση για την εκτίμηση της ωριαίας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια. Το μοντέλο πρόβλεψης δίνεται από την σχέση:

$$I(h; n_j) = a + b * \cos\left(\frac{2*\pi*h}{24}\right) \quad (3.11)$$

Όπου οι παράμετροι  $a$  και  $b$  υπολογίζονται για κάθε περιοχή και για κάθε ημέρα κατά την ώρα δύσης του ηλίου, και εξαρτώνται από το γεωγραφικό πλάτος  $\phi$  της περιοχής και την ημέρα,  $n$ , του μήνα. Οι τιμές που προέκυψαν από τα μοντέλα πρόβλεψης συγκρίθηκαν στην συνέχεια με τις εκτιμώμενες τιμές από την βάση δεδομένων του Meteorm και το μοντέλο του Baig et al.<sup>[65]</sup> καθώς και με τις καταγεγραμμένες τιμές για τις δυο μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδας, την Αθήνα και την Θεσσαλονίκη, και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν για μια δεκαετία. Ένα μειονέκτημα που εμφανίζει η προσέγγιση αυτή είναι ότι για το ηλιακό μεσημέρι οι τιμές που εκτιμά είναι χαμηλότερες των πραγματικών.

Σε μια νέα προσέγγιση των Karlanis και Karlanis<sup>[66]</sup>, που αποτελεί εξέλιξη του μοντέλου του Karlanis<sup>[64]</sup>, εκτιμούν την μέση αναμενόμενη ωριαία ένταση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας,  $I(h;n_j)$  για την κάθε μέρα  $n_j$  σε μια τοποθεσία, από την ακόλουθη εξίσωση:

$$I(h; n_j) = A + B \frac{e^{-\mu(n_j)*x(h)} * \cos(2*\pi*h/24)}{e^{-\mu(n_j)*x(h=12)}} \quad (3.12)$$

όπου, τα  $A$  και  $B$  είναι σταθερές εξαρτώμενες από την ημέρα,  $n_j$ , και το γεωγραφικό πλάτος, το  $\mu(n_j)$  ο συντελεστής εξασθένησης της ηλιακής ακτίνας και το  $x(\theta_z)$  είναι η απόσταση της ηλιακής ακτίνας που διασχίζει την ατμόσφαιρα. Τα αποτελέσματα της πρόβλεψης είχαν πολύ καλή προσαρμογή με τις καταγεγραμμένες τιμές που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης, το μοντέλο αυτό περιορίζει τις αδυναμίες του προηγούμενου, όπου υπερεκτιμούσε την ακτινοβολία τις ώρες κοντά στην ανατολή και την δύση και υποεκτιμούσε κατά το ηλιακό μεσημέρι και η τυπική απόκλιση ήταν εντός των επιτρεπτών ορίων.

## 4. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ

Λόγω της παγκόσμιας υπερθέρμανσης και της επικείμενης έλλειψης ορυκτών καυσίμων, μια πρόκληση για την επιστημονική κοινότητα εγείρεται, έτσι, η ανάγκη για εναλλακτικές πηγές ενέργειας είναι περισσότερο απαιτητή από ποτέ. Τα τελευταία χρόνια, πολλές μελέτες επικεντρώνονται στα ζητήματα αυτά που παρέχουν οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ως μια φυσική και καθαρή ενέργεια, ελεύθερη από CO<sub>2</sub>. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι συνδεδεμένες με την έννοια της αειφόρου ανάπτυξης και την ανάγκη μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η συνεισφορά στα τρία βασικότερα σκέλη της αειφόρου ανάπτυξης τα οποία είναι η οικονομία, το περιβάλλον και η κοινωνική ευημερία.

Σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, ως ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές θεωρείται η αιολική, ηλιακή, αεροθερμική, γεωθερμική, υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών, υδροηλεκτρική, από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από αέρια μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και από βιοαέρια.

Τα είδη των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας είναι τα εξής:

- Ηλιακή Ενέργεια, προέρχεται από τον ήλιο και αξιοποιείται με ενεργητικά – παθητικά ηλιακά συστήματα, με φωτοβολταϊκά κ.ά.
- Αιολική Ενέργεια, παράγεται από κινούμενες ροές αέριας μάζας και μια χρήση της είναι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες.
- Βιομάζα, η οποία προέρχεται από τα καυσόξυλα, τα φυτικά και δασικά υπολείμματα, τα ζωικά απόβλητα, τα αστικά απορρίμματα κλπ.
- Γεωθερμική Ενέργεια, εκμεταλλεύεται την εσωτερική θερμότητα της Γής και χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και για φυσική θέρμανση και ψύξη των κτιρίων. Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι οι αντλίες θερμότητας, για θέρμανση και ψύξη, οι ατμοστρόβιλοι για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Υδραυλική Ενέργεια, η οποία συνήθως αξιοποιείται σε ειδικές εγκαταστάσεις (υδροηλεκτρικοί σταθμοί κλπ).



- Ενέργεια από την θάλασσα, η οποία προέρχεται από τα κύματα και τις παλίρροιες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Γενικότερα οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Περιγραφικά κάποια από αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

**Πίνακας 4. 1** Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των ΑΠΕ.

<i>ΑΠΕ</i>	<i>Πλεονεκτήματα</i>	<i>Μειονεκτήματα</i>
<i>Ηλιακή ενέργεια</i>	Υψηλό δυναμικό Αρχιτεκτονικά προσαρμόσιμες Δεν ρυπαίνει	Μικρή απόδοση Υψηλό αρχικό κόστος Πρόβλημα αποθήκευσης Υψηλό κόστος παραγόμενης ενέργειας Ημερήσια και γεωγραφικά διαφοροποιούμενη
<i>Υδρο-ενέργεια</i>	Υψηλή απόδοση (>80%) Ελάχιστη απορριπτόμενη θερμότητα Χαμηλό κόστος / kWh Ρυθμίζεται εύκολα Δυνατότητα μερικής αποθήκευσης	Αποθέσεις/ιζήματα Μεταβολή τοπικού κλίματος Επίδραση στον κύκλο ζωής και αναπαραγωγής των ψαριών
<i>Αιολική</i>	Ευέλικτη (μικρές και μεγάλες εγκαταστάσεις) Εφαρμογή στον κτιριακό τομέα ή και για δημιουργία πάρκων σε απομακρυσμένες περιοχές	Μεταβλητή λειτουργία Μικρή απόδοση (30%) Οπτική ρύπανση Ηχορύπανση
<i>Γεωθερμική</i>	Υψηλή απόδοση Οικονομικά αποτελεσματικές Συνεχής παραγωγή ενέργειας	Μερικώς ανανεώσιμη Εκπομπές H <sub>2</sub> S κατά τη λειτουργία
<i>Θερμική ενέργεια ωκεανών</i>	Μεγάλο δυναμικό Εγκαταστάσεις και αξιοποίηση μεγάλης κλίμακας	Τεχνολογικά προβλήματα Υπερβολικό κόστος
<i>Παλιρροϊκή</i>	Σταθερή πηγή Ενεργειακή αξιοποίηση εκβολών ποταμών	Αλλαγή της ακτογραμμής Υψηλό κόστος
<i>Ενέργεια από βιομάζα</i>	Φυσικό προϊόν Συμπαγωγή και αυτόνομη χρήση Άμεσα παραγόμενη μέσω της καύσης Παραγωγή βιοκαυσίμων	Σωματιδιακή ρύπανση Θόρυβος Οσμές Οπτική παρενόχληση Περιορισμός στη μεταφορά

Οι τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών υπείσρχονται τα τελευταία χρόνια στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους.

Ωστόσο, με στόχο την μείωση της παραγωγής της ενέργειας, τόσο από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους, όσο και την μείωση της παραγωγής σε υψηλής ισχύος μονάδες, ακολουθείται ως πολιτική η κατανεμημένη παραγωγή ενέργειας στα κτίρια. Μέριμα για τον σκοπό αυτό έχει ληφθεί από την ΕΕ η οποία θέτει ως στόχο το 2020 όλα τα νέα κτίρια να είναι μηδενικής κατανάλωσης (οδηγίες 2010/31/ΕΕ και 2012/27/ΕΕ).

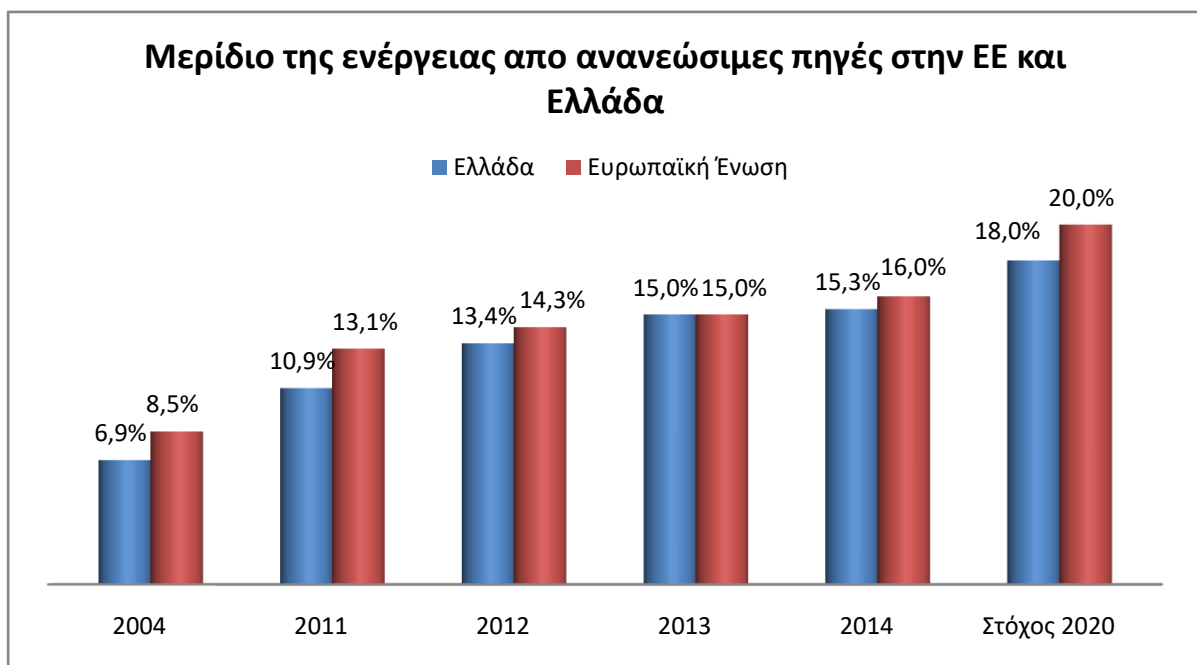
Ειδικότερα για το σύνολο των Κρατών-Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το 2020, προβλέπεται:

α) 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 σύμφωνα με την Οδηγία 2009/29/ΕΚ,

β) 20% διεύδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ και

γ) 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

Για την περίπτωση της Ελλάδας προτείνει ως δεσμευτικό στόχο το 18% της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης να προέρχεται από ΑΠΕ μέχρι το 2020. Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 4.1) απεικονίζεται το μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ΕΕ και την Ελλάδα.



**Διάγραμμα 4. 1** Μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ΕΕ και την Ελλάδα (Πηγή :Eurostat 2014)

Η Ελληνική κυβέρνηση στο πλαίσιο υιοθέτησης συγκεκριμένων αναπτυξιακών και περιβαλλοντικών πολιτικών, με το Ν. 3851/2010 προχώρησε

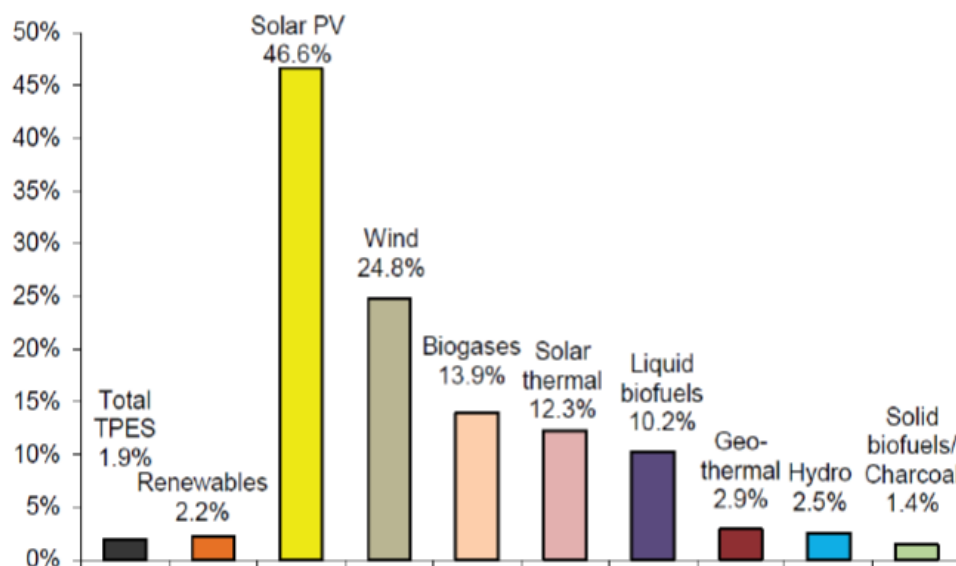
στην αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20% για το 2020.

Μέχρι το 2020 αναμένεται να εγκατασταθούν στην Ελλάδα συστήματα ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ συνολικής δυναμικότητας 14.950MW όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, ενώ μέχρι το Δεκέμβριο του 2015 η εγκατεστημένη ισχύς ανερχόταν στα 7995MW (Πίνακας 4.2) :

**Πίνακας 4. 2** Εγκατεστημένη ισχύ από ΑΠΕ και ο στόχος σε MW (Πηγή : ΛΑΓΗΕ)

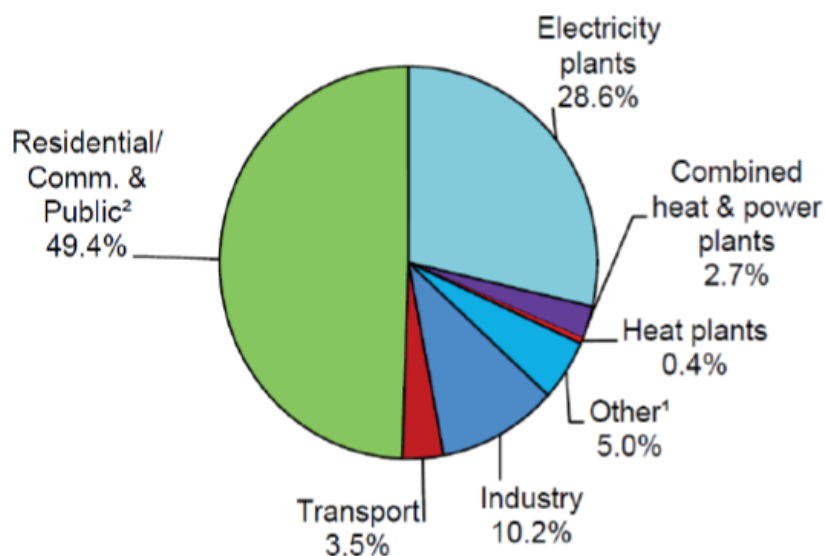
	Δεκέμβριος 2015	Στόχος 2020
<b>Υδροηλεκτρικά</b>	3393	4650
<b>Φωτοβολταϊκά</b>	2467	2200
<b>Ηλιοθερμικά</b>	-	250
<b>Αιολικά</b>	2084	7500
<b>Βιομάζα-Βιοαέριο</b>	51	350
<b>Σύνολο</b>	7995	14950

Η συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ για το χρονικό διάστημα 1990-2013 παρουσίασε μια μέση αύξηση 2,2%, ελαφρώς πιο πάνω από την μέση αύξηση της παγκόσμιας παραγόμενης ενέργειας (1,9%), διάγραμμα 4.2. Την μεγαλύτερη αύξηση στο ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ εμφανίζουν τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες, με 46,6% και 24,8% αντίστοιχα.



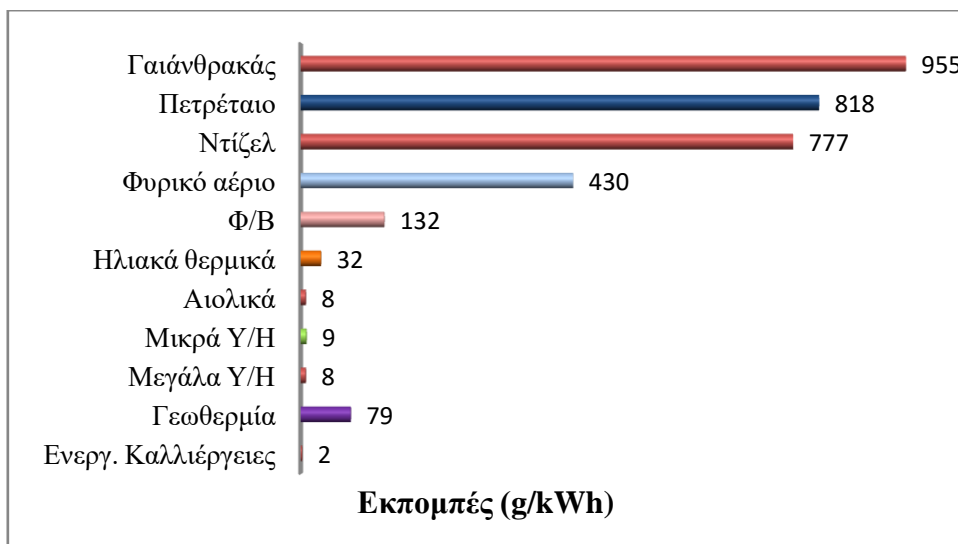
**Διάγραμμα 4. 2** Ρυθμός ανάπτυξης των ΑΠΕ ανά έτος για την χρονική περίοδο 1990-2013. (Πηγή: International Energy Agency, Renewable Information 2015)

Οι τομείς στους οποίους καταναλώνεται το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ είναι ο οικιακός και εμπορικός τομέας (49,4%) και για την παραγωγή ηλεκτρισμού (28,6%), όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.3.

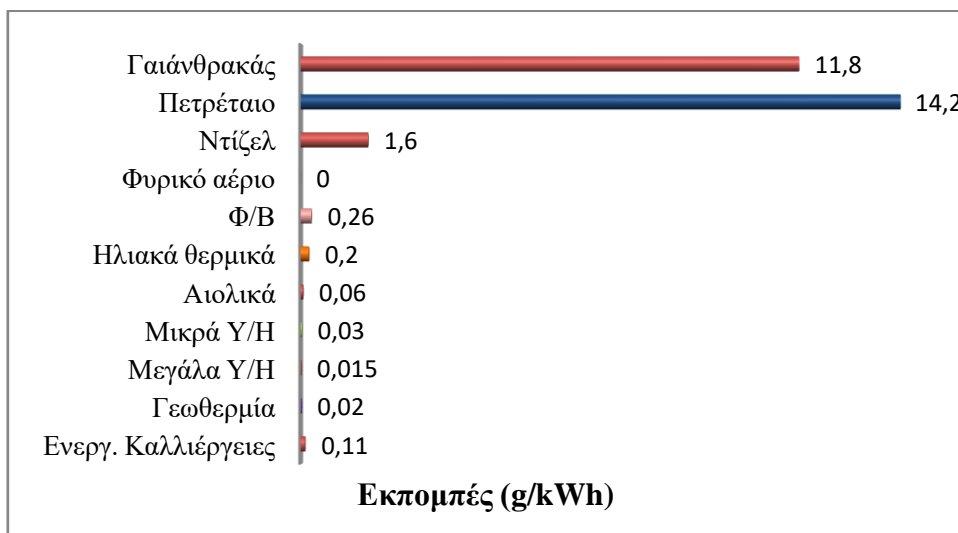


**Διάγραμμα 4. 3** Κατανάλωση ΑΠΕ ανά τομέα δραστηριότητας για το 2013. (Πηγή: IEA RENEWABLES INFORMATION, 2015 Edition.)

Από τα κύρια οφέλη της αξιοποίησης των ΑΠΕ είναι η μείωση των εκπομπών ρυπογόνων αερίων στην ατμόσφαιρα, εξαιτίας της μερικής ή και ολικής αντικατάστασης των συμβατικών πηγών. Υπολογίζεται η μείωση των εκπομπών από ότι ξεπερνά τους 2000 εκατομμύρια τόνοι CO<sub>2</sub> ετησίως. Από το σχέδιο δράσης για το 2020, ανάλογα με το σενάριο ανάπτυξης και διεύθυνσης των ΑΠΕ, θα μπορούσαν να ελαττωθούν οι εκπομπές κατά 6000-9000 τόνοι CO<sub>2</sub>. Με την ανάλυση του κύκλου ζωής μιας μονάδας μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκαλεί μια μονάδα στην διάρκεια ζωής της, από την κατασκευή και την δοκιμαστική λειτουργία μέχρι και την διάθεση των αποβλήτων ή και άλλων. Στις εκπομπές αυτές δεν περιλαμβάνεται μόνο η παραγωγική φάση και έχει βρεθεί ότι για τις ανανεώσιμες τα ποσοστά είναι σημαντικά χαμηλότερα από τις συμβατικές (πχ ορυκτά καύσιμα), όπως αυτά απεικονίζονται στα διαγράμματα 4.4 & 4.5.



**Διάγραμμα 4. 4** Μέσες εκπομπές CO<sub>2</sub> του κύκλου ζωής των ΑΠΕ και συμβατικών πηγών ενέργειας (Πηγή: Benign Energy, The Environmental Implications of Renewables, IEA, 1998)



**Διάγραμμα 4. 5** Μέσες εκπομπές SO<sub>2</sub> του κύκλου ζωής των ΑΠΕ και συμβατικών πηγών ενέργειας (Πηγή: Benign Energy, The Environmental Implications of Renewables, IEA, 1998).

Η συνεισφορά των υδροηλεκτρικών μονάδων σε μια περιοχή είναι σημαντική, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθούν και για άλλους σκοπούς όπως άρδευσης και ύδρευσης. Ακόμη αιολικά και φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση συστημάτων άντλησης νερού κυρίως σε απομακρυσμένες περιοχές. Οι ενεργειακές καλλιέργειες βοηθούν στην προστασία του εδάφους από διάβρωση. Άλλη χρήση των τεχνολογιών από ΑΠΕ είναι για την παραγωγή αφαλατωμένου νερού, άμεσα (ηλιακή ή γεωθερμία) ή έμμεσα (μέσω της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος).

Ο κλάδος των μεταφορών μπορεί να τροφοδοτηθεί με καύσιμα από προϊόντα βιομάζας, όπως βιοαιθανόλη ή και με ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από ΑΠΕ.

Σημαντική μπορεί να είναι η συμβολή των ΑΠΕ σε περιοχές ή απομονωμένων κατοικιών όπου είναι δύσκολο ή δαπανηρό να γίνει διασύνδεση με το κεντρικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικού ρεύματος, όποτε η εφαρμογή αυτόνομων συστημάτων ΑΠΕ είναι επωφελής.

Τα κοινωνικο-οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από την χρήση ΑΠΕ είναι πολλά και σημαντικά. Η σωστή κατανομή τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε μερική απεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα, και ως αποτέλεσμα σταθερότερες τιμές κόστους της ενέργειας, αλλά και αποφυγή δυσάρεστων συνεπειών όπως αυτή του εμπάργκου πετρελαίου το 1973. Με την γεωγραφική διασπορά των μονάδων αξιόλογος αριθμός θέσεων εργασίας έχει δημιουργηθεί σε αγροτικές, απομακρυσμένες ή και δυσπρόσιτες περιοχές. Σχεδιασμός πιο ευέλικτων και αποκεντρωμένων μονάδων, τα οποία δημιουργούν γρήγορα αναπτυσσόμενα ενεργειακά σχήματα. Εξυπηρετεί περιοχές οι οποίες δεν έχουν την δυνατότητα ηλεκτροδότησης, ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες και στην ανάπτυξη της οικονομίας τους. Τέλος μπορούν να αποτελέσουν μοχλό ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ για την εθνική οικονομία, αλλά και παραγωγή και εμπορία τεχνολογίας, τεχνογνωσίας και άλλων υπηρεσιών στον ευρύτερο τομέα των ΑΠΕ.



## 5. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Στο παρελθόν, τα υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας εφαρμόζονταν σε απομονωμένα συστήματα όπως τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς, δορυφορικούς σταθμούς και περιοχές όπου η σύνδεση με το δίκτυο φαινόταν αδύνατη. Σήμερα, όμως, η ανάπτυξη των ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών παρέχει τη δυνατότητα συνδυασμού τους και σε συνδεδεμένες στο δίκτυο εφαρμογές. Παρόλα αυτά, τα συγκεκριμένα συστήματα εξαρτώνται έντονα από την πυκνότητα των ανανεώσιμων δυναμικών (ταχύτητα αέρα, ηλιακή ακτινοβολία), τα οποία διακρίνονται από έντονη στοχαστικότητα. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό, πολλές φορές, απαιτεί την υπερδιαστασιολόγηση των υβριδικών συστημάτων, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένο κόστος σχεδιασμού και κατ' επέκταση στη μη ευρεία εφαρμογή των ΑΠΕ.

Η συνεχής έρευνα, όμως, στον τομέα των ΑΠΕ και συγκεκριμένα των υβριδικών συστημάτων προσπαθεί να βρει τεχνικές έτσι ώστε η τεχνολογία των ΑΠΕ να αριστοποιείται, η συνέργεια των ενεργειακών πηγών να βελτιστοποιείται, ο έλεγχος των συστημάτων να απλοποιείται και τελικά τα υβριδικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής να κατασκευάζονται με χαμηλό κόστος και να λειτουργούν με υψηλό βαθμό αξιοπιστίας.

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες υβριδικών συστημάτων, τα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο και τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα.

### ➤ **Συστήματα διεσπαρμένης παραγωγής σε κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας**

Όταν ο υβριδικός σταθμός συνδέεται σε δίκτυο απείρου ζυγού, τότε η παραγωγή αυτή καλείται διεσπαρμένη. Ο έλεγχος της τάσης και της συχνότητας αλλά και της παραγωγής έργου ισχύος γίνεται από το κεντρικό δίκτυο και έτσι ο σχεδιασμός του υβριδικού συστήματος γίνεται πιο απλός χωρίς περαιτέρω χρήση συστημάτων ελέγχου. Στην περίπτωση έλλειψης ενέργειας από την παραγόμενη από τον σταθμό αυτή αναπληρώνεται από το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Αντίστροφα, η περίσσεια ενέργειας που μπορεί να εμφανιστεί αυτή απορροφάται από το κεντρικό δίκτυο με κάποιους περιορισμούς για την στιγμιαία παραγωγή ισχύος του ΥΣΕ. Για την περίπτωση ασθενούς δικτύου, όπου η ρύθμιση τάσης και συχνότητας επηρεάζεται από την ύπαρξη του ΥΣΕ, είναι απαραίτητη η χρήση επιπρόσθετου εξοπλισμού και διατάξεων ελέγχου<sup>[67]</sup>.



### ➤ **Αυτόνομα υβριδικά συστήματα**

Η χρήση των αυτόνομων υβριδικών συστημάτων γίνεται για την ηλεκτροδότηση απομονωμένων φορτίων, φορτίων για ειδικούς σκοπούς ή και για την ηλεκτροδότηση απομακρυσμένων και νησιωτικών περιοχών όπου δεν υπάρχει σύστημα μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Βασική διαφορά του αυτόνομου με το διασυνδεδεμένο υβριδικό σύστημα είναι ότι μπορεί να παρέχει όλη την ενέργεια που ζητείται οποιαδήποτε στιγμή ή και να την αποκόψει όταν είναι εφικτό. Η περίσσεια ενέργειας που μπορεί να εμφανιστεί είτε αποθηκεύεται είτε απορρίπτεται για την αποφυγή ασταθειών στο σύστημα. Στα αυτόνομα συστήματα περιλαμβάνονται απαραίτητως αποθηκευτικά μέσα καθώς και συστήματα ελέγχου-διαχείρισης φορτίου <sup>[67]</sup>.

## **5.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένα υβριδικό σύστημα ανανεώσιμης ενέργειας είναι ο συνδυασμός δύο τεχνολογιών ΑΠΕ. Τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες είναι τα κύρια εξαρτήματα ενός συνήθους υβριδικού συστήματος ανανεώσιμης ενέργειας. Επιπλέον, καθώς η περίπτωση που μελετάται εκφράζεται από ένα αυτόνομο σύστημα, μια συστοιχία μπαταριών με σκοπό την αποθήκευση και την παροχή ενέργειας χρειάζεται.




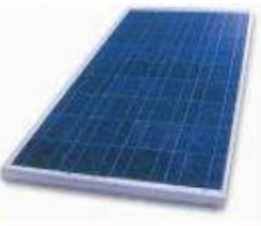
**Εικόνα 5. 1** Υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούμενο από φωτοβολταϊκά πλαίσια και ανεμογεννήτριες ενσωματωμένο στην οροφή κτιρίου.

### 5.1.1. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια ως μέρος του υβριδικού συστήματος

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι μια παράμετρος εισόδου για τα φωτοβολταϊκά. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ εφαρμόζονται γενικά σε μια γωνία παρόμοια με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου υπό εξέταση, προκειμένου να μεγιστοποιηθούν τα ετήσια κέρδη.

Ποικιλία φωτοβολταϊκών πάνελ παρέχει διαφορετικές τεχνικές ιδιότητες. Τα είδη των φωτοβολταϊκών είναι, τα μονοκρυσταλλικού πυριτίου, πολυκρυσταλλικού πυριτίου, “λεπτού υμενίου” (thin-film, όπως είναι τα άμορφα [a-Si], τα μικρομορφικά [μ-Si], τα CIS-CIGS, CdTe, κ.λπ) και υβριδικά. Όταν τα φωτοβολταϊκά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ένα 5-19% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από την τεχνολογία του φωτοβολταϊκού που χρησιμοποιούμε.

Επί του παρόντος, τα μονοκρυσταλλικά και τα πολυκρυσταλλικά είναι οι πιο συνηθισμένοι τύποι και καταλαμβάνουν περίπου το 93 % της παγκόσμιας αγοράς. Σε αντίθεση του “λεπτού υμενίου” που έχει μόνο το 4.2% των παγκόσμιων πωλήσεων. Ο τύπος του υβριδικού φωτοβολταϊκού, συνδυάζει τις τεχνολογίες των άμορφων και των μονοκρυσταλλικών, αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα και των δύο τεχνολογιών. Η επιλογή του είδους των φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση των αναγκών, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής ευχέρειας του ιδιοκτήτη.

ΤΥΠΟΣ	'Λεπτού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας	a-Si: 4,5-6,5% μ-Si: 8-9% CIS-CIGS: 6-12% CdTe: 6-11%	11-16%	11-19%
Επιφάνεια ανά kWp	9-25 m <sup>2</sup>	7-9 m <sup>2</sup>	5,5-9 m <sup>2</sup>

**Εικόνα 5. 2** Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών (πηγή: Σύνδεσμος εταιριών φωτοβολταϊκών).

Τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών ανεξαρτήτου είδους είναι:

- μηδενική ρύπανση
- αθόρυβη λειτουργία
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια)
- απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές
- δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- ελάχιστη συντήρηση.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα που είναι εγκατεστημένα σε κτίρια αποτελούν δομικό υλικό για το κέλυφος του κτιρίου, ενώ ταυτόχρονα λειτουργούν ως παραγωγοί καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο, με σημαντικό πλεονέκτημα την εξοικονόμηση κόστους τόσο των υλικών όσο και της ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν ιδανικά οικοδομικά στοιχεία σε πολλαπλές εφαρμογές καθώς επιτρέπουν μεγάλη ευελιξία στον σχεδιασμό. Μπορούν να αντικαταστήσουν διαφορετικά στοιχεία από γυάλινες προσόψεις μέχρι οροφές ή να υποκαταστήσουν παραδοσιακά οικοδομικά υλικά σε εφαρμογές όπως η σκίαση και η στεγανοποίηση.

Η ισχύς εξόδου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας εξαρτάται από την άμεση και την διάχυτη ακτινοβολία που πέφτει στα πάνελ. Για τον υπολογισμό της ισχύος των Φ/Β διάφορα μοντέλα έχουν αναπτυχθεί από ερευνητές κάποια από τα οποία ενδεικτικά παρουσιάζονται παρακάτω.

Η ισχύς εξόδου των φωτοβολταϊκών μπορεί να υπολογιστεί γενικά από την σχέση όπως μας την έδωσε ο Markvart <sup>[68]</sup>:

$$P_{PV} = N \cdot A_{PV} \cdot I_T \cdot n_{PV} \quad (5.1)$$

Όπου  $n_{PV}$  είναι η απόδοση της φωτοβολταϊκής μονάδας,  $A_{PV}$  είναι η συνολική επιφάνεια των φωτοβολταϊκών μονάδων και  $I_T$  είναι η ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο και εκφράζεται σε  $W/m^2$  και  $N$  είναι ο αριθμός των φωτοβολταϊκών μονάδων. Η απόδοση της φωτοβολταϊκής μονάδας εξαρτάται από την θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_a$ .

Οι Karlanı E. et al. <sup>[69]</sup> στην έρευνά τους θεώρησαν ένα σημαντικό αριθμό απωλειών σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα που μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία στην διαστασιολόγηση των συστημάτων αυτών. Μεγάλη σημασία έχει επίσης ο παράγοντας  $d$ , ο οποίος αντιπροσωπεύει τις ημέρες της αυτονομίας <sup>[70]</sup> για το σύστημα, λόγω της εγγενούς διακύμανσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μέγιστη ισχύς της Φ/Β συστοιχίας για την κάλυψη φορτίων  $Q_L \left( \frac{Wh}{day} \right)$  και με επίπεδο αξιοπιστίας το  $PSH_m$  και δίνεται από:

$$P_m = \frac{d \cdot Q_L \cdot F}{PSH_m \cdot R_m} \quad (5.2)$$

$$F = C_{Tc} \cdot C_{ch} \cdot C_{inv} \cdot C_{bat-ch} \cdot C_{PV-ageing} \quad (5.3)$$

$$\begin{cases} d_{cr} = -1.9 \cdot PSH_{min} + 18.3 \\ d_{n-cr} = -0.48 \cdot PSH_{min} + 4.58 \end{cases} \quad (5.4)$$

Τα φορτία  $Q_L$  είναι τα φορτία που χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες, κρίσιμα και μη κρίσιμα, όπως περιγράφηκε στην σχέση (5.4),  $PSH_{min}$  είναι η ελάχιστη τιμή της ηλιακής ώρας αιχμής (PSH), όπου PSH είναι οι ώρες της ημέρας ίσες με την ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία. Τα κρίσιμα φορτία απαιτούν περισσότερη εγκατεστημένη ισχύ για κάλυψη τουλάχιστον 99%, της συνολικής ετήσιας ζήτησης αντί των μη-κρίσιμων τα οποία απαιτούν τουλάχιστον 95%. Η  $PSH_m$  είναι η μέση τιμή του PSH (h/day),  $R_m$  είναι ο συντελεστής μετατροπής για την παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο, το  $F$  αναφέρεται στις διάφορες απώλειες ισχύος που σημειώθηκαν στην φωτοβολταϊκή γεννήτρια, ιδίως το  $C_{Tc}$  είναι ένας βελτιωτικός παράγοντας λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας στη απόδοση του φωτοβολταϊκού, το  $C_{ch}$  αναφέρεται στην απόδοση του ελεγκτή φόρτισης, το  $C_{inv}$  είναι για την απόδοση του μετατροπέα, και  $C_{bat-ch}$  είναι για την απόδοση της μπαταρίας κατά την διάρκεια της διαδικασίας φόρτισης. Η γήρανση του φωτοβολταϊκού επίσης μετράται,  $C_{PV-ageing}$ .

Άλλη μια προσέγγιση από τον Karplani S. et al.<sup>[71]</sup> στην εξίσωση 5.2 χρησιμοποιεί επιπρόσθετα έναν διορθωτικό όρο για πιο ακριβή εκτίμηση της ισχύς εξόδου των φωτοβολταϊκών που σχετίζεται με τις διακυμάνσεις της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας,  $H_m$  και εκφράστηκε ως:

$$P_{m,cor} = Q_L \cdot F \cdot (1 + \sqrt{d} \cdot 2 \cdot \sigma_H / H_m) / (PSH_m \cdot R_m) \quad (5.5)$$

όπου, το  $\sigma_H$  είναι η τυπική απόκλιση για την ηλιακή ακτινοβολία,  $H$ , για μια συγκεκριμένη ημέρα  $n_j$ .

### 5.1.2. Η ανεμογεννήτρια ως μέρος του υβριδικού συστήματος

Οι ανεμογεννήτριες μπορεί να κατηγοριοποιηθούν σε δύο βασικούς τύπους: τις ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα (HAWT) και αυτές με κάθετο άξονα (VAWT). Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα που περιστρέφονται γύρω από ένα οριζόντιο άξονα είναι οι πιο συνήθεις, ενώ οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά και είναι μικρότερης ισχύος στην πράξη. Τα κύρια εξαρτήματα που αποτελούν μια ανεμογεννήτρια είναι: ο

ρότορας, που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια τοποθετημένα σε ένα κομβικό σημείο (hub), ένα σύστημα ταχυτήτων μετάδοσης, που προσαρμόζει την ταχύτητα του ρότορα σε σύγχρονη ταχύτητα της γεννήτριας, μια ηλεκτρική γεννήτρια, η οποία μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική, ένα κοινό σύστημα φρένου, τοποθετημένο στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας, ένας ελεγκτής κλίσης των πτερυγίων (pitch control), αναγκάζοντας τον άξονα να περιστραφεί προς την κατεύθυνση του ανέμου, ο πύργος, που υποστηρίζει ολόκληρη την ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση και τέλος, ο πίνακας ελέγχου, που παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες.

Η εφαρμογή ανεμογεννητριών (Α/Γ) μεσαίας ή μεγάλης ισχύος στα κτίρια δεν είναι πρακτική και γι' αυτό προτείνεται η χρήση των μικρών Α/Γ <sup>[72]</sup>. Οι προσόψεις και οι οριζόντιες ή κεκλιμένες στέγες των κτιρίων είναι κατάλληλες επιφάνειες όχι μόνο για την εφαρμογή Φ/Β πλαισίων, θερμικών συλλεκτών ή φωτοβολταϊκών/θερμικών ηλιακών συλλεκτών αλλά και μικρών Α/Γ κυρίως σε αγροτικές ή σε συγκροτήματα κατοικιών, κυρίως σε περιοχές με ικανοποιητικό αιολικό δυναμικό, είτε ως αυτόνομες μονάδες είτε συνδεδεμένες στο δίκτυο.



**Εικόνα 5. 3** Ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα (αριστερή εικόνα) και οριζοντίου άξονα (δεξιά εικόνα).

Όσον αφορά την ενσωμάτωση των Α/Γ στα κτίρια (BIWT), το βάρος και οι διαστάσεις τους είναι δυο σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη και γι' αυτό είναι κατάλληλα κυρίως τα μικρού μεγέθους συστήματα.

Οι Α/Γ κάθετου άξονα είναι ίσως η καλύτερη επιλογή για αστική χρήση, καθώς είναι λιγότερο ευαίσθητες σε φαινόμενα στροβιλισμού και αλλαγές της διεύθυνσης του ανέμου, σε σχέση με τις οριζοντίου άξονα και επίσης έχουν μικρότερο βάρος σε σχέση με την ισχύ τους. Επιπλέον, το γεγονός ότι διαθέτουν γεννήτρια που είναι τοποθετημένη στη βάση τους, τις κάνει πολύ πιο πρακτικές ως προς την τοποθέτησή τους στις στέγες των κτιρίων και ως προς την συντήρηση και την επισκευή τους. Εξάλλου, οι μικρές Α/Γ καθέτου άξονα είναι λιγότερο ενοχλητικές οπτικά από τις οριζοντίου άξονα Α/Γ.

Σε σχέση με τους κτιριακούς κανονισμούς, η όψη, η ασφάλεια των κατοίκων, ο θόρυβος και οι μέθοδοι εγκατάστασης και συντήρησης αποτελούν ακόμη αντικείμενα για συζήτηση και περαιτέρω έρευνα.

Για τον υπολογισμό της ισχύς εξόδου των ανεμογεννητριών διάφορες εξισώσεις έχουν αναπτυχθεί. Μερικές από αυτές αναλύονται παρακάτω.

Η ισχύς εξόδου μιας ανεμογεννήτριας  $P_W$  εξαρτάται από την έξοδο ονομαστικής ισχύος ( $P_r$ ), την ταχύτητα εκκίνησης ( $V_{cut-in}$ ) και την ταχύτητα αποκοπής ( $V_{cut-out}$ ). Η μαθηματική της έκφραση δίνεται από τις ακόλουθες εξισώσεις συστήματος [5.6-8], που έχει προταθεί από τους Khatod DK et al.<sup>[73]</sup>:

$$P_{WT} = \begin{cases} 0 & 0 \leq V < V_{cut-in} \\ a * V^3 + b * P_r & \text{για } V_{cut-in} \leq V < V_r \\ P_r & V_r \leq V \leq V_{cut-out} \\ 0 & V \geq V_{cut-out} \end{cases} \quad (5.6)$$

Στο παραπάνω σύστημα εξισώσεων η  $V_r$  αναφέρεται στην ονομαστική ταχύτητα της ανεμογεννήτριας και οι σταθερές  $a$ ,  $b$  υπολογίστηκαν ως συνάρτηση της ονομαστικής και της cut-in ταχύτητες ανέμου.

$$\begin{cases} a = \frac{P_r}{V_r^3 - V_{cut-in}^3} \\ b = \frac{V_{cut-in}^3}{V_r^3 - V_{cut-in}^3} \end{cases} \quad (5.7)$$

Η συνολική ισχύς της ανεμογεννήτριας  $P_W$  η οποία είναι διαθέσιμη δίδεται τότε από την εξίσωση 5.8<sup>[74]</sup>:

$$P_W = P_{WT} * A_w * n \quad (5.8)$$

όπου  $A_w$  είναι η συνολική επιφάνεια σάρωσης, και  $n$  είναι η απόδοση του μετατροπέα της ανεμογεννήτριας από την κίνηση του αέρα σε περιστροφική κίνηση της ΑΓ ( $C_p$ ).

Οι Diaf et al.<sup>[75]</sup> πρότειναν ένα μοντέλο για την εκτίμηση της εξερχόμενης ισχύος από τα δεδομένα που αποκτήθηκαν από τον κατασκευαστή με την χρήση κριτηρίου παρεμβολής. Στη συνέχεια, οι καμπύλες ισχύος αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας κυβική παρεμβολή ομαλοποιημένης καμπύλης<sup>[76]</sup>. Η έξοδος των ανεμογεννητριών εκφράστηκε στην συνέχεια από το ακόλουθο σετ των εξισώσεων (5.9):

$$P_W(v) = \begin{cases} 0 & v \leq v_{cut-in} \text{ or } v \geq v_{cut-out} \\ a_1 v^3 + b_1 v^2 + c_1 v + d_1 v_{cut-in} & v_{cut-in} < v < v_1 \\ a_2 v^3 + b_2 v^2 + c_2 v + d_2 v_1 & v_1 < v < v_2 \\ \dots & \dots \\ a_n v^3 + b_n v^2 + c_n v + d_n v_{n-1} & v_{n-1} < v < v_r \\ P_r & v_r \leq v < v_{cut-out} \end{cases} \quad (5.9)$$

Εδώ  $P_W(v)$  είναι η ισχύς εξόδου για την ταχύτητα του ανέμου  $v$ ,  $P_r$  είναι η ονομαστική ισχύς.

Ένα δευτεροβάθμιο μοντέλο αναπτύχθηκε από τους ίδιους συγγραφείς<sup>[77]</sup> για την εκτίμηση της ισχύος εξόδου των ανεμογεννητριών και δίδεται από την εξίσωση 5.10 ακολούθως:

$$P_W(v) = \begin{cases} P_r \frac{v^2 - v_{cut-in}^2}{v_r^2 - v_{cut-in}^2} & v_{cut-in} < v < v_r \\ P_r & v_r \leq v < v_{cut-out} \\ 0 & v \leq v_{cut-in} \text{ or } v \geq v_{cut-out} \end{cases} \quad (5.10)$$

όπου η ταχύτητα του ανέμου αποκτήθηκε η προσαρμόστηκε στο ύψος της πλήμνης.

### 5.1.3. Οι μπαταρίες ως μέσω αποθήκευσης του υβριδικού συστήματος

Η μπαταρία, όντας η κύρια διαφορά με τα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα, συμπεριφέρεται σαν μια χημική αποθήκη, μετατρέποντας την ηλεκτρική σε χημική και αντιστρόφως, παρέχοντας την ηλεκτρική ενέργεια σύμφωνα με την ζήτηση του φορτίου. Το σύστημα μπαταριών είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να παρέχει ικανή ενέργεια για να καλύψει το φορτίο, όταν η φωτοβολταϊκή συστοιχία ή η ανεμογεννήτρια δεν παράγουν ενέργεια (κατά τη διάρκεια της νύχτας και σε μια ήρεμη μέρα, αντίστοιχα) ή όταν αυτές οι δύο πηγές ΑΠΕ δεν παράγουν αρκετή ενέργεια. Επίσης η συστοιχία μπαταριών αποθηκεύει την περίσσεια ενέργεια του συστήματος όταν η ζήτηση φορτίου είναι λιγότερη από την παραγόμενη ανανεώσιμη ενέργεια και χρησιμοποιείται σαν αποθεματικό ενέργειας το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια μερικών ωρών ή ημερών πολύ συννεφιασμένου καιρού ή έλλειψης ανέμου αντίστοιχα. Ακόμα η μπαταρία αποτρέπει μεγάλες, πιθανόν καταστροφικές, διακυμάνσεις τάσης.

Μερικοί τύποι μπαταριών που χρησιμοποιούνται είναι: ο τύπος μολύβδου οξέος, νικελίου-καδμίου, νικελίου σιδήρου, υδριδίου νικελίου και επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου, από αυτούς τους τύπους μόνο οι μπαταρίες μολύβδου οξέος και λιγότερο οι νικελίου καδμίου είναι πιο συχνές σε χρήση. Οι μπαταρίες νικελίου σιδήρου χρησιμοποιούνται σπάνια στις ΑΠΕ και υποφέρουν από υψηλό δείκτη αυτό-αποφόρτισης, αυτό είναι και το κύριο ζήτημα που τις κάνει ακατάλληλες.

Οι μπαταρίες διαχωρίζονται σε δυο κατηγορίες κλειστού και ανοιχτού τύπου. Οι ανοιχτού τύπου απαιτούν συστηματική συμπλήρωση ηλεκτρολύτη και παράγουν λιγότερα αμπερ. Οι κλειστού τύπου διαχωρίζονται στις AMG και GEL. Οι AMG χρησιμοποιούν ματ γυαλί πυριτικού βορίου μεταξύ των πλακών και ο ηλεκτρολύτης είναι εντός του ματ γυαλιού και έτσι δεν υπάρχει κίνδυνος διαρροής σε περίπτωση θραύσης. Ο ρυθμός αποφόρτισης κυμαίνεται από 1-3% μηνιαίως και η διάρκεια ζωής 10-12 χρόνια. Οι GEL μπαταρίες περιέχουν ηλεκτρολύτη υπό μορφή ζελέ, ο οποίος δημιουργήθηκε με την προσθήκη ζελέ πυριτίου. Οι βαθιάς αποφόρτισης μπαταρίες GEL έχουν διάρκεια ζωής περίπου 10 χρόνια.



**Εικόνα 5. 4** Μπαταρίες αποθήκευσης υβριδικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε γενικές γραμμές, για τη βελτιστοποίηση των υβριδικών συστημάτων χρησιμοποιούνται είτε για ο υπολογισμός της χωρητικότητας των μπαταριών ( $C_L$ ) ή η κατάσταση φόρτισης της (SOC). Η μέγιστη κατάσταση φόρτισης είναι 1 και η ελάχιστη είναι η διαφορά  $SOC_{min} = 1 - DOD$ . Το βάθος εκφόρτισης (DOD) είναι η ενέργεια που η μπαταρία μπορεί να παρέχει και διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας. Εδώ παρέχονται διάφορες μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της χωρητικότητας και για την κατάσταση φόρτισης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας προσομοίωσης σε πολλές έρευνες.

Οι Karplani E. et al.<sup>[69]</sup> παρουσίασαν με μια συμβατική προσέγγιση και χρησιμοποίησαν τις ημέρες αυτονομίας,  $d$ , με σκοπό να εκτιμήσουν την



χωρητικότητα της μπαταρίας. Αυτή η μεθοδολογία παρείχε μια καλή αξιοπιστία για το σύστημα, αλλά επίσης οδήγησε σε μια μεγαλύτερη εκτίμηση της χωρητικότητας της μπαταρίας του συστήματος,  $C_L$ . Η εξίσωση(5.11) που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται παρακάτω:

$$C_L = \frac{d \cdot Q_L \cdot F'}{V \cdot DOD} \quad (5.11)$$

όπου  $F'$  είναι ο διορθωτικός όρος για τις μεταφερόμενες απώλειες ισχύος και  $V$  είναι η τάση μεταφοράς. Μεγάλη σημασία έχει επίσης ο παράγοντας  $d$ , ο οποίος αντιπροσωπεύει τις ημέρες της αυτονομίας για το σύστημα, λόγω της εγγενούς διακύμανσης της ηλιακής ακτινοβολίας(εξίσωση 5.4).

Το γεγονός ότι από την παραπάνω εξίσωση το μέγεθος του συστήματος είναι υπερεκτιμημένο ένας διορθωτικός παράγοντας εισήχθη στην σχέση (5.11)<sup>[60]</sup> και διερευνήθηκε η αξιοπιστία του. Έτσι προέκυψε η παρακάτω σχέση (5.12), αποτέλεσμα της οποίας είναι η σημαντική μείωση του παραγόμενου συστήματος.

$$C_{L,d} = C_L \left( 1 + \frac{2\sqrt{d} \cdot \sigma_H}{H_m(n_j)} \right) \quad (5.12)$$

όπου,  $H_m$  είναι η διακύμανση της μέσης ακτινοβολίας για την μέρα  $n_j$  και  $\sigma_H$  είναι η τυπική απόκλιση της ηλιακής ακτινοβολίας,  $H$ , για την  $n_j$  μέρα. Επιπλέον, η ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρίας επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες κατά τη διάρκεια της ζωής της. Συνοπτικά αυτοί είναι, ο αριθμός των χρόνων της μπαταρίας ( $t_b$ ), ο διορθωτικός συντελεστής λόγω των κύκλων ( $C_c \approx 0.007-0.01$ ), και η γήρανση της μπαταρίας ( $C_a \approx 0.014-0.02$ ). Συνολικά, εκφράστηκαν στην ονομαστική χωρητικότητα ( $C_N$ ) όπως περιγράφεται στην επόμενη εξίσωση:

$$C_N = \frac{C_L}{1 - t_b \cdot (C_c + C_a)} \quad (5.13)$$

Οι Hongxing Yang et al.<sup>[78]</sup> στην έρευνά τους θεωρούν το SOC υπό δύο διαφορετικές διαδικασίες, ήτοι αυτές της φόρτισης και της αποφόρτισης. Συμπερασματικά, αυτό οδηγεί στις ακόλουθες σχέσεις όπου η μόνη διαφορά που εμφανίζεται είναι η εφαρμογή της απόδοσης της φόρτισης της μπαταρίας,  $\eta_{bat}$ , ενώ για την αποφόρτιση η απόδοση εκφόρτισης δεν λήφθηκε υπόψη.

$$\begin{cases} SOC_{ch}(t+1) = SOC(t) \cdot (1 - \sigma(t)) + \frac{I_{bat}(t) \cdot \Delta t \cdot n_{bat}(t)}{C_{bat}} \\ SOC_{dis}(t+1) = SOC(t) \cdot (1 - \sigma(t)) - \frac{I_{bat}(t) \cdot \Delta t}{C_{bat}} \end{cases} \quad (5.14)$$

όπου  $\sigma(t)$  είναι ο ωριαίος ρυθμός αυτο-αποφόρτισης και προτάθηκε να είναι 0.02% περίπου. Το  $I_{bat}$  είναι το ρεύμα φόρτισης/αποφόρτισης την στιγμή  $t$ , και το  $C_{bat}$  είναι η χωρητικότητα της μπαταρίας (Ah). Οι τιμές SOC κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1. Η τιμή 1 δηλώνει ότι οι μπαταρίες είναι πλήρως φορτισμένες.

Οι Diaf S. et al.<sup>[75]</sup> εκτιμούν την χωρητικότητα της συστοιχίας μπαταριών την στιγμή  $t$  ανάλογα με τη φόρτιση ή την αποφόρτιση. Ως εκ τούτου, οι ακόλουθες εξισώσεις χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε περίπτωση:

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t-1) * (1 - \sigma) + \left( P_{PV}(t) + P_{WT}(t) - \frac{P_L(t)}{n_{inv}} \right) * n_{cha} * \Delta t \quad (5.15)$$

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t-1) * (1 - \sigma) - \left( \frac{P_L(t)}{n_{inv}} - (P_{PV}(t) + P_{WT}(t)) \right) * \Delta t \quad (5.16)$$

όπου στις παραπάνω εξισώσεις το  $C_{bat}$  αντιπροσωπεύει τις Wh της μπαταρίας κατά τη διαδικασία της φόρτισης και της εκφόρτισης τις στιγμές  $t$  και  $t-1$ . Το  $n_{inv}$  είναι η απόδοση του μετατροπέα (inverter), και  $\sigma$  είναι ο ρυθμός αυτό-αποφόρτισης της μπαταρίας. Όταν οι μπαταρίες φορτίζουν λαμβάνεται επίσης υπόψη και η απόδοση φόρτισης,  $n_{cha}$ .

## 5.2. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού για ένα υβριδικό σύστημα ώστε να καλύψει την ζήτηση φορτίου διεξάγεται η αξιολόγηση με βάση την αξιοπιστία της ισχύος και του κόστους του κύκλου ζωής του συστήματος. Μια βέλτιστη εγκατάσταση μπορεί να επιτευχθεί ανάμεσα στα μέρη του συστήματος με την υιοθέτηση των ακόλουθων στόχων: i) την αξιοπιστία ισχύος και ii) το κόστος του συστήματος.

### 5.2.1. Αξιοπιστία ισχύος

Η διαλείπουσα φύση της ηλιακής ακτινοβολίας και της ταχύτητας του ανέμου είναι ζωτικής σημασίας για την παραγωγή ισχύος σε ένα ανανεώσιμο υβριδικό σύστημα. Μια ανάλυση της αξιοπιστίας της ισχύος του συστήματος είναι υποχρεωτική κατά τη διαδικασία σχεδιασμού των ρυθμίσεων αυτών.

Μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για το σκοπό αυτό είναι η Πιθανότητα της Απώλειας της Ισχύος (LPSP) <sup>[75,79]</sup>. Με αυτό περιγράφεται καλά αν η ισχύς του συστήματός μας (φωτοβολταϊκή, η αιολική και η αποθήκη ισχύος) είναι ανεπαρκής για να ικανοποιήσει τη ζήτηση του φορτίου μας.

Το LPSP, ορίζεται ως το κλάσμα της έλλειψης ενέργειας με αυτό που ζητείται από τα φορτία. Ως ένας παράγοντας που εξηγεί την μη ικανοποίηση των φορτίων με όρους της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας. Μια άλλη έκφραση είναι το κλάσμα των συνολικών ενεργειακών απωλειών σε μια χρονική περίοδο (συνήθως ετησίως) διαιρούμενο με την κατανάλωση του φορτίου κατά την περίοδο αυτή.

Αυτό εκφράζεται από την εξίσωση:

$$LPSP = \frac{\sum_{t=1}^T LPS(t)}{\sum_{t=1}^T P_L(t) \times \Delta t} \quad (5.17)$$

Το LPS είναι η απώλεια της ισχύος του συστήματος την στιγμή  $t$  και γενικά μπορεί να εκφραστεί για ένα υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών / ανεμογεννήτριας/ μπαταρίας:

$$LPS(t) = P_L(t) \cdot Dt - ((P_{PV} \cdot (t) + P_W \cdot (t)) \cdot \Delta t + SOC(t - 1) - SOC_{min}) \cdot n_{inv} \quad (5.18)$$

Το  $P_L$  είναι η ισχύς που καταναλώθηκε από το φορτίο την στιγμή  $t$  και  $Dt$  είναι το βήμα του χρόνου που εφαρμόζεται στην περίπτωση μελέτης. Το  $SOC(t-1)$  αναφέρεται στην κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας πριν την στιγμή  $t$  και το  $SOC_{min}$  είναι η ελάχιστη κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας.

Η εξίσωση 5.18 αντιπροσωπεύει την πιθανότητα το φορτίο ανά πάσα στιγμή " $t$ " να είναι χαμηλότερο ή ίσο με το ελάχιστο όριο της ενέργειας που προσδόθηκε στην μπαταρία  $SOC_{min}$ , και  $SOC(t)$  είναι η ενέργεια που αποθηκεύεται στην μπαταρία ανά πάσα στιγμή  $t$ <sup>[80]</sup>. Τα  $P_{PV}$  και  $P_{WG}$  αντιπροσωπεύουν την παραγόμενη ενέργεια από τις γεννήτριες των φωτοβολταϊκών / ανεμογεννητριών αντίστοιχα.

Άλλες τεχνικές επίσης που χρησιμοποιήθηκαν είναι η Πιθανότητα Απώλειας Φορτίου (LLP)<sup>[81]</sup> η οποία δίνει την χρονική περίοδο (που μετρήθηκε

σε ώρες ή ημέρες) όπου η παροχή ισχύος του συστήματος αποτυγχάνει να καλύψει την ζήτηση φορτίου.

Το LLP, είναι το ποσοστό του μέσου φορτίου (σε μεγάλες χρονικές περιόδους) που δεν παρέχεται σύστημα, και εκφράζεται ως η περίοδος αποτυχίας κάλυψης του φορτίου προς τον συνολικό χρόνο λειτουργίας του υβριδικού συστήματος. Η απώλεια του φορτίου συμβαίνει όταν το φορτίο του συστήματος υπερβαίνει τη διαθέσιμη παραγόμενη ενέργεια.

$$LLP = \frac{T_F}{T} \quad (5.19)$$

όπου:

$T_F$  είναι ο χρόνος αποτυχίας του συστήματος και  $T$  είναι η συνολική εξεταζόμενη περίοδος του συστήματος. Για τους χρόνους  $t$  όπου το σύστημα αποτυγχάνει να ικανοποιήσει τα φορτία μέσω της εξίσωσης [5.20] είναι αρνητική προσθέτονται.

$$\sum_{t=1}^T (E_W(t) + E_{PV}(t) - E_L(t)) < 0 \quad (5.20)$$

όπου:

$E_W$  είναι η παραγόμενη ενέργεια της ανεμογεννήτριας,  $E_{PV}$  αναφέρεται στην παραγόμενη ενέργεια των φωτοβολταϊκών και  $E_L$  είναι η ζήτηση ενέργειας την στιγμή  $t$ .

### 5.2.2. Ανάλυση του κόστους του συστήματος

Σε πολλές έρευνες αναφέρονται διαφορετικά οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης. Τα πιο γνωστά είναι τα Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV), Κλιμακούμενο Κόστος Ενέργειας (LCE)<sup>[7578]</sup>, και το κόστος κύκλου ζωής (LCC)<sup>[82]</sup>.

Η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV)<sup>[83]</sup> ορίζεται ως το συνολικό κόστος του συστήματος ως παρούσα αξία του αρχικού κόστους (αγορά και εγκατάσταση) με επιπλέον το κόστος της συντήρησης και την αντικατάσταση των εξαρτημάτων για την διάρκεια ζωής του έργου.

Σημαντικός οικονομικός παράγοντας που συζητήθηκε επίσης σε πολλές έρευνες είναι ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR). Ο IRR υπολογίζει την πραγματική απόδοση τόκων που προσφέρθηκε από την εγκατάσταση κατά τη διάρκεια της περιόδου λειτουργίας του και αξιολογείται υπολογίζοντας το προεξοφλητικό επιτόκιο που δίνει Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV), εξίσωση 5.21, ίση με το μηδέν<sup>[84]</sup>. Οποιαδήποτε τιμή μεγαλύτερη από το μηδέν του NPV,

τόσο πιο επιθυμητό είναι να δημιουργηθεί το σχέδιο. Το NPV δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$NPV = -CI + \sum_{t=1}^N \frac{C_{in}}{(1+i)^t} - \sum \frac{C_{out}}{(1+i)^t} \quad (5.21)$$

όπου το CI είναι το συνολικό κόστος αγοράς της εγκατάστασης,  $C_{in}$  είναι η εισροή εσόδων και το  $C_{out}$  εκφράζει το κόστος συντήρησης των φωτοβολταϊκών και των ανεμογεννητριών όπως επίσης και το κόστος αντικατάστασης των μπαταριών.

Το Κλιμακούμενο Κόστος Ενέργειας, ορίζεται γενικά ως η σταθερή τιμή ανά μονάδα ενέργειας που προκαλεί η επένδυση μέχρι το νεκρό σημείο, και χρησιμοποιείται ευρέως για την αξιολόγηση της διαμόρφωσης του υβριδικού συστήματος φωτοβολταϊκών-ανεμογεννήτριας<sup>[85]</sup> και ορίζεται ως ο λόγος του συνολικού ετήσιου κόστους των εξαρτημάτων του συστήματος προς τη συνολική ετήσια ενέργεια που παραδίδεται<sup>[86]</sup>. Κάποιες άλλες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται εκτεταμένα είναι το Κλιμακούμενο Κόστος του Συστήματος<sup>[87]</sup> και το κόστος του κύκλου ζωής. Το LCE υπολογίζεται γενικά από την ακόλουθη εξίσωση που εισήχθη από τους Lazou και Papatsoris<sup>[88]</sup>:

$$LCE = \frac{TAC}{E_{tot}} \quad (5.22)$$

όπου το TAC αντιπροσωπεύει το συνολικό ετήσιο κόστος και  $E_{tot}$  τη συνολική ετήσια ενέργεια.

Το Κόστος του Κύκλου Ζωής (LCC)<sup>[82]</sup>, εξίσωση [5.23], υπολογίζεται σαν το συνολικό κόστος του υβριδικού συστήματος αντιπροσωπεύοντας το αρχικό κόστος κεφαλαίου  $IC_{cap}$ , την παρούσα αξία της αντικατάστασης ( $C_{rep}$ ) και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ( $C_{O\&M}$ ) μείον την υπόλοιπη αξία των εξαρτημάτων στο τέλος της διάρκειας ζωής των συστημάτων.

$$LCC = IC_{cap} + C_{rep} + C_{O\&M} - S \quad (5.23)$$

Η υπολειμματική αξία αντιπροσωπεύει την υπολειπόμενη αξία των εξαρτημάτων του συστήματος στο τέλος της διάρκειας ζωής του προκαθορισμένου συστήματος και υπολογίζεται από την εξίσωση [5.24].

$$S = \frac{C_{rep} \cdot R_{rem}}{R_{comp}} \quad (5.24)$$

όπου,  $R_{rem}$  είναι η εναπομένουσα ζωή των εξαρτημάτων των συστημάτων στο τέλος της ζωής του έργου και  $R_{comp}$  είναι η συνολική ζωή του εξαρτήματος του συστήματος.

Άλλος ένας παράγοντας για την οικονομική αξιολόγηση του συστήματος είναι το Ετήσιο Κόστος του Συστήματος (ACS), εξίσωση [5.25], το οποίο είναι το άθροισμα του ετήσιου αρχικού κόστους ( $C_{acap}$ ), του ετήσιου κόστους αντικατάστασης ( $C_{arep}$ ) και του ετήσιου κόστους συντήρησης ( $C_{amain}$ )<sup>[89]</sup>, και υπολογίζεται ως εξής:

$$ACS = C_{acap} + C_{arep} + C_{amain} \quad (5.25)$$

### 5.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ένα σύννηθες πρόβλημα που εμφανίζεται μεταξύ της αλληλεπίδρασης του συστήματος των ανανεώσιμων πηγών και της κατανάλωσης φορτίων είναι η σταθερότητα της προδιδόμενης ενέργειας και της τάσης και έντασης του ρεύματος. Σε αυτές τις περιπτώσεις, για να ξεπεραστούν τα προβλήματα που ανακύπτουν έχουν δημιουργηθεί συστήματα τα οποία διαχειρίζονται την παραδιδόμενη ενέργεια, τα οποία λέγονται συστήματα ελέγχου της ενέργειας. Για την διαδικασία αυτή πραγματοποιούνται δυο στάδια. Αρχικά, οι ενεργειακές πηγές και η πρόβλεψη του φορτίου καθορίζονται και έπειτα οι ενεργειακές πηγές και τα συστήματα αποθήκευσης (μπαταρίες, κυψέλες καυσίμου και άλλα) βελτιστοποιούνται για την παροχή της κατάλληλης ροής ενέργειας. Τα συστήματα αυτά κατηγοριοποιούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες: κεντρικού ελέγχου, κατανεμημένου ελέγχου και υβριδικά (κεντρικού και κατανεμημένου) ελέγχου. Ένας βοηθητικός ελεγκτής τοποθετείται τοπικά σε κάθε ανανεώσιμη γεννήτρια για την βέλτιστη διανομή ενέργειας στα φορτία, βασισμένη στην τρέχουσα πληροφορία.

Η διαχείριση κεντρικού ελέγχου αποτελείται από έναν κεντρικό ελεγκτή ο οποίος επικοινωνεί με τους βοηθητικούς ελεγκτές οι οποίοι βρίσκονται σε κάθε γεννήτρια και δρά ως επιβλέπων και αποφασίζει πότε θα χρησιμοποιηθεί μια γεννήτρια, ανάλογα με τους περιορισμούς που έχουν τεθεί. Αντιθέτως στα συστήματα κατανεμημένου ελέγχου η απόφαση λαμβάνεται από τους τοπικούς ελεγκτές και μέσω της αλληλεπίδρασης μια συνολικά βέλτιστη απόφαση μπορεί να επιτευχθεί αποφεύγοντας τις αποτυχίες μοναδικού σημείου. Τα υβριδικά συστήματα εμφανίζουν τα πλεονεκτήματα των προηγούμενων συστημάτων καθώς το κεντρικό σύστημα ελέγχου εφαρμόζεται σε κάθε ομάδα γεννητριών και το κατανεμημένου ελέγχου τις καθοδηγεί, και έτσι επιτυγχάνονται τοπικά και συνολικά βέλτιστες λύσεις αντίστοιχα με κάθε διευθέτηση<sup>[90]</sup>.

## 5.4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η στοχαστική φύση των μετεωρολογικών δεδομένων και η ανάγκη για την καλύτερη εκμετάλλευση των γεννητριών παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας, είτε ανεμογεννητριών είτε/και φωτοβολταϊκών, οδήγησε στην ανάπτυξη διαφόρων μεθόδων βέλτιστης διαστασιολόγησης των υβριδικών συστημάτων από τους ερευνητές. Έτσι επιτυγχάνεται η πιο σωστή επιλογή των μερών του υπό εξέταση συστήματος και τον περιορισμό της υπό- ή υπερ-διαστασιολόγησής τους.

Στην κατηγορία των αυτόνομων υβριδικών συστημάτων σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η επιλογή και σωστή διαστασιολόγηση του αποθηκευτικού μέσου. Πέραν των τεχνικών στοιχείων πρέπει να ληφθεί υπόψη και το κόστος του παραγόμενου συστήματος για να είναι έτσι οικονομικά βιώσιμη λύση. Δηλαδή οι μέθοδοι αυτοί δρουν στην ελαχιστοποίηση της ισχύος του και στον περιορισμό του κόστους με την προϋπόθεση ότι δεν θα αποτύχει να καλύψει τις προβλεπόμενες ανάγκες της εφαρμογής για την οποία απευθύνεται.

Στην βιβλιογραφία οι μέθοδοι αυτοί διαχωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες: παραδοσιακοί μέθοδοι και οι σύγχρονες μέθοδοι. Πιο πρόσφατη εξέλιξη αυτών είναι οι υβριδικοί αλγόριθμοι, δηλαδή συνδυασμός προαναφερθέντων μεθόδων, είτε της ίδιας είτε διαφορετικής κατηγορίας.

Παρακάτω παρατίθενται οι διάφοροι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί:

- Παραδοσιακοί μέθοδοι
  - Τεχνική γραμμικού προγραμματισμού<sup>[91]</sup>
  - Επαναληπτική τεχνική<sup>[92]</sup>
  - Τεχνική γραφικής απεικόνισης<sup>[93]</sup>
  - Προσεγγιστική μέθοδος πιθανοτήτων<sup>[94]</sup>
  - Μέθοδος του συμβιβασμού<sup>[95]</sup>
- Σύγχρονοι μέθοδοι
  - Γενετικοί Αλγόριθμοι<sup>[96]</sup>
  - Σμήνους σωματιδίων<sup>[97]</sup>
  - Προσομοίωση της ανόπτησης<sup>[98]</sup>
  - Άλλοι σύγχρονοι μέθοδοι είναι: αναζήτησης της αρμονίας (Harmony Search), αλγόριθμος προσομοίωσης της αποικίας των μυρμηγκιών (Ant Colony Algorithm), τεχνητής αποικίας των μελισσών (Artificial Bee Colony)

Στην παρούσα εργασία ακολουθείται η δυναμική επαναληπτική τεχνική<sup>[99]</sup>, η οποία δημιουργεί διαφορετικές αρκετά ακριβείς λύσεις και ολοκληρώνει την διαδικασία μετά από έναν αριθμό επαναλήψεων μέχρι ο βέλτιστος συνδυασμός να παραχθεί, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που έχουν οριστεί.

## 6. ΄ΕΞΥΠΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΚΤΙΡΙΑ

Με την εφαρμογή των τεχνολογιών της πληροφορικής και επικοινωνίας (I.C.T.) στα κτίρια δίνεται η δυνατότητα για τον αυτόματο εντοπισμό της παραγόμενης ισχύος των εγκατεστημένων γεννητριών και των αναγκών των κατοίκων και στην συνέχεια την αυτόματη λήψη αποφάσεων δράσης ή την αποστολή αυτών στον αρμόδιο για την λήψη των αποφάσεων. Σημαντικό ρόλο για την ενεργειακή διαχείριση διαδραματίζουν οι πληροφορίες για την ενέργεια, ο διαγνωστικός έλεγχος και ο εντοπισμός τυχόν σφαλμάτων και η καταμέτρηση και επαλήθευση της εξοικονομούμενης ενέργειας. Η οθόνη πληροφοριών του συστήματος μας δείχνει δεδομένα όπως για την παραγόμενη ενέργεια από τα εγκατεστημένα συστήματα παραγωγής, ανάλυσης του προφίλ της κατανάλωσης, των ενεργειακών χρήσεων και άλλα. Η λειτουργία του διαγνωστικού ελέγχου και λαθών είναι χρήσιμη για τον γρήγορο εντοπισμό προβλημάτων διαχείρισης και ανεπάρκειας, και παρέχει σταθερή υψηλή απόδοση. Όσον αφορά τις μετρήσεις και την επαλήθευση της εξοικονομούμενης ενέργειας συχνά χρησιμοποιείται σε έργα για την αξιολόγηση της επένδυσης και τον καθορισμό της πληρωμής στον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας, για διασυνδεδεμένα συστήματα.

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τον αποτελεσματικό συντονισμό των συστημάτων αφορούν στη διευκόλυνση της καθημερινότητας των χρηστών. Η βελτίωση της ποιότητας ζωής, συνοδεύεται από εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας, ενώ τα έξυπνα συστήματα είναι δυνατό να εξασφαλίσουν ασφαλέστερες συνθήκες χρήσης των χώρων ενός κτιρίου.

Οι προϋποθέσεις ενός έξυπνου ενεργειακά κτιρίου περιλαμβάνει την προσαρμοστικότητα στο κλίμα που μπορεί να αλλάζει συμπεριφορά ανάλογα με την εποχή, οφείλει να εκμεταλλεύεται όσο το δυνατόν περισσότερο τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και να είναι σχεδιασμένο ώστε να συμπεριφέρονται και να αντιδρούν έξυπνα.

Τα κτίρια μηδενικής ενέργειας (ZEB) ορίζονται ως τα κτίρια των οποίων η ετήσια ζήτηση σε ενέργεια καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές, και με αυτό τον τρόπο μειώνουν την χρήση ενέργειας από συμβατικές πηγές στον κτιριακό τομέα. Άλλοι ορισμοί που μπορεί να βρεθούν στην βιβλιογραφία είναι <sup>[100,101]</sup>:

- Περιοχή μηδενικής ενέργειας, Μια περιοχή ZEB, παρέχει τουλάχιστον την απαιτούμενη ισχύ που απαιτείται από τα φορτία ετησίως, τα οποία αντιστοιχούν στην τοποθεσία.



- Πηγή Μηδενικής Ενέργειας: Μια πηγή ZEB, η παραγόμενη ενέργεια είναι ίση ή μεγαλύτερη από την ετήσια ζήτηση ενέργειας όταν αντιστοιχεί σε μια πηγή. Η πηγή ενέργειας αναφέρεται στην αρχική ενέργεια που καταναλώθηκε είτε για τη δημιουργία ή / και για να παραδώσει την ενέργεια στην τοποθεσία. Για το κτίριο η συνολική εισερχόμενη και εξερχόμενη ενέργεια πολλαπλασιάζεται με έναν περιοχής-πηγής πολλαπλασιαστική μετατροπή.
- Μηδενικών Εκπομπών: Ένα κτίριο μηδενικών εκπομπών, συμπεριλαμβάνει την ανισότητα των παραγόμενων χωρίς εκπομπές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να είναι τουλάχιστον ίσες με τις χρησιμοποιούμενες ενεργειακές πηγές που εκπέμπουν αέρια.
- Σχεδόν Μηδενικής Ενέργειας Κτίρια: Ένα κτίριο το οποίο έχει πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση και μπορεί να καλυφθεί ενεργειακά κατά ένα σημαντικό μέρος από ανανεώσιμες πηγές, συμπεριλαμβανομένης της ανανεώσιμης ενέργειας που παράγεται στην περιοχή.

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος <<έξυπνου>> ενεργειακά κτιρίου δεν είναι μια απλή υπόθεση, ειδικά επειδή ο συγκεκριμένος τομέας βρίσκεται σε τροχιά ανάπτυξης και συνεχώς κυκλοφορούν νέα συστήματα και νέες εφαρμογές που μόνο κάποιος ειδικός, απόλυτα εξοικειωμένος με τη φιλοσοφία του αυτοματισμού και της τεχνολογίας, μπορεί να γνωρίζει.

## 6.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΤΙΡΙΩΝ

Η τεχνολογία για την ενεργειακή διαχείριση των κατοικιών με τον πιο αποδοτικό τρόπο με το δίκτυο είναι γνωστή ως Συστήματα Διαχείρισης Οικιακής Ενέργειας (HEMS), η οποία επιτρέπει την σύνδεση οικιακών συσκευών στο δίκτυο για απομακρυσμένη διαχείριση βασιζόμενη στον συνδυασμό του βασικού δικτύου με το διαδίκτυο σαν μέσο αποθήκευσης σε πραγματικό χρόνο. Πάραυτα, σε προηγούμενες μελέτες ελέγχουν μόνο τις οικιακές συσκευές και υπολογίζουν την καταναλισκόμενη ενέργεια σε μια περίοδο<sup>[102]</sup>.

Τα συστήματα ελέγχου κτιρίων για εσωτερικούς χώρους μπορεί να χωριστούν σε δύο κατηγορίες.

### 6.1.1. Συμβατικά συστήματα ελέγχου

Αποτελούν βασικά στοιχεία στην ενεργειακή διαχείριση που σκοπό έχουν την αποδοτικότητα και την αειφορία. Η σπατάλη ενέργειας και η κατανάλωση σε αυτά τα συστήματα ελέγχου είναι συνήθως τεράστια, καθώς υπάρχει αστάθεια και υπέρβαση χρήσης. Έχουν φτωχή απόδοση και δε έχουν

συνεισφέρει ουσιαστικά στην στρατηγική ελέγχου των κτιρίων. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι οι στρατηγικές αυτές ελέγχου αφορούν μόνο την ενεργειακή κατανάλωση, και δεν συμπεριλαμβάνουν καθόλου τον παράγοντα της άνεσης. Οι προσαρμοστικοί ελεγκτές παρέχουν την ικανότητα του κτιρίου να αυτό-προσαρμοστεί σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες, προσπαθώντας να διατηρήσουν μια σταθερή απόδοση στις συνεχείς μεταβολές των παραμέτρων ελέγχου.

Εν κατακλείδι, τα συστήματα αυτά έχουν διάφορους περιορισμούς, που μπορεί να οδηγήσουν σε ανακριβή αποτελέσματα σε περίπτωση εφαρμογών πραγματικού χρόνου. Επίσης τα συστήματα αυτά δεν βοηθούν καθόλου στην λειτουργία ελαχίστου κόστους του κτιρίου. Τέλος, δεν είναι φιλικά προς τον χρήστη, καθώς οι κάτοικοι του κτιρίου δεν μπορούν να επέμβουν στο πρόγραμμα διαμόρφωσής τους.

### 6.1.2. Έξυπνα συστήματα ελέγχου

Χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες: i) Μεθόδους εκμάθησης (περιλαμβάνονται συστήματα ασαφής λογικής και νευρωνικών δικτύων, τεχνητής νοημοσύνης κ.α) ii) Μοντέλα βασισμένα σε τεχνικές ελέγχου πρόβλεψης που ακολουθούν τις αρχές των κλασικών ελέγχων και iii) Συστήματα ελέγχου που επιτρέπουν στον χρήστη να συνδεθεί με το σύστημα.

**i) Μέθοδος εκμάθησης:** Δημιουργήθηκαν με σκοπό την επίτευξη της απόδοσης και της σταθερότητας του συστήματος μέσα από παράξενες και άγνωστες δυνατότητες μάθησης που υπάρχουν στην δυναμική του συστήματος. Έχουν σχεδιαστεί όπως οι ελεγκτές τεχνητής νοημοσύνης, μόνο που έχουν λιγότερες απαιτήσεις από αυτούς. Έχουν εγκατασταθεί με πολύ καλά αποτελέσματα σε συστήματα θέρμανσης με σκοπό να αξιοποιήσει στο έπακρο την ενεργειακή απόδοση, την οπτική άνεση, την θερμική άνεση και τον φυσικό εξαερισμό.

**ii) Μοντέλα βασισμένα σε τεχνικές ελέγχου πρόβλεψης:** Αυτοί οι ελεγκτές έγιναν πολύ δημοφιλής από ερευνητές και βιομηχανίες την τελευταία δεκαετία, γιατί περιλαμβάνουν πληροφορίες του δυναμικού μοντέλου και προβλέψεις πληρότητας, σε αντίθεση με τα συστήματα ελέγχου βάσης κανόνων, οδηγώντας έτσι σε περισσότερη εξοικονόμηση ενέργειας.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των μοντέλων βασισμένων σε τεχνικές ελέγχου πρόβλεψης αναλύονται παρακάτω:

1) Λαμβάνουν υπόψη τους προβλέψεις διαταραχής, στην προσπάθειά τους να ρυθμίσουν τις δραστηριότητες ελέγχου μαζί με την στρατηγική κυρτής βελτιστοποίησης.

2) Μπορούν να αξιοποιήσουν επωφελώς τη θερμική μάζα του κτιρίου σε σχέση με τους συμβατικούς ελέγχους.

3) Λαμβάνουν υπόψη τη διακύμανση των τιμών της ενέργειας και το χρησιμοποιούν για την διαμόρφωση προβλήματος βελτιστοποίησης.

4) Η μετατόπιση και η ελαχιστοποίηση των ενεργειακών φορτίων αιχμής μπορεί να γίνει σε ελάχιστη χρονική περίοδο λόγω της επιλογής του ελάχιστου λειτουργικού κόστους.

5) Η επιλογή μπορεί να γίνει από ένα σύνολο προκαθορισμένων σημάτων και να επιλεγεί το κατάλληλο σήμα.

Παρόλα αυτά, η τεχνολογία μοντέλων βασισμένων σε τεχνικές ελέγχου πρόβλεψης έχουν μεγάλο κόστος μοντελοποίησης, συλλογή δεδομένων, παρακολούθηση από εμπειρογνώμονες, με αποτέλεσμα να μην αξίζει για μεσαίου μεγέθους κτίρια.

**iii) Συστήματα ελέγχου που βασίζονται σε παράγοντες:** Στην τεχνητή νοημοσύνη τα καλύτερα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν όταν εφαρμόζεται η λογική δράση, η οποία επιτυγχάνεται με ατομικούς ορθολογικούς παράγοντες. Αυτοί οι παράγοντες μπορεί να είναι είτε εικονικοί είτε φυσικά πρόσωπα, τα οποία συνεργάζονται ορθολογικά με το περιβάλλον. Επιπλέον οι παράγοντες έχουν την δυνατότητα να επικοινωνήσουν και να συντονιστούν τόσο μεταξύ τους όσο και με το περιβάλλον. Σε ένα σύστημα ελέγχου τοποθετούνται σε διαφορετικά στρώματα, ανάλογα με την λειτουργικότητά τους. Το πλαίσιο πολλαπλών παραγόντων χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση πολύπλοκων προβλημάτων με εικονικούς παράγοντες σε προσομοιώσεις οι οποίοι ενεργούν στον πραγματικό κόσμο.

Η τεχνολογία συστήματος πολλαπλών παραγόντων (MAST) διασπά ένα τεράστιο πρόβλημα σε πολλά μικρότερα υποπροβλήματα τα οποία αντιμετωπίζονται από τον αντιπροσωπευτικό παράγοντα. Το σύστημα ελέγχου του έξυπνου κτιρίου με πλαίσιο κατασκευής MAST επιτρέπει την εκμάθηση της τάσης πληρότητας του κτιρίου και τον συντονισμό των πόρων ενέργειας όπως επίσης και την ικανότητα ανταπόκρισης σε πραγματικό χρόνο των εσωτερικών συνθηκών του περιβάλλοντος. Το σύστημα MAST ενσωματώνει συστήματα εγκαταστάσεων και συσκευών με τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές. Αυτές οι ελεγκτές στα συστήματα διαχείρισης ενέργειας δουλεύουν με σκοπό την εύρεση και την ικανοποίηση ισορροπιών μεταξύ των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου και την άνεση του ενοίκου.

## **6.2. ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΤΙΡΙΩΝ**

### **6.2.1. Αυτοματισμός Οικιακών Λειτουργιών (DOMOTICS)**

Η έννοια του αυτοματισμού οικιακών λειτουργιών αναφέρεται στην αυτοματοποίηση και τον έλεγχο (ανοιχτό/κλειστό και παραμέτρων λειτουργίας) του εξοπλισμού και των συστημάτων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών

εγκαταστάσεων με ένα κεντρικό ή/και απομακρυσμένο τρόπο και καθορίζεται από προηγμένες υποδομές μέτρησης του ηλεκτρικού δικτύου με έναν έξυπνο μετρητή<sup>[103]</sup>. Πέρα των αυτοματισμών των οικιακών λειτουργιών υπάρχει και κατηγοριοποίηση των έξυπνων σπιτιών οι οποίες διακρίνονται σε αυτές τις οποίες χρησιμοποιούνται για την φροντίδα των ανθρώπων (εντοπισμός , φροντίδα υγείας κ.α ) τον εντοπισμό δραστηριοτήτων στο χορό έλεγχου τις οικίας με την χρήση πολυμέσων και επιτήρησης με σκοπό την προστασία. Αναδυόμενη τάση στον τομέα των κατοικιών είναι η προσπάθεια μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης με την παρακολούθηση και τον έλεγχο των συσκευών σύμφωνα με την ζήτηση και την τροφοδοσία<sup>[104]</sup>.

Διάφορα συστήματα αυτοματισμού έχουν αναπτυχθεί για τις οικίες οι οποίες επεμβαίνουν στις οικιακές συσκευές και στο ηλεκτρολογικό τμήμα του σπιτιού. Ποικιλία συστημάτων εμφανίζονται στην αγορά τα οποία προσαρμόζονται ανά περίπτωση<sup>[105]</sup>. Ερευνητικές εργασίες παρουσιάζουν συστήματα υποστηρικτικής φύσης με σκοπό τον εντοπισμό οικιακών δραστηριοτήτων με την χρήση ανιχνευτών (αισθητήρες κινήσεως , διακοπών επαφής κ.α) συνδεδεμένων στον ηλεκτρολογικό πίνακα παροχής<sup>[106]</sup>. Τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε βασικές αρχιτεκτονικές οι οποίες είναι η κεντρική , η αποκεντρωμένη και η υβριδική.

## 6.2.2. Έξυπνη παρακολούθηση στην οικιακή διαχείριση

Ο έξυπνος αισθητήρας είναι ένα ηλεκτρονικό υποσύστημα με λειτουργίες εντοπισμού, διακρίβωσης, αυτό-ελέγχου, λήψης αποφάσεως, επικοινωνίας, ή ακόμη οποιοσδήποτε συνδυασμός τους<sup>[107]</sup>. Δίκτυα ασύρματου αισθητήρα (WSN) χωρικά διανεμημένα δίκτυα με περιορισμένη συλλογή δεδομένων, τα οποία ελέγχουν και διαχειρίζονται πληροφορίες από έξυπνες υπηρεσίες όπως της ενέργειας.

Οι οικιακές συσκευές μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα ασύρματο δίκτυο χρησιμοποιώντας κλιμακούμενης σηματοδότησης καθολική διαχείριση, με υψηλή κάλυψη και αξιοπιστία<sup>[108]</sup>. Βάσει αυτού δημιουργήθηκε ένα από τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα ασύρματων δικτύων το IEEE 802.11<sup>[109]</sup>.

Η εφαρμογή απλών αλγορίθμων για την μείωση της κατανάλωσης στην διάρκεια της μέγιστης ζήτησης μπορεί να επεκταθεί με την χρήση εξελιγμένου λογισμικού προσαρμοσμένου σε μια έξυπνη έξοδο, αισθητήρες και μεθόδους για την επισήμανση κάθε συσκευής. Οι συσκευές πρέπει να έχουν τεχνολογία της πληροφορίας και έξυπνους μετρητές νέας γενιάς, οι οποίοι παρέχουν την ενεργειακή κατανάλωση και επιπρόσθετα στοιχεία αναφορικά με την χρήση τους<sup>[110]</sup>.

Κάποιοι ερευνητές παρουσίασαν τις προσεγγίσεις τους για την παρακολούθηση των φορτίων των οικιακών συσκευών. Οι Powers και Margossian<sup>[111]</sup> παρουσίασαν έναν αλγόριθμο με κανόνες αναγνώρισης της

μορφής, με τουλάχιστον έναν αισθητήρα ανά συσκευή για την προσαρμογή των χαρακτηριστικών αρχικής λειτουργίας. Ο Hard<sup>[112]</sup> δημιούργησε μια μη παρεμβατική συσκευή παρακολούθησης φορτίων (NALM), η οποία χαρακτηρίζει το σήμα ισχύος σε βαθμίδες επιτυχίας ή γεγονότων, και τις συσχέτισε με τις οικιακές συσκευές. Οι Farinaccio και Zmeureanu<sup>[113]</sup> παρουσίασαν έναν αλγόριθμο αναγνώρισης προτύπου για την ολική ηλεκτρική κατανάλωση μιας κατοικίας. Υποθέτουν μια συσκευή μια σταθερή συσκευή, η οποία αλλάζει με το φορτίο και την διαμόρφωσή της. Σε άλλη έρευνα οι Marceau και Zmeureanu<sup>[114]</sup> παρουσίασαν έναν αλγόριθμο επιμερισμού του φορτίου ο οποίος συγκρίνει κάθε αλλαγή στο εύρος λειτουργίας της συσκευής με το συνολικό ενεργειακό σήμα.

Οι Ruzzelli et al.<sup>[115]</sup> παρουσίασαν μια χαμηλού κόστους ασύρματη λύση για χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση, η οποία ενσωματώνει τα προφίλ των συσκευών, τη δυνατότητα αποθήκευσης φορτίων για μεταγενέστερη χρήση αυτόματη μαθησιακή αναγνώριση γνωστή ως Αναγνώριση των Ηλεκτρικών Συσκευών και Προφίλ σε πραγματικό χρόνο.

### **6.3. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ (DSM)**

Εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης της ζήτησης, της μείωσης της διαθεσιμότητας των συμβατικών καυσίμων, της αβεβαιότητας των τιμών των εισαγόμενων καυσίμων αλλά και της επίδρασης των συμβατικών μονάδων στο περιβάλλον, επανήλθε στην επικαιρότητα η έννοια της Διαχείρισης της Ζήτησης (DSM). Το DSM θα μπορούσε να οριστεί ως ένα σύνολο από στρατηγικές που χρησιμοποιούνται, κυρίως σε ανταγωνιστικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, από τους καταναλωτές ώστε να συμβάλλουν στην ασφάλεια του συστήματος, να έχουν οικονομικά οφέλη από την εφαρμογή του αλλά και να συνδράμουν στην καταπολέμηση της αλλαγής κλίματος<sup>[116]</sup>.

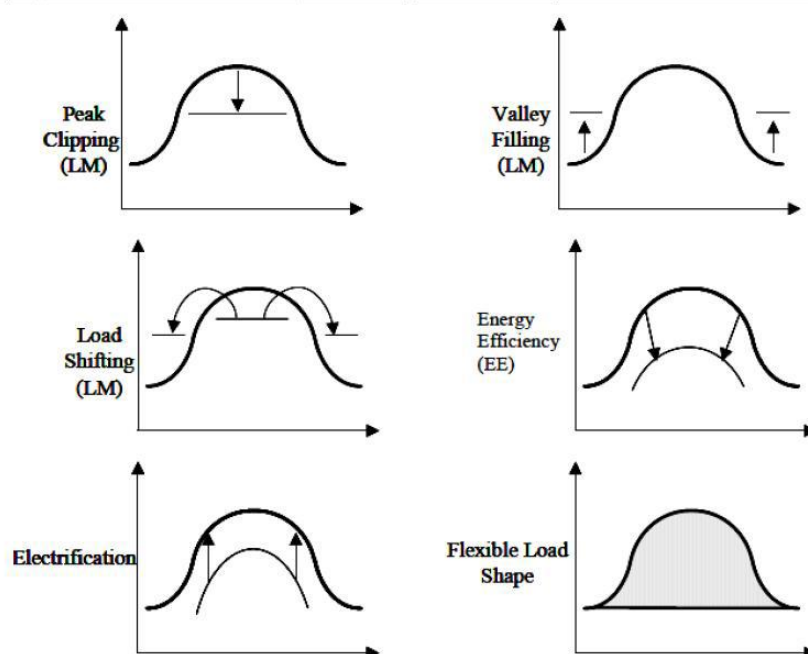
Καθώς η ηλεκτρική ζήτηση μεταβάλλεται καθημερινά και εποχιακά και είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξέλεγκτη, η εγκατεστημένη δυναμικότητα παραγωγής θα πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκριθεί στο μέγιστο της ζήτησης που θα παρουσιαστεί. Ο μέσος όρος όμως της ζήτησης κατά τη διάρκεια του χρόνου είναι σημαντικά χαμηλός σε σχέση με την εγκατεστημένη δυναμική. Αυτός ο σχετικά χαμηλός συντελεστής χρησιμοποίησης δίνει το έδαφος για την ενσωμάτωση του DSM. Το DSM μπορεί να βοηθήσει στην μετατόπιση του φορτίου σε περιόδους εκτός αιχμής, να μειώσει την ανάγκη για νέα παραγωγή και να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της παραγωγής.

Η τεχνική αυτή βασίζεται με την αντιστοίχιση των τιμών παραγωγής και ζήτησης ελέγχοντας την ενεργειακή κατανάλωση των συσκευών και βελτιστοποιώντας την λειτουργία τους από την πλευρά του χρήστη, για

παράδειγμα, μετατοπίζοντας της αποκαλούμενες «υγρές» συσκευές όπως το πλυντήριο πιάτων και ρούχων από τις στιγμές αιχμής σε μη αιχμής. Η σημαντικότητα της βελτιστοποίησης της ενεργειακής κατανάλωσης σε ένα έξυπνο σπίτι τεκμαίρεται από τις στατιστικές πληροφορίες.

Η διαχείριση ζήτησης περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές για τη τροποποίηση της καμπύλης φορτίου των καταναλωτών. Η διαμόρφωση μιας πιο επίπεδης καμπύλης φορτίου θα επιφέρει βελτίωση της αξιοπιστίας του δικτύου ή του συστήματος παραγωγής ενέργειας. Οι βασικοί άξονες που περιλαμβάνει είναι η ενεργειακή απόδοση και η απόκλιση της ζήτησης.

Η μεταβολή της καμπύλης φορτίου μπορεί να γίνει με έναν ή και περισσότερους μεθόδους που παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



**Διάγραμμα 1.1** Μέθοδοι της μεταβολής της ζήτησης

Οι έξι μέθοδοι της μεταβολής της ζήτησης είναι οι εξής<sup>[117]</sup>:

- **Peak Clipping** : Μείωση της ζήτησης σε περιόδους αιχμής.
- **Valley Filling** : Αύξηση κατανάλωσης σε περιόδους χαμηλής ζήτησης με σκοπό τη βελτίωση του συντελεστή φορτίου του συστήματος.
- **Load Shifting** : Μείωση της ζήτησης σε περιόδους αιχμής και ταυτόχρονη αύξηση ζήτησης σε περιόδους χαμηλής ζήτησης.
- **Energy Efficiency** : Μείωση της συνολικής ζήτησης εξαιτίας ενεργειακά αποδοτικότερου εξοπλισμού.
- **Electrification** : Γενική αύξηση της ζήτησης.
- **Flexible Load Shape** : Ευελιξία φορτίου με σκοπό της άμεσης ανταπόκρισης σε επείγουσες καταστάσεις.

Η εφαρμογή και η ανάπτυξη των προγραμμάτων DSM στηρίζεται και στην εξέλιξη των τεχνολογιών πληροφορίας και επικοινωνίας (ICT), καθώς

επίσης και στην ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων (Smart Grids). Τα έξυπνα δίκτυα χρησιμοποιούνται σε ευρύτερες περιοχές με δυνατότητες παρακολούθησης, ελέγχου και προστασίας. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν τη συμμετοχή των καταναλωτών στη διαχείριση του φορτίου<sup>[118]</sup>. Αποτελούν βελτίωση της υποδομής των συστημάτων παροχής ενέργειας όσον αφορά τις διαδικασίες παραγωγής, μετάδοσης, διανομής και κατανάλωσης. Η συμμετοχή των καταναλωτών γίνεται μέσω αυτοματοποιημένης ή χειροκίνητης απόκρισης και μέσω επικοινωνίας με τον διαχειριστή του συστήματος.

#### **6.4. ΕΡΕΥΝΕΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ Α.Π.Ε.**

Συνήθως, το προφίλ της κατανάλωσης ισχύος σπανίως συνδέει την παραγωγή της Φ/Β γεννήτριας. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, η αποθήκευση της ενέργειας είναι απαραίτητη για την εκμετάλλευση μιας αδιάλειπτης παραγωγής βασισμένη σε μετατρέπόμενη ηλιακή ενέργεια από Φ/Β. Για την παροχή ενέργειας σε μια απομακρυσμένη περιοχή, η συσκευή αποθήκευσης είναι κρίσιμο στοιχείο σε ένα αυτόνομο σύστημα παροχής ισχύος<sup>[119]</sup>. Τα μέσα αποθήκευσης παρέχουν τεχνικές και οικονομικές λύσεις στην χρήση αυτόνομων Φ/Β ή ανεμογεννητριών ή και υβριδικών συστημάτων.

Για την βελτίωση της αξιοπιστίας ενός συστήματος με χρήση ΑΠΕ, η διαχείριση της ενέργειας έγινε το κυρίως θέμα από πολλές ερευνητικές δημοσιεύσεις. Τελευταίως, για τα διασυνδεδεμένα δίκτυα, ο στόχος είναι η βοήθεια για την εντατική διείσδυση της παραγωγής των Φ/Β στο δίκτυο με την πρόταση της περικοπής φορτίων κατά τις ώρες αιχμής με την προσθήκη ενός συστήματος αποθήκευσης<sup>[120]</sup>. Για τα Φ/Β συστήματα ή τα υβριδικά συστήματα (Φ/Β / πετρελαιο-γεννήτρια ή ανεμογεννήτρια, κλπ), προτάθηκε μια μέθοδος ελέγχου ενός υβριδικού συστήματος με Φ/Β και γεννήτρια πετρελαίου χρησιμοποιώντας την πρόβλεψη της ηλιακής ακτινοβολίας για την βελτίωση της απόδοσης του συστήματος<sup>[121]</sup>.

Η ενεργειακή διαχείριση σε ένα αυτόνομο σύστημα ισχύος παραμένει μια σύγχρονη έρευνα στο πεδίο των Φ/Β. Σύμφωνα με Kaiser<sup>[122]</sup>, το Ίδρυμα Ενέργειας Ηλιακών Συστημάτων Fraunhofer εξέλιξε ένα νέας γενιάς σύστημα διαχείρισης της ενέργειας των μπαταριών, το οποίο βελτιώνει τον χρόνο αποθήκευσης και την αξιοπιστία των μπαταριών. Αυτή η διαχείριση των μπαταριών επιτρέπει νέες στρατηγικές διαχείρισης, μη δυνατές με τα παραδοσιακά συστήματα μπαταριών.

Οι Barca et al.<sup>[123]</sup>, παρουσίασαν μια μέθοδο βελτιστοποίησης της ενεργειακής διαχείρισης για αυτόνομα Φ/Β συστήματα. Η μέθοδος αυτή εκμεταλλεύεται μια κατάσταση πρόβλεψης του μοντέλου φόρτισης για την εφαρμογή του αλγόριθμου ελέγχου.

Οι Lujano-Rojas et al <sup>[124]</sup> χρησιμοποίησαν την πρόβλεψη της ταχύτητας του ανέμου και της ισχύος και ασχολήθηκαν με την στρατηγική διαχείρισης φορτίων για την βέλτιστη χρήση των ανανεώσιμων πηγών σε ένα σύστημα με ανεμογεννήτρια, μπαταρίες και γεννήτρια πετρελαίου. Στην ίδια γραμμή κινήθηκαν οι Clastres et al <sup>[125]</sup> και Missaoui et al <sup>[126]</sup> οι οποίοι πρότειναν ένα σύστημα βέλτιστης ενεργειακής διαχείρισης μιας κατοικίας για να συμβάλλει στην παροχή βοηθητικών υπηρεσιών. Το σύστημα διαχείρισης προβλέπει την διαχείριση για τις επόμενες 24 ώρες και βασίζεται στην πρόβλεψη δεδομένων (καιρικών, τοπική ζήτηση, τιμές ηλεκτρικού, κλπ).

Οι ερευνητές Chang-Sic και Ilwoo Lee<sup>[127]</sup> περιέγραψαν ένα οικιακό σύστημα διαχείρισης ενέργειας για ένα σύμπλεγμα κατοικιών το οποίο έχει εγκατεστημένα ένα ενσωματωμένο σύστημα φωτοβολταϊκών καθώς και μηχανικά σκίαστρα. Το σύστημα αυτό αποτελείται από οικιακούς διακομιστές, σύμπλεγμα διακομιστών, οικιακές συσκευές και άλλες συνήθεις ενεργειακές εγκαταστάσεις. Με αυτόν τον τρόπο ο κάθε οικιακός - διακομιστής διαχειρίζεται τα ενεργειακά δεδομένα χρήσης των συσκευών, καθώς και την ενεργοποίηση τους ή μη βασιζόμενος στο πρόγραμμα του χρηστή και από την σηματοδότηση της ζήτησης – απόκρισης. Ο κεντρικός διακομιστής συλλέγει πληροφορίες για τον καιρό, το ενεργειακό κόστος και την χρησιμοποιούμενη ενέργεια. Έτσι επιτυγχάνει να ελέγξει τις ενεργειακές εγκαταστάσεις και τις οικιακές συσκευές για την εξοικονόμηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Το προτεινόμενο σύστημα οικιακής διαχείρισης ενέργειας παρέχει λύσεις για την βέλτιστη εξοικονόμηση ενέργειας για το συγκρότημα διαμερισμάτων που εξετάζει .

Σε μια άλλη έρευνα ο A. Saha et al.<sup>[128]</sup> ασχολούνται με εφαρμογές στην ανταπόκριση της ζήτησης με την χρήση έξυπνου δικτύου το οποίο παρέχει ιδανικές ευκαιρίες για την μείωση της μέγιστης ζήτησης δια μέσω διαχείρισης του απαιτούμενου φορτίου. Στα έξυπνα δίκτυα η χρήση ΑΠΕ έχει γίνει πολύ δημοφιλής και πολύ ιδιοκτήτες κατοικιών τις προτιμούν. Στην μελέτη αυτή παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος για τη διαχείριση της οικιακής ενέργειας με την χρήση ενός συστήματος ΑΠΕ στο περιβάλλον μιας «έξυπνης» κατοικίας. Διεξήχθη μια λεπτομερής μελέτη προσομοίωσης με σκοπό την εξερεύνηση των πλεονεκτημάτων της συγκεκριμένης προσέγγισης. Έπειτα, αξιολογήθηκε με μελέτες πραγματικών περιπτώσεων οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε ένα έξυπνο σπίτι στο τεχνικό πανεπιστήμιο στο Yildiz , Κωνσταντινούπολης της Τουρκίας. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οδηγός για το μέγεθος της ισχύος της μπαταρίας το οποίο θα χρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια της ανταπόκρισης στη ζήτηση. Επιπλέον μπορεί να εξάγει το όφελος με όρους μείωσης της μέγιστης ζήτησης και της διάρκειάς της. Επίσης, επιδεικνύεται η χρησιμότητα του αλγορίθμου για την ενεργειακή διαχείριση της οικίας με την χρήση ΑΠΕ δια μέσω της διαχείρισης των οικιακών φορτίων σε ένα πρόγραμμα ανταπόκρισης στη ζήτηση βασιζόμενο σε κίνητρα.



Οι Gudi et al. <sup>[129]</sup> πρότειναν ένα πρόγραμμα προσομοίωσης διαχείρισης φορτίων (DSM) το οποίο χρησιμοποιεί αλγόριθμους βελτιστοποίησης του σμήνους σωματιδίων για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας των συσκευών σε ένα σπίτι και την κατανομή της παραγόμενης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικά οικονομικά οφέλη και για τις δυο περιπτώσεις παρέχοντας στον καταναλωτή μια ανάλυση σε πραγματικό χρόνο σε μια πλατφόρμα με γραφικό περιβάλλον διεπαφής με τον χρήστη.

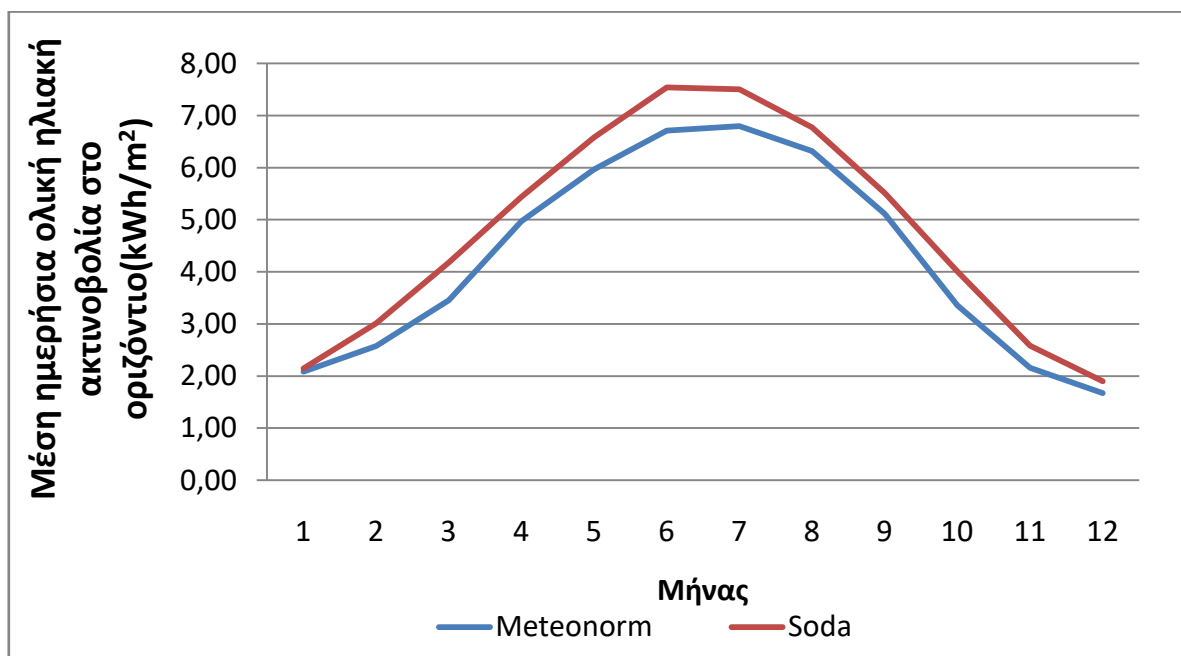
Μια έρευνα για την ταξινόμηση του χρόνου λειτουργίας των οικιακών συσκευών με σκοπό την μείωση των χρηματικών εξόδων διατυπώθηκε από τους Chen et al. <sup>[130]</sup>, η οποία αποτελεί μια μέθοδο για την διαχείριση της ζήτησης βασισμένη σε χρονο-μεταβαλλόμενη τιμολόγηση. Σε αυτή την μελέτη, οι συγγραφείς αντιμετώπισαν τις αβεβαιότητες στην χρήση ηλεκτρικών συσκευών και την ασταθή φύση των ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών.

Οι Tascikaraoglu et al. <sup>[131]</sup> διερεύνησαν ένα πειραματικό έξυπνο σπίτι με διάφορες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συστήματα αποθήκευσης από διάφορες πτυχές, όπως η κατ'οίκον ενεργειακή διαχείριση, τον έλεγχο συσκευών και ροή ισχύος. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από τις μελέτες προσομοίωσης έδειξαν ότι ένας καλός συμβιβασμός μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας και της παραγωγής των οικιακών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επιτυγχάνεται με την βοήθεια της ευέλικτης ζήτησης, καθώς και τη μέθοδο πρόβλεψης. Η προτεινόμενη προσέγγιση καθιστά επίσης μια σημαντική συμβολή στη μείωση της μέγιστης τιμής της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία μπορεί να επιτρέψει την επιλογή των ανανεώσιμων πηγών μικρότερης κλίμακας σε έξυπνα κτίρια.

Μια άλλη προσέγγιση ενός υβριδικού συστήματος Φ/Β-Α/Γ με χρήση μπαταριών ως μέσο αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας που πραγματοποιήθηκε από τους Karlanı E. et al. <sup>[99]</sup> και ασχολείται με την μετατόπιση φορτίων, στις ώρες όπου εμφανίζεται μεγάλο πλεόνασμα ενέργειας το οποίο δεν μπορεί να αποθηκευτεί λόγω πλήρης φόρτισης των μπαταριών. Στην μελέτη αυτή μια δυναμική επαναληπτική τεχνική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε σε ημερήσια, ημέρα-νύχτα και ωριαία βάση με την χρήση του περιορισμού κάλυψης των φορτίων σε ποσοστό 95% και υπό το ελάχιστο κλιμακούμενο κόστος ενέργειας. Τα διαφορετικά χρονικά διαστήματα ελέγχου όπως και το προφίλ της ζήτησης εμφάνισαν σημαντική επίδραση στα αποτελέσματα της έρευνας. Με την δυναμική μετατόπιση των φορτίων επίσης παρουσιάστηκε ένα αυξημένο ποσοστό κάλυψης της ζήτησης το οποίο κυμάνθηκε στο 97%. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι με την προσομοίωση του συστήματος χωρίς την παρουσία των μετακινούμενων φορτίων, δηλαδή με την χρήση μόνο των στατικών φορτίων, αλλά και με την παρουσία αυτών και με την χρήση της μεθόδου ενεργειακής διαχείρισης ο συντελεστής αξιοπιστίας παρέμεινε σταθερός στο 95% και το σύστημα το οποίο παρήχθη εμφανίζεται μειωμένο σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση.

## 7. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΖΕΤΑΙ

Η δυνητική συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών σε ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα εξαρτάται από το δυναμικό των διαθέσιμων πηγών. Για την περιοχή του Ηρακλείου, της νήσου Κρήτης στην Ελλάδα, ελήφθησαν τα ωριαία δεδομένα (από την βάση δεδομένων του Meteonorm<sup>132</sup>) των θερμοκρασιών περιβάλλοντος, της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο η οποία μετατράπηκε στο κεκλιμένο με γωνία  $35^\circ$  που θέσαμε σαν κλίση της εγκατάστασης μας και της ταχύτητας του ανέμου την όποια την ανυψώσαμε στο ύψος του άξονα της ανεμογεννήτριας 25m που θέσαμε σαν ύψος εγκατάστασης. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν και οι μηνιαίες τιμές των δεδομένων από το Meteonorm και από το SoDa, όπου η μέση τιμή προέκυψε από τα έτη 1987-2005. Στο διάγραμμα 7.1 απεικονίζονται οι τιμές της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως ελήφθησαν για κάθε μήνα από τις δυο βάσεις.



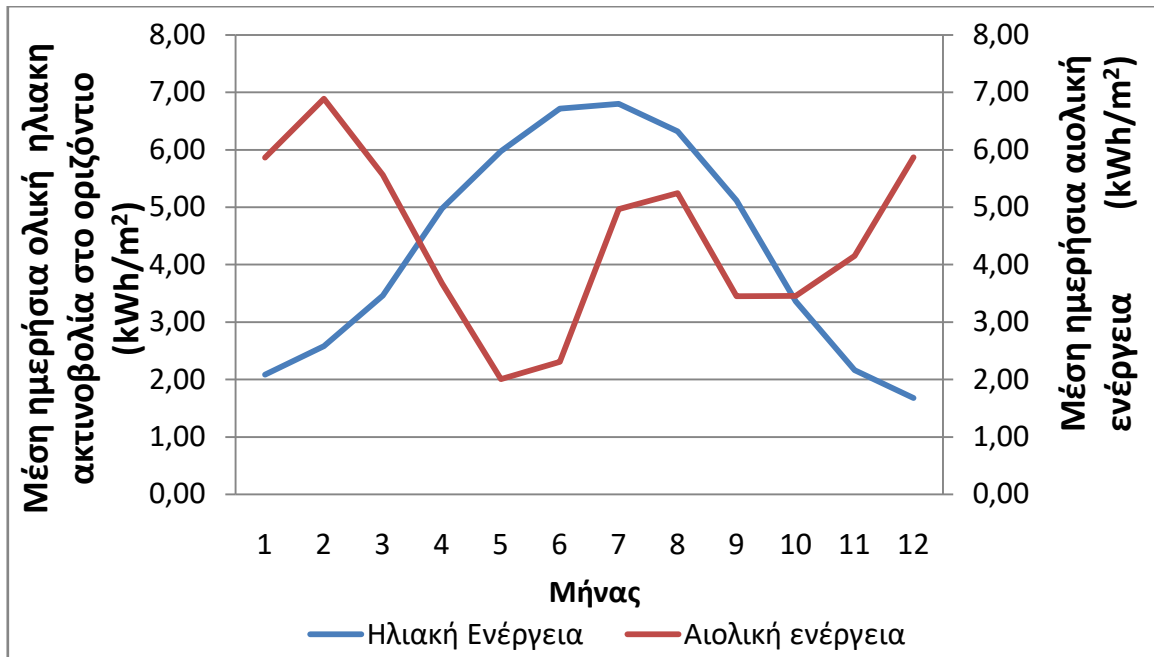
**Διάγραμμα 7.1.** Ημερήσια ηλιακή ενέργεια όπως δίνεται από τις βάσεις δεδομένων Meteonorm-SoDa, για την περιοχή του Ηρακλείου, Κρήτης.

Όπως παρατηρούμε οι τιμές των δυο βάσεων εμφανίζουν απόκλιση, με υψηλότερες να είναι αυτές από την SoDa. Η διαφορά αυτή ανά μήνα φαίνεται στον πίνακα 7.1, και η μέση τιμή για όλο το έτος βρέθηκε ίση με 10,95%.

**Πίνακας 7. 1** Μέσες ημερήσιες μηνιαίες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας όπως ελήφθησαν από τις βάσεις δεδομένων του Meteonorm και του SoDa.

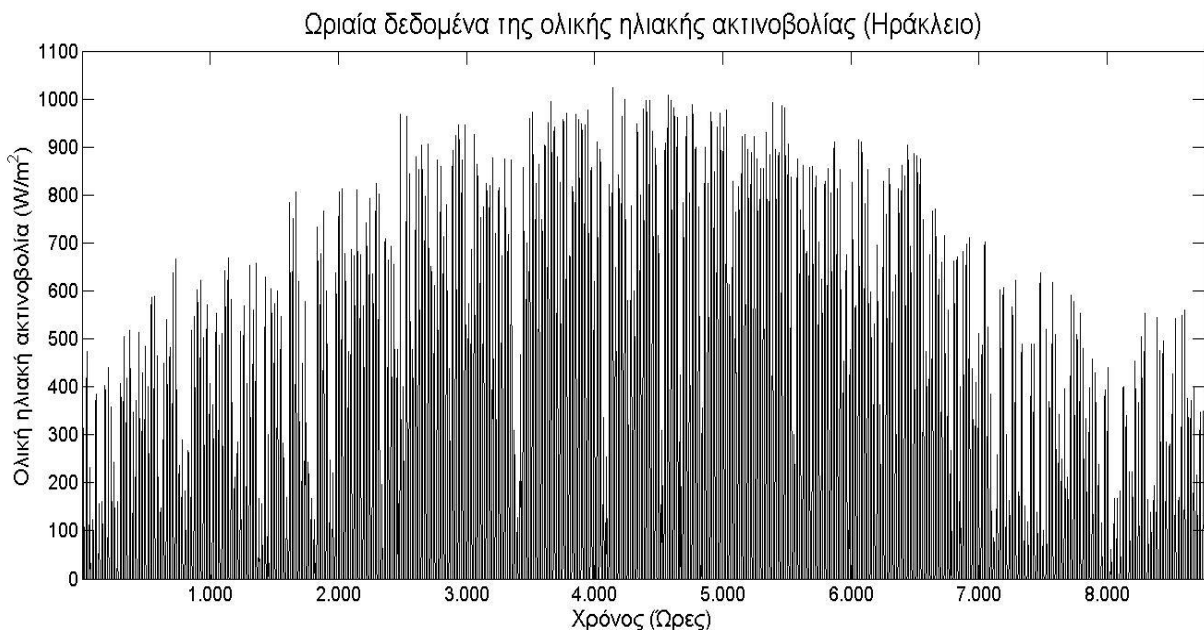
Μήνες	SoDa (kWh/m <sup>2</sup> )	Meteonorm (kWh/m <sup>2</sup> )	Απόκλιση (%)
Ιανουάριος	2,15	2,08	2,95%
Φεβρουάριος	3,02	2,58	14,48%
Μάρτιος	4,18	3,46	17,34%
Απρίλιος	5,44	4,98	8,55%
Μάιος	6,58	5,97	9,25%
Ιούνιος	7,54	6,71	10,96%
Ιούλιος	7,50	6,80	9,41%
Αύγουστος	6,77	6,32	6,65%
Σεπτέμβριος	5,51	5,11	7,23%
Οκτώβριος	4,01	3,36	16,29%
Νοέμβριος	2,58	2,16	16,37%
Δεκέμβριος	1,90	1,67	11,96%

Στο διάγραμμα 7.2 απεικονίζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές για κάθε μήνα της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας, όπως λαμβάνονται από την βάση του Meteonorm, όπου φαίνεται πως χαρακτηριστικά αλληλοσυμπληρώνονται η μια με την άλλη κάθε μήνα του έτους. Δηλαδή σε περιόδους στις οποίες εμφανίζεται έλλειψη από την μια πηγή, η άλλη εμφανίζεται με υψηλότερο δυναμικό.

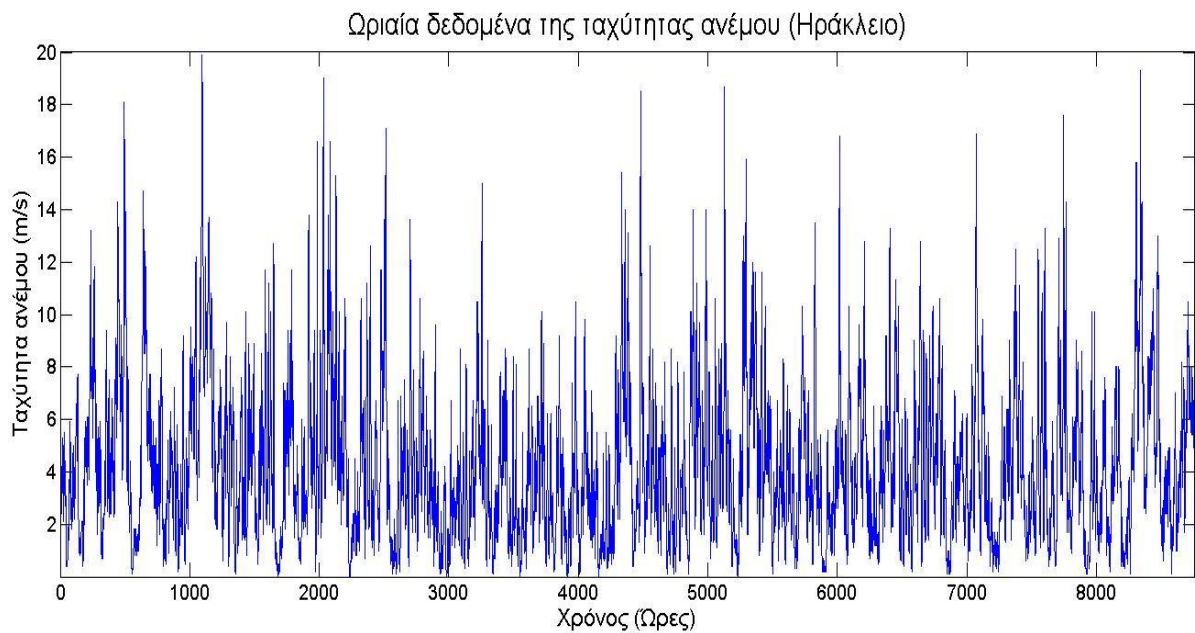


**Διάγραμμα 7.2** Μέσες ημερήσιες μηνιαίες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο και της αιολικής ενέργειας, για την περιοχή του Ηρακλείου, Κρήτης από την βάση δεδομένων Meteonorm.

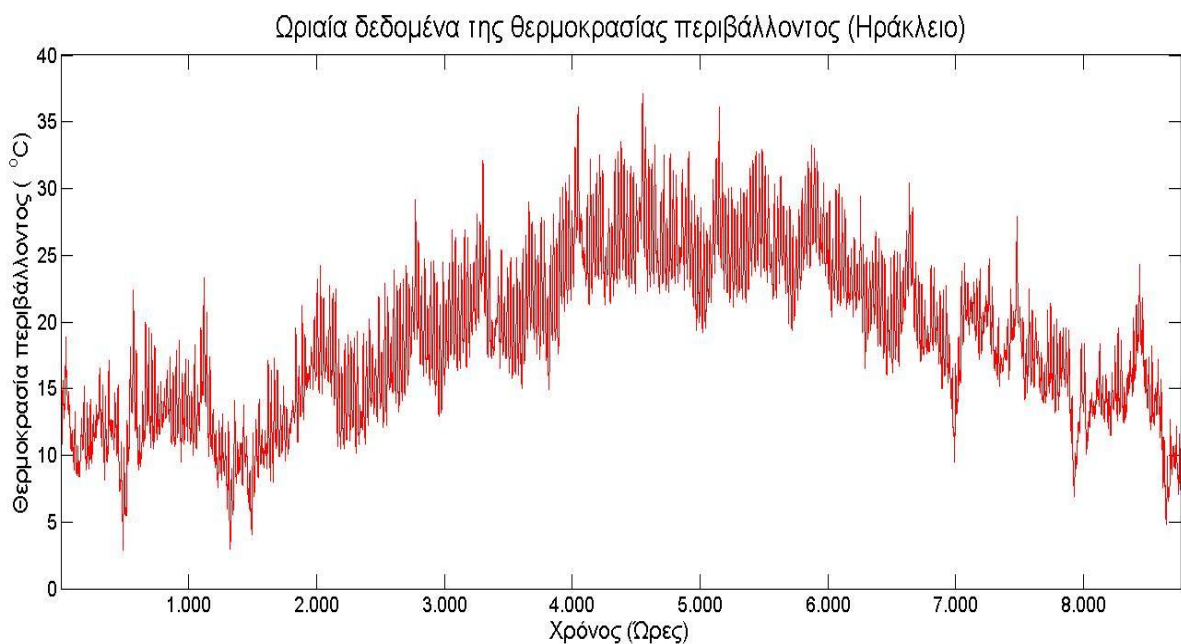
Στα παρακάτω διαγράμματα(7.3, 7.4, 7.5) παρουσιάζονται τα ωριαία δεδομένα της ολικής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και του ανέμου όπως ελήφθησαν από το Meteonorm.



**Διάγραμμα 7.3** Ωριαία δεδομένα για την ολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο, για την περιοχή του Ηρακλείου, Κρήτης από την βάση δεδομένων Meteonorm.



**Διάγραμμα 7.4** Ωριαία δεδομένα των ταχυτήτων του ανέμου , για την περιοχή του Ηρακλείου, Κρήτης από την βάση δεδομένων Meteonorm.



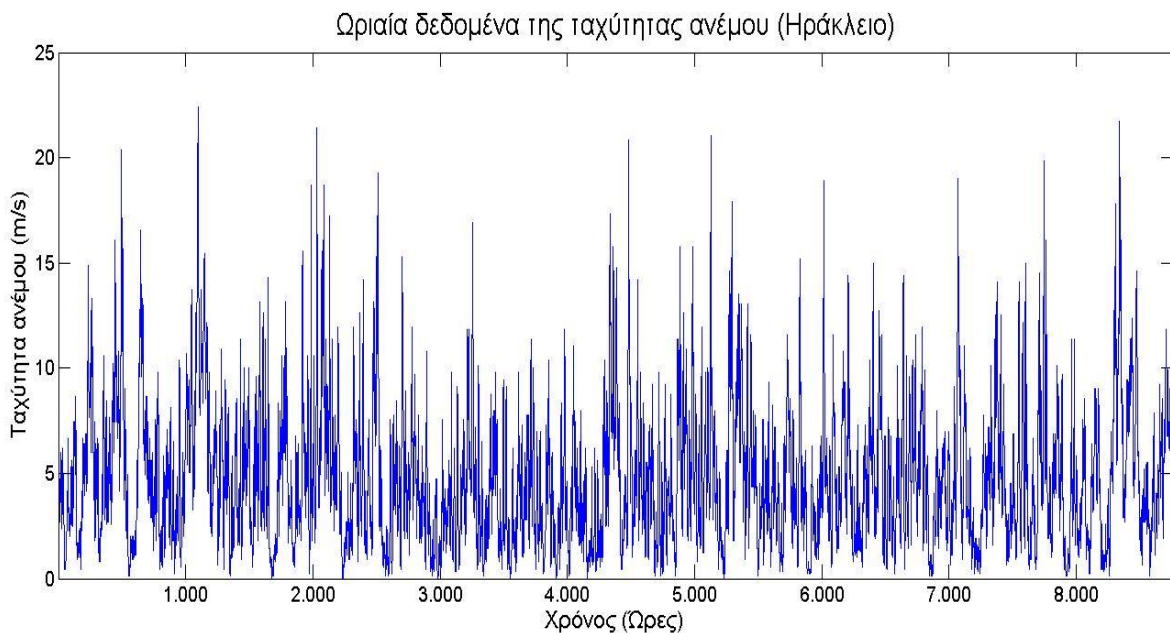
**Διάγραμμα 7.5** Ωριαίες τιμές της θερμοκρασία περιβάλλοντος για την περιοχή του Ηρακλείου, Κρήτης, από την βάση δεδομένων Meteonorm.

Τα ωριαία δεδομένα που λαμβάνονται από το Meteonorm, προκύπτουν με παρεμβολή από κοντινούς στην περιοχή σταθμούς των μέσων ημερήσιων μηνιαίων τιμών 10 ετών, και παράγονται από διάφορα στοχαστικά μοντέλα. Για τον άνεμο έγινε η μεταφορά από το επίπεδο που δίνονται από την βάση σε αυτό του άξονα της Α/Γ με την χρήση του νόμου της ισχύος (εξίσωση 5.10). Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 7.4 και 7.6 από την μεταφορά των ταχυτήτων παρατηρείται μια αύξηση των ταχυτήτων.

Ο νόμος της ισχύος σχέση (7.1), υπολογίζει την ταχύτητα του ανέμου από το επίπεδο αναφοράς, στο οποίο λήφθηκαν οι τιμές του ανέμου, στο ύψος του άξονα της Α/Γ.

$$\left(\frac{v}{v_r}\right) = \left(\frac{h}{h_r}\right)^n \quad (7.1)$$

όπου  $v$  και  $v_r$  αντιπροσωπεύουν την ταχύτητα ανέμου στο ύψος άξονα της Α/Γ “ $h$ ” από το ύψος αναφοράς “ $h_r$ ”, και  $n$  είναι ο εκθετικός νόμος της δύναμης, ο οποίος εξαρτάται από το υψόμετρο, την ώρα της ημέρας, την εποχή, την φύση του εδάφους, την ταχύτητα του ανέμου και την θερμοκρασία και στην παρούσα μελέτη λήφθηκε ίσο με  $1/7$ .

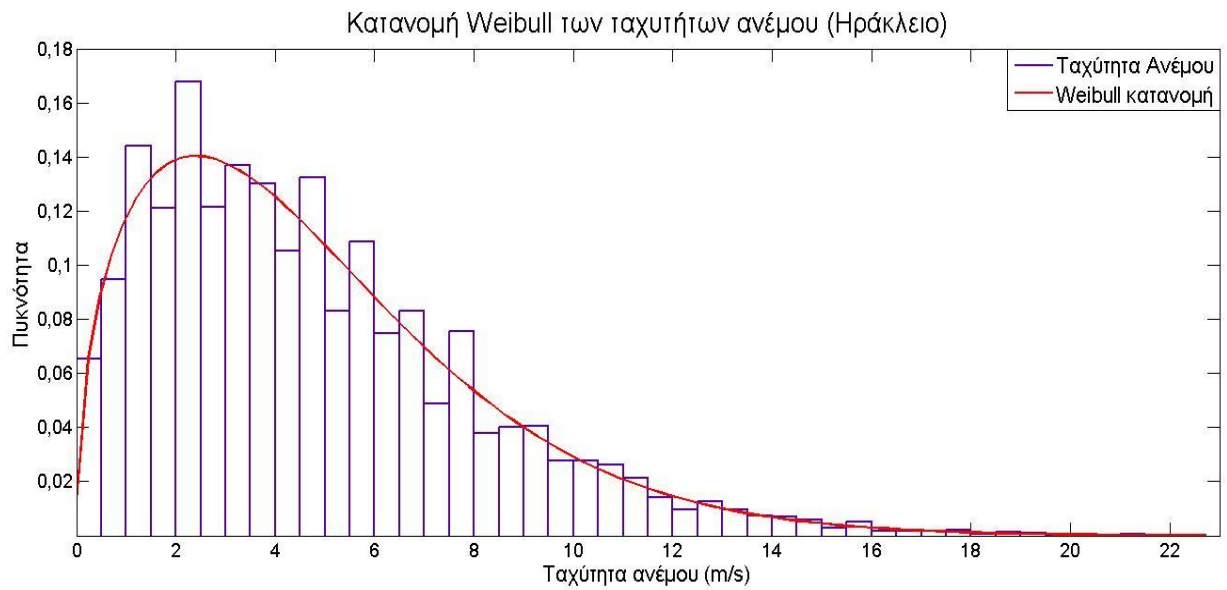


**Διάγραμμα 7.6** Ωριαία δεδομένα των ταχυτήτων του ανέμου στο ύψος του άξονα της ανεμογεννήτριας, 25m.

Η συνάρτηση της πιθανότητας κατανομής Weibull για τα αιολικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκε είναι:

$$f(v, k, c) = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-(v/c)^k} \quad (7.2)$$

όπου βρέθηκαν οι τιμές των  $k=1,46161$  η οποία είναι η παράμετρος του σχήματος και  $c=5,27654$  η οποία είναι η παράμετρος κλίμακας.



**Διάγραμμα 6.6** Πυκνότητα εμφάνισης των ταχυτήτων του ανέμου (κατανομή Weibull) για την περιοχή του Ηρακλείου, Κρήτης.

## **8. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ**

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύσσονται όλες οι μεθοδολογίες εξομοίωσης του υβριδικού συστήματος που μελετήθηκε και οι υπολογισμοί που ακολουθήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Αρχικά λαμβάνει χώρα η ανάλυση της πρόβλεψης της ηλιακής ακτινοβολίας σε ημερήσια και ωριαία βάση με τα διάφορα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι από τις βάσεις του Metenorm και της SoDa, όπως προαναφέρθηκε. Ακολουθώς έγινε η μετατροπή των ωριαίων δεδομένων από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο των  $35^\circ$ , η οποία επιλέγεται στην συνέχεια να είναι η κλίση των Φ/Β πλαισίων του υβριδικού συστήματος.

Η δημιουργία δυο σεναρίων για το προφίλ των φορτίων καταναλώσεως, τα οποία δημιουργούνται ανάλογα με τις ώρες απουσίας των ενοίκων, πραγματοποιείται στην επόμενη υποενότητα.

Έπειτα, αναπτύσσεται η μεθοδολογία της μετατόπισης κάποιων φορτίων ανάλογα με το είδος τους και διακρίνονται σε σταθερά ή μετατοπιζόμενα.

Τέλος, παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού των μερών του υβριδικού συστήματος που προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη την παράμετρο της πιθανότητας απώλειας ισχύος και υπολογίζεται το κλιμακούμενο κόστος της ενέργειας και η καθαρή παρούσα αξία του συστήματος.

### **8.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**

Ο τρόπος με τον οποίο εμφανίζονται τα ηλιακά δεδομένα και η στοχαστικότητα η οποία τα διέπει οδήγησε αρκετούς ερευνητές στην προσπάθεια να προβλέψουν την συχνότητα και την ένταση των ακτινοβολιών οι οποίες προσπίπτουν στην επιφάνεια της γης με στατιστικό τρόπο. Η μεταβλητότητα αυτή των στοιχείων εμφανίζεται τόσο κατά την διάρκεια της ημέρας, αλλά και εποχιακά. Σημαντική όμως, είναι και η επίδραση της εμφάνισης διαφόρων καιρικών φαινομένων και η συχνότητα τους, τα οποία εξελίσσονται στην ατμόσφαιρα της γης με στοχαστικό τρόπο. Γι' αυτό το λόγο εισάγεται η έννοια της πρόβλεψης της ακτινοβολίας, της οποίας η χρησιμότητα μπορεί να οδηγήσει στην αποδοτικότερη χρήση συστημάτων τα οποία



εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία είτε για παραγωγή ηλεκτρισμού, είτε για θέρμανση και λοιπές εφαρμογές.

Στην εργασία αυτή θα πραγματοποιηθεί η πρόβλεψη της ηλιακής ακτινοβολίας για την πόλη του Ηρακλείου της νήσου Κρήτης, στην Ελλάδα. Τα δεδομένα τα οποία ελήφθησαν είναι από την γνωστή βάση μετεωρολογικών δεδομένων Meteororm και αφορούν τις μέσες μηνιαίες τιμές για την χαρακτηριστική ημέρα κάθε μήνα του έτους καθώς και από την SoDa (για τα έτη 1987-2005) για τις οποίες πραγματοποιήθηκε και σύγκριση των αποτελεσμάτων με την μέθοδο του συνημιτόνου από τον S. Karplani<sup>[60]</sup>.

Από τα αποτελέσματα τα οποία θα προκύψουν, έπειτα γίνεται η μετατροπή τους από μέσες ημερήσιες τιμές του μήνα σε ωριαίες. Για να πραγματοποιηθεί αυτό θα χρησιμοποιηθούν τα δυο μοντέλα υπολογισμού της ωριαίας ακτινοβολίας από τους συγγραφείς Karlanis S και Karplani E<sup>[64,66]</sup>. Στην πρώτη περίπτωση γίνεται η μετατροπή με την απλουστευμένη μέθοδο στην οποία η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας εμφανίζεται ως συνημιτονοειδής συνάρτηση του χρόνου, ενώ στην δεύτερη υπεισέρχεται επιπλέον ένας συντελεστής διόρθωσης, ο οποίος λαμβάνει υπόψη και την αέρια μάζα  $m$ .

### 8.1.1. Μεθοδολογία πρόβλεψης της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας

Στην ενότητα αυτή με την χρήση του μοντέλου του S. Karplani<sup>[60]</sup> γίνεται η εκτίμηση της ημερήσιας ακτινοβολίας για κάθε ημέρα του έτους από τις αποκτηθείσες μέσες μηνιαίες τιμές με την βοήθεια της εξίσωσης (3.4):

$$H(n_j) = A + B * \cos\left(\frac{2 * \pi * n_j}{365} + C\right)$$

όπου  $n_j$  είναι οι μέρες του έτους, όπου η 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου έχει τιμή 1 και η 31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου παίρνει την τιμή 365, και A, B, και C είναι σταθερές οι οποίες υπολογίζονται με την εφαρμογή της εξίσωσης προσαρμογής των μέσων μηνιαίων δεδομένων προηγούμενων ετών.

Όπως αναφέρει και ο συγγραφέας/ερευνητής της μεθόδου, οι τιμές των σταθερών A, B έχουν άμεση συσχέτιση με το γεωγραφικό πλάτος της εξεταζόμενης περιοχής. Τα αποτελέσματα της καμπύλης προσαρμογής, για να είναι αξιόπιστα θα πρέπει να εμφανίζουν ένα συντελεστή συσχέτισης μεγαλύτερο από 0.9.

### 8.1.2. Μεθοδολογίες πρόβλεψης της ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας

Στην παρούσα ενότητα χρησιμοποιούνται δυο μέθοδοι για την πρόβλεψη της ωριαίας αναμενόμενης τιμής της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας.

#### 8.1.2.1. Απλουστευμένο μοντέλο (Μοντέλο I)

Η πρώτη και πιο απλουστευμένη μέθοδος για τον υπολογισμό των ωριαίων τιμών της ακτινοβολίας δίδεται από την συνάρτηση(3.11):

$$I(h; n_j) = a + b * \cos\left(\frac{2 * \pi * h}{24}\right)$$

Τα a, b είναι σταθερές και εξαρτώνται από την ημέρα  $n_j$  και το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

Για τον προσδιορισμό των συντελεστών a(n) και b(n) γίνεται ολοκλήρωση της παραπάνω εξίσωσης με οριακές συνθήκες τις ώρες ανατολής ( $h_{sr}$ ) και δύσης ( $h_{ss}$ ):

$$\int_{h_{sr}}^{h_{ss}} I(h; n_j) = 2 * a(n_j) * (h_{ss} - 12) + \frac{24 * b(n_j)}{\pi} * \sin\left(\frac{2 * \pi * h_{ss}}{24}\right)$$

$$\Rightarrow H(n_j) = 2 * a(n_j) * (h_{ss} - 12) + \frac{24 * b(n_j)}{\pi} * \sin\left(\frac{2 * \pi * h_{ss}}{24}\right) \quad (8.1)$$

Οι ημερήσιες τιμές της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας ελήφθησαν από το προηγούμενο μοντέλο (εξίσωση 3.4).

Για την επίλυση του συστήματος των εξισώσεων λαμβάνουμε την ακόλουθη συνθήκη για την ώρα δύσης  $I(h=h_{ss}; n) = 0$ . Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (2) λαμβάνουμε:

$$a(n_j) + b(n_j) * \cos\left(\frac{2 * \pi * h_{ss}}{24}\right) = 0 \quad (8.2)$$

Οπότε από την επίλυση του συστήματος των εξισώσεων (8.1) και (8.2) προσδιορίζουμε τις τιμές των σταθερών a( $n_j$ ) και b( $n_j$ ), τα οποία διαφέρουν ανά ημέρα. Έτσι υπολογίζεται η ωριαία ολική ακτινοβολία από την εξίσωση (3.11).

#### 8.1.2.2. Εξελιγμένο μοντέλο(Μοντέλο II)

Η μεθοδολογία αυτή που παρουσιάζεται στη συνέχεια αποτελεί εξέλιξη της προηγούμενης μεθοδολογίας (εξίσωση 3.11), στην οποία έχει εισαχθεί ένας

συντελεστής διόρθωσης. Με αυτό τον τρόπο λαμβάνεται υπόψη και η αέρια μάζα και πώς αυτή διαφοροποιείται καθώς εισέρχεται η ακτινοβολία από την ατμόσφαιρα κατά την διάρκεια της ημέρας. Έτσι, για το ηλιακό μεσημέρι ο παράγοντας γίνεται:

$$e^{-\mu(n_j)*x(\theta_z)} / e^{-\mu(n_j)*x(\theta_z;\omega=0)} \quad (8.3)$$

όπου  $\theta_z$  είναι η ζενίθια γωνία και  $\mu(n_j)$  ο συντελεστής εξασθένησης της ηλιακής ακτίνας, ορισμένος όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση :

$$\mu(n_j) = -\ln\left(\frac{H(n_j)}{H_{ext}(n_j)}\right) / x_m \quad (8.4)$$

Η ηλιακή ακτινοβολία στα όρια της ατμόσφαιρας,  $H_{ext}(n_j)$ , κατά την διάρκεια της ημέρας δίνεται από την εξίσωση 8.5 για την κάθε μέρα  $n_j$  [18] και  $H(n_j)$  είναι η ημερήσια παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο όπως υπολογίστηκε από την εξίσωση 3.4.

$$H_{ext}(n) = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} I_{sc} \left[ 1 + 0.033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] * \left( \cos\varphi \cos\delta \sin\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{180} \sin\varphi \sin\delta \right) \quad (8.5)$$

Επιπλέον,  $x(\theta_z)$  είναι η απόσταση της ηλιακής ακτίνας που διασχίζει την ατμόσφαιρα και  $x(\theta_z;\omega=0)$  είναι αυτή η απόσταση κατά το ηλιακό μεσημέρι ( $\omega=0$ ). Παρατηρούμε ότι:

$$x(\theta_z) = R_g * \cos(\theta_z) + \sqrt{R_g^2 * \cos^2(\theta_z) + (R^2 - R_g^2)} \quad (8.6)$$

και

$$R = R_g + H_{atm} \quad (8.7)$$

όπου  $R_g$  είναι η ακτίνα της γης ίση με  $6.35 \times 10^3$  km, και  $H_{atm}$  αποτελεί το ύψος της ατμόσφαιρας,  $H_{atm} = 2.5$  km για τους υπολογισμούς.

Όσον αφορά το  $\cos(\theta_z)$  δίνεται από την εξίσωση 8.8, όπου  $\delta$  είναι η ηλιακή απόκλιση και  $\omega$  η ωριαία γωνία.

$$\cos(\theta_z) = \cos(\varphi) * \cos(\delta) * \cos(\omega) + \sin(\varphi) * \sin(\delta) \quad (8.8)$$

Για  $\omega=0$  ή ισοδύναμα  $h = 12$ , δηλαδή για το ηλιακό μεσημέρι, η εξίσωση 7.10 δίνει:

$$\cos(\theta_z, 0) = \cos(\varphi) * \cos(\delta) * \cos(\omega) + \sin(\varphi) * \sin(\delta) = \cos(\varphi - \delta) \quad (8.9)$$

ή

$$\theta_{z,0} = \varphi - \delta$$

Στην δύση του ηλίου, δηλαδή  $\theta_z = 90^\circ$ , η Εξίσωση 8.6 γίνεται:

$$x(\theta_z = 90^\circ) = x(\omega_{ss}) = \sqrt{R^2 - R_g^2} \quad (8.10)$$

όπου,  $x_m$  είναι η μέση ημερήσια απόσταση της ηλιακής ακτίνας που ταξιδεύει στην ατμόσφαιρα. Αυτή καθορίζεται από την εξίσωση 8.11:

$$x_m = \frac{\sum_{i=1}^n x(\theta_z)_i}{N} \quad (8.11)$$

Το  $i$  σχετίζεται με το διάστημα των ωρών  $h$ , και το  $\theta_z$ , όπως και το  $x(\theta_z)$  καθορίζονται από τις Εξισώσεις 8.6 και 8.8 αντίστοιχα.

Για ποιο ακριβείς προβλέψεις, το  $x_m$  θα έπρεπε να σταθμιστεί στην ωριαία παγκόσμια ηλιακή ένταση. Επομένως το  $x_m$  ευρίσκεται από την ακόλουθη εξίσωση 8.12:

$$x_m = \frac{\sum_{i=1}^n (x(\theta_z)_i * I(h; n_j)_i)}{I(h; n_j)_i} \quad (8.12)$$

Αυτή η έννοια του  $x_m$  είναι για τον χειμερινή περίοδο.

Τελικά, το προτεινόμενο μοντέλο, που παράγει καλύτερα  $I(h; n_j)$  προγνωστικά αποτελέσματα από την Εξίσωση 3.11, για την μέση αναμενόμενη ωριαία παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία, παίρνει την μορφή:

$$I(h; n_j) = A + B \frac{e^{-\mu(n_j) * x(h)} * \cos^2(2 * \pi * h / 24)}{e^{-\mu(n_j) * x(h=12)}}$$

Τα  $A$  και  $B$ , στην Εξίσωση 3.12 καθορίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως και στην Εξίσωση 3.11, χρησιμοποιώντας τις οριακές συνθήκες που επισημαίνονται παρακάτω. Ωστόσο, οι τιμές των  $A$  και  $B$  της Εξίσωσης 3.12, δεν παίρνουν τις ίδιες τιμές όπως τα  $\alpha$  και  $\beta$  που αποκτήθηκαν από το μοντέλο της Εξίσωσης 3.11.

Οι δύο οριακές συνθήκες είναι:

1.  $I(h; n_j) = 0$  για  $h = h_s$   
με  $h_{ss} = 12 + \frac{\omega_{ss}}{15^\circ}$   
και  $\omega_{ss} = \cos^{-1} * (-\tan\varphi \cdot \tan\delta)$  (8.13)

2. Η ολοκλήρωση της εξίσωσης 3.11 για μια ημέρα, από  $\omega_{sr}$  έως  $\omega_{ss}$  παρέχει το  $H(n_j)$  στην αριστερή πλευρά της Εξίσωσης 8.14. Ως εκ τούτου δίνει:

$$H(n_j) = 2A \int_0^{\omega_{ss}} d\omega + 2B \int_0^{\omega_{ss}} e^{-\mu(n_j)*x(\theta_z)} / e^{-\mu(n_j)*x(\theta_z; \omega=0)} * \cos(2 * \pi * h/24) dh \quad (8.14)$$

Το  $x(\theta_z)$  καθορίζεται από τις εξισώσεις 8.6 και 8.8. Από τις εξισώσεις 8.13 και 8.14, κάποιος μπορεί να αποκτήσει τα A και B, τα οποία είναι εξαρτώμενα από το  $n_j$  και το γεωγραφικό πλάτος,  $\varphi$ .

## 8.2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΩΡΙΑΙΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Η μετατροπή της ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο είναι ζωτικής σημασίας για την εύρεση της προσπίπτουσας ισχύος στο επίπεδο των Φ/Β πλαισίων και τον υπολογισμό της παραγόμενης ισχύος από αυτά. Η ακόλουθη διαδικασία πραγματοποιήθηκε για την εύρεση της έντασης της ακτινοβολίας στο επιθυμητό επίπεδο τον  $35^\circ$  για την παρούσα εργασία.

Αρχικά υπολογίζεται η γωνία απόκλισης ( $\delta$ ), η οποία δίνεται από την εξίσωση, γνωστή ως εξίσωση του Cooper<sup>[133]</sup>:

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left[ \frac{n_j + 284}{365} * 360^\circ \right] \quad (8.15)$$

όπου  $n_j$  είναι η ημέρα του χρόνου και παίρνει τιμές από 1 έως 365.

Στην συνέχεια για τον καθορισμό της τοπικής ώρας ανατολής και δύσης του ήλιου στο γεωγραφικό πλάτος,  $\varphi$ , όταν η γωνία απόκλισης του ήλιου είναι  $\delta$  μοίρες στο οριζόντιο επίπεδο χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση ( $-180^\circ < \omega_s < 0^\circ$  στην ανατολή του ήλιου και  $0^\circ < \omega_s < +180^\circ$  στην δύση του ήλιου):

$$\omega_s = \cos^{-1}[\cos(-\tan \varphi * \tan \delta)] \quad (8.16)$$

Η ωριαία γωνία δύσης  $\omega'_s$  για μια κεκλιμένη επιφάνεια δίδεται από την παρακάτω σχέση:

$$\omega'_s = \min[\omega_s, \cos^{-1}[\cos(-\tan(\varphi - \beta) * \tan \delta)]] \quad (8.17)$$

όπου,

$\omega_s$  : είναι η ωριαία γωνία δύσης  
 $\varphi$  :είναι το γεωγραφικό πλάτος, η γωνιακή θέση Βόρεια ή Νότια του Ισημερινού.  
 $\beta$  : είναι η γωνία απόκλισης του επιπέδου.

Έπειτα πραγματοποιείται η εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας στο όριο της ατμόσφαιρας  $I_{ext}$  με την εξίσωση:

$$I_{ext} = I_{sc} * \left(1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360 \cdot n_j}{365}\right)\right) * [\cos \varphi * \cos \delta * \cos \omega + \sin \varphi * \sin \delta] \quad (8.18)$$

όπου  $I_{sc} = 1,367 \text{ Kw} / \text{m}^2$ .

Η συνολική ακτινοβολία που προσπίπτει στην κεκλιμένη επιφάνεια αποτελείται από την άμεση, την διάχυτη και την ανακλώμενη ακτινοβολία. Η ανακλώμενη ακτινοβολία εδώ είναι η ακτινοβολία που ανακλάται από το περιβάλλον στην υπό εξέταση περιοχή.

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας  $I_T$ , θα πρέπει πρώτα να υπολογιστούν το πηλίκο της διάχυτης προς την ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο  $\frac{I_d}{I}$ , ο ωριαίος δείκτης αιθριότητας  $k_t$ , τα συνημίτονα των γωνιών της ακτινοβολίας  $\theta$  και της ζενίθιας γωνίας  $\theta_Z$ , καθώς και οι συντελεστές μετατροπής της άμεσης και ολικής ακτινοβολίας,  $R_b$  και  $R$  αντίστοιχα της ακτινοβολίας από το κεκλιμένο στο οριζόντιο.

Ο ωριαίος συντελεστής αιθριότητας  $k_t$  ορίζεται σαν κλάσμα της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο προς την ακτινοβολία στα όρια της ατμόσφαιρας  $I_{ext}$  από την παρακάτω σχέση:

$$k_t = \frac{I}{I_{ext}} \quad (8.19)$$

Όσον αφορά για τον υπολογισμό του κλάσματος  $\frac{I_d}{I}$ , οι J. Duffie και W. Beckman<sup>[134]</sup> πρότειναν ως λύση το παρακάτω σύστημα των εξισώσεων ως συνάρτηση του συντελεστή αιθριότητας  $k_t$ :

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.249 * k_t & k_t < 0.35 \\ 1.557 - 1.84 * k_t & \text{για } 0.35 \leq k_t < 0.75 \\ 0.177 & k_t \geq 0.75 \end{cases} \quad (8.20)$$

Στην συνέχεια για τον υπολογισμό του συντελεστή  $R_b$  χρησιμοποιείται η εξίσωση [8.21]:

$$R_b = \frac{I_{bn}}{I_b} \quad (8.21)$$

όπου:

$I_{bn}$ : είναι η ένταση της ακτινοβολίας στην κεκλιμένη επιφάνεια

$I_b$ : δίνει την ένταση της ακτινοβολίας στην οριζόντια επιφάνεια

Η παραπάνω εξίσωση, αντικαθιστώντας την  $I_{bn}$ ,  $I_b$  μετασχηματίζεται ως ακολούθως:

$$R_b = \frac{I_{bd} * \cos \theta}{I_{bd} * \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (8.22)$$

Όπου,  $\theta$  είναι η γωνία πρόσπτωσης και υπολογίζεται από το συνημίτονό της:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \cos \beta * \sin \delta * \sin \varphi - \cos \varphi * \sin \delta * \cos \gamma * \sin \beta + \cos \beta * \\ & \cos \varphi * \cos \delta * \cos \omega + \cos \delta * \cos \gamma * \sin \varphi * \sin \beta * \cos \omega + \sin \gamma * \\ & \sin \beta * \cos \delta * \sin \omega \end{aligned} \quad (8.23)$$

Η παραπάνω εξίσωση για γωνία κλίσης  $\beta \neq 0$  και αζιμούθια γωνία  $\gamma = 0$  μετατρέπεται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\cos \theta = \cos(\varphi - \beta) * \cos \delta * \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) * \sin \delta \quad (8.24)$$

Για οριζόντιες επιφάνειες υπολογίζουμε το συνημίτονο της ζενίθιας γωνίας  $\theta_z$ . Η σχέση που εκφράζει αυτή την γωνία εξάγεται από την εξίσωση 8.23 για  $\beta = 0$  και  $\gamma = 0$  η οποία γίνεται:

$$\cos \theta_z = \cos \delta * \cos \varphi * \cos \omega + \sin \delta * \sin \varphi \quad (8.25)$$

Ο συντελεστής μετατροπής  $R$  για την ένταση της παγκόσμιας ηλιακής ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο, δίδεται από την βελτιωμένη έκφραση των Liu και Jordan<sup>[135]</sup>:

$$R = \frac{I_b}{I} * R_b + \frac{I_d}{I} * \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) * r \quad (8.26)$$

και με την αντικατάσταση του  $I_b/I = 1 - I_d/I$  γίνεται:

$$R = \left( 1 - \frac{I_d}{I} \right) * R_b + \frac{I_d}{I} * \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) * r \quad (8.27)$$

όπου,

$r=0,2$  (albedo), είναι ο συντελεστής αντανάκλασης του εδάφους.

Έτσι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια κεκλιμένη επιφάνεια υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$R = \frac{I_T}{I} \Rightarrow I_T = R * I \quad (8.28)$$

### 8.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΣ ΦΟΡΤΙΩΝ

Στην εργασία αυτή θα χρησιμοποιηθούν δυο προφίλ καταναλώσεως τα οποία μπορεί να διαφέρουν ανά ημέρα και παράγονται με αυτοματοποιημένο τρόπο, ανάλογα με τους περιορισμούς που τίθενται κατά περίπτωση. Έτσι, δημιουργήθηκαν δυο προφίλ τα οποία βασίστηκαν στις ώρες μη παρουσίας των ενοίκων, τα οποία είναι ένα βραδινό (σενάριο I), όταν όλοι απουσιάζουν στο διάστημα 7:00-15:00, και ένα ημερήσιο, όταν οι ώρες απουσίας είναι 17:00-22:00 (σενάριο II).

Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν επιμερίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες, στις συσκευές οι οποίες δεν μπορούν να μετακινηθούν χρονικά και θα ονομάζονται από εδώ και πέρα σταθερές, καθώς και αυτές οι οποίες έχουν ένα εύρος μετακίνησης και θα λέγονται μετακινούμενες. Η διαδικασία της μετακίνησης των συσκευών περιγράφεται σε επόμενη ενότητα, ενώ στην παρούσα θα γίνει μια επεξήγηση για το πώς τοποθετούνται χρονικά, με ποια κριτήρια, οι ώρες λειτουργίας τους ή ακόμη για κάποιες συσκευές η συχνότητα εμφάνισής τους στη διάρκεια της εβδομάδας, και τέλος η κατανάλωσή τους.

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των προφίλ καταναλώσεων ανάλογα με την κατηγορία είναι:

- Σταθερές συσκευές: φωτισμός, αυτές οι οποίες χρησιμοποιούνται για την παρασκευή φαγητού, όπως για παράδειγμα φούρνος, φούρνος μικροκυμάτων, φριτέζα, τοστιέρα, μίξερ κ.ά., ψυγείο, τηλεόραση και ηλεκτρονικός υπολογιστής.
- Μετακινούμενες συσκευές: είναι οι λεγόμενες υγρές συσκευές, δλδ. το πλυντήριο ρούχων και το πλυντήριο πιάτων.

Στις σταθερές συσκευές συμπεριλαμβάνονται και οι συσκευές οι οποίες πάντα εμφανίζουν ένα φορτίο καταναλώσεως, έστω και πολύ μικρό, και καλούνται συσκευές αναμονής.

Η έλλειψη καταγεγραμμένων στατιστικών στοιχείων για τις καταναλώσεις στις οικίες, οδήγησε στην παραγωγή των παρακάτω πιθανών σεναρίων.



## Σενάριο I

Στο σενάριο αυτό, όπως προαναφέρθηκε δεν υπάρχει παρουσία κανενός ενοίκου κατά τις ώρες 07:00 έως και 15:00. Όποτε κατά βάση είναι ένα βραδινό προφίλ καθώς τις απογευματινές και βραδινές ώρες εμφανίζονται αυξημένες καταναλώσεις. Παρακάτω αναπτύσσονται ο χρόνος έναρξης και λειτουργίας των διαφόρων συσκευών, η συχνότητα εμφάνισής τους στην διάρκεια της ημέρας ή και της εβδομάδας, αλλά επίσης και οι καταναλώσεις τους.

*Φωτισμός:* Ο φωτισμός ενεργοποιείται κατά κύριο λόγο μετά την δύση του ηλίου και μέχρι την ανατολή. Βέβαια, μπορεί να εμφανιστεί και με τυχαίο τρόπο και κάποιες ώρες της ημέρας, στις οποίες πάντα υπάρχει ανθρώπινη παρουσία στο χώρο, ανάλογα με το σενάριο. Από την δύση μέχρι την ανατολή υπάρχει διαρκώς κάποιο φορτίο φωτισμού, ακόμη και τις ώρες ύπνου, το οποίο είναι χαμηλής ισχύος.

*Συσκευές παρασκευής φαγητού:* Οι συσκευές αυτές μπορούν να περιλαμβάνουν έναν κλασικό φούρνο ψησίματος ή ηλεκτρικές εστίες μαγειρέματος για τα γεύματα των ενοίκων, ή και ακόμη μια τοστιέρα, μια φρυγανιέρα κ.ά. τα οποία χρησιμοποιούνται για την παρασκευή κάποιων μικρότερων γευμάτων. Στο σενάριο εδώ η έναρξη των συσκευών γίνεται στις 16:00 ή 17:00 και η διάρκειά τους μπορεί να είναι από 1-2 ώρες. Τα φορτία τα οποία καταναλώνουν μπορεί να είναι από λίγες Wh μέχρι 1.8kWh. Επιπλέον, υπάρχει άλλη μια πιθανότητα για την παρασκευή κάποιου γρήγορου φαγητού του οποίου η έναρξη ορίζεται στις 22:00 ή στις 23:00 και η διάρκειά του δεν ξεπερνά την 1 ώρα και η κατανάλωσή του μπορεί να είναι μέχρι και 1kWh.

*Συσκευές αναμονής:* Στις συσκευές αυτές περιλαμβάνονται διάφορες συσκευές οι οποίες δεν κλείνουν ποτέ, αλλά όταν δεν λειτουργούν κανονικά παραμένουν σε μια κατάσταση αναμονής έναρξης λειτουργίας. Τέτοια είναι για παράδειγμα η τηλεόραση, ένα cdplayer, ένα ηχοσύστημα κ.ά. Η κατανάλωσή τους θεωρείται σταθερή ανά ώρα και ίση με 50Watt.

*Τηλεόραση :* Η τηλεόραση χρησιμοποιείται κυρίως από τις 16:00 μέχρι τις 23:00 και μέσα στις ώρες αυτές θα λειτουργήσει από 1 έως 4 ώρες την ημέρα κατά περίπτωση, θέτοντας ως τελευταία ώρα λειτουργίας την 23:00. Η κατανάλωσή της ορίζεται περίπου στα 80Watt/ώρα.

*Ηλεκτρονικός υπολογιστής:* Για την χρήση του Η/Υ οι πιθανές ώρες χρήσης του είναι από τις 16:00 έως και τις 00:00. Οι ώρες τις οποίες λειτουργεί μπορεί να είναι από καθόλου μέχρι και 2 ώρες. Η κατανάλωση του ορίζεται ως 120Watt/ώρα.

*Ψυγείο:* Το ψυγείο έχει σταθερό φορτίο ανά ημέρα με διακυμάνσεις στις διάφορες ώρες της ημέρας και ανάλογα με την εποχή. Συνολικά το φορτίο το οποίο καταναλώνει ανά ημέρα για την άνοιξη είναι 1300Watt/ώρα, για το χειμώνα είναι 10% αυξημένο, ενώ το καλοκαίρι είναι 10% μειωμένο από την άνοιξη.

*Λοιπές χρήσεις:* Περιλαμβάνουν διάφορες συσκευές οι οποίες μπορεί να είναι από ένα πιστολάκι, ένας φορτιστής, ή και άλλα είδη συσκευών τα οποία μπορούν να διαφέρουν από το ένα νοικοκυριό στο άλλο, ανάλογα με τις δραστηριότητες και τα ενδιαφέροντα των ενοίκων. Οι συσκευές αυτές μπορεί να ξεκινούν από τις 16:00 μέχρι και τις 00:00 και εμφανίζουν μια διάρκεια τυχαία ανά ημέρα από 2 έως 4 ώρες. Η μέγιστη κατανάλωση που μπορεί να εμφανίσουν είναι 2kWh συνολικά για όλες τις ώρες λειτουργίας τους.

*Πλυντήριο ρούχων:* Έχει οριστεί ότι κατά την διάρκεια της εβδομάδας θα πρέπει να γίνονται δυο πλύσεις. Η πρώτη θα είναι από την Δευτέρα-Πέμπτη και η δεύτερη από την Παρασκευή μέχρι την Κυριακή. Η πλύση για την πρώτη περίοδο είναι από στις 18:00 ή στις 23:00 και διαρκεί για 2 ώρες. Ενώ στην δεύτερη είναι στις 09:00 ή στις 11:00, με την ίδια διάρκεια. Η κατανάλωση συνολικά είναι 1,8kWh και επιμερίζεται σε 60% κατά την 1<sup>η</sup> ώρα λειτουργίας και 40% κατά την 2<sup>η</sup>.

*Πλυντήριο πιάτων:* Για το πλύσιμο των πιάτων έχει επιλεγεί να γίνεται 3 φορές την εβδομάδα και με διάρκεια 2 ωρών. Η κατανάλωση είναι συνολικά 1,3kWh και αυτή χωρίζεται σε 65% κατά την 1<sup>η</sup> ώρα και 35% για την άλλη. Τα διαστήματα λειτουργίας στην διάρκεια της εβδομάδας είναι Δευτέρα-Τετάρτη, Πέμπτη-Παρασκευή και Σάββατο-Κυριακή. Για τα πρώτα δυο διαστήματα η λειτουργία ξεκινά στις 17:00 ή στις 23:00, ενώ για το τελευταίο είναι στις 16:00 ή στις 17:00.

## **Σενάριο II**

Για το δεύτερο σενάριο δεν υπάρχει κάποιος ένοικος στο σπίτι κατά την διάρκεια από 17:00 μέχρι 22:00. Και επομένως οι ώρες χρήσεις των συσκευών δημιουργούν ένα ημερήσιο προφίλ και αναπτύσσονται παρακάτω. Η διάρκεια λειτουργίας τους και η κατανάλωση είναι όμοια με το σενάριο I, με μόνη διαφορά τις ώρες τις οποίες τίθενται σε λειτουργία.

*Φωτισμός:* Εδώ υπάρχει κάποια περιστασιακή χρήση του φωτισμού κατά την διάρκεια της ημέρας για χώρους ή μέρες με μειωμένο φωτισμό, και έπειτα λειτουργεί κανονικά μετά τις 22:00 το βράδυ.

*Συσκευές παρασκευής φαγητού:* Οι συσκευές φαγητού λειτουργούν για 1-2 ώρες με έναρξη στις 11:00 ή στις 12:00 ή στις 13:00. Το βράδυ θα λειτουργήσουν όποτε χρειαστεί στις 23:00 ή στις 00:00.

*Συσκευές αναμονής:* Είναι ακριβώς ίδιες οι ώρες όπως και στο 1<sup>ο</sup> σενάριο.

*Τηλεόραση :* Εδώ η λειτουργία της τηλεόρασης ορίζεται με τυχαίο τρόπο με έναρξη από τις 09:00 μέχρι τις 13:00.

*Ηλεκτρονικός υπολογιστής:* Για τον υπολογιστή οι ώρες χρήσης κατά το σενάριο II είναι έναρξη από τις 10:00 μέχρι και τις 14:00, με διάρκεια λειτουργίας έως 2 ώρες.

*Ψυγείο:* Το ψυγείο θεωρείται όμοια η κατανάλωσή του με την περίπτωση του σεναρίου I.

*Λοιπές χρήσεις:* Για τις υπόλοιπες συσκευές απροσδιορίστου μορφής η έναρξη ορίζεται από τις 11:00 και μπορεί να φθάσει μέχρι και τις 16:00, ενώ η διάρκεια, όπως έχει προαναφερθεί είναι για 2-4 ώρες.

*Πλυντήριο ρούχων:* Το πλυντήριο των ρούχων εμφανίζει την ίδια συχνότητα αλλά διαφοροποιείται μόνο τις ώρες έναρξης. Επομένως για την περίοδο από Δευτέρα έως Πέμπτη το πλυντήριο ξεκινά στις 9, ενώ Παρασκευή έως Κυριακή, οπότε είναι η δεύτερη πλύση, ξεκινά όπως στο άλλο σενάριο στις 9 ή στις 11. Πάντα η διάρκεια είναι 2 ώρες.

*Πλυντήριο πιάτων:* Όμοια με πριν έχουμε 3 φορές την εβδομάδα πλυντήριο πιάτων και για 2 ώρες. Τα δυο που είναι στις περιόδους Δευτέρα-Τετάρτη και Πέμπτη-Παρασκευή οι ώρες έναρξης είναι στις 14:00 ή στις 15:00, ενώ την Τρίτη περίοδο δηλαδή Σάββατο-Κυριακή οι ώρες αυτές είναι όπως και πριν στις 16:00 ή 17:00.

Για τον υπολογισμό της συνολικής ενέργειας που απαιτείται να καλυφθεί ανά ώρα δημιουργήθηκε η παρακάτω εξίσωση στην οποία εμπεριέχονται όλες οι παραπάνω συσκευές:

$$\begin{aligned}
 E_L(h) = & E_{Lighting}(h) + E_{Cooking}(h) + E_{Stantby}(h) + E_{TV}(h) \\
 & + E_{PC}(h) + E_{Fridge}(h) + E_{Other\ uses}(h) \\
 & + E_{Washing\ machine}(h) + E_{Dishwas\ her}(h)
 \end{aligned} \tag{8.28}$$

όπου οι καταναλώσεις ανάλογα με την συσκευή για κάθε ώρα είναι:

$E_{Lighting}(h)$ : ενέργεια για τον φωτισμό

$E_{Cooking}(h)$ : ενέργεια για τις συσκευές μαγειρέματος

$E_{Stantby}(h)$ : ενέργεια που καταναλώνεται στην κατάσταση αναμονής

$E_{TV}(h)$ : ενέργεια που καταναλώνεται από την τηλεόραση

$E_{PC}(h)$ : ενέργεια από την χρήση του Η/Υ

$E_{Fridge}(h)$ : ενέργεια για την λειτουργία του ψυγείου

$E_{Other\ uses}(h)$ : απαιτούμενη ενέργεια από άλλες απροσδιόριστες συσκευές

$E_{Washing\ machine}(h)$ : κατανάλωση του πλυντηρίου ρούχων

$E_{Dishwas\ her}(h)$ : κατανάλωση του πλυντηρίου πιάτων

## 8.4. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΦΟΡΤΙΩΝ

Στον αλγόριθμο προσομοίωσης λαμβάνονται υπόψη συνεχώς τα σταθερά φορτία ανά ώρα (εξίσωση 7.32) όποτε αυτά εμφανίζονται, ενώ στην περίπτωση

που υπάρχει περίσσεια ενέργειας από το σύστημα παραγωγής, δημιουργείται ένα νέο προφίλ θέτοντας σε λειτουργία μια από τις μετακινούμενες συσκευές, το πλυντήριο των ρούχων ή το πλυντήριο των πιάτων, ενώ η δεύτερη μπορεί να εισέλθει μόνο μετά το πέρας λειτουργίας της πρώτης και υπό την προϋπόθεση της ύπαρξης πλεονάζουσας ενέργειας. Δηλαδή, τότε η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας θα πρέπει να είναι ίση με την μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει και τα φορτία για εκείνη την ώρα να καλύπτονται πλήρως. Αυτό μπορεί να συμβεί οποιαδήποτε ώρα, ακόμη και όταν κανένας ένοικος δεν βρίσκεται στο σπίτι και μέχρι το πέρας του διαστήματος που έχει οριστεί ότι εντός του οποίου θα πρέπει να λειτουργήσει. Τα όρια στα οποία επιτρέπεται ένα φορτίο να κινηθεί εμφανίζονται στον πίνακα 8.1 παρακάτω.

$$E_L(h) = E_{Lighting}(h) + E_{Cooking}(h) + E_{Stantby}(h) + E_{TV}(h) + E_{PC}(h) + E_{Fridge}(h) + E_{Other\ uses}(h) \quad (8.29)$$

Στον παρακάτω πίνακα περιέχονται οι καταναλώσεις των συσκευών και η χρήση τους ανά εβδομάδα.

**Πίνακας 8.1** Καταναλώσεις των συσκευών και η χρήση τους ανά εβδομάδα.

Συσκευή	Κατανάλωση KWh <sup>7</sup>	Εβδομαδιαία χρήση	Ενέργεια ανά εβδομάδα (kWh)
Πλυντήριο πιάτων	1,3	3	3,9
Πλυντήριο ρούχων	1,8	2	3,6

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα η συχνότητα λειτουργίας των δυο συσκευών είναι 3 φορές/εβδομάδα για το πλυντήριο πιάτων και 2 φορές/εβδομάδα για το πλυντήριο ρούχων, ενώ στον πίνακα 8.2 φαίνονται τα χρονικά όρια μέσα στα οποία θα πρέπει να έχει μπει σε λειτουργία, ειδικά αν αναγκάζονται στο τέλος αυτού του διαστήματος να λειτουργήσουν.

<sup>7</sup> <https://www.dei.gr/el/katanalwsi-oikiakwn-suskeuwn>

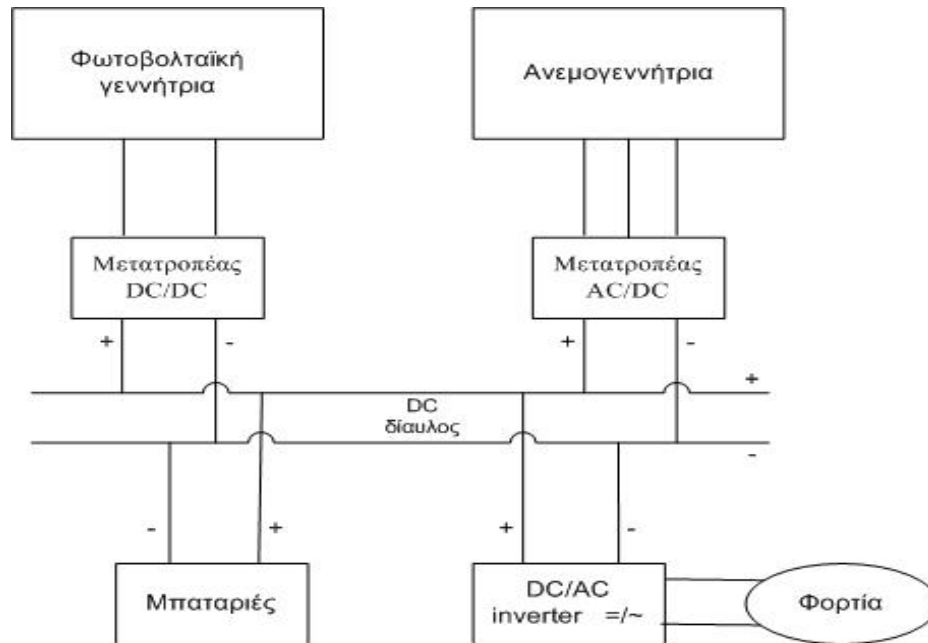
**Πίνακας 8. 2** Οριζόμενες και απροσδιόριστες χρονικές περίοδοι για την κάθε συσκευή κατά την διάρκεια της εβδομάδας (\*αυτές οι συσκευές σχετίζονται με την εβδομαδιαία χρήση)

Συσκευές*	Χρονική περίοδος ορισμένη από τον χρήστη (όταν η Περίσσεια ενέργεια > από το φορτίο της συσκευής)	Χρονική περίοδος εκτός των ρυθμίσεων του χρήστη
Πλυντήριο ρούχων 1	1-84	Ώρα της εβδομάδας > 85
Πλυντήριο ρούχων 2	96-154	Ώρα της εβδομάδας > 155
Πλυντήριο πιάτων 1	1-61	Ώρα της εβδομάδας > 62
Πλυντήριο πιάτων 2	73-110	Ώρα της εβδομάδας > 111
Πλυντήριο πιάτων 2	121-153	Ώρα της εβδομάδας > 154

Στην υποενότητα 8.6, στο διάγραμμα 8.3, παρουσιάζεται το λογικό διάγραμμα και περιγράφεται η διαδικασία του υπολογιστικού αλγορίθμου που ακολουθήθηκε (με τη βοήθεια της MATLAB) για την δυναμική μετατόπιση φορτίων.

## 8.5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Στην ενότητα αυτή αναπτύσσεται η μεθοδολογία της προσομοίωσης που ακολουθείται για τον προσδιορισμό του βέλτιστου υβριδικού συστήματος η οποία αποτελείται από μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια, μια ανεμογεννήτρια και συστοιχία μπαταριών. Στις δυο γεννήτριες είναι συνδεδεμένοι κατάλληλοι μετατροπείς της τάσης, οι οποίοι μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα της Α/Γ σε συνεχές (AC/DC) και τροποποιούν τα χαρακτηριστικά του ρεύματος για την Φ/Β γεννήτρια (DC/DC) με σκοπό την προστασία των επιμέρους μερών του συστήματος. Για την τροφοδοσία των φορτίων έχει προστεθεί ένας μετατροπέας από DC/AC (inverter), ο οποίος μετατρέπει το συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση του υπό εξέταση συστήματος.



**Εικόνα 8. 1** Σχηματικό διάγραμμα του υβριδικού συστήματος (Φ/Β γεννήτρια και Α/Γ) με την χρήση μπαταριών για αποθηκευτικό χορό και μετατροπέα (inverter)

### 8.5.1. Ανάλυση της ανεμογεννήτριας

Διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών, με διαφορετική ακτίνα ρότορα και ως εκ τούτου διαφορετικής ισχύς εξόδου περιγράφονται από διαφορετικά μαθηματικά μοντέλα. Για την παρούσα εργασία έχει χρησιμοποιηθεί η Hummer 500W<sup>[8]</sup> της οποίας η ισχύς εξόδου μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση από πολυώνυμα τρίτου βαθμού ανά τομείς όπως προτάθηκε και από τους Diaf et al.<sup>[75]</sup> για την καλύτερη προσαρμογή της καμπύλης, όπως φαίνεται στην εξίσωση (5.9):

$$P_w(v) = \begin{cases} 0 & v \leq v_{cin} \text{ or } v \geq v_{cou} \\ a_1 v^3 + b_1 v^2 + c_1 v + d_1 v_{cin} & v_{cin} < v < v_1 \\ a_2 v^3 + b_2 v^2 + c_2 v + d_2 v_1 & v_1 < v < v_2 \\ \dots & \dots \\ a_n v^3 + b_n v^2 + c_n v + d_n v_{n-1} & v_{n-1} < v < v_{rat} \\ P_r & v_r \leq v < v_{cou} \end{cases}$$

όπου κάθε μέγεθος σημαίνει:

$P_w(V)$ : η ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας σε ταχύτητα ανέμου  $V$

<sup>8</sup> <http://www.hummerwindgenerator.com/wind-turbines/500w.html>

$V$ (m/s): η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του άξονα της Α/Γ

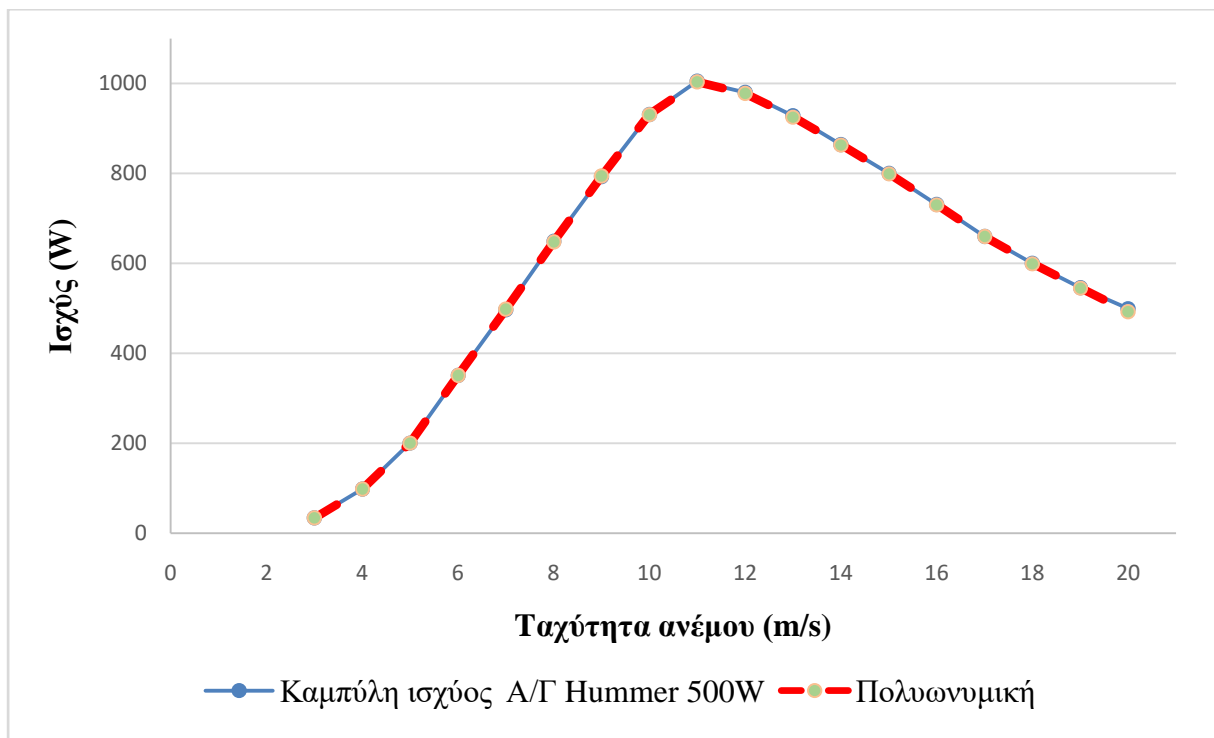
$V_{cin}$  (m/s): η ταχύτητα εκκίνησης της Α/Γ

$V_{rat}$  (m/s): η ονομαστική ταχύτητα του αέρα

$V_{cou}$  (m/s): η ταχύτητα αποκοπής της Α/Γ

$V_1, V_2, V_3, V_4, V_5$ : οι ταχύτητες για τις οποίες αλλάζει η πολυωνυμική για τον υπολογισμό της ισχύς εξόδου.

Από την εξίσωση 5.9 για την περίπτωση της επιλεγμένης Α/Γ (Hummer 500W) προκύπτει η εξίσωση 8.30, η οποία αποτελείται από 5 εξισώσεις τρίτου βαθμού και η προσαρμογή τους για τις διάφορες ταχύτητες του ανέμου φαίνεται στο διάγραμμα 8.1.



**Διάγραμμα 8. 1** Προσαρμογή της πολυωνυμικής εξίσωσης που παρήχθηκε στην καμπύλη ισχύος του κατασκευαστή.

$$P_W(v) =$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0 & v \leq v_{cut-in} = 3 \text{ ή } v \geq v_{cutout} = 20 \\ 1.333v^3 + 3.5v^2 - 9.833v - 4 & 3m/sec < v \leq 6m/sec \\ -1v^3 + 22.29v^2 - 15.57v - 142.1 & 6m/sec < v \leq 10m/sec \\ 12v^3 - 145.5v^2 + 5457v - 2.109 \cdot 10^4 & 10m/sec < v \leq 13m/sec \\ -0.833v^3 + 35v^2 - 553.2v + 4035 & 13m/sec < v \leq 16m/sec \\ -0.833v^3 + 48v^2 - 974.2v + 7443 & 16m/sec \leq v \leq 20m/sec \end{array} \right. \quad (8.30)$$

Ένα κύριο θέμα στην διαστασιολόγηση των ανεμογεννητριών είναι η αναφορά στο ύψος  $H_0$  (m) όπου τα δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου μετρήθηκαν. Οι περισσότερες διεθνείς βάσεις δεδομένων ορίζουν ένα συγκεκριμένο ύψος για τα δοθέντα δεδομένα ανέμου. Με σκοπό να προσαρμοστεί το προφίλ του ανέμου  $V$  στο υψόμετρο  $H$  της Α/Γ χρησιμοποιείται ο νόμος της ισχύος (εξίσωση 7.1):

$$V = V_0 \left( \frac{H}{H_0} \right)^a$$

όπου κάθε μέγεθος σημαίνει:

$V$ (m/s): η ταχύτητα ανέμου στο ύψος του άξονα της Α/Γ,  $H$

$V_0$ (m/s): η ταχύτητα ανέμου μετρημένη στο ύψος αναφοράς  $H_0$

$a$  : είναι ένας συντελεστής ο οποίος ποικίλει με το υψόμετρο, την ώρα της ημέρας, την εποχή, την φύση του εδάφους, την ταχύτητα του ανέμου και την θερμοκρασία. Μια τυπική τιμή είναι 1/7 για χαμηλής τραχύτητας επιφάνειες και χρησιμοποιείται και σε αυτή την μελέτη.

### 8.5.2. Ανάλυση φωτοβολταϊκής γεννήτριας

Εφαρμόζοντας τα διαθέσιμα ηλιακά δεδομένα στην εξίσωση (5.1) η ισχύς εξόδου του φωτοβολταϊκού όπως μας την έδωσε ο Markvart<sup>[68]</sup>:

$$P_{PV} = n_g * N * A_m * I_T$$

όπου κάθε μέγεθος σημαίνει:

$n_g$  : η στιγμιαία απόδοση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας

$A_m$  ( $m^2$ ): το εμβαδόν ενός Φ/Β πλαισίου που χρησιμοποιείται στο σύστημα, το οποίο ισούται με  $1m^2$  για την προσομοίωση που εκτελείται.

$I_T$  ( $W/m^2$ ): η παγκόσμια προσπίπτουσα ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο

$N$ : ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων, ο οποίος ισούται και με τα  $m^2$  εφόσον το κάθε πλαίσιο έχει ληφθεί ίσο με  $1m^2$ .

Η στιγμιαία απόδοση της γεννήτριας δίδεται από την παρακάτω έκφραση:

$$n_g = n_r * n_{pt} * [1 - \beta_t * (T_c - T_r)] \quad (8.31)$$

όπου:

$n_r$ : η απόδοση αναφοράς της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, ίση με 0.14



$n_{pt}$ : η απόδοση του εξοπλισμού παρακολούθησης ισχύος (η οποία είναι ίση με 1 εάν χρησιμοποιείται ένας τέλειος μέγιστης ισχύος δείκτης ιχνηλάτης, όπως στην εργασία εδώ)

$T_C$  (°C): η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού κελιού

$T_r$ : η θερμοκρασία αναφοράς του φωτοβολταϊκού κελιού

$\beta_t$ : ο συντελεστής θερμοκρασίας της απόδοσης, και ισούται με 0.005 ανά °C.

Με την χρήση του ενεργειακού ισοζυγίου μπορεί να καθοριστεί και η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου από την σχέση <sup>[136]</sup>:

$$T_C = T_a + I_T * \left(\frac{\tau\alpha}{U_L}\right) \quad (8.32)$$

όπου:

$T_a$  (°C): η θερμοκρασία περιβάλλοντος

$U_L$  ( $\frac{W}{m^2} per \text{ } ^\circ C$ ): ο συνολικός συντελεστής απώλειας θερμότητας

$\tau$ : ο συντελεστής διαπερατότητας των φωτοβολταϊκών κελιών

$\alpha$ : ο συντελεστής απορροφητικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας των φωτοβολταϊκών κελιών.

Από την σχέση 8.32 ο παράγοντας  $\left(\frac{\tau\alpha}{U_L}\right)$ , γνωστός ως συντελεστής απώλειας θερμότητας, προέρχεται και εξάγεται από την εξίσωση 8.33:

$$\left(\frac{\tau\alpha}{U_L}\right) = \frac{NOCT - 20^\circ C}{800 \frac{W}{m^2}} \quad (8.33)$$

Ως εκ τούτου το μέγεθος  $n_g$  παίρνει την τελική του μορφή:

$$n_g = n_r * n_{pt} * \left[1 - \beta_t * (T_a - T_r) - \beta_t * I_T * \left(\frac{NOCT - 20^\circ C}{800}\right) (1 - n_r * n_{pt})\right] \quad (8.34)$$

Για την παραπάνω σχέση η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας των κυψελών (NOCT) λήφθηκε ίση με 47°C.

### 8.5.3. Ανάλυση της συστοιχίας μπαταριών

Στο σύστημα επιλέγεται η χρήση μπαταριών για την αποθήκευση της ενέργειας η οποία παράγεται από τις γεννήτριες και δεν καταναλώνεται στα

φορτία. Έτσι, η ενέργεια αυτή θα μπορεί να προσδοθεί στα φορτία κάποια άλλη χρονική στιγμή στην οποία το ισοζύγιο της παραγόμενης ενέργειας με την καταναλισκόμενη είναι αρνητικό, δηλαδή η έξοδος των γεννητριών δεν επαρκεί για να καλύψει τις εμφανιζόμενες ανάγκες εκείνη την στιγμή. Οι καταστάσεις οι οποίες εμφανίζονται για την μπαταρία είναι δυο:

✓ Κατάσταση φόρτισης: σε περίπτωση που η έξοδος της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και της ανεμογεννήτριας είναι μεγαλύτερη από την ζήτηση φορτίου, η ωριαία χωρητικότητα της μπαταρίας δίδεται από την σχέση 8.35:

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t-1) * (1 - \sigma) + \left( P_{PV}(t) * n_{dcd} + P_{wg}(t) * n_{acd} - \frac{P_{load}(t)}{n_{inv}} \right) * n_{bat} * \Delta t \quad (8.35)$$

✓ Κατάσταση εκφόρτισης: σε περίπτωση που η έξοδος της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και της ανεμογεννήτριας είναι μικρότερη από την ζήτηση φορτίου, η ωριαία χωρητικότητα της μπαταρίας υπολογίζεται από την σχέση 8.36:

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t-1) * (1 - \sigma) + \left( \frac{P_{PV}(t) * n_{dcd} + P_{wg}(t) * n_{acd} - \frac{P_{load}(t)}{n_{inv}}}{n_{bat}} \right) * \Delta t \quad (8.36)$$

όπου:

$C_{bat}(t)$  [Wh]: η διαθέσιμη χωρητικότητα της συστοιχίας μπαταριών την ώρα t

$C_{bat}(t-1)$  [Wh]: η διαθέσιμη χωρητικότητα της συστοιχίας μπαταριών την ώρα t-1

$n_{bat}$ : η απόδοση της μπαταρίας (κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φόρτισης, η απόδοση αποφόρτισης της μπαταρίας ορίστηκε ίση με 1 και κατά τη διάρκεια της φόρτισης, η απόδοση είναι 0,92)

$n_{dcd}$ : η απόδοση του μετατροπέα DC/DC των Φ/Β, ίση με 0,92

$n_{acd}$ : η απόδοση του μετατροπέα AC/DC της Α/Γ, η οποία ισοδυναμεί με 0,92

$\sigma$ : είναι ο ρυθμός αυτο-αποφόρτισης της συστοιχίας μπαταριών, ίσος με 3% μηνιαίως.

$P_{PV}(t)$ : η ισχύς που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά

$P_{wg}(t)$ : η ισχύς που παράγεται από την ανεμογεννήτρια

$P_{load}(t)$ : η ζήτηση φορτίου την ώρα t

$n_{inv}$ : η απόδοση του μετατροπέα της έντασης, και τίθεται ίση με 0.90

Οι οριακές συνθήκες που επηρεάζουν την χωρητικότητα της μπαταρίας είναι:

$$C_{bat,min} \leq C_{bat}(t) \leq C_{bat,max} \quad (8.37)$$

όπου:

$C_{bat,min}$  : η ελάχιστη επιτρεπόμενη χωρητικότητα αποθήκευσης

$C_{bat,max}$  : η μέγιστη επιτρεπόμενη χωρητικότητα αποθήκευσης

Εάν η συνθήκη του  $C_{bat,max} = C_{bat,n}$  (όπου  $C_{bat,n}$  είναι η ονομαστική χωρητικότητα αποθήκευσης) ισχύει, τότε:

$$C_{bat,min} = (1 - DOD) * C_{bat,n} \quad (8.38)$$

όπου:

DOD (%): αντιπροσωπεύει το μέγιστο επιτρεπτό βάθος αποφόρτισης και λαμβάνεται ίσο με 80%.

#### 8.5.4. Ανάλυση αξιοπιστίας του συστήματος

Για τον έλεγχο της αδιάλειπτης τροφοδοσίας των φορτίων εισάγεται η έννοια της πιθανότητας απώλειας τροφοδοσίας (LPSP). Αποτελεί μια τεχνική προσέγγιση η οποία χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του συστήματος για πλήρη ή μερική κάλυψη των φορτίων. Η γενική έκφραση για την LPSP είναι(εξίσωση 5.17):

$$LPSP = \sum_{t=1}^T LPS(t) / \sum_{t=1}^T P_{load}(t)\Delta t$$

όπου κάθε μέγεθος σημαίνει:

T: το συνολικό καθορισμένο χρονικό διάστημα (8760 ώρες/έτος)

$P_{load}(t)$ : η κατανάλωση ισχύος από το φορτίο την ώρα t

LPS(t): απώλεια παροχής ισχύος για την ώρα t

Η ισχύς που παρέχεται στα φορτία από τον μετατροπέα του συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα είναι:

$$P_{inv} = P_{load} / \eta_{inv} \quad (8.39)$$

όπου,

$P_{load}(t)$ : η κατανάλωση ισχύος από το φορτίο την ώρα t

$n_{inv}$ : η απόδοση του μετατροπέα

Η έκφραση  $LPS(t)$ , στην περίπτωση όπου η έξοδος των φωτοβολταϊκών και των ανεμογεννητριών είναι λιγότερη από την ζήτηση φορτίου ( $P_{inv}(t)$ ), δίδεται ως ακολούθως (εξίσωση 5.18):

$$LPS(t) = P_{load}(t)\Delta t - \left( (P_{PV}(t) + P_W(t))\Delta t + C_{bat}(t-1) - C_{bat,min} \right) n_{inv}$$

όπου,

$\Delta t$ : καθορίζει το ωριαίο βήμα ( $\Delta t = 1h$ ).

Στην περίπτωση που η συνολική παραγόμενη ισχύς από τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες είναι μεγαλύτερη από την ζήτηση φορτίου ( $P_{inv}(t)$ ) και η μπαταρία φορτίζεται πλήρως ( $C_{bat,max}$ ), τότε ο έλεγχος φόρτισης σταματά από το σύστημα ελέγχου. Σε αυτό το σημείο το υπόλοιπο της παραγόμενης ενέργειας, μετά την κάλυψη των φορτίων και την φόρτιση της μπαταρίας, εμφανίζεται ως περίσσεια ενέργειας, η οποία είναι ίση με:

$$WE(t) = P_{tot}(t)\Delta t - \left( \frac{P_{load}(t)}{n_{inv}}\Delta t + \left( \frac{C_{bat,max} - C_{bat}(t-1)}{n_{cha}} \right) \right) \quad (8.40)$$

όπου,  $P_{tot}(t)$  είναι η συνολική ισχύς που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες την ώρα  $t$ :

$$P_{tot}(t) = P_{PV}(t) + P_W(t) \quad (8.41)$$

Τέλος, άλλες δύο εκφράσεις εισάγονται:

✓ Η συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών κατά την περίοδο  $T$  (8760 ώρες/έτος) όπου μελετάται το σύστημα και δίδεται ως ακολούθως:

$$RC(T) = 1 - LPSP \quad (8.42)$$

✓ Η περίσσεια της ενέργειας που προκύπτει για το σύστημα για την περίοδο προσομοίωσης  $T$  δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$EXC(T) = \frac{WE(T)}{E_{tot}(T)} \quad (8.43)$$

Στην υποενότητα 8.6, διάγραμμα 8.2, απεικονίζεται το λογικό διάγραμμα και αναλύεται η διαδικασία του υπολογιστικού αλγορίθμου που

χρησιμοποιήθηκε (με τη χρήση της MATLAB) για τον υπολογισμό του υβριδικού συστήματος.

### 8.5.5. Οικονομική ανάλυση του συστήματος

Η μέθοδος της ανάλυσης του κόστους, σαν τελικό βήμα, είναι η πιο κρίσιμη πτυχή αυτών των συστημάτων. Η διαμόρφωση με το καλύτερο αποτέλεσμα συμβαίνει όταν επιτυγχάνεται η χαμηλότερη τιμή του Κλιμακωμένου Κόστους Ενέργειας (LCE). Γι' αυτό, ένα επιλεγμένο μοντέλο LCE χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό του οικονομικού μεγέθους.

$$LCE = \frac{TPV \times CRF}{E_{load}} \quad (8.44)$$

όπου,

$E_{load}$  (kWh): το ετήσιο φορτίο κάλυψης

TPV(€): η συνολική παρούσα αξία του πραγματικού κόστους

CRF: ο παράγοντας ανάκτησης κεφαλαίου

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (8.45)$$

όπου,

$i$ : το ετήσιο επιτόκιο προεξόφλησης

$n$ : η ζωή του συστήματος σε χρόνια (25 χρόνια)

$$TPV = C_{PV} + C_{wind} + C_{bat} \quad (8.46)$$

όπου κάθε μέγεθος σημαίνει:

$C_{PV}$ : το άθροισμα της παρούσας αξίας του κεφαλαίου, δηλαδή το κόστος συντήρησης ( $C_m$ ) και το κόστος εγκατάστασης και σύνδεσης τα οποία τίθενται ίσα με το 40% της τιμής του φωτοβολταϊκού, για την διάρκεια ζωής του Φ/Β.

$C_{wind}$ : το άθροισμα της παρούσας αξίας του κεφαλαίου, το κόστος συντήρησης ( $C_m$ ) και το κόστος εγκατάστασης και σύνδεσης τα οποία τίθεται ίσα με το 20% της τιμής των ανεμογεννητριών, για την διάρκεια ζωής των Α/Γ.

$C_{bat}$ : το άθροισμα της παρούσας αξίας του κεφαλαίου και του κόστους αντικατάστασης ( $C_R$ ) της συστοιχίας μπαταριών στη διάρκεια ζωής τους.

Οι αναφερθέντες όροι του  $C_R$  και  $C_m$  καθορίζονται παρακάτω:

Η παρούσα αξία του κόστους αντικατάστασης (μόνο για την μπαταρία)

$$C_R = C_{bat} \sum_{i=1}^{Nrem} \left( \frac{1+g_1}{1+d} \right)^{Ti} / (Nrem + 1) \quad (8.47)$$

όπου,

$C_{bat}$ : είναι το κόστος της μπαταρίας (€)

$g_1$ : είναι ο ρυθμός πληθωρισμού των εξαρτημάτων αντικατάστασης

$Nrem$ : είναι ο αριθμός των εξαρτημάτων αντικατάστασης κατά  $T$  χρόνια, για την συγκεκριμένη εργασία έγιναν 2 αντικαταστάσεις μπαταριών στα 25 χρόνια.

$d$ : είναι το επιτόκιο προεξόφλησης και τίθεται ίσο με 8%

Η παρούσα αξία του κόστους συντήρησης ( $C_m$ ) των φωτοβολταϊκών και της ανεμογεννήτριας είναι:

$$C_m = C_{mo} T \quad (8.48)$$

$$C_{mo} = m_{pv} C_{PVA} + m_{WT} C_{WTA} \quad (8.49)$$

όπου

$T$ : είναι η ζωή του συστήματος ίση με 25 χρόνια

$C_{mo}$ : είναι το κόστος συντήρησης την πρώτη χρονιά

$m_{pv}$ : είναι ένα κλάσμα και λαμβάνεται ίσο με το 1% του αρχικού κόστους των φωτοβολταϊκών

$m_{WT}$ : είναι ένα κλάσμα και λαμβάνεται ίσο με το 3% του αρχικού κόστους των ανεμογεννητριών

$C_{PVA}$  : είναι το αρχικό κόστος και το κόστος εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών

$C_{WTA}$  : είναι το αρχικό κόστος και το κόστος εγκατάστασης των ανεμογεννητριών

Για την τελική αξιολόγηση του συστήματος υπολογίζεται η καθαρή παρούσα αξία (NPV) του συστήματος από την σχέση(5.21):

$$NPV = -CI + \sum_{t=1}^N \frac{C_{in}}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^N \frac{C_{out}}{(1+i)^t}$$

όπου κάθε μέγεθος σημαίνει:

$CI$ : συνολικό κόστος αγοράς της εγκατάστασης

$C_{in}$ : εκφράζει την εισροή εσόδων και είναι το φορτίο ζήτησης που καλύφθηκε από το σύστημα πολλαπλασιασμένο με το κόστος ενέργειας δικτύου (€/KWh)<sup>9</sup> και αυξανόμενο κατά 3% ανά χρόνο<sup>10</sup>. Το καλυπτόμενο φορτίο αντιστοιχεί στο 95% του ετήσιου ζητούμενου φορτίου (KWh).

$C_{out}$ : εκφράζει το κόστος συντήρησης των φωτοβολταϊκών και των ανεμογεννητριών όπως επίσης και το κόστος αντικατάστασης των μπαταριών.

Η αξία των μερών του συστήματος που εξετάζονται, η διάρκεια ζωής τους και τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στους πίνακες 8.3 και 8.4:

<sup>9</sup> Το κόστος της ενέργειας που είναι ίση με 0.22€/KWh <https://www.dei.gr/el/oikiakoi-pelates/xrisimes-plirofories-gia-to-logariasmo-sas/logariasmos-kai-xrewseis>

<sup>10</sup> [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Energy\\_price\\_statistics](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Energy_price_statistics)

**Πίνακας 8. 3** Αξία, κόστος συντήρησης ανά έτος, διάρκεια ζωής και BOS<sup>11</sup>.

Μέρη συστήματος	Κόστος συντήρησης ανά έτος	Διάρκεια ζωής	BOS
Φ/Β πλαίσιο	1%	25	40%
Ανεμογεννήτρια	3%	25	20%
Μπαταρίες	0%	10	-

**Πίνακας 8. 4** Τεχνικά και οικονομικά δεδομένα για τα φωτοβολταϊκά, την ανεμογεννήτρια και την μπαταρία.

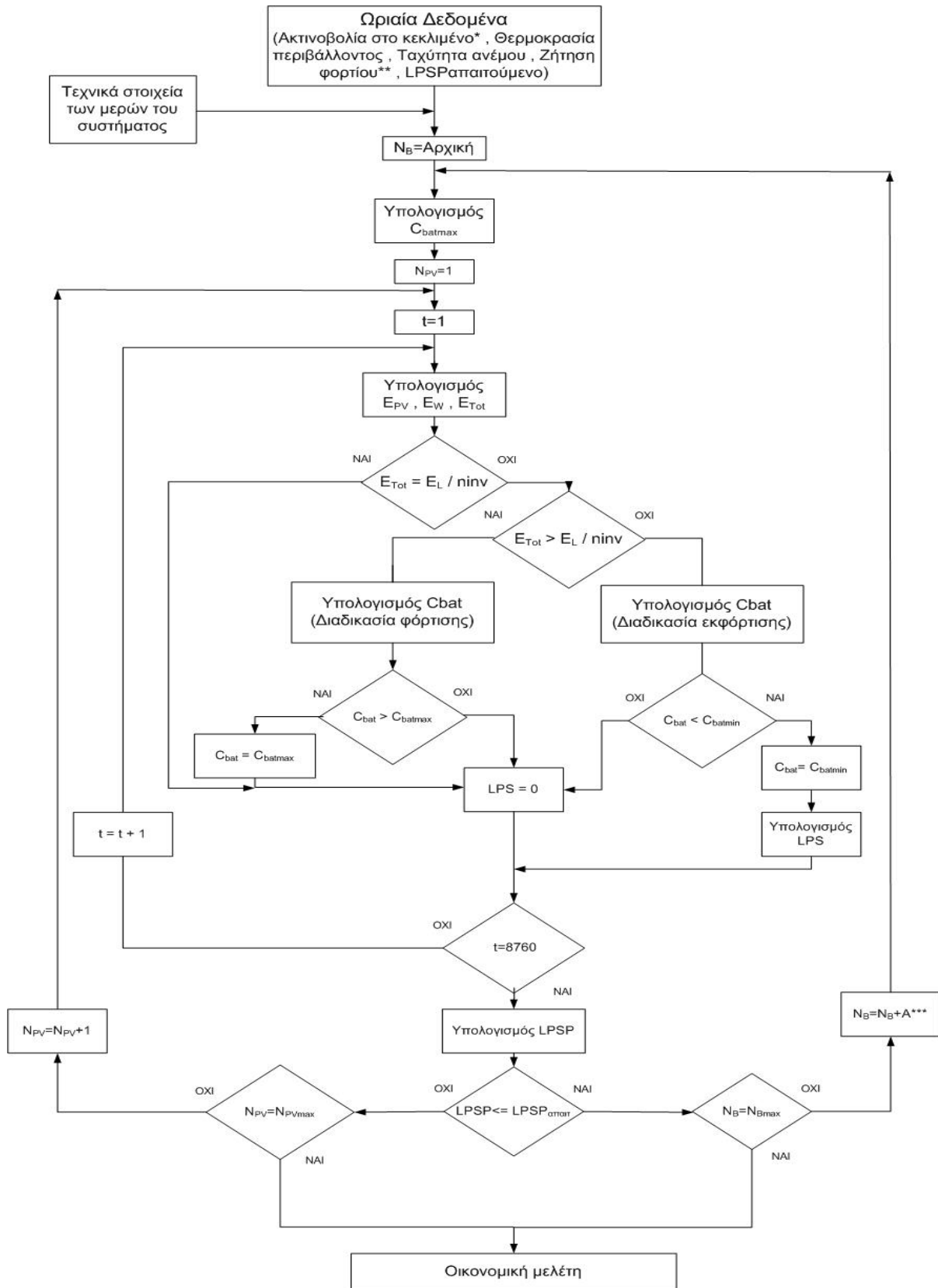
Τύπος Φωτοβολταϊκού	Κόστος ανά μονάδα ισχύος (ευρώ/W)	Κόστος ανά μονάδα επιφάνειας (ευρώ /m <sup>2</sup> )	Εύρος αποδόσεως (%)	Μέση απόδοση (%)	BOS
Πολυκρυσταλλικό 140W ανά m <sup>2</sup>	0,76	106,4	12-16	14	40% του κόστους
Τύπος ανεμογεννήτριας	Κόστος ανά μονάδα ισχύος (€/W)		Κόστος ανά ανεμογεννήτρια (ευρώ/WT)		BOS
HUMMER 500W	1,25		625		20% του κόστους
Τύπος Μπαταρίας	Κόστος ανά μονάδα ισχύος (ευρώ/Wh)	Ονομαστική χωρητικότητα (Ah)	Τάση (V)	Κατάσταση ελάχιστης φόρτισης (%)	BOS
AGM Βαθείας εκφόρτισης	0,157	83,33	12	20	0% του κόστους

## 8.6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΡΟΗΣ

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται οι διαδικασίες προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκαν για τον αναλυτικό δυναμικό υπολογισμό του υβριδικού συστήματος και την μετατόπιση των φορτίων που υλοποιούνται σε αυτή την εργασία.

Παρακάτω παρατίθενται το διάγραμμα ροής για τον υπολογισμό του υβριδικού συστήματος με την χρήση της επαναληπτικής μεθόδου, διάγραμμα 8.2.

<sup>11</sup> Balance of System



**Διάγραμμα 8.2** Διάγραμμα ροής υπολογισμού του υβριδικού συστήματος<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> \*Η ακτινοβολία είτε λήφθηκε από την βάση δεδομένων είτε εκτιμήθηκε από τα δυο μοντέλα πρόβλεψης και μετατράπηκε στο κεκλιμένο επίπεδο, \*\*χρησιμοποιήθηκαν τα δυο σενάρια που δημιουργήθηκαν και \*\*\*το «Α» αυξάνει με βήμα 1kWh (83,33Ah, 12V).



Στη συνέχεια γίνεται η περιγραφή της διαδικασίας του διαγράμματος ροής υπολογισμού του υβριδικού συστήματος:

✚ Αρχικά γίνεται εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων (ακτινοβολία στο κεκλιμένο, ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία περιβάλλοντος, ζήτηση φορτίου, τεχνικά στοιχεία των μερών του υβριδικού συστήματος και της απαιτούμενης πιθανότητας απώλειας φορτίου-LPSP).

✚ Για την προσομοίωση χρησιμοποιείται μια ανεμογεννήτρια 500W.

✚ Ορίζεται η αρχική χωρητικότητα της μπαταρίας ίση με  $C_{bat}=10\text{kWh}$  (833,33Ah, 12V).

→ Η προσομοίωση γίνεται για τύπο μπαταρίας AGM με βάθος εκφόρτισης 80%.

✚ Εισάγεται ένα φωτοβολταϊκό επιφανείας  $1\text{m}^2$  και ονομαστικής ισχύος 140W.

→ Για τις 8760 ώρες του έτους η ακόλουθη διαδικασία γίνεται.

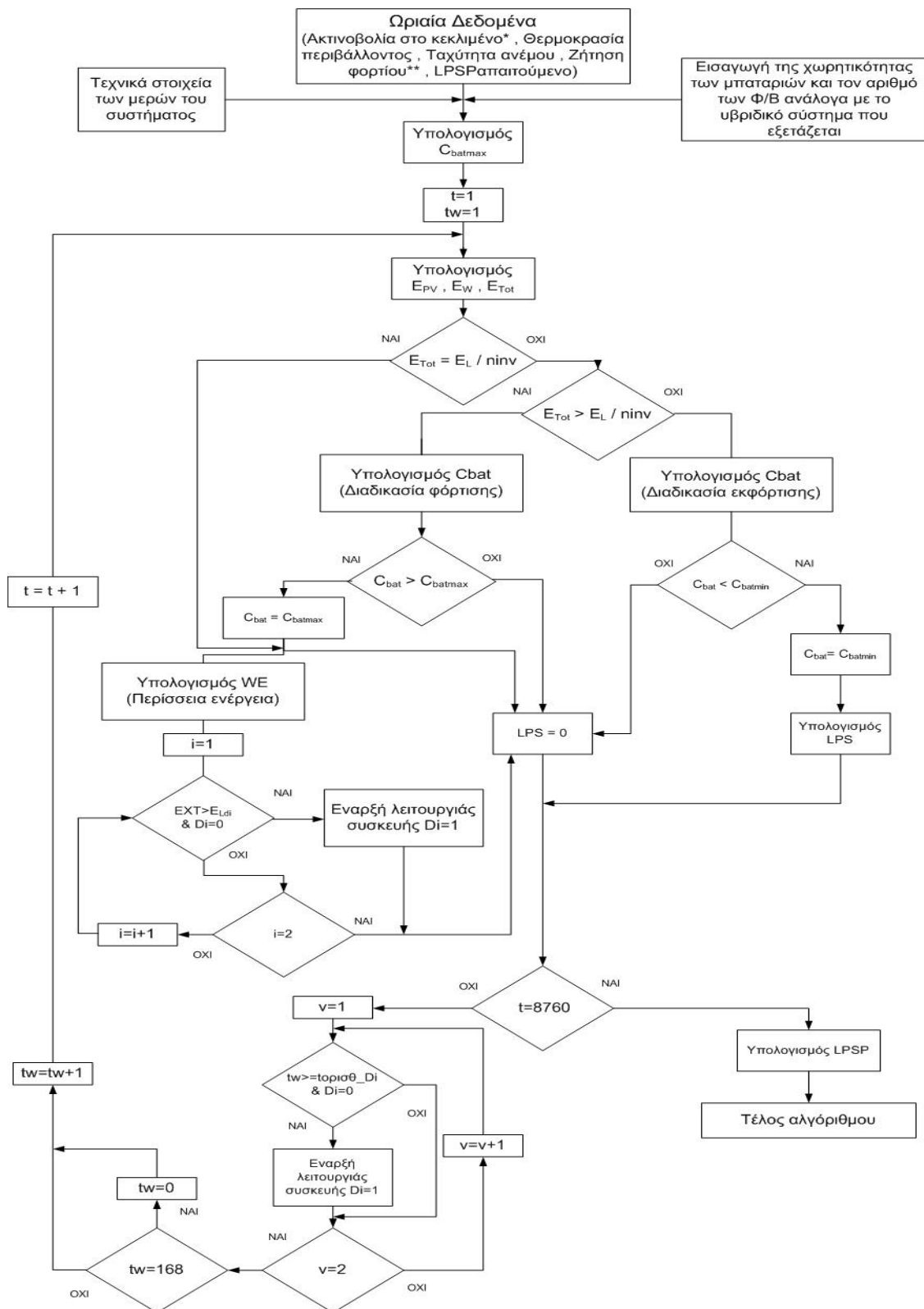
- Υπολογίζεται η παραγόμενη ενέργεια από τα Φ/Β ( $E_{pv}$ ), την Α/Γ ( $E_w$ ) και της συνολικής παραγόμενης ενέργειας ( $E_{Tot}$ ).
- Όταν η συνολική παραγόμενη ενέργεια από το Φ/Β και την Α/Γ είναι μεγαλύτερη από την ζήτηση τότε η περίσσεια ενέργεια αποθηκεύεται στις μπαταρίες. Εάν η ενέργεια αυτή υπερβαίνει το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για την πλήρη φόρτιση της ( $C_{bat,max}$ ) τότε εμφανίζει περίσσεια ενέργεια.
- Όταν η παραγόμενη ενέργεια είναι μικρότερη από την απαιτούμενη, η μπαταρία προσφέρει την υπολειπόμενη και μειώνεται το επίπεδο φόρτισής τους  $C_{bat}(t)$ . Στην περίπτωση που η ενέργεια της μπαταρίας δεν επαρκεί για την πλήρη κάλυψη των φορτίων, τότε παρέχει το ποσό της ενέργειας μέχρι η φόρτισή τους να γίνει ελάχιστη,  $C_{bat}(t)=C_{bat,min}$ , και υπολογίζεται το φορτίο που δεν μπόρεσε να καλυφθεί (LPS).
- Στην περίπτωση της ισότητας της παραγόμενης ενέργειας και της απαιτούμενης η χωρητικότητα της μπαταρίας δεν μεταβάλλεται.

→ Πραγματοποιείται ο υπολογισμός του LPSP. Όταν το υπολογιζόμενο LPSP δεν συμπίπτει με το επιθυμητό τότε ο επαναληπτικός βρόγχος ξεκινά πάλι και ένα επιπλέον Φ/Β πλαίσιο ( $1\text{m}^2$ ) εισάγεται και σταματά όταν ισχύσει η συνθήκη  $LPSP=απαιτούμενο$ , (και οι τιμές που χρειάζονται όπως αριθμός Φ/Β, χωρητικότητα μπαταριών κ.ά. αποθηκεύονται).

✚ Τότε η χωρητικότητα της μπαταρίας αυξάνει με βήμα 1kWh (83,33Ah, 12V) και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι το σημείο όπου επιτυγχάνεται ξανά  $LPSP=απαιτούμενο$  και μέχρι η χωρητικότητα των μπαταριών να φτάσει την μέγιστη ορισθείσα τιμή της.

✚ Τέλος πραγματοποιείται η οικονομική μελέτη για την επιλογή του βέλτιστου συστήματος.

Παρακάτω παρατίθενται το διάγραμμα ροής για τον υπολογισμό του υβριδικού συστήματος και της μετατόπισης των φορτίων με την χρήση της επαναληπτικής μεθόδου, διάγραμμα 8.3.



**Διάγραμμα 8.3** Διάγραμμα ροής του υπολογιστικού αλγορίθμου για την περίπτωση της ενεργειακής διαχείρισης.

Στη συνέχεια γίνεται η περιγραφή της διαδικασίας του διαγράμματος ροής υπολογισμού του υβριδικού συστήματος και της μετατόπισης των φορτίων:

✚ Αρχικά γίνεται εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων (ακτινοβολία στο κεκλιμένο, ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία περιβάλλοντος, ζήτηση φορτίου χωρίς τα φορτία τα μετατοπιζόμενα φόρτια, τεχνικά στοιχεία των μερών του υβριδικού συστήματος, της χωρητικότητας των μπαταριών και τον αριθμό των Φ/Β ανάλογα με το υβριδικό σύστημα που εξετάζεται).

→ Για τις 8760 ώρες του έτους η ακόλουθη διαδικασία γίνεται.

- Υπολογίζεται η παραγόμενη ενέργεια από τα Φ/Β ( $E_{pv}$ ), την Α/Γ ( $E_w$ ) και της συνολικής παραγόμενης ενέργειας ( $E_{Tot}$ ).
- Όταν η συνολική παραγόμενη ενέργεια από το Φ/Β και την Α/Γ είναι μεγαλύτερη από την ζήτηση τότε η περίσσεια ενέργεια αποθηκεύεται στις μπαταρίες. Εάν η ενέργεια αυτή υπερβαίνει το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για την πλήρη φόρτιση της ( $C_{bat,max}$ ) τότε εμφανίζει περίσσεια ενέργεια.
  - Γίνεται έλεγχος αν η περίσσεια ενέργεια καλύπτει κάποιο από τα μετακινούμενα φορτία κατά την πρώτη ώρα λειτουργίας τους, οπότε όταν συμβεί αυτό εισέρχεται το φορτίο<sup>13</sup>.
- Όταν η παραγόμενη ενέργεια είναι μικρότερη από την απαιτούμενη, η μπαταρία προσφέρει την υπολειπόμενη και μειώνεται το επίπεδο φόρτισής τους  $C_{bat}(t)$ . Στην περίπτωση που η ενέργεια της μπαταρίας δεν επαρκεί για την πλήρη κάλυψη των φορτίων, τότε παρέχει το ποσό της ενέργειας μέχρι η φόρτισή τους να γίνει ελάχιστη,  $C_{bat}(t)=C_{bat,min}$ , και υπολογίζεται το φορτίο που δεν μπόρεσε να καλυφθεί (LPS).
- Στην περίπτωση της ισότητας της παραγόμενης ενέργειας και της απαιτούμενης η χωρητικότητα της μπαταρίας δεν μεταβάλλεται.
- Αν παρέλθουν οι ορισθέντες ώρες εντός των οποίων πρέπει να λειτουργήσουν οι συσκευές τότε εξαναγκάζονται να λειτουργήσουν.

✚ Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω διαδικασιών ο αλγόριθμος επαναυπολογίζει το LPSP από το οποίο εξάγεται και το καινούργιο ποσοστό κάλυψης.

---

<sup>13</sup> Το 2<sup>ο</sup> μετακινούμενο φορτίο ξεκινά όταν ολοκληρώσει τον κύκλο λειτουργίας το 1<sup>ο</sup> ακόμη και αν η περίσσεια ενέργεια επαρκεί και γι' αυτό.

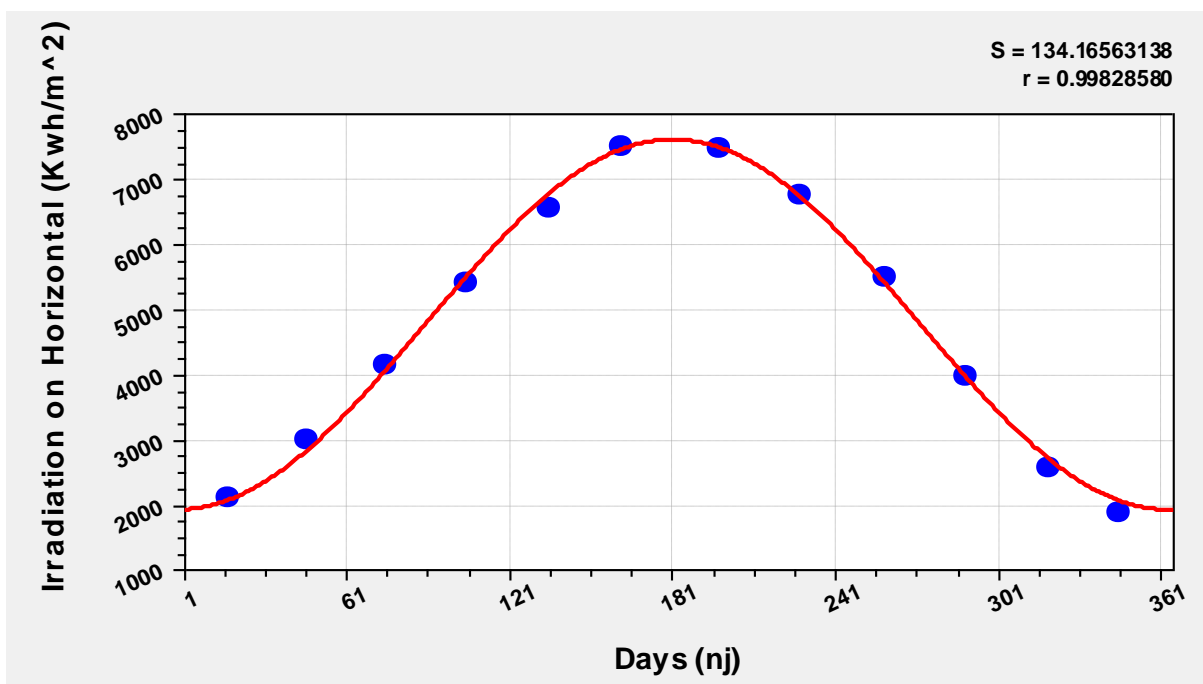
## 9. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν το μοντέλο πρόβλεψης της ημερήσιας ακτινοβολίας και τα δυο μοντέλα για τις ωριαίες τιμές της και τα αποτελέσματά τους παρουσιάζονται στη συνέχεια από τις δυο μετεωρολογικές βάσεις, SoDa και Meteonorm. Τα προφίλ φορτίων που δημιουργήθηκαν για τα δυο σενάρια σε ημερήσια, εβδομαδιαία και ετήσια βάση, με ωριαία διαστήματα προσομοίωσης, αναλύονται καθώς και η επίδραση των διαφορετικών σεναρίων στην καμπύλη των φορτίων και η συμβολή των μετακινούμενων φορτίων στην αύξηση των μεγίστων τιμών των καταναλώσεων.

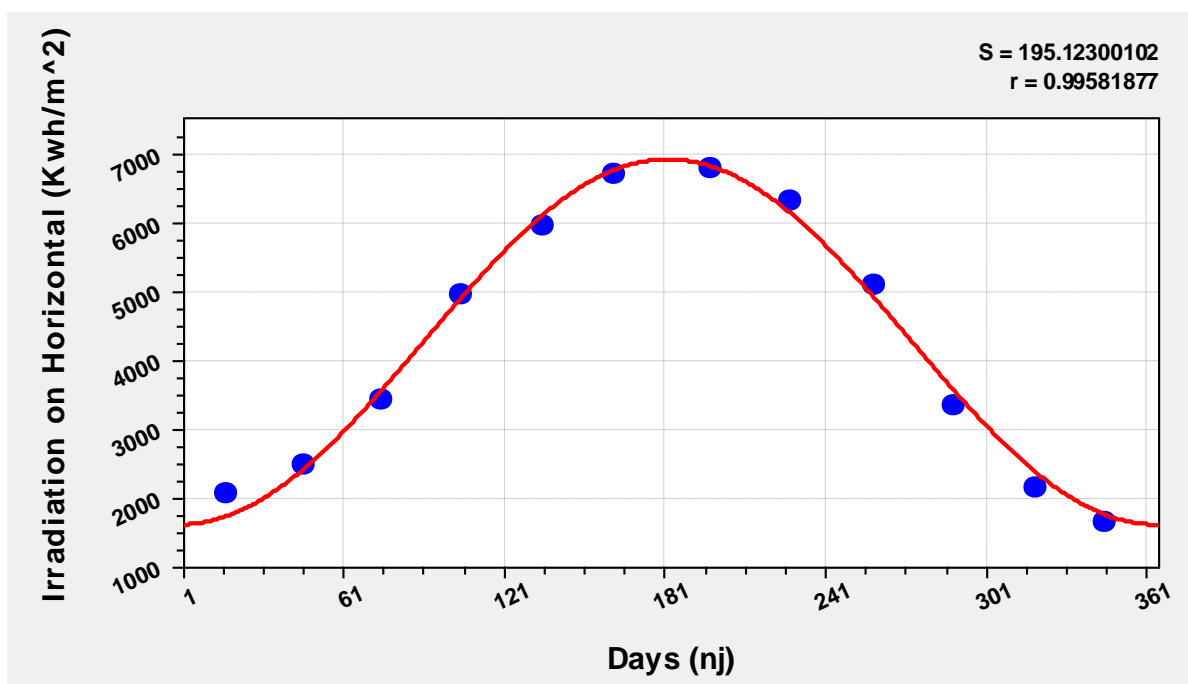
Τα παραγόμενα συστήματα που προέκυψαν από την συνδεσμολογία της εικόνας 8.1 παρουσιάζονται και αξιολογούνται από τεχνικής και οικονομικής πλευράς, λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα απώλειας φορτίου. Για την σύγκριση αυτή παράγονται τρία διαφορετικά συστήματα ένα που αποτελείται μόνο από φωτοβολταϊκή γεννήτρια, ένα από ανεμογεννήτριες και τέλος το υβριδικό, που περιλαμβάνει φωτοβολταϊκή και αιολική γεννήτρια. Η επίδραση των ηλιακών δεδομένων και των καμπυλών φορτίου στα παραγόμενα υβριδικά συστήματα εξετάζονται ακόλουθα. Τα αποτελέσματα από την μετατόπιση των παραγόμενων φορτίων ελέγχονται και αξιολογούνται έχοντας ως κριτήριο για τον έλεγχο τους την αξιοπιστία του συστήματος

### 9.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Χρησιμοποιώντας τις μέσες ημερήσιες τιμές των δεδομένων της ακτινοβολίας από τις βάσεις των Meteonorm και SoDa δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχες καμπύλες προσαρμογής τους με την χρήση της εξίσωσης του μοντέλου πρόβλεψης του S. Karlanı (εξίσωση 3.4). Η προσαρμογή των δεδομένων και στις δυο περιπτώσεις έγινε με υψηλό συντελεστή συσχέτισης  $r$ , της τάξεως του 0.9982 για τα δεδομένα της SoDa και 0.9958 για του Meteonorm. Οι καμπύλες προσαρμογής φαίνονται στα διαγράμματα 9.1 (SoDa) και 9.2 (Meteonorm).



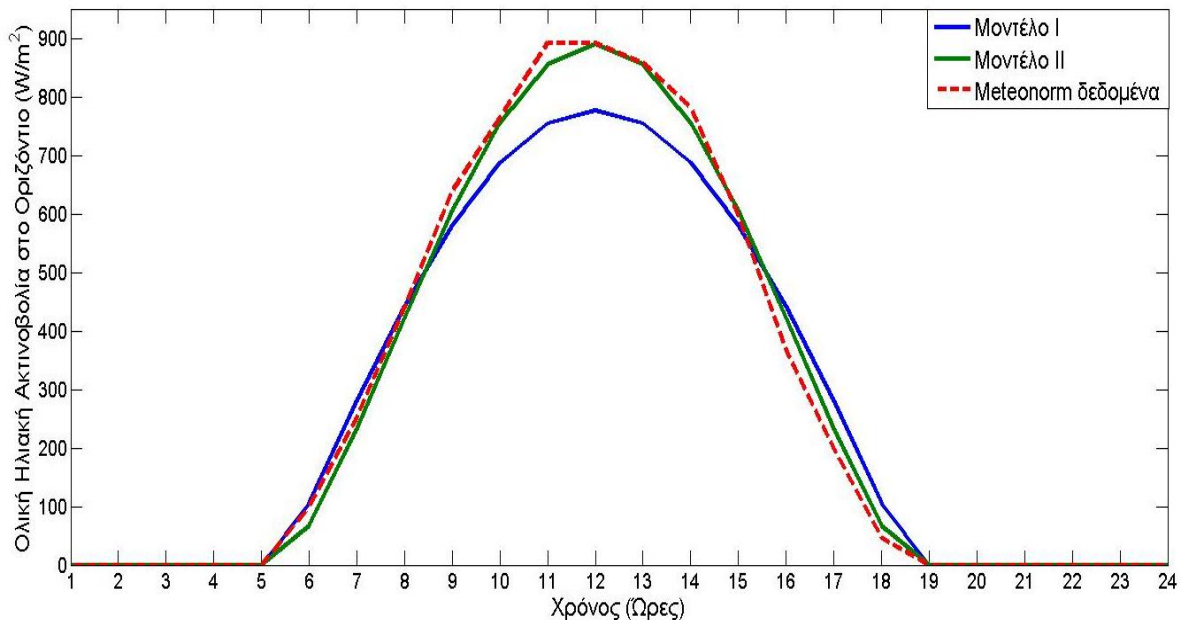
**Διάγραμμα 9. 1** Καμπύλη προσαρμογής του μοντέλου για την ημερήσια ακτινοβολία του S. Karplani με τα δεδομένα της SoDa.



**Διάγραμμα 9. 2** Καμπύλη προσαρμογής του μοντέλου για την ημερήσια ακτινοβολία του S. Karplani με τα δεδομένα του Meteororm.

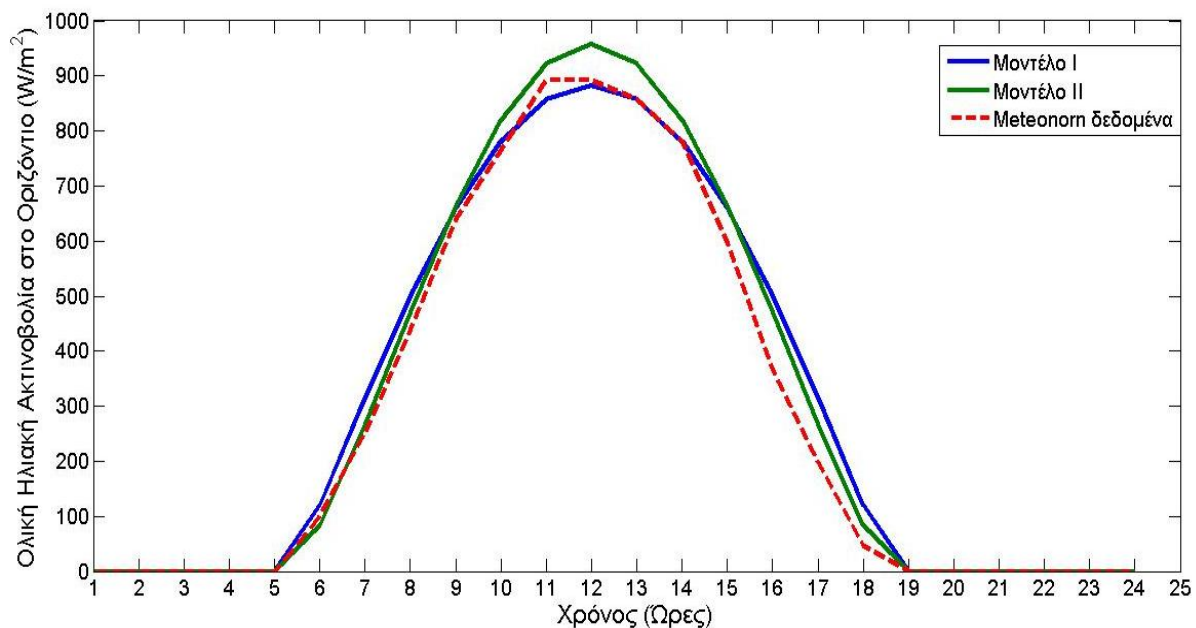
Οι παράμετροι A, B και C που υπολογίστηκαν βρέθηκαν ίσοι με  $A=4779$ ,  $B=2841$ ,  $C=2328$  για την περίπτωση της SoDa, ενώ για την βάση δεδομένων του Meteororm ήταν ίσες με  $A=4272$ ,  $B=2641$ ,  $C=2202$ .

Στη συνέχεια γίνεται μια σύγκριση των αποτελεσμάτων που έδωσαν τα δυο μοντέλα πρόβλεψης (εξίσωση 3.11 και 3.12) της ωριαίας ακτινοβολίας με τα ωριαία δεδομένα της βάσης του Meteororm. Για την SoDa δεν χρησιμοποιήθηκαν ωριαία δεδομένα για να συγκριθούν τα αποτελέσματά τους και η σύγκριση γίνεται με τα αντίστοιχα ωριαία δεδομένα του Meteororm.



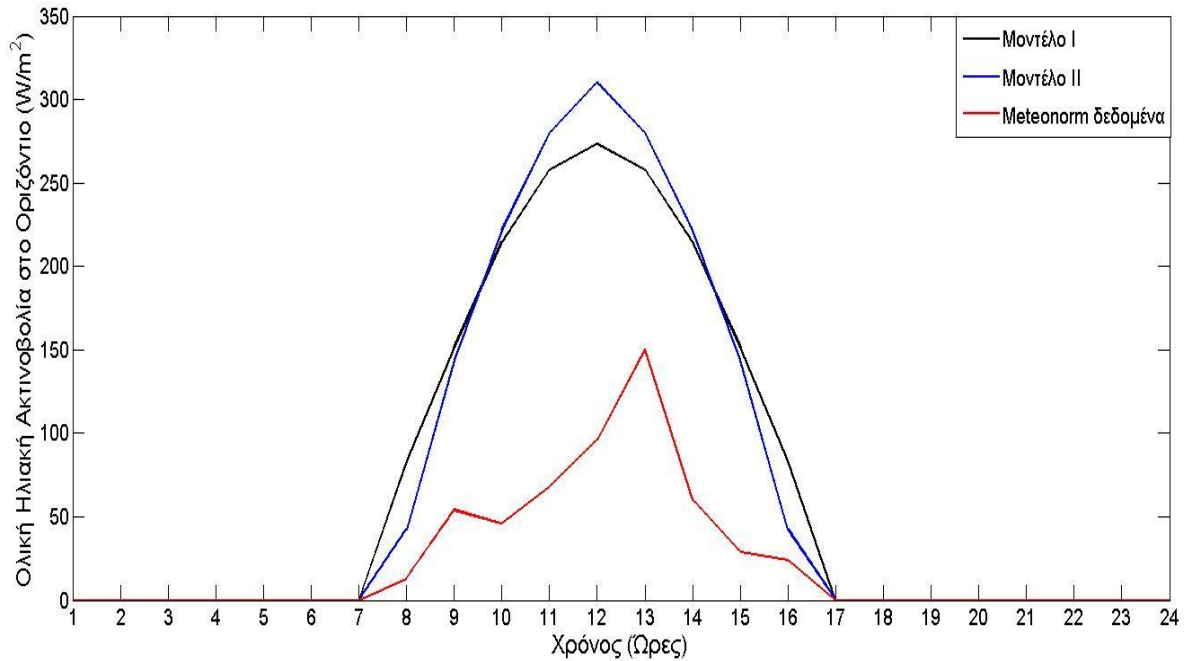
**Διάγραμμα 9. 3** Ολική ωριαία ηλιακή ακτινοβολία για τα δεδομένα του Meteororm για την 1<sup>η</sup> Ιουνίου με τα δυο μοντέλα πρόβλεψης.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 9.3, στο οποίο απεικονίζεται η μεταβολή της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας για την 1<sup>η</sup> Ιουνίου, το μοντέλο I εμφανίζει κάποιες αδυναμίες κατά τις μεσημβρινές ώρες, όπου οι τιμές είναι μειωμένες σε σύγκριση με τις τιμές που ελήφθησαν από την βάση, και στις ώρες ανατολής και δύσης όπου οι τιμές εμφανίζονται υπερεκτιμημένες. Το μοντέλο II εμφανίζει σχεδόν άριστη προσαρμογή με αυτά της βάσης δεδομένων κατά την διάρκεια όλης της μέρας.



**Διάγραμμα 9. 4** Ολική ωριαία ηλιακή ακτινοβολία για τα δεδομένα του Meteornorm για την 1<sup>η</sup> Ιουνίου και σύγκριση των ωριαίων τιμών των δεδομένων της SoDa, όπως αυτές παρήχθησαν από τις μέσες ημερήσιες τιμές με τα δυο μοντέλα της πρόβλεψης.

Στο διάγραμμα 9.4, αναπαρίστανται τα ωριαία δεδομένα όπως δημιουργήθηκαν, από τις μέσες ημερήσιες μηνιαίες τιμές τους, από τη βάση δεδομένων του SoDa με τα δυο μοντέλα πρόβλεψης της ωριαίας ακτινοβολίας και τα ωριαία δεδομένα του Meteornorm. Στην περίπτωση αυτή τα ωριαία αποτελέσματα των μοντέλων πρόβλεψης είναι υψηλότερα και αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι τα ημερήσια δεδομένα του SoDa ήταν υψηλότερα κατά 10.95%. Έτσι, όπως και στην περίπτωση των αποτελεσμάτων που παρήχθησαν με τα δεδομένα του Meteornorm, το μοντέλο I εμφανίζει χαμηλότερες τιμές της ακτινοβολίας κατά το ηλιακό μεσημέρι και υψηλότερες κατά την ανατολή και την δύση, σε αντίθεση με το μοντέλο II.



**Διάγραμμα 9. 5** Ολική ωριαία ηλιακή ακτινοβολία για τα δεδομένα του Meteorolog για την 7<sup>η</sup> Ιανουαρίου με τα δυο μοντέλα πρόβλεψης.

Στο διάγραμμα 9.5, εξετάζεται η περίπτωση των δεδομένων για την 7<sup>η</sup> Ιανουαρίου. Όπως φαίνεται, η μεταβολή της ακτινοβολίας εκείνη την ημέρα παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις, ενώ και τα δυο μοντέλα παρεκκλίνουν από τις ληφθείσες τιμές και εμφανίζουν αυξημένη ακτινοβολία για εκείνη την μέρα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μοντέλα πρόβλεψης δίνουν την μέση ωριαία αναμενόμενη τιμή της ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατο να αποτυπώσουν κάποιες περιστασιακές έντονες διακυμάνσεις που μπορεί να εμφανιστούν κατά την διάρκεια κάποιων ημερών του έτους και ειδικότερα κατά τους χειμερινούς μήνες.

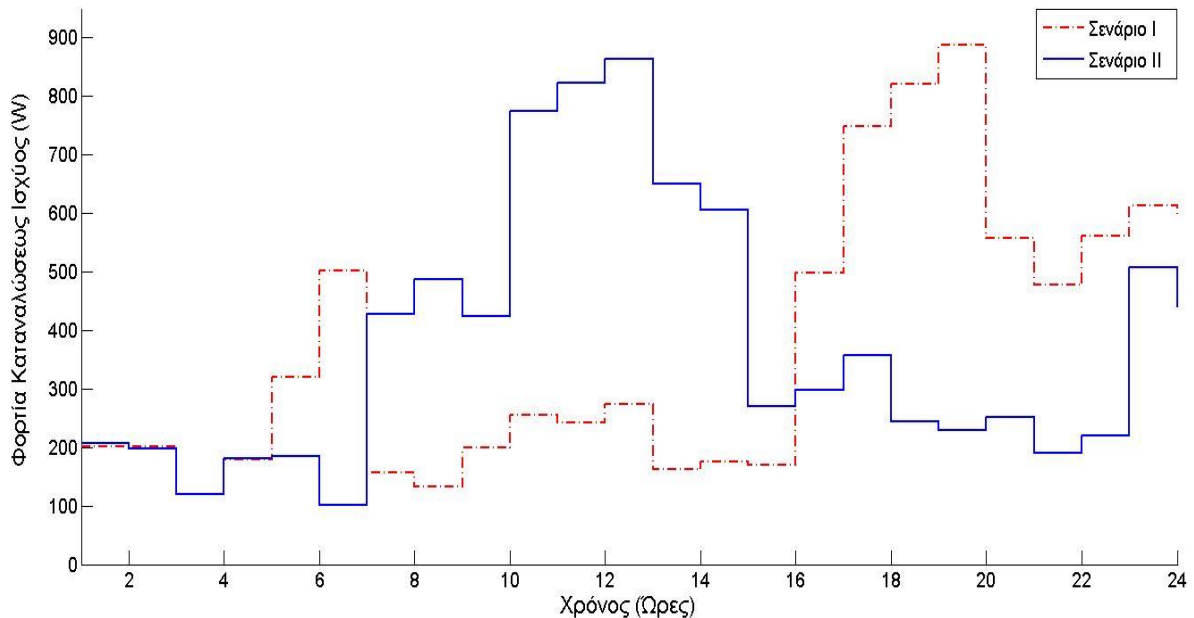
Όπως φαίνεται από τα παραπάνω αποτελέσματα τα μοντέλα προσαρμόζονται ιδανικά σε κάποιες περιπτώσεις, αλλά όμως εμφανίζουν πρόβλημα για κάποιες ημέρες του έτους στις οποίες οι συνθήκες που επικρατούν διαφέρουν από τις μέσες τιμές τους αισθητά.

## 9.2. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

Από τα δυο σενάρια τα προφίλ κατανάλωσης που δημιουργήθηκαν λαμβάνονται οι μέσες ωριαίες ημερήσιες τιμές για όλες τις ημέρες του έτους και απεικονίζονται στο διάγραμμα 9.6, των οποίων η ημερήσια ζήτηση φορτίου είναι 9,05kWh και στις δυο περιπτώσεις. Στο σενάριο I εμφανίζονται ελαφρώς αυξημένες τιμές κατανάλωσης κατά τις πρωινές ώρες 5-7, όπου είναι οι ώρες προετοιμασίας του πρωινού πριν την αναχώρηση των κατοίκων. Μετά κατά τις

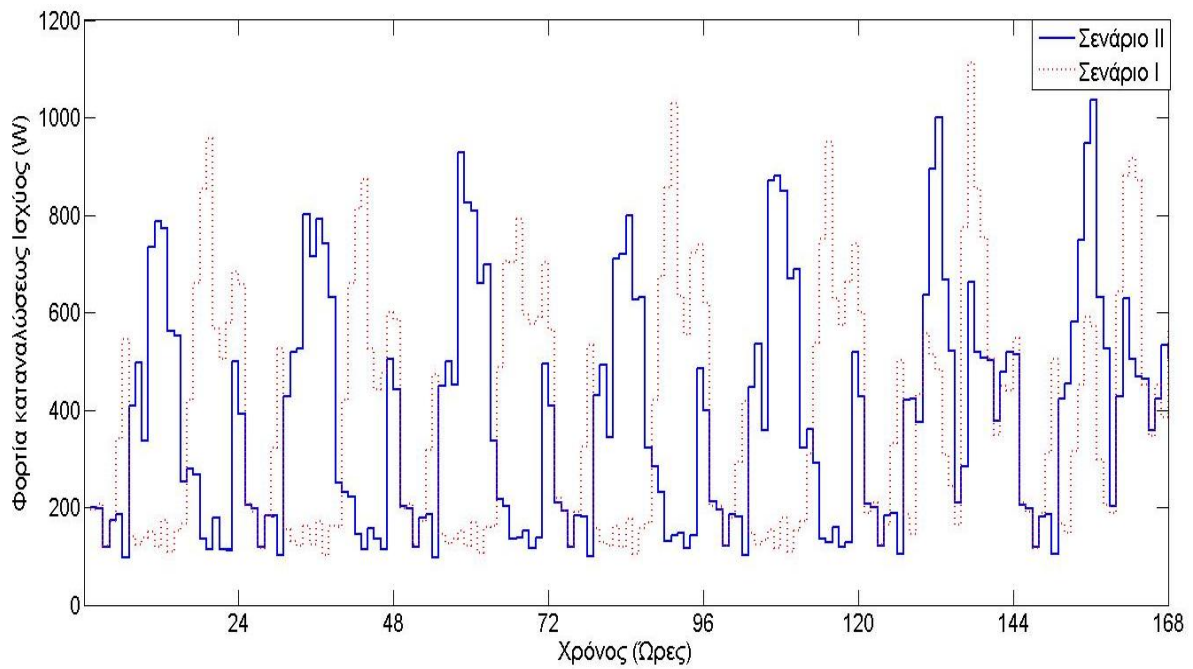


βραδινές ώρες από τις 16:00 μέχρι και τις 00:00 εμφανίζονται οι υψηλότερες τιμές της ημέρας όπου εντοπίζονται όλες οι δραστηριότητες στην οικία. Αντιθέτως για το σενάριο II η χρήση των ηλεκτρικών συσκευών έχει μεταφερθεί στις ώρες 07:00-15:00 οπότε και εμφανίζεται αυξημένη κατανάλωση. Υψηλή κατανάλωση εμφανίζεται ξανά στις 23:00, όπου γίνεται χρήση κάποιων πολυμέσων ή και να παρασκευαστεί κάποιο γρήγορο γεύμα.

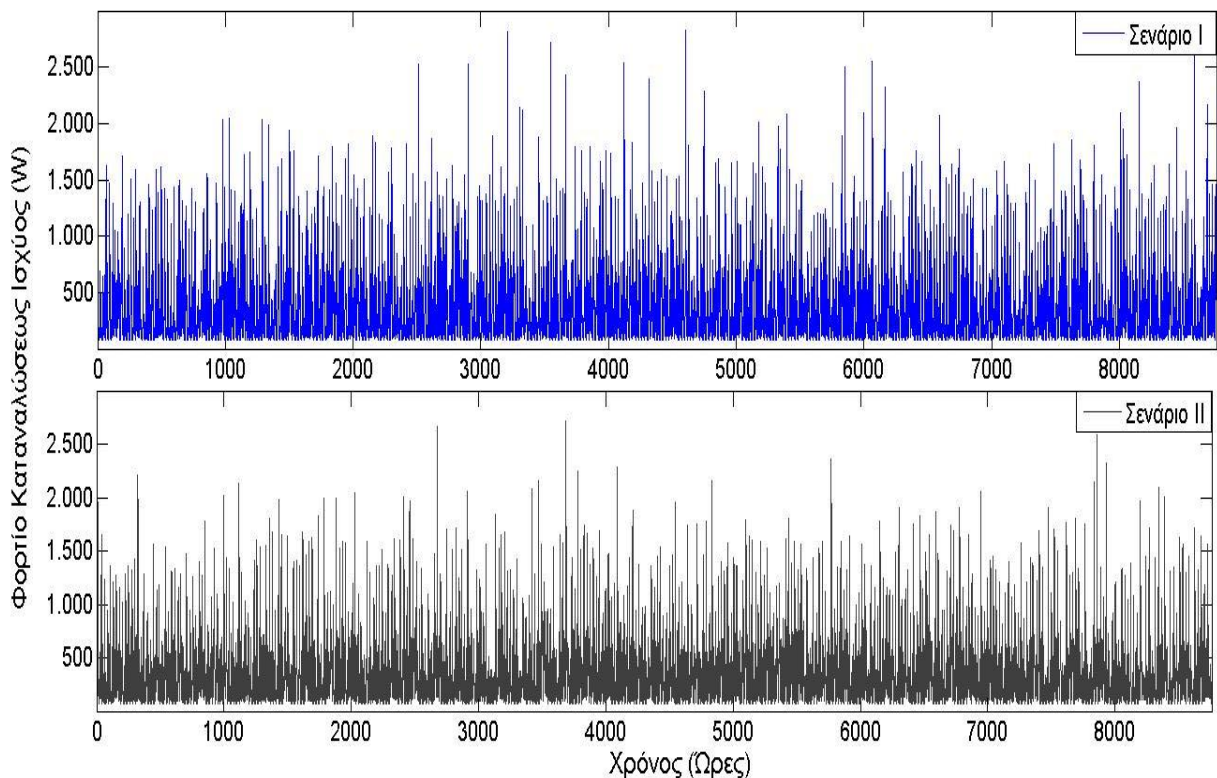


**Διάγραμμα 9. 6** Μέση ωριαία ημερήσια διακύμανση των δυο προφίλ κατανάλωσης.

Στο διάγραμμα 9.7 παρουσιάζονται τα 2 μέσα ωριαία εβδομαδιαία σενάρια για ολόκληρο το έτος, με σταθερή εβδομαδιαία κατανάλωση ίση με 63,35kWh. Για κάθε ένα είναι φανερή η διακύμανση των φορτίων στην διάρκεια των ημερών της εβδομάδας εξαιτίας του τυχαίου τρόπου με τον οποίο εμφανίζονται κάποια φορτία. Η παρουσία υψηλών καταναλώσεων κάποιες ημέρες την εβδομάδα και σε συγκεκριμένο εύρος ωρών οφείλεται και στην είσοδο των μετακινούμενων συσκευών, που στην περίπτωση του σεναρίου I είναι τις βραδινές ώρες, ενώ για το II τις πρωινές. Το Σαββατοκύριακο, το διάστημα όπου έχουμε υψηλότερα φορτία είναι παραπλήσιο, με μόνη διαφορά ότι τα υψηλότερα φορτία εμφανίζονται με λίγες ώρες διαφοράς.



**Διάγραμμα 9. 7** Μέση ωριαία ημερήσια διακύμανση για κάθε ημέρα της μέσης εβδομάδας του έτους για τα σενάρια I, II που εξετάζονται.



**Διάγραμμα 9. 8** Ωριαία διακύμανση των φορτίων για τα σενάρια I, II για όλο το έτος.

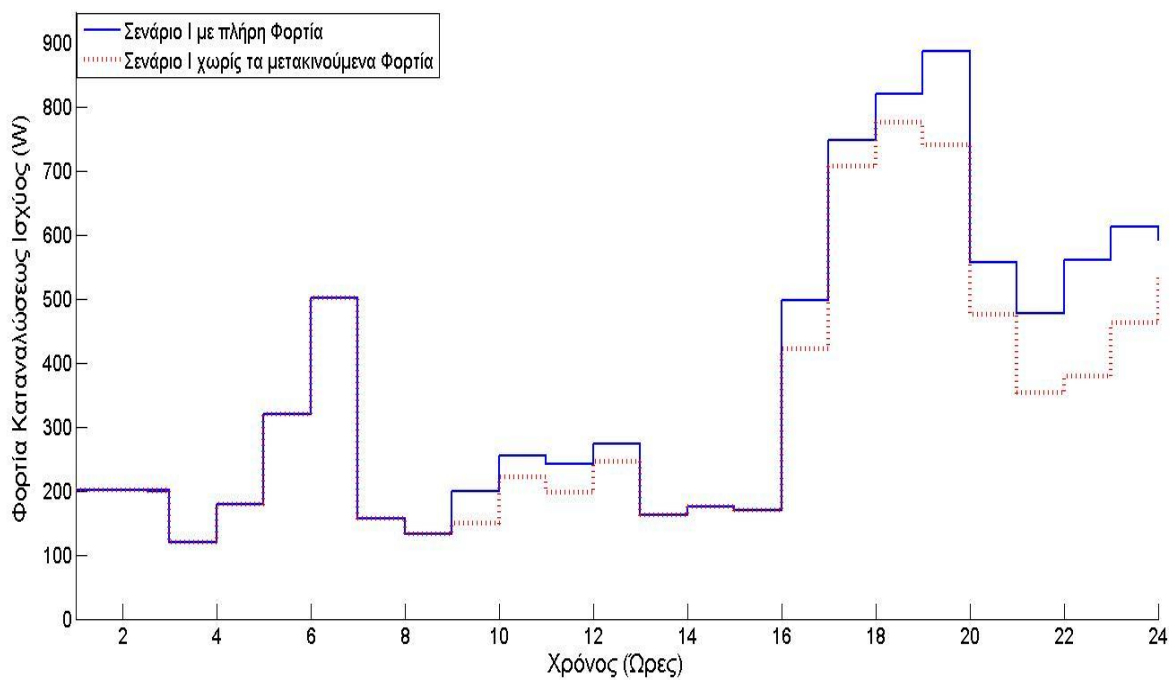
Η ωριαία διακύμανση των φορτίων στην διάρκεια όλου του έτους φαίνεται στο διάγραμμα 9.8, όπου τα φορτία κατανάλωσης μεταβάλλονται ανά ώρα και μπορεί να είναι διαφορετικά για την ίδια ώρα κάθε ημέρας του έτους.

Στο σενάριο I παράγονται πιο πολλές υψηλές ωριαίες καταναλώσεις σε σύγκριση με το σενάριο II, ενώ και στις δυο περιπτώσεις οι ανώτερες τιμές που λαμβάνουν τα φορτία είναι λίγο παραπάνω από τις 2.5kWh. Εδώ η διακύμανση των φορτίων ανά ημέρα μπορεί να είναι από 4 kWh έως και 14 kWh.

### 9.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΤΑ ΜΕΤΑΚΙΝΟΥΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ

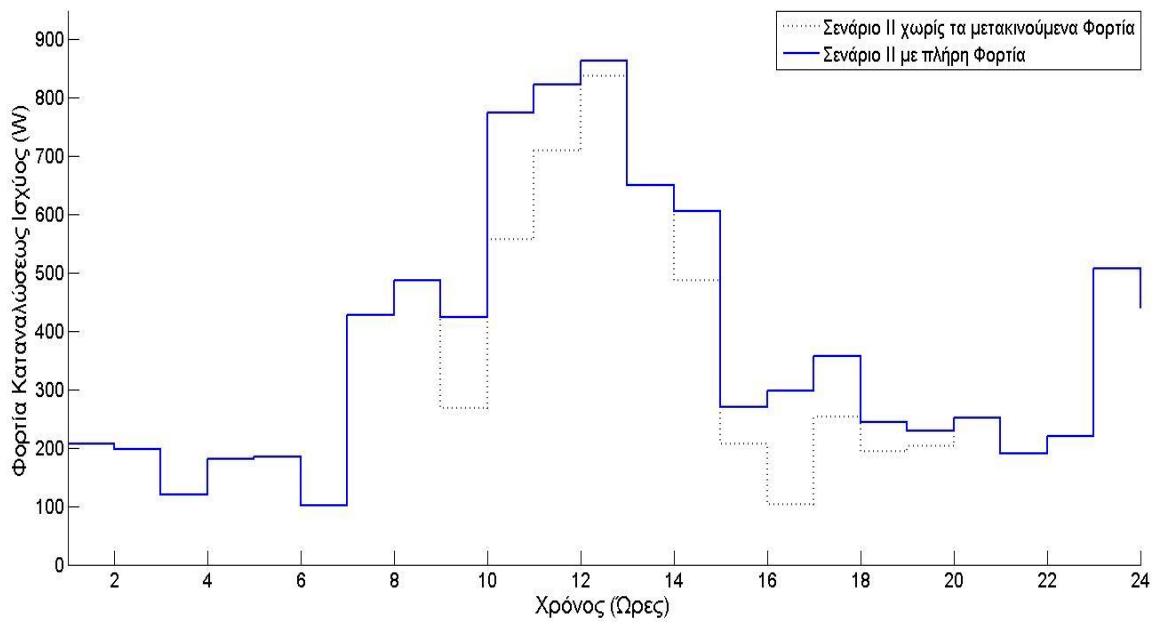
Στην ενότητα αυτή σκοπός είναι να εκτιμηθεί η επίδραση των μετακινούμενων φορτίων σε σύγκριση με το συνολικό μέσο ημερήσιο, το μέσο εβδομαδιαίο καθώς και το ωριαίο φορτίο για όλο το έτος, για τα δυο σενάρια που ελήφθησαν.

Στο διάγραμμα της καμπύλης φορτίου για την περίοδο του 24ώρου, σενάριο I, με μπλε γραμμή απεικονίζεται η καμπύλη των μέσων ωριαίων φορτίων με όλα τα φορτία και με την διακεκομμένη γραμμή χωρίς τα μετακινούμενα φορτία, όπου διακρίνεται η μείωση των φορτίων αιχμής στην δεύτερη περίπτωση. Έτσι, τις απογευματινές και βραδινές ώρες βλέπουμε πτώσεις στην ζήτηση ακόμη και πάνω από 100Wh.(διάγραμμα 9.9)

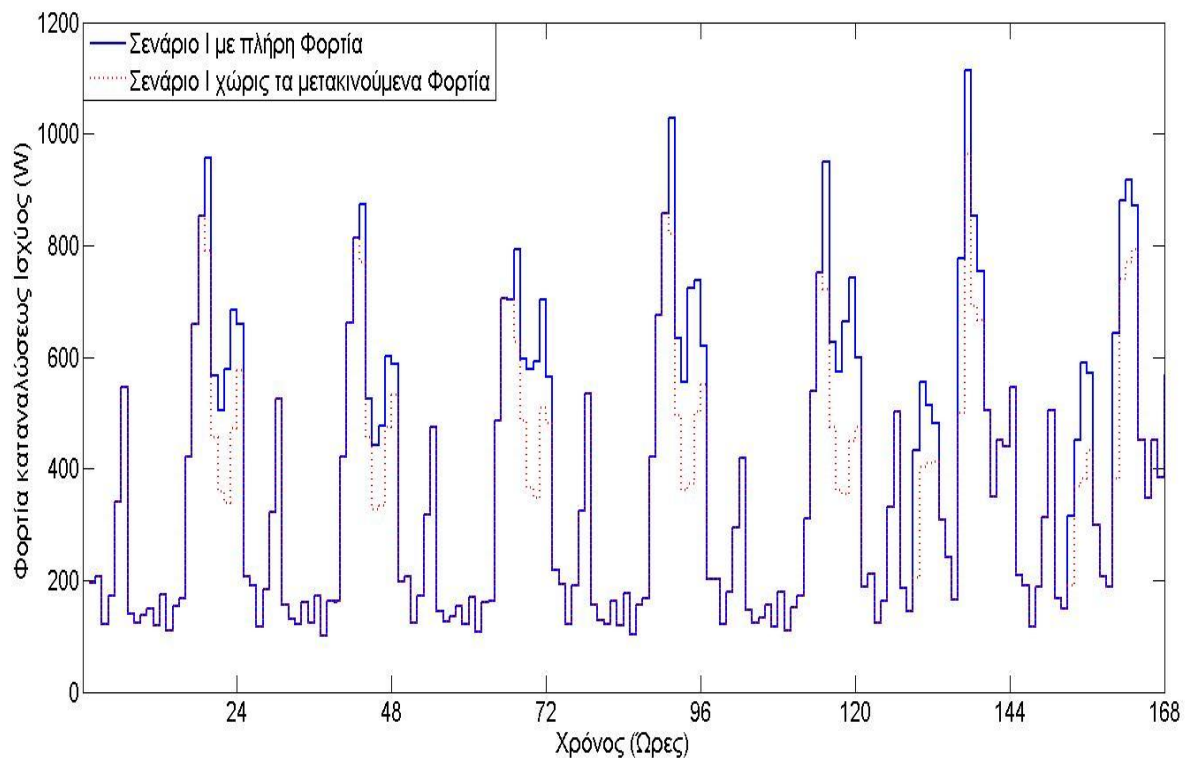


**Διάγραμμα 9. 9** Καμπύλη φορτίων για το σενάριο I, με και χωρίς τα μετακινούμενα φορτία για όλες τις ώρες της μέσης ημέρας του έτους.

Αντίστοιχα στο σενάριο II (διάγραμμα 9.10), η ελάττωση της ζήτησης φορτίων παρουσιάζεται κατά βάση τις πρωινές και μεσημβρινές ώρες, ενώ τις βραδινές μετά τις 22:00 δεν εμφανίζεται καμία μεταβολή. Αυτό οφείλεται και στο γεγονός ότι τότε εξυπηρετούνται βασικές ανάγκες μη μετακινούμενες.



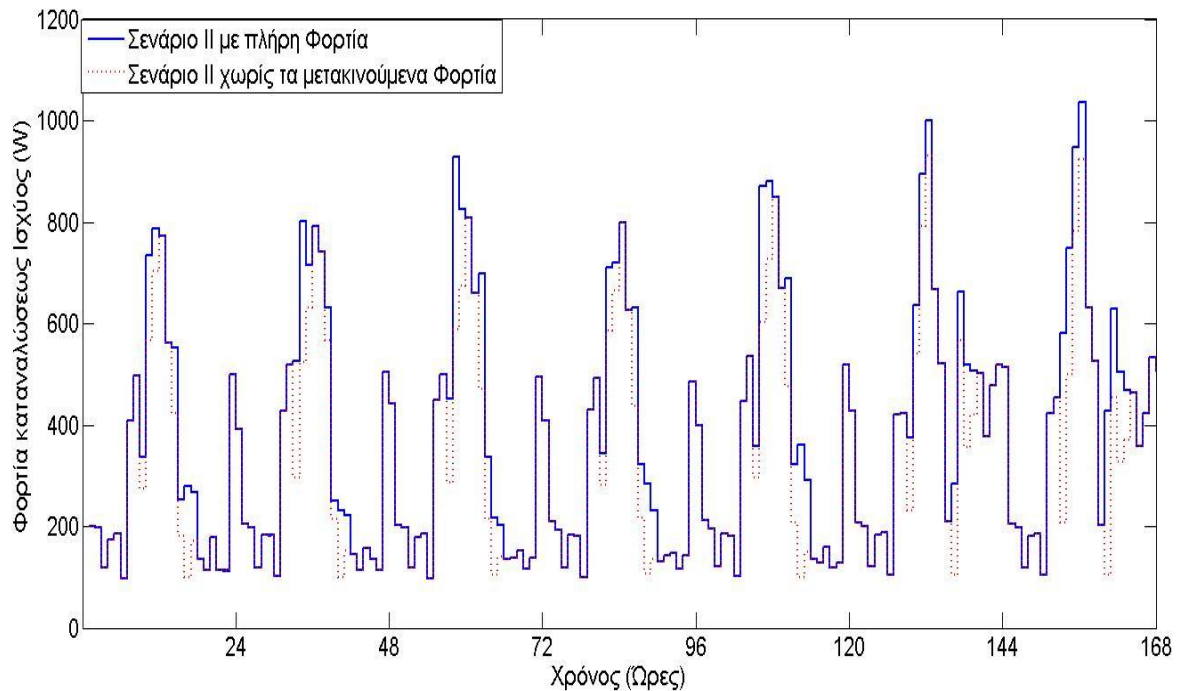
**Διάγραμμα 9. 10** Καμπύλη φορτίων για το σενάριο II, με και χωρίς τα μετακινούμενα φορτία για όλες τις ώρες της μέσης ημέρας του έτους.



**Διάγραμμα 9. 11** Καμπύλη φορτίου για τις μέσες ωριαίες τιμές για την μέση εβδομάδα του έτους, με και χωρίς τα μετακινούμενα φορτία (σενάριο I)

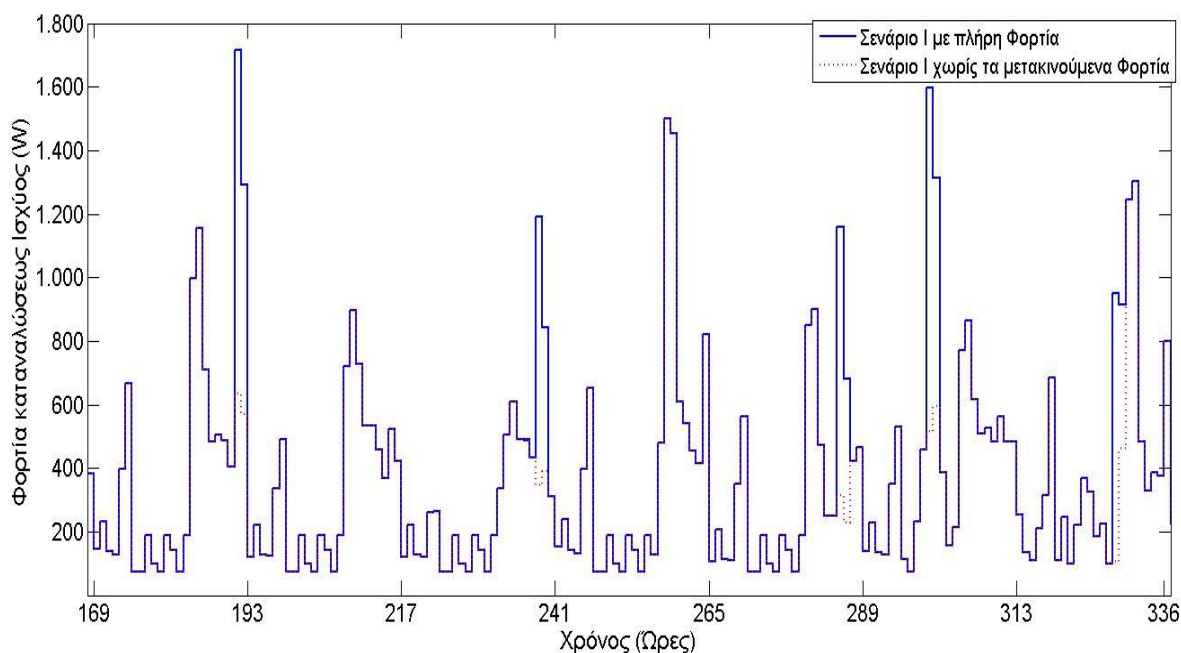
Στα διαγράμματα 9.11 & 9.12, αναπαρίστανται οι καμπύλες των φορτίων για τις μέσες ωριαίες τιμές τους ανά ημέρα, για την μέση εβδομάδα του έτους. Βλέπουμε λοιπόν ότι και στα δυο σενάρια τα φορτία αιχμής εμφανίζονται αρκετές φορές να έχουν περιοριστεί. Γενικά, καθίσταται εμφανές από τα

διαγράμματα αυτά πως οι δυο συσκευές (πλυντήριο ρούχων και πλυντήριο πιάτων), θα μπορούσαν να αποφορτίσουν το δίκτυο της οικίας, αν μπορούσαν να τεθούν σε λειτουργία άλλες χρονικές στιγμές, όπου έχουμε χαμηλότερα φορτία και έτσι να διευκολύνουν το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να συνεισφέρει χωρίς να ωθείται σε αύξηση του μεγέθους του ή μια πιθανή απώλεια φορτίου.



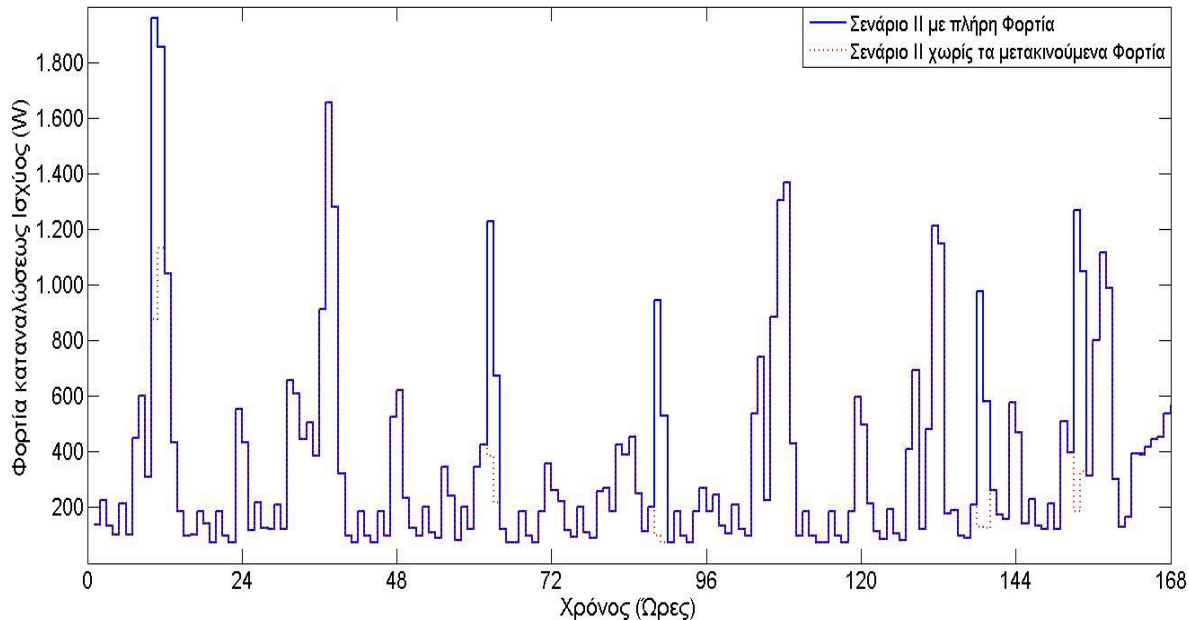
**Διάγραμμα 9. 12** Καμπύλη φορτίου για τις μέσες ωριαίες τιμές για την μέση εβδομάδα του έτους, με και χωρίς τα μετακινούμενα φορτία (σενάριο II)

Στο διάγραμμα 9.13 αναπαρίσταται η ωριαία κατανάλωση φορτίου, για μια τυχαία εβδομάδα του έτους, όπως αυτό δημιουργήθηκε για το σενάριο I. Σε αυτό διακρίνονται οι περιπτώσεις με και χωρίς τα μετακινούμενα φορτία. Για την πρώτη, μπλε γραμμή, κάποιες ώρες τις εβδομάδας εμφανίζονται τιμές φορτίων πολύ υψηλότερες από ότι στην περίπτωση χωρίς τα μετακινούμενα φορτία. Έτσι, διακρίνονται χαρακτηριστικά οι ώρες 191-192(22:00-23:00) όπου εμφανίζονται φορτία αυξημένα κατά 1.08kWh και 0,72kWh αντίστοιχα.



**Διάγραμμα 9. 13** Καμπύλη φορτίου για τις ωριαίες τιμές του έτους, με και χωρίς τα μετακινούμενα φορτία (σενάριο I), για μια χαρακτηριστική εβδομάδα.

Στο διάγραμμα 9.14 αναπαρίσταται η ωριαία κατανάλωση φορτίου, για το σενάριο II. Και εδώ βλέπουμε τις έντονες διακυμάνσεις, που οφείλονται στην είσοδο των μετακινούμενων συσκευών.



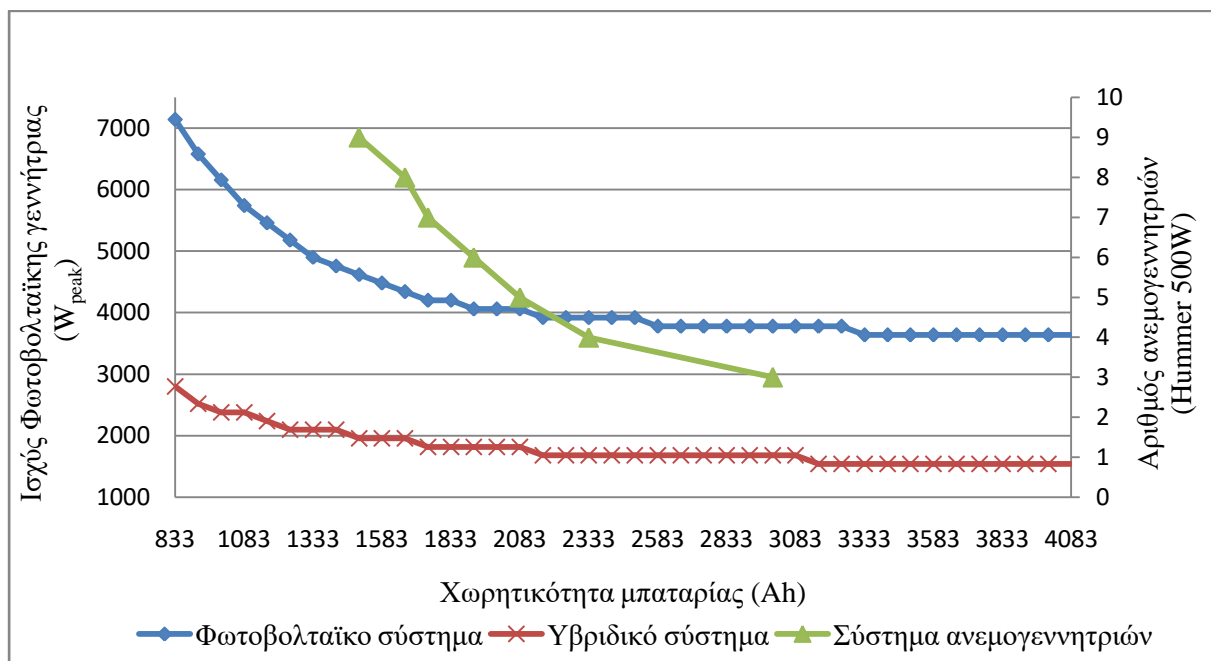
**Διάγραμμα 9. 14** Καμπύλη φορτίου για τις ωριαίες τιμές του έτους, με και χωρίς τα μετακινούμενα φορτία (σενάριο II), για μια χαρακτηριστική εβδομάδα.

Η τιμή της μέγιστης ζήτησης φορτίου επηρεάζεται έντονα από την λειτουργία των μετακινούμενων φορτίων, όπου σε κάποιες περιπτώσεις βλέπουμε να εμφανίζονται τιμές σχεδόν ή και παραπάνω από διπλάσιες της ζήτησης με την λειτουργία αυτών.

## 9.4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ

Η αξιολόγηση του καταλληλότερου συνδυασμού των γεννητριών που θα χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου είναι απαραίτητη. Γι' αυτό στην ενότητα αυτή έγινε εκτίμηση των γεννητριών που παράγονται για τρία διαφορετικά συστήματα, μόνο Φ/Β ή μόνο Α/Γ ή υβριδικό σύστημα με Φ/Β και Α/Γ με την χρήση μπαταριών ως αποθηκευτικό μέσο, και οικονομική ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Για τα παραγόμενα συστήματα χρησιμοποιήθηκαν Φ/Β πλαίσια ονομαστικής ισχύος 140W πολυκρυσταλλικού πυριτίου, Α/Γ ισχύος 500W (Hummer) και μπαταρίες τύπου AGM μολύβδου οξέως με βάθος εκφόρτισης 80%. Για το υβριδικό σύστημα χρησιμοποιήθηκε μια Α/Γ. Το προφίλ που χρησιμοποιήθηκε είναι το μέσο ωριαίο ημερήσιο, για όλο το έτος σταθερό, με το σενάριο Ι και για πιθανότητα απώλειας ισχύος ίση με 5% (LPSP).

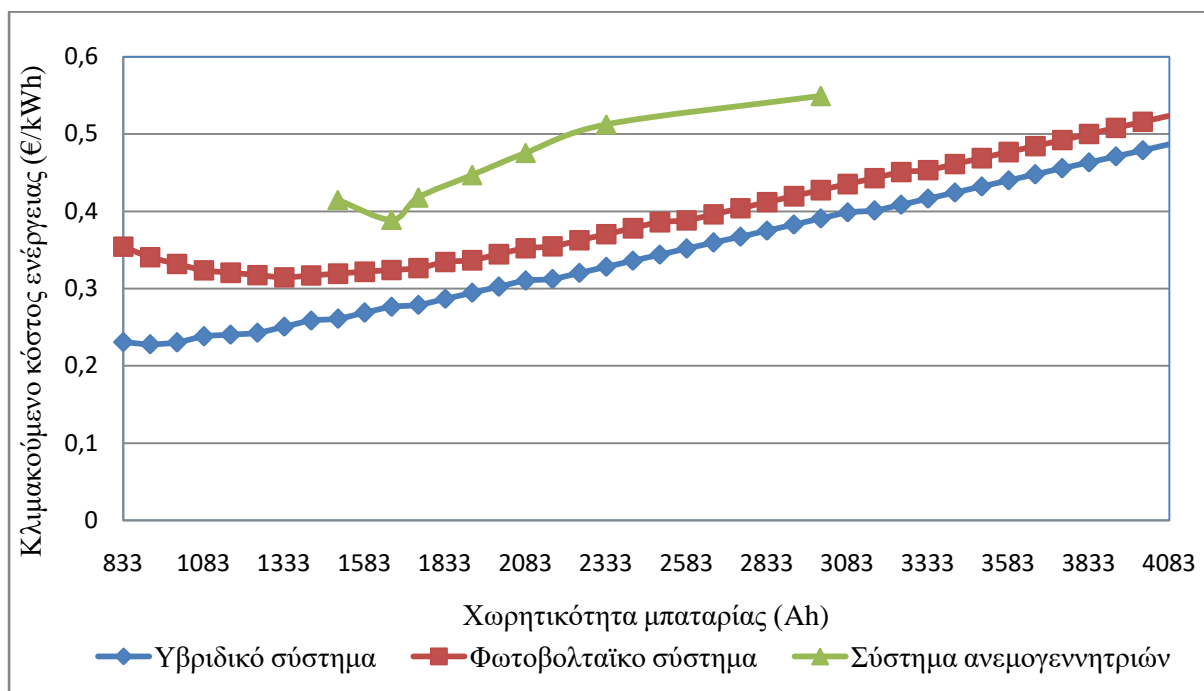


**Διάγραμμα 9. 15** Παραγόμενες γεννήτριες για τις τρεις περιπτώσεις μόνο Φ/Β, μόνο Α/Γ και υβριδικό αποτελούμενο από τα δυο προηγούμενα για διάφορες χωρητικότητες μπαταριών.

Στο διάγραμμα 9.15 απεικονίζονται οι γεννήτριες που προέκυψαν κατά περίπτωση. Στο σύστημα που περιέχει μόνο Α/Γ, για Α/Γ λιγότερες από τρεις το σύστημα δεν κατάφερε να καλύψει τα φορτία με το ποσοστό κάλυψης που είχε ορισθεί και ο ανώτερος αριθμός Α/Γ που ελέγχθηκε ήταν 9. Για τις περιπτώσεις με 3 και 4 Α/Γ οι μπαταρίες που υπολογίστηκαν διαφέρουν κατά 22.2%, με τις 4

A/Γ να χρειάζεται μικρότερη χωρητικότητα μπαταριών. Το σύστημα που αποτελείται μόνο από Φ/Β παρουσιάζεται συνεχώς με υψηλότερη γεννήτρια συγκρινόμενο με το υβριδικό σύστημα. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη της A/Γ η οποία υποστηρίζει το σύστημα και τις ώρες που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Έτσι, στην αρχική χωρητικότητα των μπαταριών (833Ah) η μεταξύ τους διαφορά είναι περίπου 60% μικρότερη γεννήτρια φωτοβολταϊκών για το υβριδικό σύστημα και παραμένει σε κοντινά ποσοστά προς αυτό μέχρι την μέγιστη τιμή της χωρητικότητας των μπαταριών.

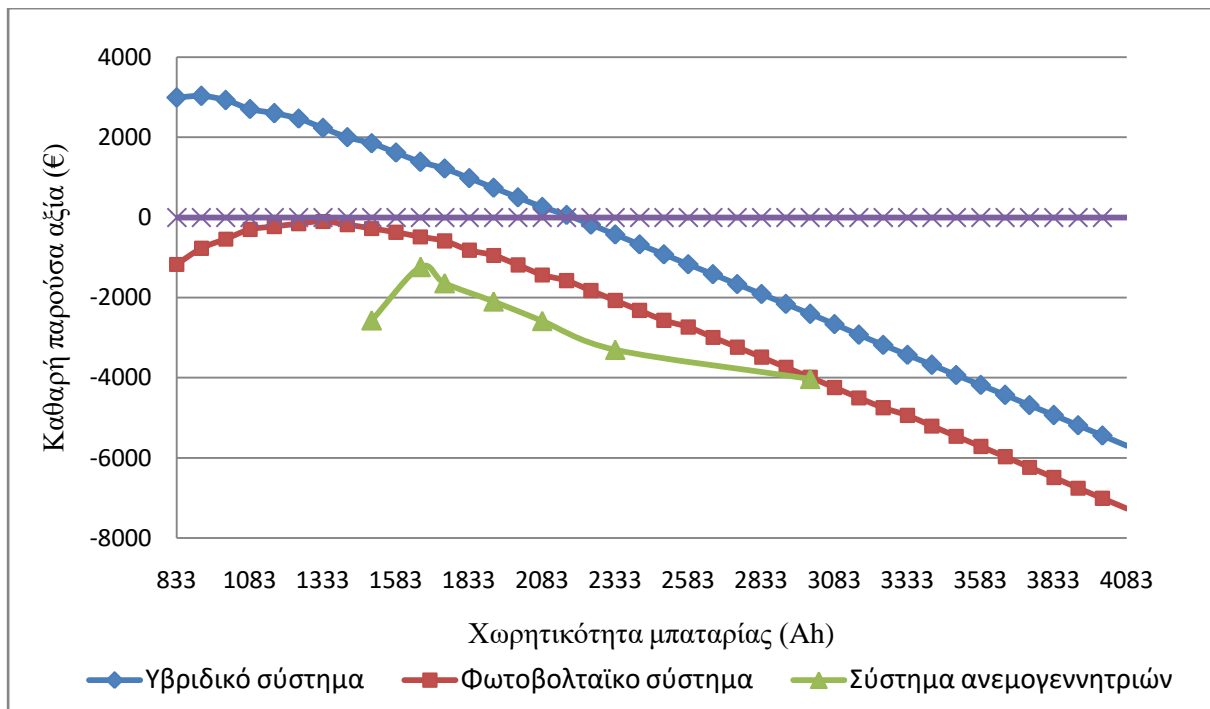
Στα επόμενα διαγράμματα 9.16 & 9.17 παρουσιάζονται τα οικονομικά στοιχεία των συστημάτων που προέκυψαν.



**Διάγραμμα 9. 16** Κλιμακούμενο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για τα τρία συστήματα από ΑΠΕ.

Από την μελέτη των διαγραμμάτων (9.16 & 9.17) για το LCE και NPV παρατηρούμε ότι το υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας είναι η αποδοτικότερη λύση. Στη συνέχεια με τις πιο κοντινές τιμές LCE εμφανίζεται το σύστημα μόνο με τα Φ/Β, ενώ αυτό με τις A/Γ δίνει αρκετά υψηλότερες τιμές και από τα δυο προηγούμενα. Όσον αφορά το NPV, το υβριδικό παρουσιάζεται ως το μόνο βιώσιμο σύστημα, για το οποίο υπολογίστηκε για σχεδόν το 30% των συστημάτων να είναι επικερδές.





Διάγραμμα 9. 17 Καθαρή παρούσα αξία για τα τρία συστήματα από ΑΠΕ.

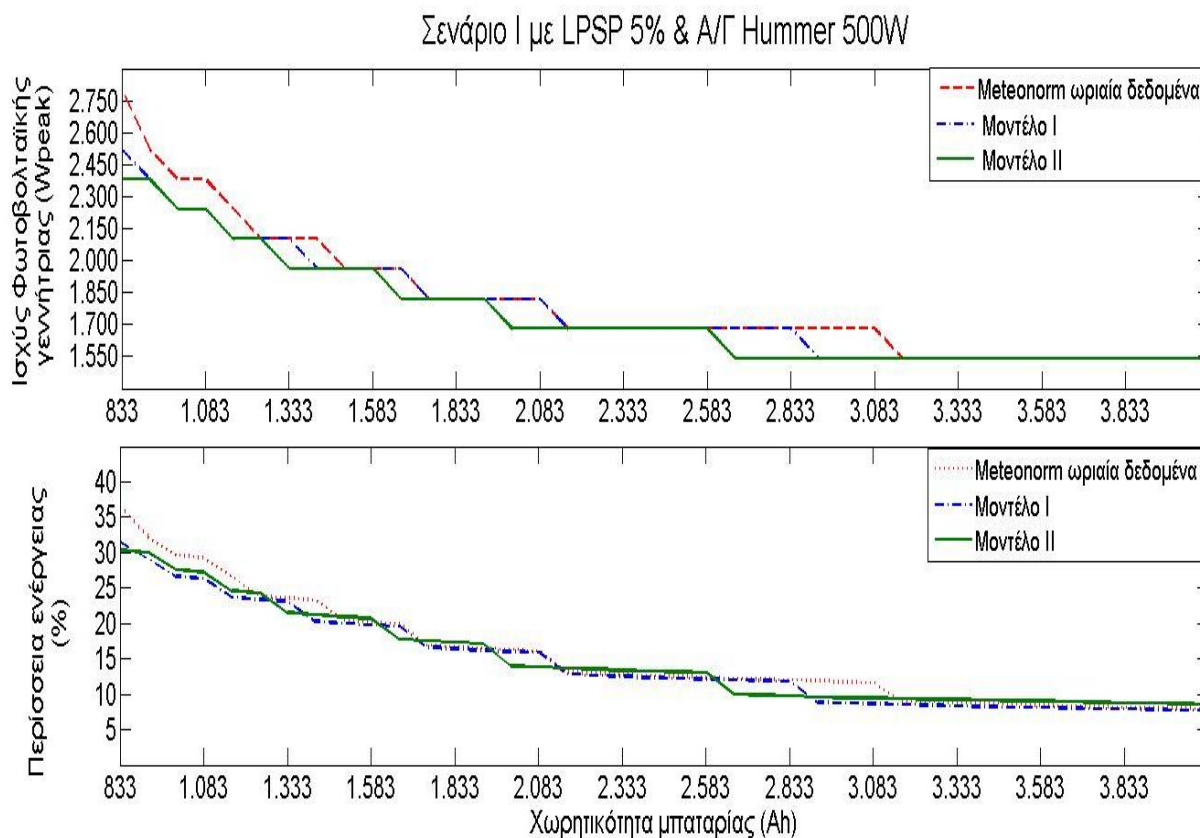
Τα βέλτιστα συστήματα που επιτεύχθηκαν για την κάθε περίπτωση παρουσιάζονται στον πίνακα 9.1. Το υβριδικό σύστημα εμφανίζεται με γεννήτρια σχεδόν υποδιπλάσια του Φ/Β και με χωρητικότητα μπαταριών 31.2% μικρότερη. Οι οικονομικοί δείκτες των LCE και NPV δείχνουν ότι η περίπτωση με τις Α/Γ μόνο, είναι η πλέον ασύμφορη καθώς εμφανίζει για το LCE 70% υψηλότερη τιμή. Ενώ για το NPV βλέπουμε ότι έχει αρνητική τιμή, όπως και το Φ/Β μόνο, και δεν αποτελεί βιώσιμη λύση.

**Πίνακας 9. 1** Στον πίνακα εδώ παρουσιάζονται τα στοιχεία για τα βέλτιστα συστήματα που ελήφθησαν για κάθε είδος (μόνο Φ/Β, μόνο Α/Γ και υβριδικό με Φ/Β και Α/Γ), για το μέσο ωριαίο ημερήσιο προφίλ με LPSP=5 για το σενάριο I.

	Ισχύς Φωτοβολταϊκών (Wpeak)	Αριθμος Ανεμογεννητριών Hummer 500W	Χωρητικότητα μπαταρίας (Ah)	Κλιμακούμενο κόστος ενέργειας LCE (€/kWh)	Καθαρή παρούσα Αξία NPV (€)
<b>Υβριδικό Σύστημα</b>	<b>2520</b>	<b>1</b>	<b>917</b>	<b>0,228</b>	<b>3027</b>
Φωτοβολταϊκό Σύστημα	4900	-	1333	0,315	-96
<b>Σύστημα Ανεμογεννητριών</b>	-	<b>4</b>	<b>2333</b>	<b>0,389</b>	<b>-1236</b>

## 9.5. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

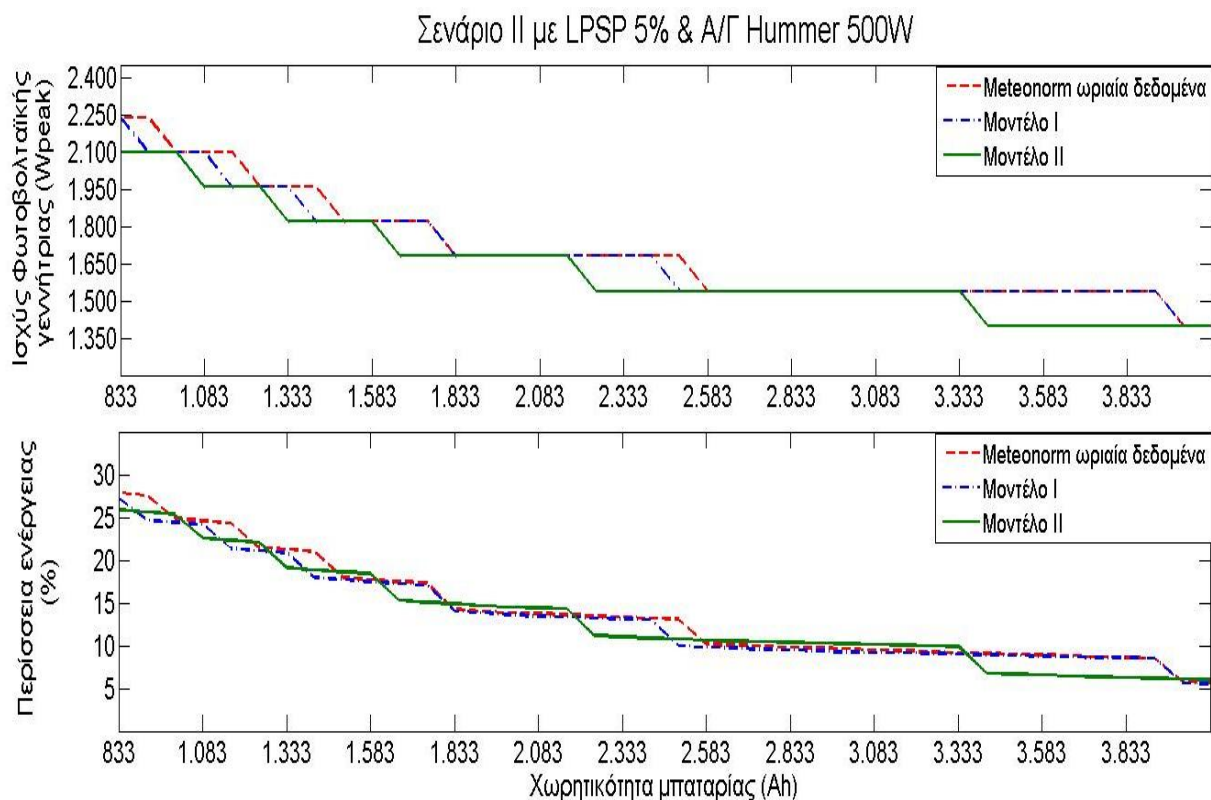
Στην προσομοίωση του υβριδικού συστήματος, με την χρήση Φ/Β και μιας Α/Γ, κάτω από την επίδραση διαφορετικών καμπυλών φορτίου, χρησιμοποιήθηκε η Α/Γ Hummer 500W και η πιθανότητα απώλειας φορτίου ορίστηκε ίση με 5% (LPSP=5%). Η ανάλυση των αποτελεσμάτων γίνεται με τα ωριαία δεδομένα της ακτινοβολίας του Meteororm, αλλά και με αυτά που προέκυψαν από τα δυο μοντέλα για την πρόβλεψη της ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας και για τις δυο βάσεις δεδομένων (SoDa, Meteororm), με την μέση ωριαία ημερήσια καμπύλη φορτίου και για τα δυο σενάρια.



**Διάγραμμα 9. 18** Ισχύς της Φ/Β γεννήτριας και της ποσοστιαίας ενέργειας ως συνάρτηση της χωρητικότητας των μπαταριών με την χρήση της καμπύλης φορτίου του σεναρίου I και των ωριαίων δεδομένων του Meteororm με τα δυο μοντέλα πρόβλεψης.

Στο διάγραμμα 9.18, παρουσιάζονται η ισχύς των Φ/Β γεννητριών και η ποσοστιαία ενέργεια με την χρήση της καμπύλης φορτίων του πρώτου σεναρίου και τις ωριαίες ολικές ακτινοβολίες του Meteororm με τα δυο μοντέλα πρόβλεψης. Τόσο η Φ/Β γεννήτρια, όσο και η ποσοστιαία ενέργεια που υπολογίζονται με τα δεδομένα της βάσης είναι αυξημένα σε σχέση με τα δυο μοντέλα πρόβλεψης I και II. Τα συστήματα που υπολογίστηκαν από το πρώτο

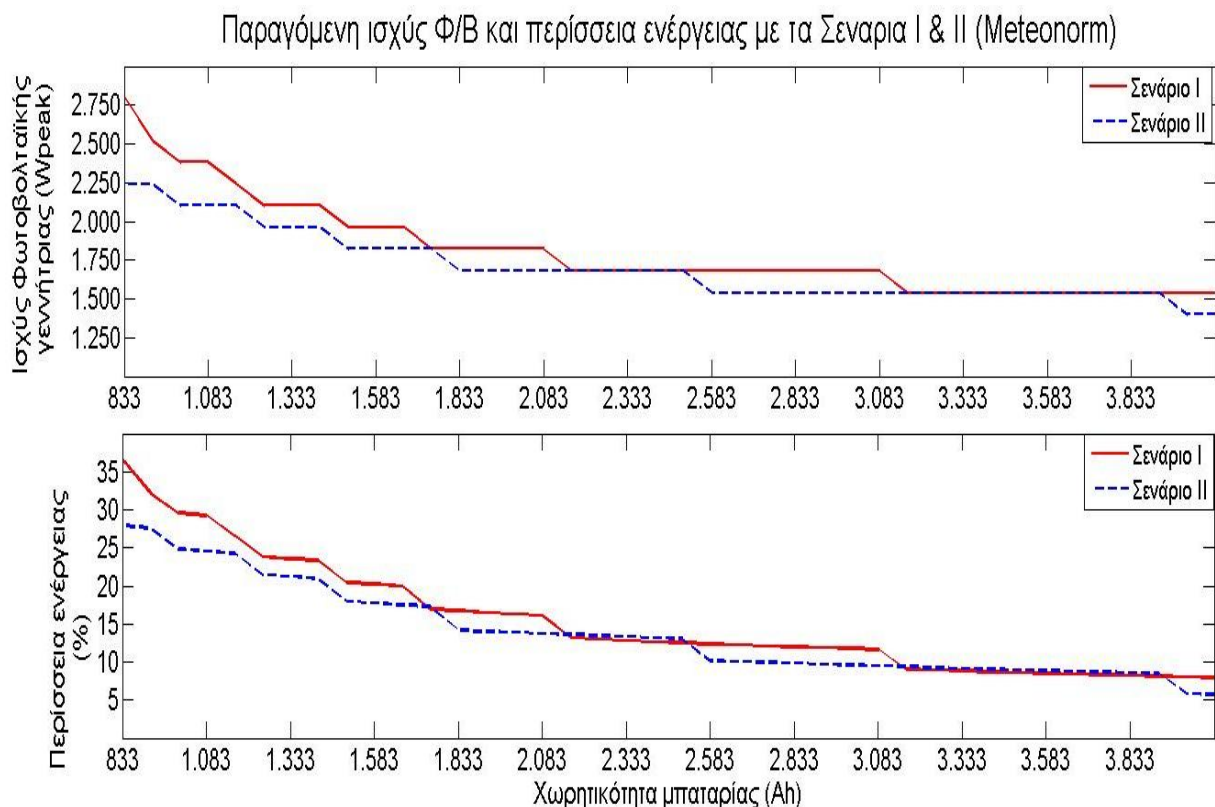
μοντέλο έδωσαν γεννήτρια κατά 10% μικρότερη από αυτή που έδωσαν τα δεδομένα από το Meteororm, και για το μοντέλο II η διαφορά αυτή αυξήθηκε στο 15%,για την αρχική χωρητικότητα μπαταριών (833Ah). Μια σταδιακή πτώση της συνολικής ισχύος των Φ/Β γεννητριών και για όλες τις ακτινοβολίες παρατηρείται με την αύξηση της χωρητικότητας των μπαταριών οι οποίες συγκλίνουν για τις χωρητικότητες των μπαταριών από 3154Ah και άνω. Η περίσσεια ενέργεια ελαττώνεται από το 36% για χωρητικότητα μπαταριών ίση με 833Ah, η υψηλότερη τιμή με τα δεδομένα του Meteororm, μέχρι την ελάχιστη η οποία βρίσκεται κάτω από το 10% για μπαταρίες 4053Ah.



**Διάγραμμα 9. 19** Ισχύς της Φ/Β γεννήτριας και της περίσσειας ενέργειας ως συνάρτηση της χωρητικότητας των μπαταριών με την χρήση της καμπύλης φορτίου του σεναρίου II και των ωριαίων δεδομένων του Meteororm με τα δυο μοντέλα πρόβλεψης.

Για το σενάριο II (διάγραμμα 9.19), βλέπουμε ότι οι γεννήτριες που δίνουν ως αποτελέσματα τα μοντέλα πρόβλεψης και από τα δεδομένα του Meteororm, εμφανίζουν τιμές αισθητά μικρότερες από εκείνες του σεναρίου I. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην χρονική ταύτιση πολλών φορτίων με τις ώρες παραγωγής ισχύος των Φ/Β. Επίσης, φαίνεται μια περαιτέρω σύγκλιση των χαρακτηριστικών τιμών των γεννητριών που δίνουν τα μοντέλα πρόβλεψης. Το μοντέλο II παράγει μικρότερης ισχύος Φ/Β γεννήτριες σε σχέση με το Meteororm, ενώ το μοντέλο I εμφανίζει για αρκετές χωρητικότητες μπαταριών πανομοιότυπη ισχύ γεννητριών.

Η ονομαστική ισχύς των Φ/Β και η περίσσεια της ενέργειας που απεικονίζεται στο διάγραμμα 9.20, δείχνει την διαφοροποίηση των προτινόμενων συστημάτων για τα δυο σενάρια φορτίων με τα ωριαία δεδομένα από την βάση του Meteororm. Για τις πιο μικρές χωρητικότητες των μπαταριών οι γεννήτριες που προτείνονται με το ημερήσιο προφίλ φορτίων (σενάριο II) έχουν αισθητή απόκλιση σε ποσοστό που ξεπερνά και το 20%. Με την βαθμιαία αύξηση όμως των μπαταριών η διαφορά αυτή συγκλίνει. Η περίσσεια ενέργειας για την πρώτη χωρητικότητα μπαταριών εμφανίζεται αυξημένη για το σενάριο I κατά περίπου 9 μονάδες και στην συνέχεια σταδιακά συγκλίνουν.

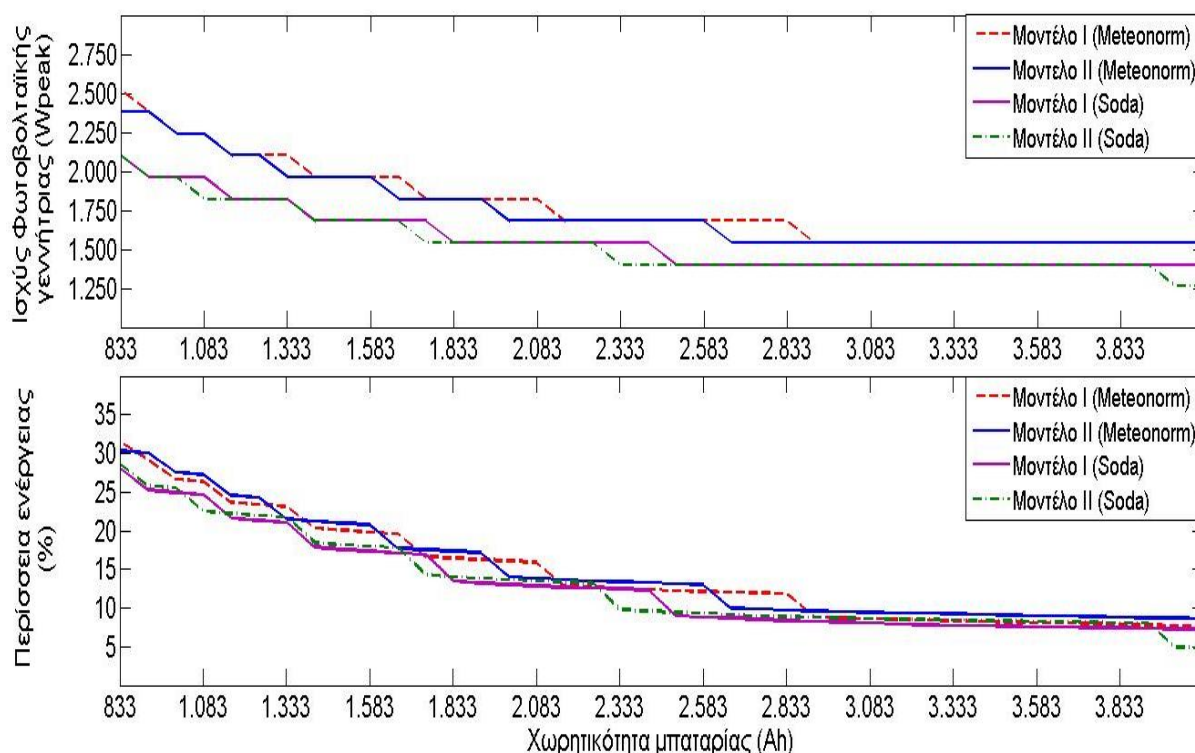


**Διάγραμμα 9. 20** Ισχύς της Φ/Β γεννήτριας και της περίσσειας ενέργειας για τα δυο σενάρια I, II με τα ωριαία δεδομένα του Meteororm και LPSP 5%.

Στα διαγράμματα 9.21 & 9.22 έχουμε μια συγκριτική απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ισχύος και της περίσσειας ενέργειας των δυο μοντέλων πρόβλεψης για τα δεδομένα ακτινοβολίας από τις δυο βάσεις δεδομένων SoDa και Meteororm.

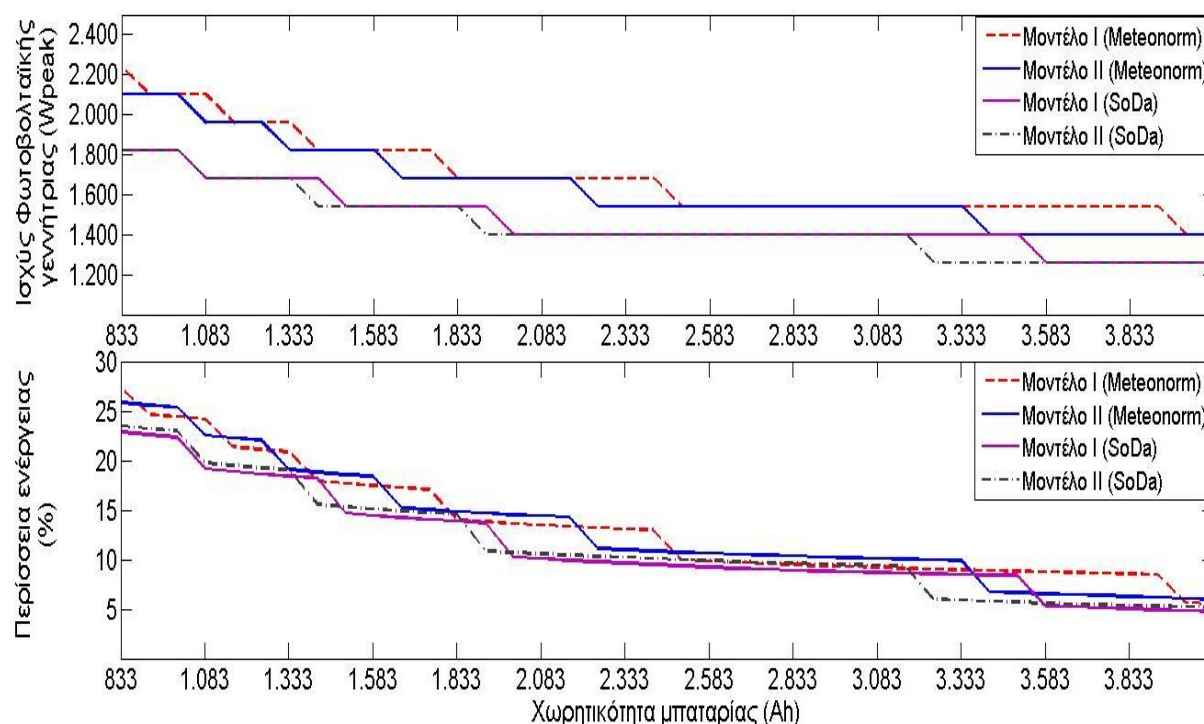
Οι αυξημένες τιμές της ακτινοβολίας που δίνει η SoDa για την ολική ηλιακή ακτινοβολία έχει ως συνεπακόλουθο μικρότερη παραγόμενη Φ/Β γεννήτρια κατά 20%, με το μοντέλο I, ή 13.3% με το μοντέλο II σε σύγκριση με το Meteororm, για το σενάριο I (διάγραμμα 9.21) με την αρχική χωρητικότητα των μπαταριών. Με την αύξηση των μπαταριών τα παραγόμενα συστήματα συγκλίνουν στο 10%. Η περίσσεια ενέργειας λαμβάνει τιμές πολύ κοντινές για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν.

### Παραγόμενη ισχύς Φ/Β και περίσσεια ενέργειας με το Σενάριο I



**Διάγραμμα 9. 21** Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των υπολογιζόμενων Φ/Β γεννητριών και της περίσσειας ενέργειας για διαφορετικές χωρητικότητες μπαταριών με τα δυο μοντέλα πρόβλεψης για το σενάριο I και από διαφορετικές βάσεις δεδομένων.

### Παραγόμενη ισχύς Φ/Β και περίσσεια ενέργειας με το Σενάριο II

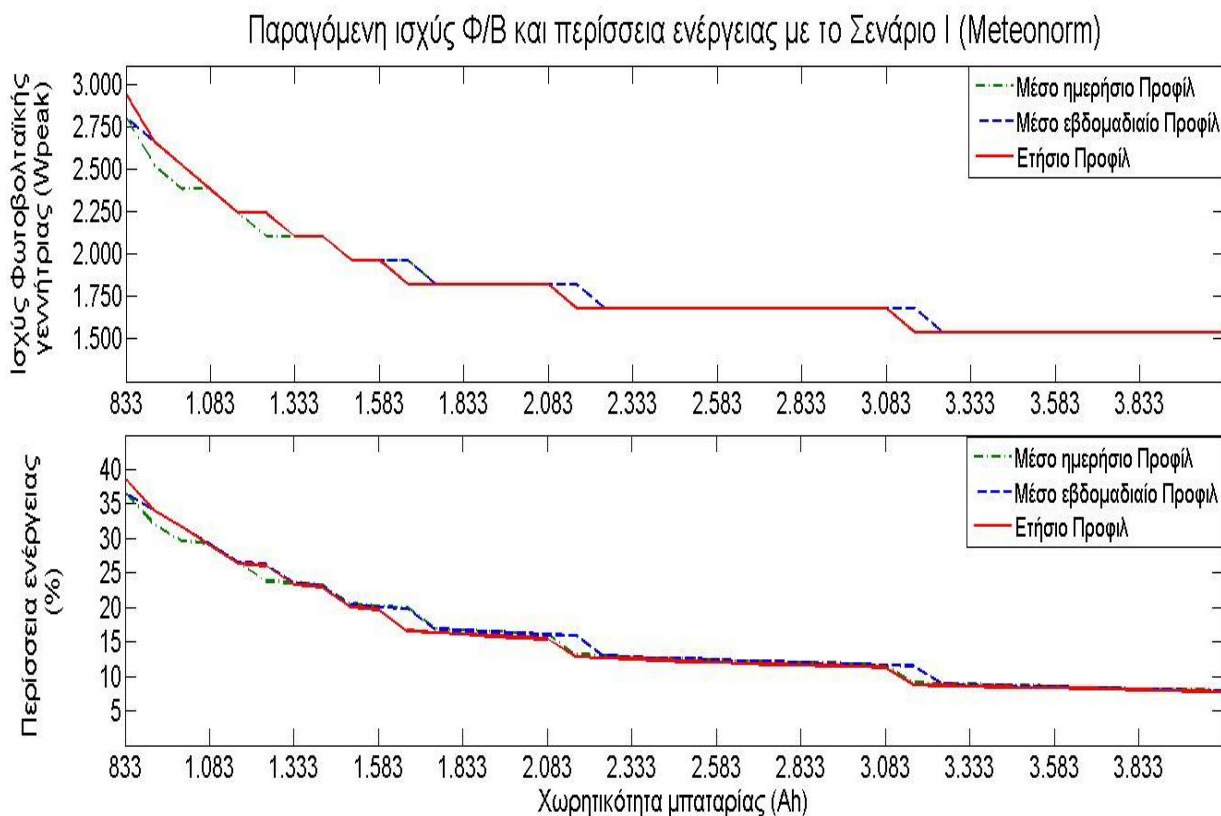


**Διάγραμμα 9. 22** Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της υπολογιζόμενης Φ/Β γεννήτριας και της περίσσειας ενέργειας για διαφορετικές χωρητικότητες μπαταριών των δυο μοντέλων πρόβλεψης για το σενάριο II και από διαφορετικές βάσεις δεδομένων.

Για το σενάριο II οι προκύπτουσες Φ/Β γεννήτριες, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 9.22, για την βάση του Meteororm παράγουν μεγαλύτερη ισχύ κατά 23% για το μοντέλο I και 15% για το μοντέλο II, για την αρχική χωρητικότητα μπαταριών. Τα μοντέλο II από Meteororm και μοντέλο I από SoDa για χωρητικότητα μπαταριών ίση με 3403Ah ταυτίζονται. Τέλος, η ισχύς των Φ/Β για πολλές χωρητικότητες μπαταριών τα μοντέλα I & II συγκλίνει για την κάθε βάση.

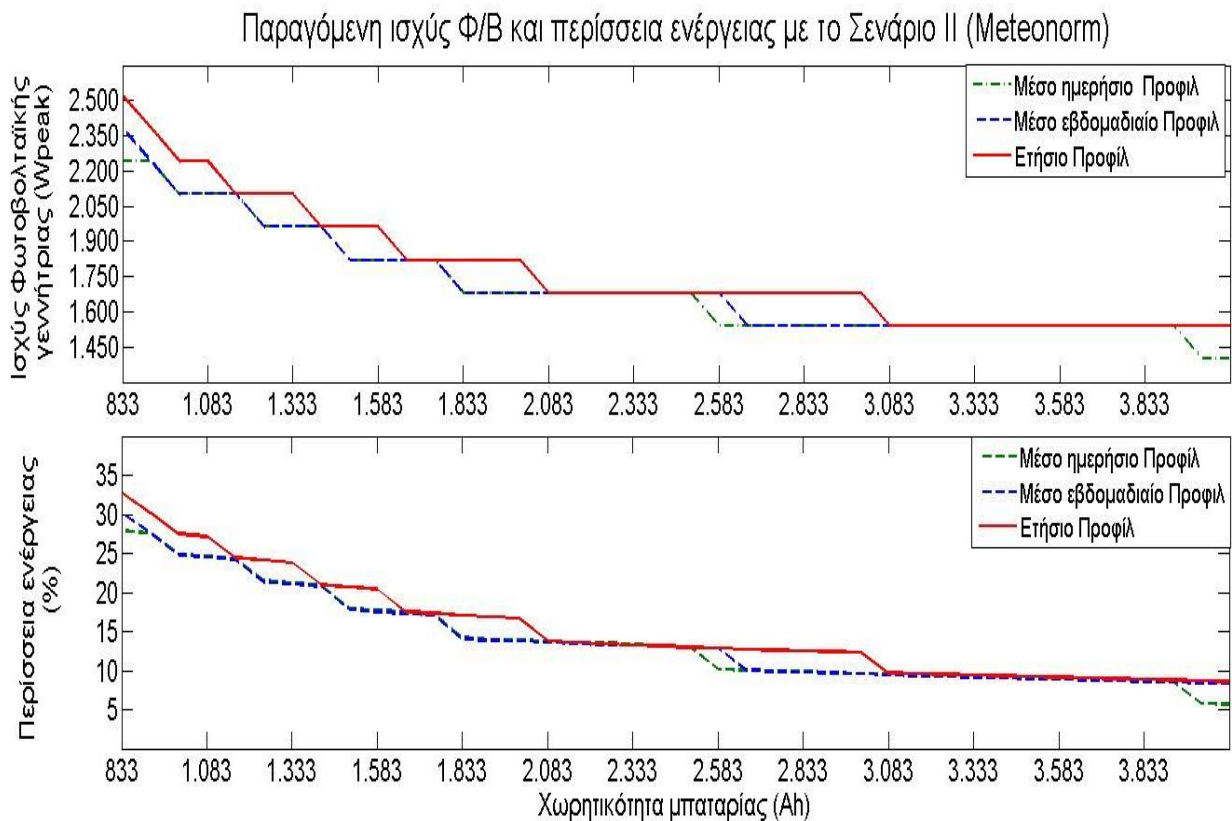
## 9.6. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Με την χρήση των ωριαίων δεδομένων του Meteororm και αυτών που προέκυψαν από το μοντέλο II (Meteororm) της πρόβλεψης της ωριαίας έντασης της ακτινοβολίας και πιθανότητα απώλειας φορτίου ίση με το 5% των συνολικών φορτίων ζήτησης, στα διαγράμματα 9.23 και 9.24, γίνεται σύγκριση των σεναρίων I και II για τα μέσα ημερήσια και εβδομαδιαία και το ετήσιο προφίλ καταναλώσεων, ανά περίπτωση. Τα διαγράμματα απεικονίζουν την παραγόμενη Φ/Β γεννήτρια συναρτήσει της χωρητικότητας των μπαταριών, καθώς και την περίσσεια της ενέργειας που δίνει συνολικά το κάθε σύστημα.



**Διάγραμμα 9. 23** Παραγόμενη Φ/Β γεννήτρια και περίσσεια ενέργειας ανά χωρητικότητα μπαταρίας, με μια Α/Γ ονομαστικής ισχύος 500W, με τα ωριαία δεδομένα του Meteororm και LPSP=5 για το σενάριο I.

Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα 9.23, η μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της γεννήτριας που προκύπτει με την χρήση των διαφορετικών μέσων προφίλ διαφέρει ελάχιστα. Για τις αρχικές χωρητικότητες των μπαταριών η χρήση του ετήσιου προφίλ, δηλαδή κάθε ημέρα του έτους διαφορετική ζήτηση φορτίων ανά ώρα, δίνει αυξημένη ισχύ στην Φ/Β γεννήτρια. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη αναντιστοιχία της παραγωγής και της ζήτησης φορτίου που μπορεί να εμφανιστεί κάποιες ώρες των ημερών όλου του έτους. Όμοια και οι καμπύλες της περίσσειας ενέργειας εμφανίζουν μια παρόμοια μεταβολή συναρτήσει των χωρητικοτήτων των μπαταριών που ελέγχθηκαν, δηλαδή αυξημένη περίσσεια για την περίπτωση του ετήσιου προφίλ για την αρχική χωρητικότητα των μπαταριών και οριακά χαμηλότερες για τα άλλα δυο προφίλ και σύγκλιση στις επόμενες χωρητικότητες.



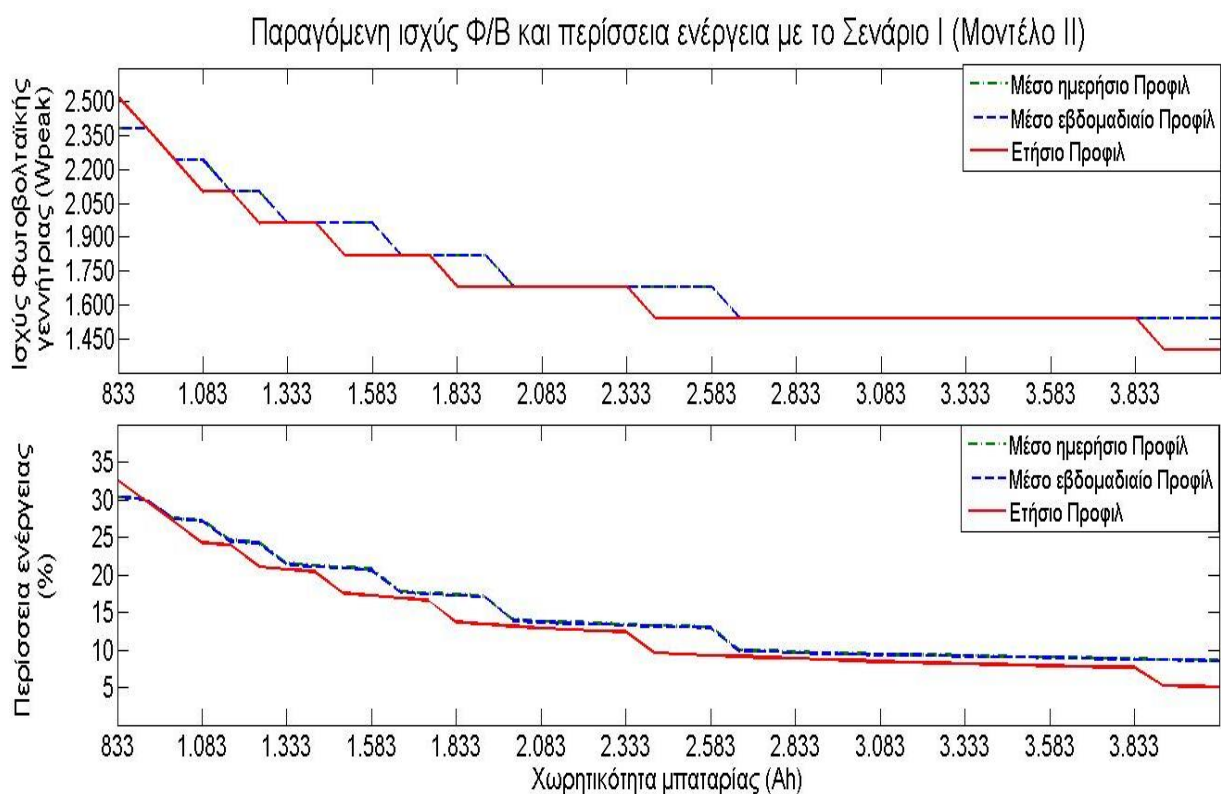
**Διάγραμμα 9. 24** Παραγόμενη Φ/Β γεννήτρια και περίσσεια ενέργειας ανά χωρητικότητα μπαταρίας, με μια Α/Γ ονομαστικής ισχύος 500W, με τα ωριαία δεδομένα του Meteororm και LPSP=5% για το σενάριο II.

Όμοια, στο σενάριο II (διάγραμμα 9.24) τα αποτελέσματα συγκλίνουν γενικά, αλλά όμως εμφανίζουν μια χαρακτηριστική διαφοροποίηση. Πλέον, οι μέσες ημερήσιες και εβδομαδιαίες καταναλώσεις είναι αισθητά, σε κάποιες περιπτώσεις, χαμηλότερες των αντιστοίχων των ετήσιων, που μπορεί να διαφέρουν ακόμη και  $280W_{peak}$ . Η ίδια διαφορά παρατηρείται και στην

περίσσεια ενέργειας για την οποία η τιμή έναρξης στην περίπτωση του εβδομαδιαίου προφίλ βρίσκεται οριακά στο 30.2% ενώ στο ημερήσιο είναι 27.8%.

Μεταξύ των δυο σεναρίων, αυτό που είναι εμφανές είναι οι υψηλότερες τιμές για τις Φ/Β γεννήτριες και την περίσσεια της ενέργειας που παράγονται στο σενάριο I και οι οποίες σε ορισμένες χωρητικότητες φθάνουν περίπου το 20%, ενώ στο τελευταίο σύστημα το ετήσιο προφίλ του σεναρίου II δίνει ακριβώς την ίδια γεννήτρια με το σενάριο I.

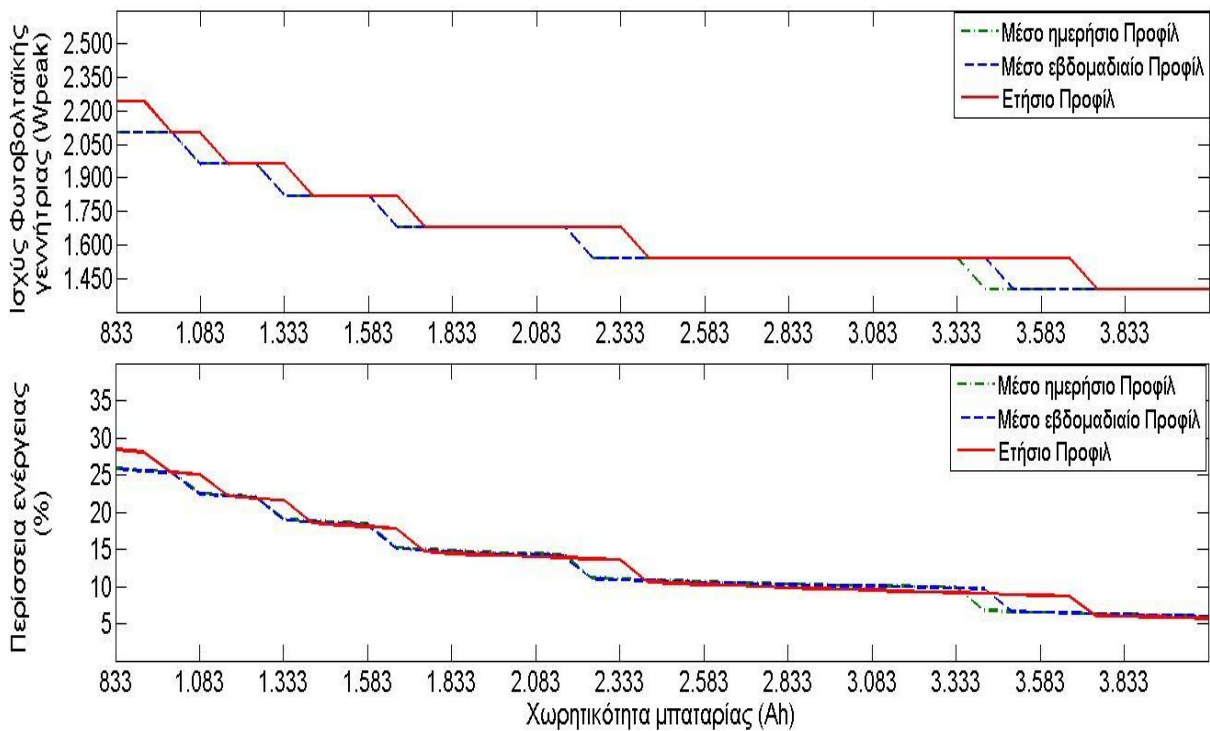
Στη συνέχεια γίνεται μια ανάλυση των αποτελεσμάτων που έδωσαν τα δυο σενάρια για την περίπτωση της ακτινοβολίας από το μοντέλο II (διαγράμματα 9.25 και 9.26).



**Διάγραμμα 9. 25** Παραγόμενη Φ/Β γεννήτρια και περίσσεια ενέργειας ανά χωρητικότητα μπαταρίας, με μια Α/Γ ονομαστικής ισχύος 500W, με τα ωριαία δεδομένα όπως παράχθηκαν από το μοντέλο II και LPSP=5 για το σενάριο I (Meteonorm).



Παραγόμενη ισχύς Φ/Β και περίσσεια ενέργεια με το Σενάριο II (Μοντέλο II)



**Διάγραμμα 9. 26** Παραγόμενη Φ/Β γεννήτρια και περίσσεια ενέργειας ανά χωρητικότητα μπαταρίας, με μια Α/Γ ονομαστικής ισχύος 500W, με τα ωριαία δεδομένα όπως παράχθηκαν από το μοντέλο II και LPSP=5 για το σενάριο II (Meteonorm).

Έτσι για το σενάριο I (διάγραμμα 9.25), τα δυο προφίλ με τις μέσες ημερήσιες και εβδομαδιαίες τιμές παράγουν μεγαλύτερη Φ/Β γεννήτρια, σε αρκετές περιπτώσεις χωρητικότητας, από το ετήσιο, με μόνη διαφοροποίηση στην αρχική χωρητικότητα (833Ah), στην οποία το ετήσιο προφίλ παράγει ένα παραπάνω πλαίσιο Φ/Β.

Η περίσσεια ενέργειας εμφανίζεται διαρκώς μεγαλύτερη των υπόλοιπων δυο προφίλ από το ετήσιο με μόνη αλλαγή όταν οι μπαταρίες έχουν χωρητικότητα 833Ah. Αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός της εμφάνισης ίδιας ισχύος Φ/Β γεννήτριας για ένα εύρος χωρητικότητας από 2499Ah έως και 3831,8Ah, όπου η περίσσεια ενέργειας έχει πολύ χαμηλά ποσοστά, κάτω του 10%.

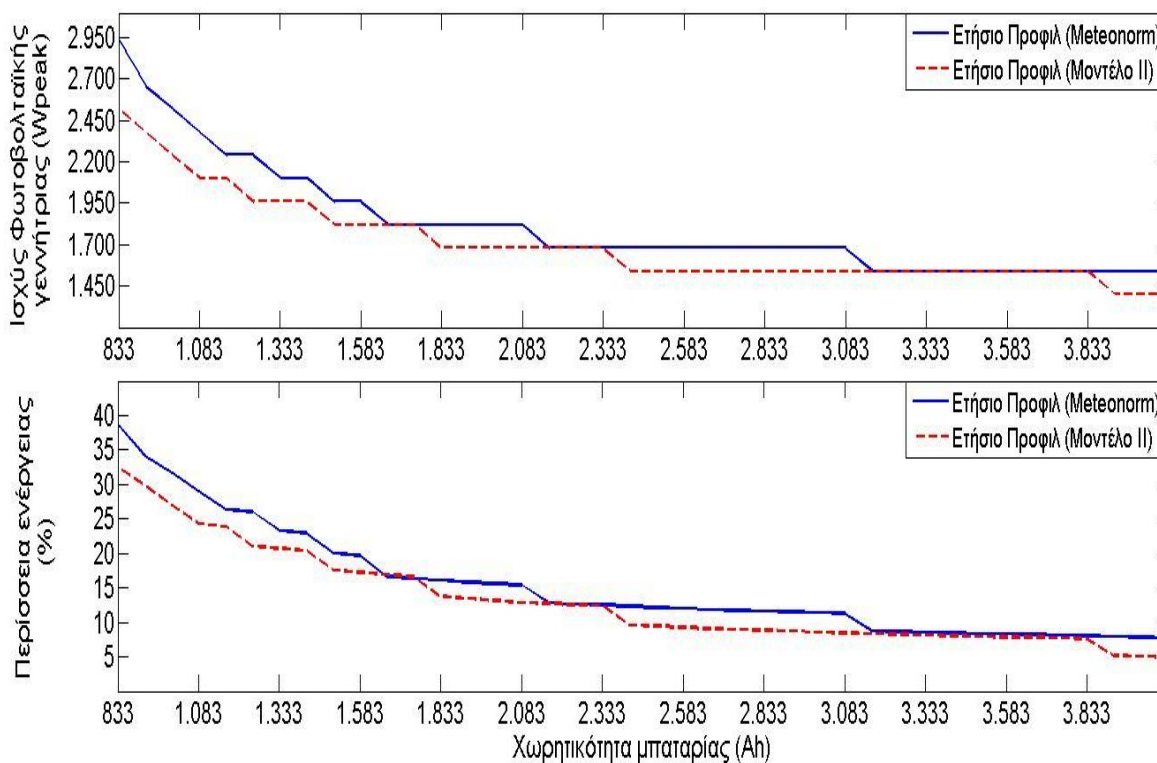
Για την περίπτωση του σεναρίου II (διάγραμμα 9.26), βλέπουμε ότι το ετήσιο προφίλ γενικά εμφανίζει μεγαλύτερη γεννήτρια Φ/Β. Το ημερήσιο και το εβδομαδιαίο προφίλ παράγουν τις ίδιες γεννήτριες για τις περισσότερες από τις εξεταζόμενες μπαταρίες.

## 9.7. ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

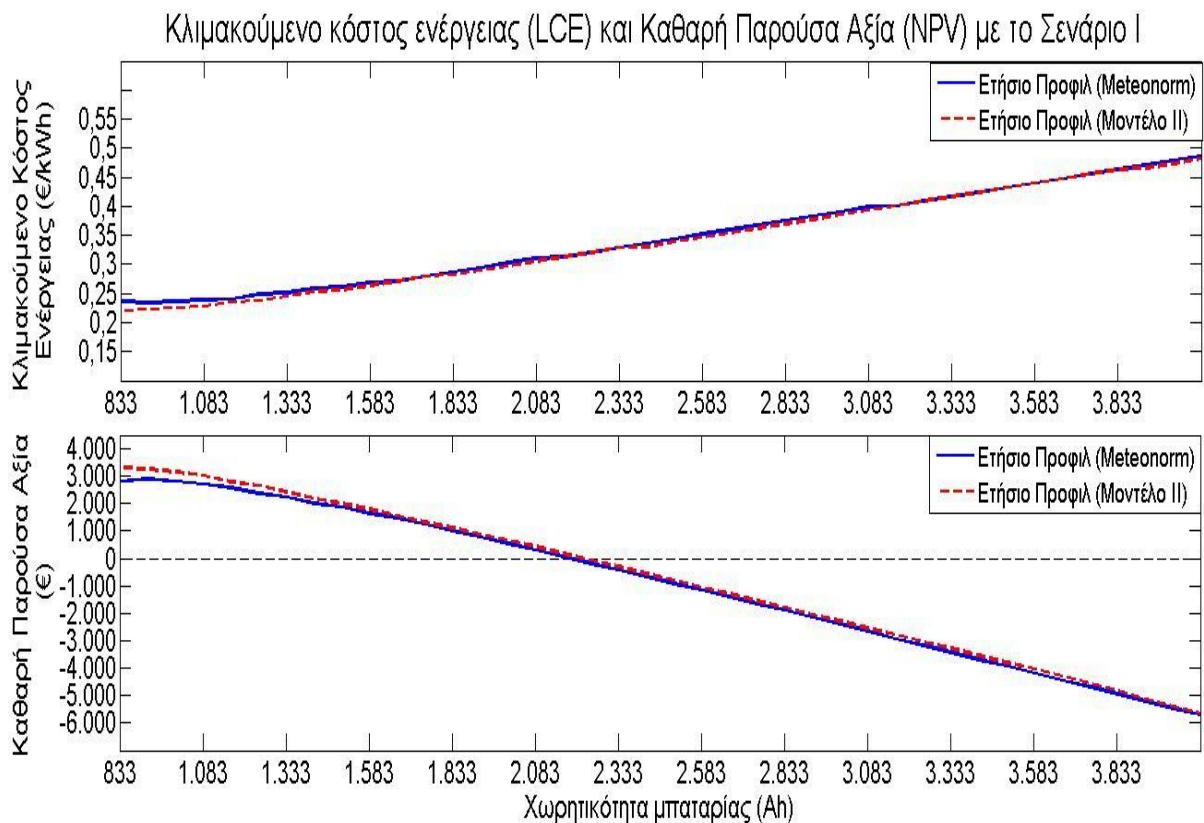
Για τα δυο σενάρια I και II, με την χρήση των δεδομένων του Meteororm και του μοντέλου II, γίνεται μια σύγκριση των αποτελεσμάτων που παράχθηκαν με το ετήσιο προφίλ και έπειτα βελτιστοποίηση τους με την χρήση των οικονομικών όρων του κλιμακούμενου κόστους της ενέργειας και τέλος εκτίμηση της καθαρής παρούσας αξίας τους.

Τα διαγράμματα για το σενάριο I με την ισχύ των Φ/Β συστημάτων και την περίσσεια της ενέργειας που δημιουργήθηκε φαίνονται στο διάγραμμα 9.27. Στην αρχική κατάσταση μπαταριών ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων είναι αυξημένος κατά 14% για τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από το Meteororm. Η γεννήτρια των Φ/Β που παράχθηκε με το μοντέλο II διαφοροποιείται για μεγάλο αριθμό μπαταριών και δίνει γεννήτριες μικρότερης ισχύος. Όσο προστίθενται μπαταρίες στο σύστημα οι τιμές της ισχύος των Φ/Β συγκλίνουν και η πρώτη ταύτιση γίνεται στο διάστημα όπου η χωρητικότητά τους είναι 1666Ah-1750Ah. Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που μειώνεται η Φ/Β γεννήτρια με την αύξηση των χωρητικότητων των μπαταριών, μειώνεται και η περίσσεια ενέργειας των διαφόρων συστημάτων που προκύπτουν όπως φαίνεται στο αντίστοιχο διάγραμμα.

Παραγόμενη ισχύς Φ/Β και περίσσεια ενέργεια με το Σενάριο I

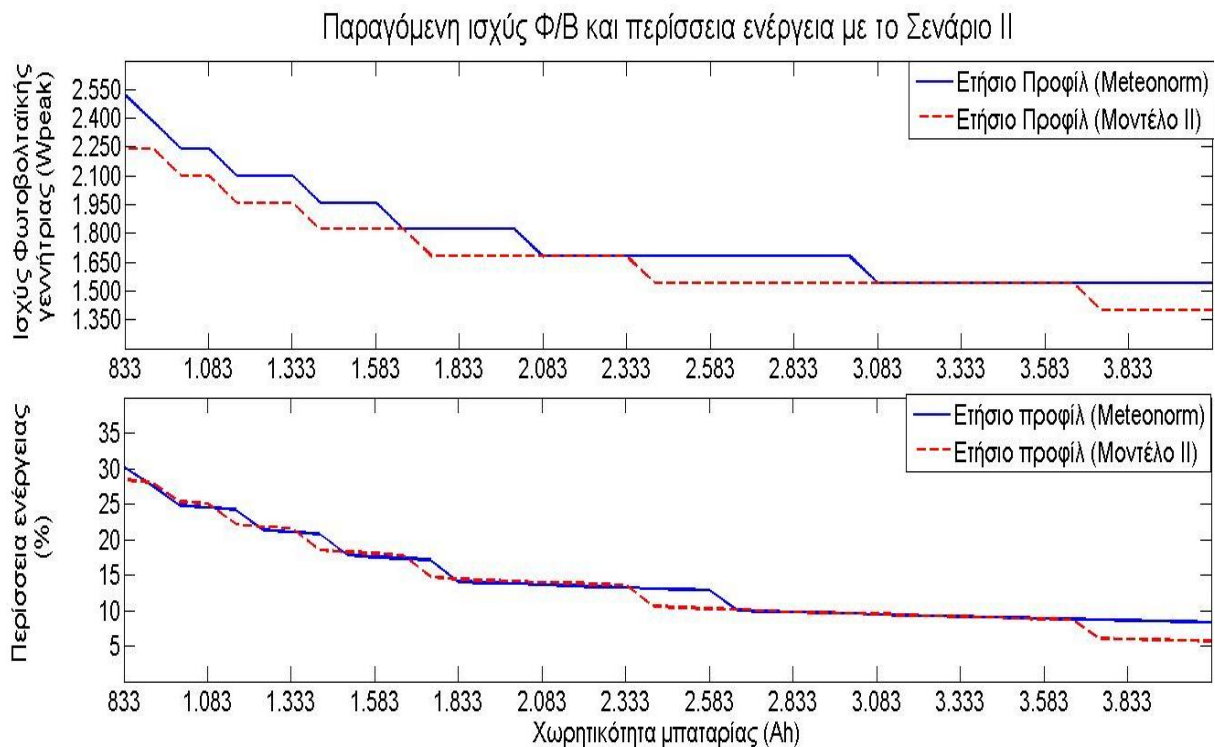


**Διάγραμμα 9. 27** Ισχύς Φ/Β γεννήτριας και περίσσεια ενέργειας για διάφορες χωρητικότητες μπαταριών του σεναρίου I, με δεδομένα του Meteororm και του μοντέλου πρόβλεψης II για το ετήσιο προφίλ κατανάλωσης (A/T 500W και LPSP=5%).



**Διάγραμμα 9. 28** Κλιμακούμενο κόστος της ενέργειας και καθαρή παρούσα αξία των συστημάτων με το σενάριο I για το ετήσιο προφίλ κατανάλωσης με την χρήση ηλιακών δεδομένων από το Meteororm και το μοντέλο πρόβλεψης II.

Αξιολογώντας το σύστημα με τους οικονομικούς δείκτες LCE και NPV, διάγραμμα 9.28, παρατηρούμε ότι το σύστημα με το μοντέλο έδωσε το χαμηλότερο LCE, εξαιτίας της μικρότερης Φ/Β γεννήτριας που διαθέτει, και στη συνέχεια ταυτίζονται σχεδόν για όλες τις υπόλοιπες μπαταρίες που ελέγχθηκαν. Όσον αφορά την καθαρή παρούσα αξία οι οικονομικά πιο επωφελείς λύσεις παρέχονται από το μοντέλο II, ανά περίπτωση.

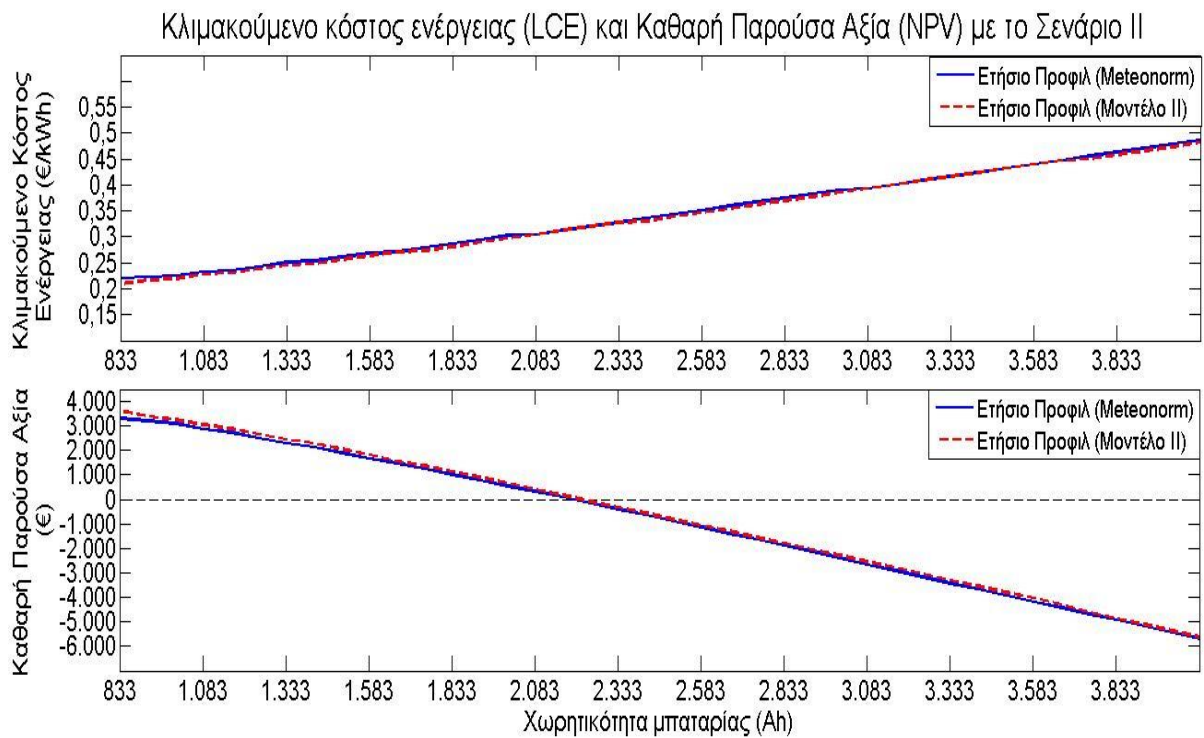


**Διάγραμμα 8. 29** Ισχύς Φ/Β γεννήτριας και περίσσεια ενέργειας για διάφορες χωρητικότητες μπαταριών του σεναρίου II, με δεδομένα του Meteororm και του μοντέλου πρόβλεψης II για το ετήσιο προφίλ κατανάλωσης (Α/Γ 500W και LPSP=5%).

Για το σενάριο II (διάγραμμα 9.29) βλέπουμε τις γεννήτριες που προκύπτουν από τα διαφορετικά δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας να εμφανίζουν ξανά μεγαλύτερες γεννήτριες με τα δεδομένα του Meteororm. Η απόκλιση μεταξύ του μοντέλου και των δεδομένων του Meteororm κυμαίνεται περίπου στο 10% με το τελευταίο να παράγει τις μεγαλύτερες εξ' αυτών.

Στο διάγραμμα 9.30 παρουσιάζονται τα οικονομικά κριτήρια βελτιστοποίησης των συστημάτων. Δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές, καθώς τα συστήματα παρείχαν παρεμφερείς Φ/Β γεννήτριες, με αποτέλεσμα πολύ κοντινές ή και ολόιδιες τιμές να έχουν παραχθεί.

Από τον πίνακα 9.2 βλέπουμε ότι τα αποτελέσματα που παρατίθενται για τα βέλτιστα συστήματα ανά περίπτωση, δίνουν και για τα δυο σενάρια μεγαλύτερη Φ/Β μονάδα με τα δεδομένα του Meteororm. Μεταξύ των δυο σεναρίων, το σενάριο I εμφανίζει πάντα μεγαλύτερη γεννήτρια. Στο οικονομικό σκέλος βλέπουμε ότι η καθαρή παρούσα αξία και το κλιμακούμενο κόστος της ενέργειας έχουν μικρές διακυμάνσεις, και όλα τα συστήματα ήταν βιώσιμα για την διάρκεια ζωής του συστήματος που επιλέχθηκε (25 χρόνια).



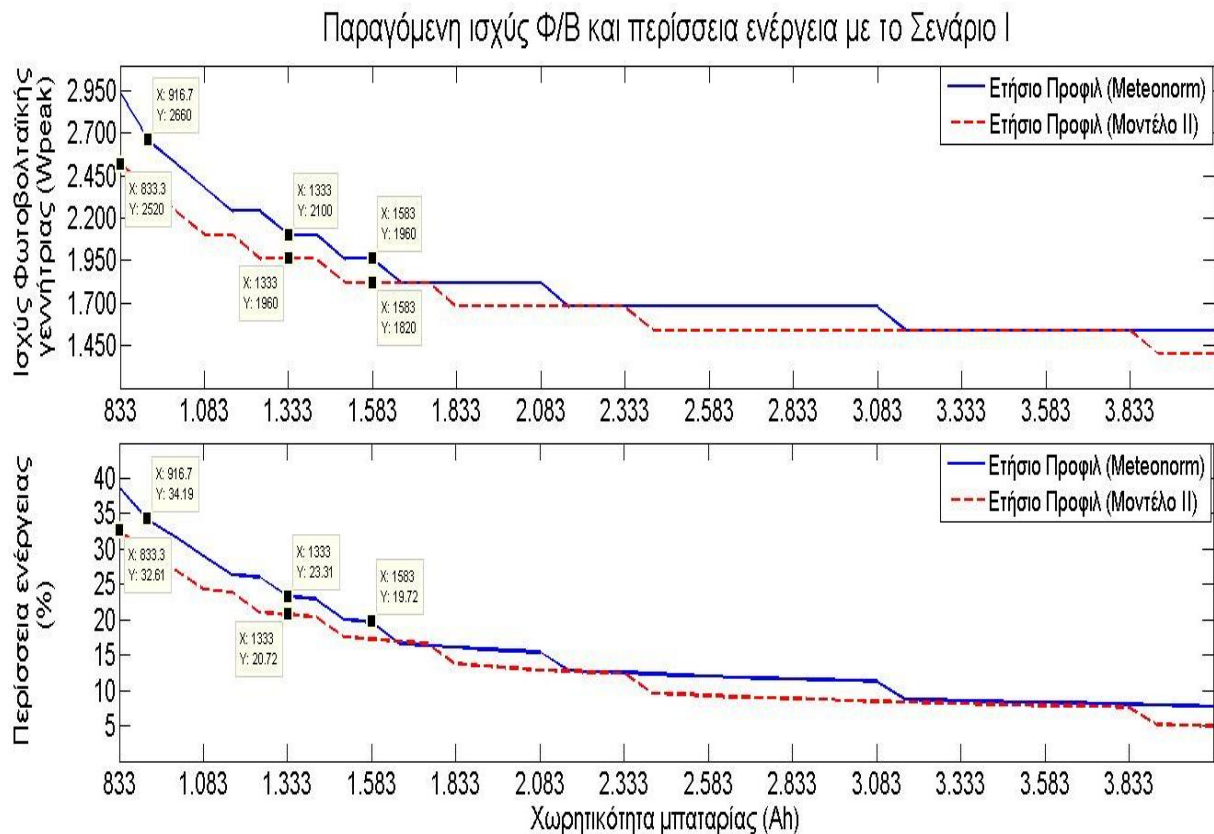
**Διάγραμμα 9. 30** Κλιμακούμενο κόστος της ενέργειας και καθαρή παρούσα αξία των συστημάτων με το σενάριο II για το ετήσιο προφίλ κατανάλωσης με την χρήση ηλιακών δεδομένων από το Meteororm και το μοντέλο πρόβλεψης II.

**Πίνακας 9. 2** Βέλτιστα συστήματα που υπολογίστηκαν για τα δυο σενάρια, με δεδομένα του Meteororm και του μοντέλου II, με το ετήσιο προφίλ και LPSP=5%.

Σ Ε Ν Α Ρ Ι Ο	Ισχύς Φωτοβολταϊκής γεννήτριας (W <sub>peak</sub> )	Χωρητικότητα μπαταρίας (Ah)	Περίσσεια ενέργεια (%)	Κλιμακούμενο κόστος ενέργειας LCE (€/kWh)	Καθαρή παρούσα Αξία NPV (€)	
	<b>Μετεονορμ</b>					
	2660	917	34,19%	0,233	2884	
I	<b>Μοντέλο II</b>					
	2520	833	32,61%	0,220	3319	
Σ Ε Ν Α Ρ Ι Ο	Ισχύς Φωτοβολταϊκής γεννήτριας (W <sub>peak</sub> )	Χωρητικότητα μπαταρίας (Ah)	Περίσσεια ενέργεια (%)	Κλιμακούμενο κόστος ενέργειας LCE (€/kWh)	Καθαρή παρούσα Αξία NPV (€)	
	<b>Μετεονορμ</b>					
	2520	833	30,25%	0,220	3306	
II	<b>Μοντέλο II</b>					
	2240	833	28,38%	0,209	3625	

## 9.8. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

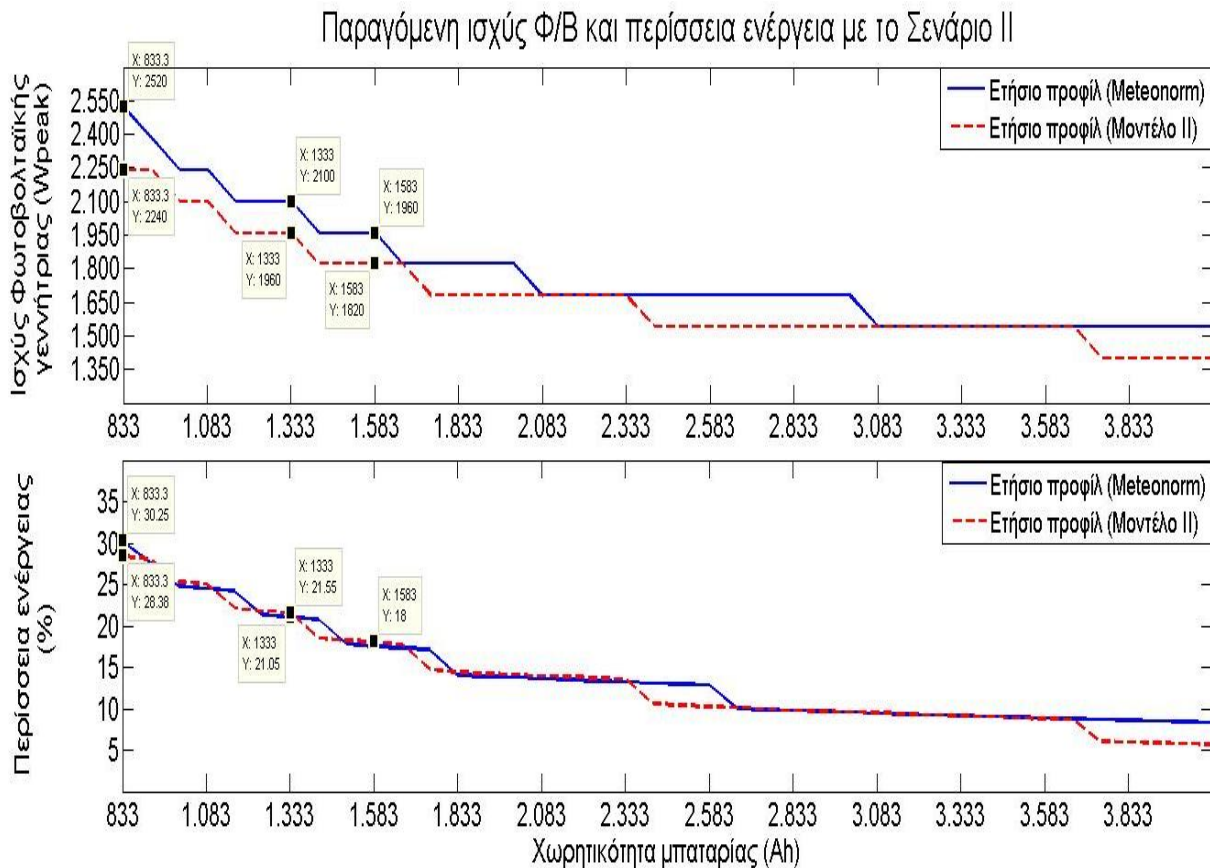
Η μετατόπιση των φορτίων που γίνεται εδώ αποσκοπεί στην δημιουργία ενός πιο αξιόπιστου υβριδικού συστήματος το οποίο θα πρέπει να ικανοποιεί την τεχνική παράμετρο πιθανότητας απώλειας φορτίου, ίση με 5%. Το προφίλ που επιλέχθηκε είναι το ετήσιο και η μετατόπιση γίνεται και για τα δυο σενάρια με τα δεδομένα του Meteororm και αυτά που παρήχθησαν από το μοντέλο II της πρόβλεψης της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα εξαγόμενα αποτελέσματα μας δίνουν μια νέα πιθανότητα απώλειας φορτίου, η οποία θα πρέπει να είναι μικρότερη από την αρχική.



**Διάγραμμα 9. 31** Ισχύς της Φ/Β γεννήτριας και της περίσσειας ενέργειας φαίνονται τα σημεία (συστήματα) στα οποία γίνεται η μετατόπιση των φορτίων, για το σενάριο I.

Και για τα δυο σενάρια επιλέγονται τα συστήματα για τρεις διαφορετικές χωρητικότητες μπαταριών, δυο τυχαίες και η τελευταία αφορά τα βέλτιστα συστήματα που βρέθηκαν παραπάνω, όπως φαίνεται και στα διαγράμματα 9.31 & 9.32 για τις οποίες θα εξαχθούν τα αποτελέσματα τόσο της πιθανότητας απώλειας φορτίου, αλλά και της περίσσειας ενέργειας. Ο αλγόριθμος που

προσομοιώνει το σύστημα εκμεταλλεύεται την περίσσεια της ενέργειας, όπου και όταν αυτή εμφανίζεται, η οποία θα πρέπει να καλύπτει πλήρως τα μετακινούμενα φορτία για την πρώτη ώρα. Αν αυτό δεν συμβαίνει, τότε έχει οριστεί ένα διάστημα κάποιων ωρών εντός των οποίων πλέον θα πρέπει να λειτουργήσει, υποχρεωτικά.



**Διάγραμμα 9. 32** Ισχύς της Φ/Β γεννήτριας και της περίσσειας ενέργειας φαίνονται τα σημεία (συστήματα) στα οποία θα γίνει η μετατόπιση των φορτίων, για το σενάριο II.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στους πίνακες 9.3 και 9.4. Στον πίνακα 9.3, σενάριο I, παρατηρούμε ότι με την μετατόπιση των φορτίων πραγματοποιήθηκε αύξηση του ποσοστού κάλυψης των φορτίων και σε καμία περίπτωση δεν είναι κάτω από 96%. Αντίθετα, η περίσσεια της ενέργειας έχει μειωθεί κατά περίπου μια ποσοστιαία μονάδα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο αλγόριθμος εκμεταλλεύεται τα ποσά της περίσσειας ενέργειας και έτσι βελτιώνει τον βαθμό κάλυψης των φορτίων με τα ποσά αυτά. Τα αποτελέσματα έχουν την ίδια συμπεριφορά είτε πρόκειται για τα ωριαία δεδομένα του Meteororm, είτε του μοντέλου II.

**Πίνακας 9. 3** Αποτελέσματα της μετατόπισης των φορτίων για το σενάριο I, με τα δεδομένα του Meteororm και του μοντέλου II της πρόβλεψης της ηλιακής ακτινοβολίας, υιοθετώντας το ετήσιο προφίλ φορτίων και με ποσοστό κάλυψης 95%.

<b>Σενάριο I - Meteororm</b>				
	Ισχύς Φωτοβολταϊκής γεννήτριας (Wpeak)	Χωριτικότητα μπαταρίας (Ah)	Περίσσεια ενέργεια (%)	Ποσοστό κάλυψης (%)
<b>Πριν</b>	2660W	917Ah	34,19%	95,04%
<b>Μετά</b>	2660W	917Ah	32,68%	<b>96,90%</b>
<b>Πριν</b>	2100W	1333Ah	23,31%	95,00%
<b>Μετά</b>	2100W	1333Ah	22,12%	<b>96,91%</b>
<b>Πριν</b>	1960W	1583Ah	19,72%	95,03%
<b>Μετά</b>	1960W	1583Ah	18,98%	<b>96,67%</b>
<b>Σενάριο I - Μοντέλο II</b>				
<b>Πριν</b>	2520W	833Ah	32,61%	95,07%
<b>Μετά</b>	2520W	833Ah	31,26%	<b>96,49%</b>
<b>Πριν</b>	1960W	1333Ah	20,72%	95,04%
<b>Μετά</b>	1960W	1333Ah	19,83%	<b>96,47%</b>
<b>Πριν</b>	1820W	1583Ah	19,72%	95,08%
<b>Μετά</b>	1820W	1583Ah	18,98%	<b>96,35%</b>

**Πίνακας 9. 4** Αποτελέσματα της μετατόπισης των φορτίων για το σενάριο II, με τα δεδομένα του Meteororm και του μοντέλου II της πρόβλεψης της ηλιακής ακτινοβολίας, υιοθετώντας το ετήσιο προφίλ φορτίων και με ποσοστό κάλυψης 95%.

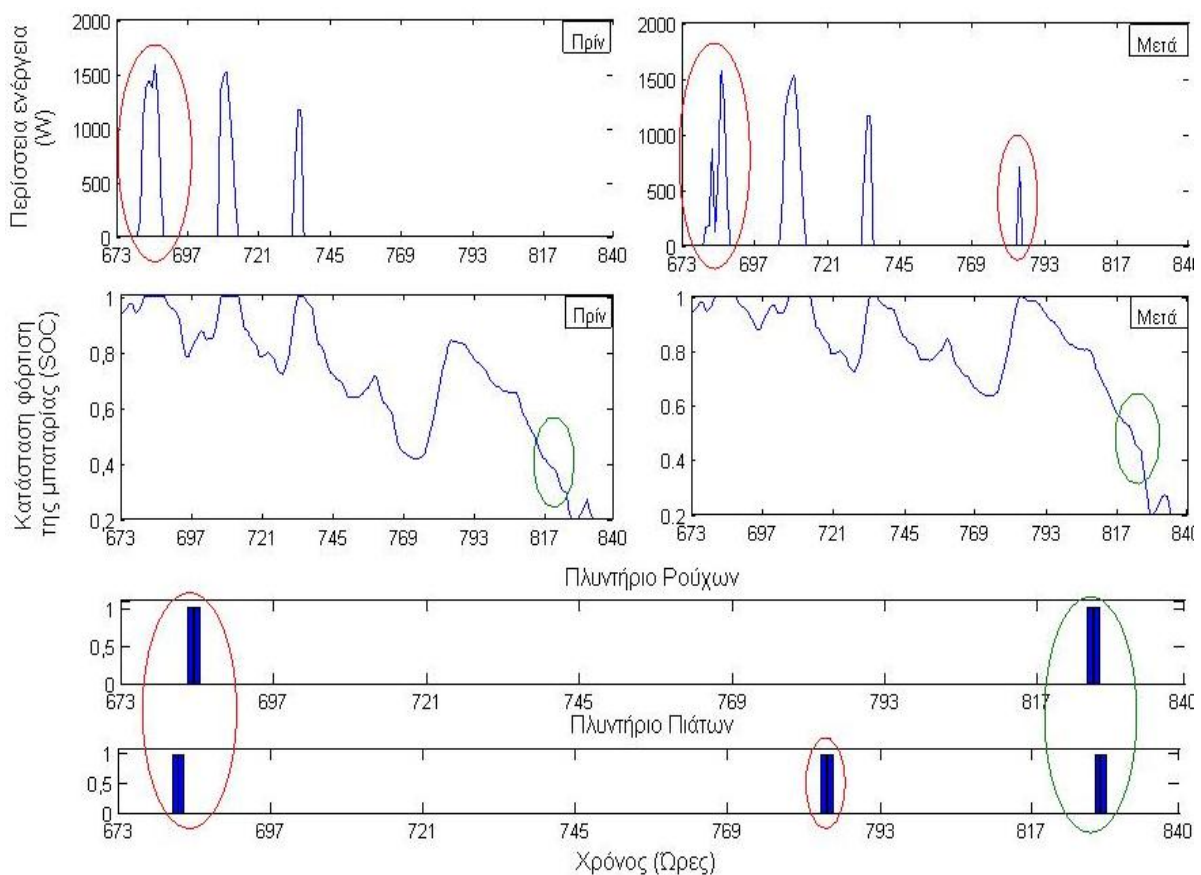
<b>Σενάριο II - Meteororm</b>				
	Ισχύς Φωτοβολταϊκής γεννήτριας (Wpeak)	Χωριτικότητα μπαταρίας (Ah)	Περίσσεια ενέργεια (%)	Ποσοστό κάλυψης (%)
<b>Πριν</b>	2520W	833Ah	30,25%	95,06%
<b>Μετά</b>	2520W	833Ah	28,69%	<b>96,62%</b>
<b>Πριν</b>	2100W	1333Ah	21,55%	95,05%
<b>Μετά</b>	2100W	1333Ah	20,47%	<b>96,67%</b>
<b>Πριν</b>	1960W	1583Ah	18,00%	95,06%
<b>Μετά</b>	1960W	1583Ah	17,16%	<b>96,38%</b>
<b>Σενάριο II - Μοντέλο II</b>				
<b>Πριν</b>	2240W	833Ah	28,38%	95,03%
<b>Μετά</b>	2240W	833Ah	27,13%	<b>96,26%</b>
<b>Πριν</b>	1960W	1333Ah	21,05%	95,06%
<b>Μετά</b>	1960W	1333Ah	20,12%	<b>96,32%</b>
<b>Πριν</b>	1820W	1583Ah	17,51%	95,00%
<b>Μετά</b>	1820W	1583Ah	17,00%	<b>96,11%</b>

Στον πίνακα 9.4, σενάριο II, είναι διακριτή μια τάση αύξησης του ποσοστού κάλυψης και μείωσης της περίσσειας ενέργειας. Η διαφορά που παρατηρείται όμως μεταξύ των δυο σεναρίων έγκειται στο βαθμό της κάλυψης των φορτίων. Δηλαδή, στο σενάριο I τα φορτία έχουν μετατοπιστεί σε ώρες τις



οποίες η παραγόμενη ενέργεια που παρέμενε ανεκμετάλλευτη ήταν υψηλότερη και κατά συνέπεια εμφανίζουν και μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης. Ακόμη παρατηρούμε και στα δυο σενάρια, όπου εμφανίζεται μεγαλύτερη γεννήτρια το όφελος από την μετατόπιση των φορτίων εμφανίζεται περαιτέρω αυξημένο και αυτό.

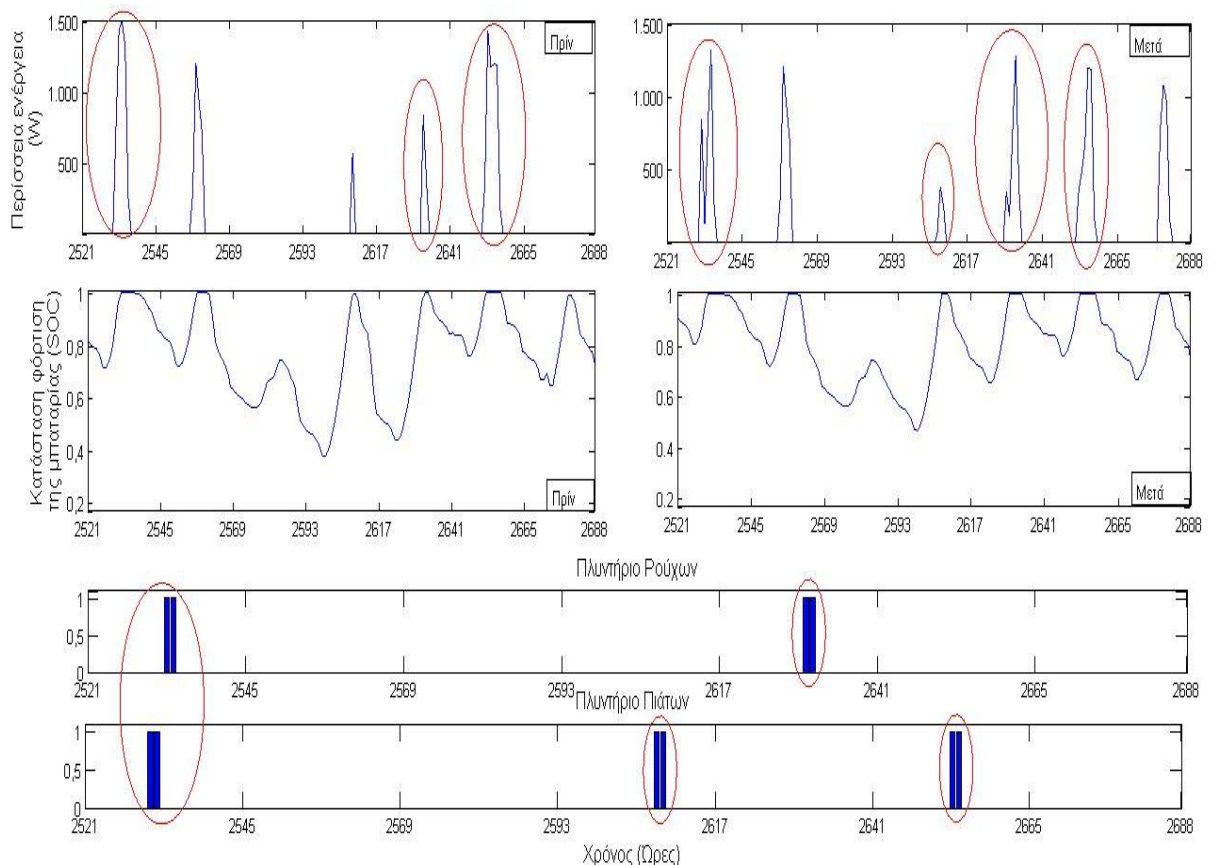
Στην συνέχεια στα διαγράμματα 9.33 και 9.34 φαίνονται τα στιγμιότυπα για τις δυο επιλεγμένες διαφορετικές χρονικές περιόδους. Σε αυτά περιγράφονται η περίσσεια της ενέργειας, η κατάσταση φόρτισης των μπαταριών και η χρονική περίοδος της λειτουργίας των μετατοπιζόμενων συσκευών, στην διάρκεια των ωρών μιας εβδομάδας. Οι καταστάσεις που αναπαρίστανται είναι πριν και μετά την μετατόπιση των συσκευών.



**Διάγραμμα 9. 33** Μεταβολή της περίσσειας ενέργειας και της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας κατά την μετατόπιση των φορτίων με τα στιγμιότυπα πριν και μετά την είσοδο του φορτίου. Τα σχήματα με την κόκκινη γραμμή δείχνουν την ώρα στην οποία εμφανίζεται περίσσεια ενέργειας και τίθεται σε λειτουργία η συσκευή, ενώ με την πράσινη την ώρα εκείνη στην οποία εξαναγκάστηκε να λειτουργήσει. (Σενάριο I, δεδομένα Meteonorm, χωρητικότητα μπαταριών 1583Ah, 29 Ιανουαρίου-4 Φεβρουαρίου)

Στο διάγραμμα 9.33, σενάριο I με δεδομένα Meteonorm, διακρίνονται οι ώρες εκείνες στις οποίες έχουν λειτουργήσει οι συσκευές είτε λόγω εμφάνισης περίσσειας ενέργειας, ή και ακόμη λόγω εξαναγκασμού για να μην ξεπεραστεί το όριο των ωρών στο οποίο θα πρέπει να λειτουργήσει. Στην πρώτη περίπτωση

αριστερά, μπαίνουν διαδοχικά και οι δυο συσκευές και παρατηρείται μια έντονη πτώση της περίσσειας ενέργειας. Οι μπαταρίες παραμένουν ουσιαστικά αμετάβλητες, καθώς το ποσό της περίσσειας είναι πολύ υψηλό και δεν χρειάζεται η συμμετοχή τους. Στην τέρμα δεξιά περίπτωση έχουμε τον εξαναγκασμό λειτουργίας των δυο συσκευών και κατά συνέπεια την αύξηση στην ζήτηση της ενέργειας από τις μπαταρίες, εφόσον εκείνη την ώρα δεν υπάρχει περίσσεια ενέργειας. Η ενδιάμεση κατάσταση δείχνει μια πιο πολύπλοκη κατάσταση κατά την οποία και στις δυο περιπτώσεις έχει ξεκινήσει να λειτουργεί το πλυντήριο πιάτων και στην περίπτωση με την «μετακίνηση» εμφανίζεται περίσσεια ενέργειας. Ουσιαστικά εκεί δεν υπάρχει κάποια μετακίνηση με πριν, παρά μόνο εκείνη την ώρα επειδή θα εμφανιζόταν υψηλή περίσσεια ενέργειας παρέμεινε στην ίδια θέση η συσκευή. Η εξήγηση της εμφάνισης περίσσειας ενέργειας για εκείνη την ώρα, παρότι πριν δεν υπήρχε, οφείλεται στην προηγούμενη κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας. Στην κατάσταση «πριν» φόρτισε την μπαταρία σε ποσοστό λίγο πάνω του 5%, ενώ στην «μετά» μόλις 1% και έφτασε στην μέγιστη φόρτιση και το υπόλοιπο δημιούργησε περίσσεια ενέργειας.



**Διάγραμμα 9. 34** Μεταβολή της περίσσειας ενέργειας και της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας κατά την μετατόπιση των φορτίων με τα στιγμιότυπα πριν και μετά την είσοδο του φορτίου. Τα σχήματα με την κόκκινη γραμμή δείχνουν την ώρα στην οποία εμφανίζεται περίσσεια ενέργειας και τίθεται σε λειτουργία η συσκευή. (Σενάριο I, Δεδομένα Meteonorm, χωρητικότητα μπαταριών 1583Ah, 6-12 Απριλίου)

Ένα άλλο στιγμιότυπο το οποίο ελήφθη για το σενάριο I και τις ημέρες από 6-12 Απριλίου, με χωρητικότητες μπαταριών 1583Ah, φαίνεται στο διάγραμμα 9.34. Εδώ έχουμε τρεις εισόδους του πλυντηρίου πιάτων και δυο για το πλυντήριο ρούχων. Στην πρώτη αριστερά έχουμε την είσοδο και των δυο συσκευών σε σειρά και έντονη μείωση της περίσσειας ενέργειας για εκείνες τις ώρες. Στην επόμενη μετακίνηση, μπαίνει σε λειτουργία το 2<sup>ο</sup> πλυντήριο πιάτων για την εβδομάδα και παρατηρείται πάλι ψαλίδισμα της ενέργειας που περισσεύει. Πιο δεξιά μπαίνει το 2<sup>ο</sup> πλυντήριο ρούχων και ταυτόχρονα εμφανίζεται αυξημένη ενέργεια που δεν εκμεταλλευόμαστε, επειδή ακριβώς τις προηγούμενες ώρες ο βαθμός φόρτισης της μπαταρίας ήταν σε υψηλότερα επίπεδα στην «μετά» κατάσταση. Τέλος στο 3<sup>ο</sup> πλυντήριο πιάτων έχουμε μια έντονη μείωση στο αριστερό τμήμα της περισσευούμενης ενέργειας για την κάλυψη του φορτίου.

Γενικά και στις δυο εξεταζόμενες περιπτώσεις παρατηρούμε ότι οι μπαταρίες μετά την μετατόπιση εμφανίζουν υψηλότερο βαθμό φόρτισης σε όλο το φάσμα των ωρών για τις δυο περιόδους που επιλέχθηκαν.

## 10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε ένα υβριδικό σύστημα, αποτελούμενο από μια Φ/Β γεννήτρια, μια Α/Γ και μπαταρίες ως μέσο αποθήκευσης, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μιας κατοικίας. Για την εκτίμηση των μερών του υβριδικού συστήματος, Φ/Β γεννήτριας, Α/Γ και μπαταριών, χρησιμοποιήθηκε μια δυναμική αναλυτική επαναληπτική μέθοδος προσομοίωσης σε ωριαία βάση. Στον αλγόριθμο που δημιουργήθηκε έγινε η ενσωμάτωση δυο διαφορετικών μοντέλων εκτίμησης της ηλιακής ακτινοβολίας και δυο δυναμικών σεναρίων χρηστών βασισμένα στις ώρες εργασίας των ενοίκων. Τέλος, για τον έλεγχο της αξιοπιστίας του υβριδικού συστήματος προσαρτήθηκε ένας αλγόριθμος για την δυναμική μετατόπιση ορισμένων φορτίων. Για τις απαραίτητες προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκε η υπολογιστική προγραμματιστική μηχανή της MATLAB.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε η εμπειρική πρόβλεψη της μέσης ημερήσιας και των ωριαίων τιμών της ακτινοβολίας. Έπειτα δημιουργήθηκαν διάφορα σενάρια κατανάλωσης ανάλογα με την συμπεριφορά των χρηστών, σενάριο I και II. Για την κάλυψη των φορτίων χρησιμοποιήθηκε ένα επαναληπτικό δυναμικό μοντέλο προσομοίωσης σε ωριαία βάση για την επιλογή μεταξύ τριών συστημάτων παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ, Φ/Β γεννήτρια, ανεμογεννήτρια, υβριδικό σύστημα παραγωγής αποτελούμενο από φωτοβολταϊκά πάνελ και ανεμογεννήτρια, και αξιολογήθηκε η συμπεριφορά τους τεχνικοοικονομικά. Ακόλουθα, επιλέγοντας το υβριδικό ως την ενδεικνυόμενη τεchnοοικονομικά λύση, συγκρίθηκαν τα συστήματα που παράχθηκαν με τα δεδομένα του Meteororm και αυτά που προέκυψαν από τα μοντέλα πρόβλεψης, από τα δεδομένα δυο βάσεων, του Meteororm και της SoDa, για διαφορετικές καμπύλες φορτίων. Εν τέλει, η επίδραση της μετατόπισης των φορτίων στην αξιοπιστία των υβριδικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εξετάστηκε. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι μέσες ημερήσιες τιμές ανά μήνα από την SoDa, Meteororm και οι ωριαίες του Meteororm. Όλες οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν σε ωριαία βάση.

Με την χρήση τις πρόβλεψης συμπεραίνουμε ότι η προσαρμογή τους για τα ημερήσια δεδομένα που εξήφθησαν έδωσαν έναν πολύ υψηλό συντελεστή προσαρμογής και για τα ωριαία δεδομένα παρατηρήσαμε ότι το μοντέλο II μας έδωσε πολύ κοντινές τιμές με αυτά της βάσης. Το μοντέλο I, για τα ωριαία δεδομένα μας έδωσε προβλέψεις οι όποιες κατά το ηλιακό μεσημέρι υποτιμούσαν την ένταση της ακτινοβολίας ενώ την ώρα ανατολής και δύσης την

υπερεκτιμούσαν. Επειδή οι τιμές οι οποίες παράγονται από τα μοντέλα αφορούν τις μέσες τιμές από μια χρονο-σειρά δεδομένων, ακραίες διακυμάνσεις που μπορεί να εμφανιστούν είναι αδύνατο να προβλεφτούν.

Από την σύγκριση που έγινε μεταξύ των τριών συστημάτων Φ/Β μόνο, Α/Γ μόνο, υβριδικό σύστημα αποτελούμενο από Φ/Β γεννήτρια και ανεμογεννήτρια, είδαμε ότι το υβριδικό σύστημα μας έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από τεχνικής και οικονομικής άποψης για όλα τα παραγόμενα συστήματα. Η υπεροχή του υβριδικού συστήματος εξηγείται από το γεγονός ότι το χρονικό διάστημα που σταματούν να παράγουν τα Φ/Β το αιολικό δυναμικό συμπληρώνει την έλλειψη της παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά.

Όσο αφορά την επίδραση των ηλιακών δεδομένων στην διαστασιολόγηση ενός υβριδικού συστήματος μεταξύ των δεδομένων που ελήφθησαν από τις δυο βάσεις και των μοντέλων πρόβλεψης ανέδειξαν ότι αποκλίσεις σε αυτά οδηγούν και σε διαφορετικά παραγόμενα συστήματα. Μεταξύ των δυο σεναρίων παρατηρήσαμε ότι το σενάριο II εμφανίζει μεγαλύτερες καταναλώσεις κατά την διάρκεια τις ημέρας και γι' αυτό μικρότερη Φ/Β γεννήτρια απαιτείται. Το Meteororm για τις αρχικές χωρητικότητας μπαταριών παράγει μεγαλύτερες γεννήτριες και για τα δυο σεναρία. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στη διακύμανση που εμφανίζει στην πραγματικότητα η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην μέρα και δεν λαμβάνεται υπόψη από τα δυο μοντέλα. Όσο η χωρητικότητα των μπαταριών αυξάνει μια σύγκλιση των αποτελεσμάτων με αυτά των μοντέλων πρόβλεψης εμφανίζεται. Το μοντέλο I παράγει μεγαλύτερες γεννήτριες για μεγαλύτερο εύρος μπαταριών εξαιτίας της χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας που δίνει το ηλιακό μεσημέρι σε σχέση με το μοντέλο II.

Με τα δεδομένα που παράχθηκαν από τις δυο βάσεις παρατηρούμε ότι οι Φ/Β γεννήτριες που υπολογίστηκαν είναι μικρότερης ισχύος όταν χρησιμοποιούνται τα δεδομένα της SoDa, εξαιτίας των υψηλότερων τιμών των ηλιακών δεδομένων που δίνει, οι οποίες είναι 10,95% υψηλότερες από αυτές του Meteororm. Χαρακτηριστικά στο σενάριο I στην αρχική χωρητικότητα μπαταριών τα παραγόμενα Φ/Β είναι μικρότερα κατά 20% με το μοντέλο I και 13,3% με το μοντέλο II σε σύγκριση με το Meteororm.

Στην συνέχεια έγινε σύγκριση των παραγόμενων συστημάτων για διαφορετικά προφίλ φορτίων για το κάθε σενάριο που εξετάσαμε, με πιθανότητα απώλειας ισχύος 5% (LPSP). Από αυτά συμπεραίνουμε ότι το ετήσιο προφίλ φορτίων και για τα δύο σεναρία παρήγαγε υψηλότερες γεννήτριες. Όμως από ορισμένη χωρητικότητα μπαταριών και μετά η παραγόμενες Φ/Β γεννήτριες ταυτίζονται για όλα τα προφίλ.

Μεταξύ των σεναρίων I και II οι γεννήτριες των Φ/Β και η περίσσεια ενέργειας λαμβάνει υψηλότερες τιμές στο σενάριο I, επειδή στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει τόσο καλό ταίριασμα των καταναλώσεων με την παραγόμενη από τα Φ/Β ενέργεια. Οικονομικώς τα πιο αποδοτικά συστήματα είναι αυτά που προέκυψαν από το μοντέλο II και για τα δυο σεναρία, αλλά γενικά για τις

περιπτώσεις που εξεταστήκαν είναι τα συστήματα με τις λιγότερες μπαταρίες, σύμφωνα με τους περιορισμούς που τέθηκαν.

Η επίδραση της μετατόπισης των φορτίων αύξησε το ποσοστό κάλυψης ακόμα και με χαμηλή περίσσεια ενέργειας. Η κατάσταση φόρτισης των μπαταριών είναι αυξημένη μετά την μετατόπιση και η περίσσεια ενέργειας, τις χρονικές περιόδους λειτουργίας των μετακινούμενων συσκευών, σημαντικά μειωμένη. Με την χρονική μετατόπιση φορτίων αυξάνεται ο συντελεστής αξιοπιστίας του συστήματος και συνεπώς μειώνεται το μέγεθος του συστήματος εάν επιλεγεί η διατήρηση του αρχικού βαθμού αξιοπιστίας. Ακόμη, με την σωστή χρήση των φορτίων μπορεί να αποφευχθούν υψηλές ωριαίες καταναλώσεις με αποτέλεσμα την ομαλότερη λειτουργία ενός συστήματος από ΑΠΕ.

Ο αλγόριθμος προσομοίωσης του υβριδικού συστήματος μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε περιοχή στην Ελλάδα, καθώς λαμβάνει υπόψη τις περιβαλλοντικές ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής. Ακόμη είναι εφαρμόσιμος για κάθε τύπο γεννητριών και συστημάτων αποθήκευσης, με την απλή εφαρμογή των τεχνικών τους στοιχείων. Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για διαφορετικές κλίσεις της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και διαφορετικά ύψη του άξονα της ανεμογεννήτριας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

<sup>1</sup> Mc Loughlin F, Duffy A, Conlon M. Characterising domestic electricity consumption patterns by dwelling and occupant socio-economic variables: An Irish case study. *Energy and buildings* 2012; 48: 240-248.

<sup>2</sup> Rory V. Jones, Alba Fuertes , Kevin J. Lomas. The socio-economic, dwelling and appliance related factors affecting electricity consumption in domestic buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 43(2015)901–917.

<sup>3</sup> Wang Z, Lu M, Wang JC. Direct rebound effect on urban residential electricity use: an empirical study in China. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2014;30:124–32.

<sup>4</sup> Λαζαρή Ε., Τζανακάκη Ε., Ενεργειακός σχεδιασμός οικισμών με ενσωμάτωση ΑΠΕ. ΚΑΠΕ 2002.

<sup>5</sup> Μαλαματένιος Χ., Μέγγος Στ., Ενεργειακή διαχείριση κτιρίων. ΚΑΠΕ 2002.

<sup>6</sup> Καπλάνης Σ.Ν., "Ηλιακή Μηχανική ΙΙ", Εκδόσεις ΙΟΝ, 2004.

<sup>7</sup> Μαυρογιάννης Ι. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ελλάδα, (2008), ΚΑΠΕ.

<sup>8</sup> Φραγκιαδάκης Ι. Ε., Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Εκδόσεις Ζήτη (2007), Θεσσαλονίκη.

<sup>9</sup> KYOTO Protocol to the UN Framework Convention to Climate Change, 1-7 July 2000, Brighton, UK.

<sup>10</sup> Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), Έρευνα κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά 2011-2012, Δελτίο τύπου Οκτωβρίου 2013.

<sup>11</sup> Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Pepesec project, Ενεργειακός Σχεδιασμός για Αειφόρες Κοινότητες, Ενδεικτικά αποτελέσματα μετρήσεων κατανάλωσης ρεύματος στο Δήμο Αμαρουσίου(ΚΑΠΕ). <http://www.cres.gr/pepesec/apotelesmata.html>.

<sup>12</sup> REMODECE – Residential monitoring to decrease energy use and carbon emissions in Europe, έργο του προγράμματος Intelligent Energy for Europe (I E E 05-124). <http://remodece.isr.uc.pt/>

<sup>13</sup> Commission of the European Communities, End use metering campaign in 400 households of the European Community, save programme contract N° 4.1031/Z/98-267. Project EURECO, January 2002.

- 
- <sup>14</sup> Grandjean A, Adnot J, Binet G. A review and an analysis of the residential electric load curve models. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2012;16 (9):6539–65.
- <sup>15</sup> Wiesmann D, Lima Azevedo I, Ferrão P, Fernández JE. Residential electricity consumption in Portugal: findings from top-down and bottom-up models. *Energy Policy* 2011;39(5):2772–9.
- <sup>16</sup> Druckman A, Jackson T. Household energy consumption in the UK: a highly geographically and socio-economically disaggregated model. *Energy Policy* 2008;36(8):3177–92.
- <sup>17</sup> Murray S. N., Walsh B. P., Denis Kelliher D., O'Sullivan D.T.J. Multi-variable optimization of thermal energy efficiency retrofitting of buildings using static modelling and genetic algorithms – A case study, *Building and Environment*. Volume 75, May 2014, pp 98–107.
- <sup>18</sup> Ghanbaria A. Kazemib S.M.R., Mehmanpazirc F., Masoud Nakhostinc M., A Cooperative Ant Colony Optimization-Genetic Algorithm approach for construction of energy demand forecasting knowledge-based expert systems. *Knowledge-Based Systems*, Volume 39, February 2013, Pages 194–206
- <sup>19</sup> Gonzalez de Durana J. M., Barambones O., Agent based modeling of energy networks, *Energy Conversion and Management*, Volume 82, 2014, pp 308–319.
- <sup>20</sup> J. O'Doherty, S. Lyons, R. Tol, Energy-using appliances and energy-saving features: determinants of ownership in Ireland, *Applied Energy* 85 (7) (2008) 650–662.
- <sup>21</sup> E. Leahy, S. Lyons, Energy use and appliance ownership in Ireland, ESRI, Working Paper No. 277, 2009.
- <sup>22</sup> M. Parti, C. Parti, The total and appliance specific conditional demand for electricity in the household sector, *Bell Journal of Economics* 11 (1) (1980) 309–324.
- <sup>23</sup> Yohanis YG, Mondol JD, Wright A, Norton B. Real-life energy use in the UK: how occupancy and dwelling characteristics affect domestic electricity use. *Energy Build* 2008;40(6):1053–9.
- <sup>24</sup> Hart F M., R. de Dear, Weather sensitivity in household appliance energy enduse, *Energy and Buildings* 36 (2) (2004) 161–174.
- <sup>25</sup> D.S. Parker, Research highlights from a large scale residential monitoring study in a hot climate, *Energy and Buildings* 35 (9) (2003) 863–876.
- <sup>26</sup> R. Yao, K. Steemers, A method of formulating energy load profile for domestic buildings in the UK, *Energy and Buildings* 37 (6) (2005) 663–671.
- <sup>27</sup> J. Widen, E. Wackelgard, A high-resolution stochastic model of domestic activity patterns and electricity demand, *Applied Energy* 87 (2010) 1880–1892.



- 
- <sup>28</sup> Y. Shimoda, T. Fujii, T. Morikawa, M. Mizuno, Residential end-use energy simulation at city scale, *Building and Environment* 39 (8) (2004) 959–967.
- <sup>29</sup> A. Capasso, W. Grattieri, R. Lamedica, A. Prudenzi, A bottom-up approach to residential load modelling, *IEEE Transactions on Power Systems* 9 (May (2)) (1994).
- <sup>30</sup> A.M. Papadopoulos, S. Oxizidis, G. Papandritsas, Energy, economic and environmental performance of heating systems in Greek buildings, *Energy and Buildings* 40 (2008) 224–230.
- <sup>31</sup> M. Aydinalp, V. Ugursal, A. Fung, Modeling of appliance, lighting, and spacecooling energy consumption in the residential sector using neural networks, *Applied Energy* 71 (2002) 87–110.
- <sup>32</sup> M. Aydinalp, V. Ismet Ugursal, et al., Modelling of the space and domestic hot water heating energy-consumption in the residential sector using neural networks, *Applied Energy* 79 (2) (2004) 159–178.
- <sup>33</sup> M. Aydinalp-Koksal, V.I. Ugursal, Comparison of neural network, conditional demand analysis, and engineering approaches for modeling end-use energy consumption in the residential sector, *Applied Energy* 85 (4) (2008) 271–296.
- <sup>34</sup> Brounen D, Kok N, Quigley JM. Residential energy use and conservation: economics and demo graphics. *Eu r Econ Rev* 2012; 56(5):931–45.
- <sup>35</sup> Nielsen L. How to get the birds in the bush into your hand: results from a Danish research project on electricity savings. *Energy Policy* 1993;21 (11):1133–44.
- <sup>36</sup> Bartiaux F, Gram-Hanssen K. Socio-political factors influencing household electricity consumption: a comparison between Denmark and Belgium. In: *Proceedings of the ECEEE 2005 Summer Study*, European Council for an Energy Efficient Economy; 2005. 1313–1325.
- <sup>37</sup> Gram-Hanssen K, Kofod C, Petersen KN. Different everyday lives: different patterns of electricity use. In: *Proceedings of the ACEEE 2004 Summer Study*, American Council for an Energy Efficient Economy; 2004. 7:74–85.
- <sup>38</sup> Bartusch C, Odlare M, Wallin F, Wester L. Exploring variance in residential electricity consumption: household features and building properties. *Appl Energy* 2012;92:637–43.
- <sup>39</sup> Kavousian A, Rajagopal R, Fischer M. Determinants of residential electricity consumption: using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. *Energy* 2013;55:184–94.
- <sup>40</sup> Zhou S, Teng F. Estimation of urban residential electricity demand in China using household survey data. *Energy Policy* 2013;61:394–402.

- 
- <sup>41</sup> Bedir M, Hasselaar E, Itard L. Determinants of electricity consumption in Dutch dwellings. *Energy Build* 2013;58:194–207.
- <sup>42</sup> Cramer JC, Miller N, Craig P, Hackett BM. Social and engineering determinants and their equity implications in residential electricity use. *Energy* 1985;10 (12),pp 1283–91.
- <sup>43</sup> Wyatt P. A dwelling-level investigation into the physical and socio-economic drivers of domestic energy consumption in England. *Energy Policy* 2013;60:540–9.
- <sup>44</sup> Santamouris M, Kapsis K, Korres D, Livada I, Pavlou C, Assimakopoulos MN. On the relation between the energy and social characteristics of the residential sector. *Energy Build* 2007;39(8):893–905.
- <sup>45</sup> Hamilton IG, Steadman PJ, Bruhns H, Summerfield AJ, Lowe R. Energy efficiency in the British housing stock: energy demand and the Homes Energy Efficiency Database. *Energy Policy* 2013;60:462–80.
- <sup>46</sup> Tiwari P. Architectural, demographic, and economic causes of electricity consumption in Bombay. *J Policy Model* 2000;22(1):81–98.
- <sup>47</sup> Larsen BM, Nesbakken R. Household electricity end-use consumption: results from econometric and engineering models. *Energy Econ* 2004;26(2):179–200.
- <sup>48</sup> Baker KJ, Rylatt RM. Improving the prediction of UK domestic energy-demand using annual consumption-data. *Appl Energy* 2008;85(6):475–82.
- <sup>49</sup> Halvorsen B, Larsen BM. Norwegian residential electricity demand—a micro-economic assessment of the growth from 1976 to 1993. *Energy Policy* 2001;29 (3),pp 227–36.
- <sup>50</sup> Genjo K, Tanabe S, Matsumoto S, Hasegawa K, Yoshino H. Relationship between possession of electric appliances and electricity for lighting and others in Japanese households. *Energy Build* 2005;37(3):259–72.
- <sup>51</sup> Sanquist TF, Orr H, Shui B, Bittner AC. Lifestyle factors in U.S. residential electricity consumption. *Energy Policy* 2012;42:354–64.
- <sup>52</sup> Ertekin C, Yaldiz O. Estimation of monthly average daily global radiation on horizontal surface for Antalya, Turkey. *Renewable Energy* 1999;17:95–102.
- <sup>53</sup> Sthitapragyan Mohanty, Prashanta Kumar Patra, Udhansu Sekhar Sahoo, “Prediction and application of solar radiation with soft computing over traditional and conventional approach – A comprehensive review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, pp. 778–796, 2016.
- <sup>54</sup> Angstrom A. Solar and terrestrial radiation. *Q J R Meteorol Soc* 1924;50:121–6.
- <sup>55</sup> Prescott J. Evaporation from water surface in relation to solar radiation. *Trans R Soc S Aust* 1940,pp 114–8.

- 
- <sup>56</sup> Benson RB, Paris MV, Sherry JE, Justus CG. Estimation of daily and monthly direct, diffuse and global solar radiation from sunshine duration measurements. *Sol Energy* 1984;32:523–35 View at Scopus.
- <sup>57</sup> Bristow KL, Campbell GS. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* 1984, pp 59–166.
- <sup>58</sup> Goodin DG, Hutchinson JMS, Vanderlip RL, Knapp MC. Estimating solar irradiance for crop modeling using daily air temperature data. *Agronomy Journal* 1999, pp 845–51.
- <sup>59</sup> Almorox J, Hontoria C, Benito M. Models for obtaining daily global solar radiation with measured air temperature data in Madrid (Spain). *Applied Energy* 2011; pp 1703–9.
- <sup>60</sup> S.Kaplanis, E.Kaplani, "Renewable Energy Systems, Theory, Innovations and Intelligent Applications", Nova publishers, New York, 2013.
- <sup>61</sup> Kaplani E, Kaplanis S. Prediction of solar radiation intensity for cost-effective PV sizing and intelligent energy buildings. *Solar power*, Prof Radu Rugescu (Ed.). ISBN: 978-953-51-0014-0. InTech 2012.
- <sup>62</sup> Jain P.C., Estimation of monthly average hourly global and diffuse irradiation. *Solar and Wind Technology*, Vol 5(1), pp 7-15, 1988.
- <sup>63</sup> Baig A, Akhter P, Mufti A. A nomel approach to estimate the clear day global radiation. *Renewable Energy* Vol 1(1) pp.119-123, 1991.
- <sup>64</sup> Kaplanis S. New methodologies to estimate the hourly global solar radiation; Comparisons with existing models. *Renew Energy* 2006; 31:781–90.
- <sup>65</sup> Bevington PR. *Data reduction and error analysis for the physical sciences*. New York: McGraw Hill Book Co.; 1969.
- <sup>66</sup> Kaplanis S, Kaplani E (2007) A model to predict expected mean and stochastic hourly global solar radiation  $l(h;n_j)$  values. *Renew Energy* 2007.
- <sup>67</sup> ΒΡΕΤΤΟΣ Ε., “Ενεργειακή Προσομοίωση και Βέλτιστη Διαστασιολόγηση Υβριδικού Συστήματος ΑΠΕ – Συσσωρευτών – Υδρογόνου”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, 2010.
- <sup>68</sup> Markvard T., *Solar Electricity*, second ed. Willey, USA 2000.
- <sup>69</sup> E. Kaplani, S. Kaplanis. A stochastic simulation model for reliable PV system sizing providing for solar radiation fluctuations. *Applied Energy* 2012; 97:970–981.
- <sup>70</sup> Καπλάνης Σ.Ν., "Ηλιακή Μηχανική ΙΙΙ", Εκδόσεις ΙΟΝ, Αθήνα 2004.
- <sup>71</sup> Kaplanis S, Kaplani E. A comparison of a new PV-sizing approach for stand-alone systems with conventional methodologies. In: *Proc of IASTED int conf EuroPES*, Rhodes, Greece; June 26–28, 2006. pp. 332–7.

- 
- <sup>72</sup> Καλδέλλης Ι.Κ., Διαχείριση Αιολικής Ενέργειας, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα 2005.
- <sup>73</sup> Khatod DK, Pant V, Sharma J. Analytical approach for well-being assessment of small autonomous power systems with solar and wind energy sources. *IEEE Trans Energy Convers* 2010;25:535–45.
- <sup>74</sup> Chedid R, Akiki H, Rahman S. A decision support technique for the design of hybrid solar–wind power systems. *IEEE Trans Energy Convers* 1998;13(1):76–83.
- <sup>75</sup> Diaf S, Diaf D, Belhamel M, Haddadi M, Louche A. A methodology for optimal sizing of autonomous hybrid PV/wind system. *Energy Policy* 2007;35:5708–18.
- <sup>76</sup> Akai, T.J., 1994. *Applied Numerical Methods for Engineers*, second ed. Wiley, New York.
- <sup>77</sup> Diaf S, Notton G, Belhamel M, Haddadi M, Louche A. Design and techno economical optimization for hybrid PV/wind system under various meteorological conditions. *Appl Energy* 2008;85(10):968–87.
- <sup>78</sup> Hongxing Yang, Lin Lu, Wei Zhou. A novel optimization sizing model for hybrid solar-wind power generation system. *Solar Energy* 2007;81:76–84.
- <sup>79</sup> Bogdan, S.B., Salameh, Z.M., 1996. Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in a wind/PV hybrid system. *IEEE Transactions on Energy Conversion* 11 (2), 367–375.
- <sup>80</sup> Lim Jong Hwan. Optimal combination and sizing of a new and renewable hybrid generation system. *Int J Future Gener Commun Networking* 2012;5(2).
- <sup>81</sup> Hocaoglu F., Gerek O., Kurban M. A novel hybrid (wind–photovoltaic) system sizing procedure. *Solar Energy* 83 (2009) 2019–2028.
- <sup>82</sup> Valente LCG, Almeida SCAD. Economic analysis of a diesel/photovoltaic hybrid system for decentralized power generation in northern Brazil. *Energy* 1998;23(4):317–23.
- <sup>83</sup> Kurt, Daniel (2003). "Net Present Value (NPV) Definition | Investopedia". Investopedia. Retrieved 2016-05-05.
- <sup>84</sup> Bakosa GC, Soursos M. Techno-economic assessment of a stand-alone PV/hybrid installation for low-cost electrification of a tourist resort in Greece. *Appl Energy* 2002; 73:183–93.
- <sup>85</sup> Deshmukh ML, Deshmukh SS. Modeling of hybrid renewable energy systems. *Renew Sustain Energy Rev* 2008;12(1):235–49.
- <sup>86</sup> Yang HX, Lu L, Zhou W. A novel optimization sizing model for hybrid solar–wind power generation system. *Solar energy* 2007;81(1):76–84.

- 
- <sup>87</sup> Yang HX, Zhou W, Lu L, Fang ZH. Optimal sizing method for stand-alone hybrid solar–wind system with LPSP technology by using genetic algorithm. *Solar Energy* 2008;82(4):354–67.
- <sup>88</sup> Lazou, A.A., Papatsoris, A.D., 2000. The economics of photovoltaic stand-alone residential households: a case study for various European and Mediterranean locations. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 622 (4), 411–427.
- <sup>89</sup> Yang H, Zhou W, Lou C. Optimal design and techno-economic analysis of a hybrid solar–wind power generation system. *Appl Energy* 2009;86(2):163–9.
- <sup>90</sup> Malla SG, Bhende CN. Voltage control of stand-alone wind and solar energy system. *Electr Power Energy Syst* 2014;56, pp 361–73.
- <sup>91</sup> Nagabhushana AC, Jyoti R, Raju AB. Economic analysis and comparison of proposed HRES for stand-alone applications at various places in Karnataka state. *IEEE PES Innovative Smart Grid Technol India* 2011, pp 380–5.
- <sup>92</sup> Kellogg W, Nehrir MH, Venkataramanan G, Gerez V. Optimal unit sizing for a hybrid wind/photovoltaic generating system. *Electr Power Syst Res* 1996;39, pp 35–8.
- <sup>93</sup> Markvart T. Sizing of hybrid PV–wind energy systems. *Sol Energy* 1996; 59(4), pp 277–81.
- <sup>94</sup> Tina G, Gagliano S. Probabilistic analysis of weather data for a hybrid solar/wind energy system. *Int J Energy Res* 2011;35(3), pp 221–32.
- <sup>95</sup> Gavanidou ES, Bakirtzis AG. Design of a stand alone system with renewable energy sources using trade off methods. *IEEE Trans Energy Convers* 1992;7, pp 42–8.
- <sup>96</sup> Abbes D, Martinez A, Champenois G. Life cycle cost, embodied energy and loss of power supply probability for the optimal design of hybrid power systems. *Math Comput Simul* 2014;98, pp 46–62.
- <sup>97</sup> Pirhaghshenasvali M, Asaei B. Optimal modeling and sizing of a practical hybrid wind/PV/diesel generation system. In: *The fifth power electronics, drive system and technologies conference (PEDSTC2014)*, Tehran, Iran; 2014. pp. 506–11.
- <sup>98</sup> Ekren O, Ekren BY. Size optimization of a PV/wind hybrid energy conversion system with battery storage using simulate dannealing. *Appl Energy* 2010;87:592–8.
- <sup>99</sup> Kaplani E., Ntafogiannis P., Pappas K., and Diamantopoulos N.. Dynamic load management and optimum sizing of stand-alone hybrid PV/wind system. *AIP Conference Proceedings* 1702, 150003 (2015).
- <sup>100</sup> Torcellini P., Pless S., and Deru M.. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. *Conference Paper NREL/CP-550-39833* June 2006.

- 
- <sup>101</sup> Shanti Pless and Paul Torcellini. Net-Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options. National Renewable Energy Laboratory report: NREL/TP-5500-44586, June 2010.
- <sup>102</sup> Jinsoo H, Chang Sig C, Llwoo L. More efficient home energy management system based on ZigBee communication and infrared remote controls. *IEEE Trans Consum Electron* 2011;57:85–9.
- <sup>103</sup> Snyder A, Gunther E, Griffin S. The smart grid homeowner: an IT guru? Future of instrumentation in ernational works hop (FIIW);2010.p.1–4.
- <sup>104</sup> De Silva L, Morikama C, Petra I. State of art of smart homes. *Eng Appl Artif Intell* 2012;25:1313–21.
- <sup>105</sup> Jarman P, Hooton R, Walker L, Wang Z. Transformer life prediction using data from units removed from service and thermal modelling. In: *CIGRE 6ht*; 2010.
- <sup>106</sup> Noury N, Quach K, Berenguer M, Teyssier H, Bouzid MJ, Goldstein L, Giordani M. Remote follow up of health through the monitoring of electrical activities on the residential power line – preliminary results of an experimentation. In: *Proceedings of the 11th International Conference on E-Health Networking, Applications and Services*;2009.p.9–13.
- <sup>107</sup> JinSung B, Boungiu J, Junyoung N, Youngil K, Sehyun P. An intelligent self- adjusting sensor for smart home services based on ZigBee ecommunications. *IEEE Trans Consum Electron* 2012;58:794–802.
- <sup>108</sup> Nowak S, Schaefer F, Brzozowski M, Kraemer R, Kays R. Towards a convergent digital home network infrastructure. *IEEE Trans Consum Electron* 2011;57:1695–703.
- <sup>109</sup> Tozlu S, Senel M, Wei M, Keshavarzian A. Wi-Fi enabled sensors for internet of things: a practical approach. *Commun Mag IEEE* 2012;50:134–43.
- <sup>110</sup> Bozchalui MC, Hashmi SA, Hassen H, Canizares CA, Bhattacharya K. Optimal operation of residential energy hubs in smartgrids. *IEEE Trans smartgrid* 2012;3:1755–66.
- <sup>111</sup> Powers BS, Margossian B. Using a rule-based algorithm to disaggregate end-use load profiles from premise-level data. *Trans IEEE Comput Appl Power* 1991;4:42–7.
- <sup>112</sup> Hart G. Nonintrusive appliance load monitoring. *Proc IEEE* 1992;80:1870–91.
- <sup>113</sup> Farinaccio L, Zmeureanu R. Using a pattern recognition approach to disaggregate the total electricity consumption in a house into the major end-uses. *Energy Build* 1999;30:245–59.

- 
- <sup>114</sup> Marceau ML, Zmeureanu R. Nonintrusive load disaggregation computer program to estimate the energy consumption of major end uses in residential buildings. *Energy Convers Manag* 2000;41: pp 1389–403.
- <sup>115</sup> Ruzzelli AG, Nicolas C, Schoofs A, O’Hare GM. Real-time recognition and profiling of appliances through a single electricity sensor .In: Proceedings of the IEEE 7<sup>th</sup> annual communications society conference on sensor mesh and ad hoc communications and networks(SECON);2010.
- <sup>116</sup> Saini, “Conservation v. generation: The significance of Demand Side Management (DSM), its tools and techniques”, *Refocus*, vol. 5, pp. 52-54, May/June 2004.
- <sup>117</sup> «Primer on Demand-Side Management with an emphasis on price-responsive programs», Charles River Associates, February 2005.
- <sup>118</sup> A.-H. Mohsenian-Rad, V.W.S. Wong, J. Jatskevich, R. Schober, A. Leon-Garcia, Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid, *IEEE Transactions on Smart Grid* 1 (3) (2010) 320–331.
- <sup>119</sup> Semaoui, S., Hadj Arab, A., Bacha, S., Azoui, B., 2012. performance evaluation of a photovoltaic system with battery storage in Ghardaïa site (South Algeria). In: 9th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, IEEE, Chemnitz, Germany, March 20–23.
- <sup>120</sup> B.J.V. Ruijven, J. Schers, D.P.V. Vuuren. Model-based scenarios for rural electrification in developing countries. *Energy*, 38 (1) (2012), pp. 386–397.
- <sup>121</sup> S. Yamamoto, J.S. Park, M. Takata, K. Sasaki, T. Hashimoto. Basic study on the prediction of solar irradiation and its application to photovoltaic-diesel hybrid generation system. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 75 (3–4) (2003), pp. 577–584.
- <sup>122</sup> R. Kaiser. Optimized battery-management system to improve storage lifetime in renewable energy systems. *Journal of Power Sources*, 168 (2007), pp. 58–65.
- <sup>123</sup> Barca, G., Moschetto, A., Sapuppo, C., Tina, G.M., Giusto, R., Grasso, A.D., 2008. Optimal energy management of a photovoltaic stand-alone dual battery system. MELECON. In: The 14th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, May.
- <sup>124</sup> J.M. Lujano-Rojas, C. Monteiro, R. Dufo-López, J.L. Bernal-Agustín. Optimum load management strategy for wind/diesel/battery hybrid power systems. *Renewable Energy*, 44 (2012), pp. 288–295.
- <sup>125</sup> C. Clastres, T.T.H. Pham, F. Wurtz, S. Bacha. Ancillary services and optimal household energy management with photovoltaic production. *Energy*, 35 (1) (2010), pp. 55–64.

- 
- <sup>126</sup> Missaoui, R., Warkozek, G., Bacha, S., Ploix, S., 2011. PV integration by building energy management system. In: International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, IEEE, Malaga, Spain, May.
- <sup>127</sup> Chang-Sic, Ilwoo Lee, Complex home energy management system architecture and implementation for green home with Built-in Photovoltaic and motorized blinders. Conference: ICT Convergence (ICTC), 2012.
- <sup>128</sup> A. Saha, M. Kuzlu, W. Khamphanchai, M. Pipattanasomporn, S. Rahman, O. Elma, U. S. Selamogullari, M. Uzunoglu, B. Yagcitekcin. A Home Energy Management Algorithm in a Smart House Integrated with Renewable Energy. Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), 2014 IEEE PES.
- <sup>129</sup> N. Gudi, L. Wang, V. Devabhaktuni. A demand side management based simulation platform incorporating heuristic optimization for management of household appliances. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 43 (1) (2012), pp. 185–193.
- <sup>130</sup> X. Chen, T. Wei, S. Hu. Uncertainty-aware household appliance scheduling considering dynamic electricity pricing in smart home. IEEE Transactions on Smart Grid, 4 (2) (2013), pp. 932–941.
- <sup>131</sup> A. Tascikaraoglu, A.R. Boynuegri, M. Uzunoglu. A demand side management strategy based on forecasting of residential renewable sources: A smart home system in Turkey. Received 1 April 2014, Revised 15 May 2014, Accepted 17 May 2014, Available online 4 June 2014.
- <sup>132</sup> METEONORM 4.0 Global meteorological database for solar energy and applied meteorology.
- <sup>133</sup> Cooper PI. The absorption of radiation in solar stills. Solar Energy, Vol 12. pp 333-346.(1969).
- <sup>134</sup> J. Duffie, W. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes", J. Wiley and Sons, New York, 1980.
- <sup>135</sup> Liu BYH, Jordan R C. The inter-relationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. Solar Energy 4(3), pp 1–19(1960).
- <sup>136</sup> Duffie, J.A., Beckman, W.A., 1991. Solar Engineering of Thermal of Thermal Process, second ed. Wiley, New York.