

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ



ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΙΩΣΗ ΑΙΧΜΗΣ ΣΕ ΚΟΡΕΣΜΕΝΟΥΣ
ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥΣ
ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΚΑΙ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ**

Νούλης Κωνσταντίνος

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγητής, Σταυρακάκης Γεώργιος (Επιβλέπων)

Καθηγητής, Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος

Διδάκτωρ, Τσικαλάκης Αντώνιος

Χανιά, Οκτώβριος 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή
κ. Σταυρακάκη Γεώργιο.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον κ. Τσικαλάκη Αντώνιο
για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε και το χρόνο που διάθεσε
κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου.

Περίληψη

Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης είναι το μεγαλύτερο αυτόνομο νησιωτικό σύστημα στην Ελλάδα. Την τελευταία δεκαετία παρατηρείται μια ραγδαία αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στο ΣΗΕ Κρήτης, όπως και σημαντική μεταβολή της αιχμής. Ο αντίκτυπος του παραπάνω είναι η αύξηση της κατανάλωσης του καυσίμου και επομένως του κόστους. Ιδιαίτερο πρόβλημα παρουσιάζεται την καλοκαιρινή περίοδο με την αυξημένη λειτουργία των αεριοστροβιλικών μονάδων για την κάλυψη των φορτίων αιχμής.

Παράλληλα, πρόσφατα και σύμφωνα με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για αύξηση των εναλλακτικών τρόπων παραγωγής ενέργειας, παρατηρείται συνεχής αύξηση των φωτοβολταϊκών σταθμών στην Κρήτη, που ομολογουμένως έχει τα υψηλότερα ποσοστά ηλιοφάνειας στην Ελλάδα.

Σε αυτή την εργασία μελετάται αν και κατά πόσο τα φωτοβολταϊκά μπορούν να βοηθήσουν σε περιόδους που παρουσιάζεται αιχμή στο ζητούμενο φορτίο. Το σενάριο μελέτης αναφέρεται στο έτος 2001, όπου παρουσιάστηκε μια επιπλέον ιδιαιτερότητα στην οικονομική λειτουργία του συστήματος· πιο συγκεκριμένα, το δεύτερο εξάμηνο του 2001 παρατηρήθηκε πως ο αεριοστρόβιλος 1 Χανίων «αναγκάστηκε» να λειτουργήσει πολλές φορές προκειμένου να αντιμετωπίσει την αιχμή ζήτησης του Μ/Σ-2 του Υ/Σ Χανίων και να τον προστατεύσει από την υπερφόρτιση. Αυτό είχε σαν συνέπεια να υποκαθίσταται παραγωγή από λιγότερο ακριβές μονάδες από τον αεριοστρόβιλο 1, που αποτελεί τη μονάδα με το ακριβότερο κόστος λειτουργίας στο ΣΗΕ Κρήτης, προκειμένου να προστατευθεί ο συγκεκριμένος εξοπλισμός.

Για τις ώρες κατά τις οποίες λειτουργούσε ο αεριοστρόβιλος 1 Χανίων κατά το δεύτερο εξάμηνο του 2001, διερευνήθηκε σε ποιο βαθμό τα αδειοδοτημένα φωτοβολταϊκά που υπάρχουν αυτή τη στιγμή σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων θα μπορούσαν να συνεισφέρουν στον περιορισμό της ζήτησης του συγκεκριμένου Μ/Σ και επομένως να περιορίσουν την ανάγκη χρήσης της επίμαχης μονάδας.

Η επίλυση του προβλήματος επήλθε με τη λύση τριών προβλημάτων βελτιστοποίησης. Αρχικά, μια αλλαγή στην οικονομική κατανομή των μονάδων, που προκύπτει από τη βέλτιστη μείωση παραγωγής τους λόγω της εισαγωγής των φωτοβολταϊκών στο σύστημα. Έπειτα, μια διαφορετική αλλαγή στην οικονομική κατανομή των μονάδων, όπου εκτός από τη μείωση λόγω των φωτοβολταϊκών υπάρχει η δυνατότητα περαιτέρω μείωσης ή αύξησης της παραγωγής των μονάδων. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει μικρή μείωση παραγωγής για τις ακριβές μονάδες και αύξηση για τις φτηνές. Τέλος, μια αλλαγή στο πρόγραμμα της ένταξης των μονάδων, όπου εκτός των παραπάνω εξετάζεται η δυνατότητα αντικατάστασης της επίμαχης μονάδας του αεριοστρόβιλου 1 Χανίων με κάποια άλλη του συστήματος, αν αυτό είναι οικονομικά επωφελές. Σε όλες τις περιπτώσεις τηρήθηκαν οι κατάλληλοι τεχνικοί περιορισμοί, τόσο των μονάδων όσο και του υποσταθμού.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων απέδειξαν πως μια πολιτική αλλαγής του προγράμματος της ένταξης των μονάδων, όταν όλα τα φωτοβολταϊκά είναι εγκατεστημένα σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων, επιφέρει τα μέγιστα οφέλη στο ΣΗΕ Κρήτης. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις με τα φωτοβολταϊκά να είναι σε περιοχές κοντινές των Χανίων αλλά εκτός επιρροής του Υ/Σ όπως και σε περιοχές της Ιεράπετρας, όπου οι συνθήκες ηλιοφάνειας είναι σαφώς καλύτερες.

Αποδείχτηκε επίσης πως τα οφέλη της εφαρμογής για το σύστημα αυξάνονται στην περίπτωση που στον Υ/Σ Χανίων υπάρχει, και λειτουργεί συνδυαστικά με τα φωτοβολταϊκά, αποθηκευτική διάταξη.

Εκτός από τα οικονομικά οφέλη, φάνηκε κατά πόσο η εφαρμογή επηρέασε τη λειτουργία του επίμαχου αεριοστρόβιλου, πώς επίδρασε πάνω στη ζήτηση του Υ/Σ Χανίων και αν μετάβαλλε τη συνολική παραγωγή των σταθμών παραγωγής ενέργειας του ΣΗΕ Κρήτης. Άξια σχολιασμού είναι και τα περιβαλλοντικά οφέλη που προέκυψαν από την εφαρμογή.

Τελικά, στα οφέλη της εφαρμογής έγινε αναγωγή σε ετήσιο επίπεδο, σύμφωνα με την πιθανοτική μέθοδο που υπολογίζει την αξία των φωτοβολταϊκών. Με αυτό τον τρόπο υπολογίστηκαν τα ετήσια κέρδη της ΔΕΗ που προέκυψαν από την εφαρμογή. Αυτά τα κέρδη μπορούν να διοχετευθούν σε μια επενδυτική πολιτική από το διαχειριστή του συστήματος ή να προσφερθούν σαν επιδοτήσεις στους ιδιοκτήτες φωτοβολταϊκών για τη μετακίνησή των αδειών τους σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων.

Μια ανάλυση ευαισθησίας στην τιμή των καυσίμων έδειξε πως η εφαρμογή γίνεται τόσο περισσότερο συμφέρουσα για το σύστημα όσο αυξάνει η τιμή του καυσίμου.

Περιεχόμενα

1	ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ	- 11 -
1.1	Εισαγωγή	- 11 -
1.2	Κίνηση του ηλίου	- 11 -
1.2.1	Βασικοί ορισμοί	- 12 -
1.3	Ηλιακή ακτινοβολία	- 13 -
1.3.1	Βασικοί ορισμοί	- 13 -
1.3.2	Συστήματα αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας	- 14 -
1.4	Φωτοβολταϊκά συστήματα	- 15 -
1.4.1	Εισαγωγή	- 15 -
1.4.2	Δομή και λειτουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων	- 15 -
1.4.3	Κυκλωματικό ισοδύναμο	- 15 -
1.4.4	Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων	- 16 -
1.4.5	Φωτοβολταϊκά πλαίσια και συνδεσμολογίες	- 19 -
1.4.6	Χαρακτηριστική I-V φωτοβολταϊκού πλαισίου – Παράγοντες επίδρασης της απόδοσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου	- 20 -
1.4.7	Τρόποι στήριξης των συλλεκτών και προσανατολισμός τους	- 21 -
1.4.8	Βασικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών συστημάτων	- 23 -
1.4.9	Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων	- 24 -
1.5	Αντιστροφείς	- 24 -
1.5.1	Εισαγωγή	- 24 -
1.5.2	Χαρακτηριστικά του αντιστροφέα	- 26 -
1.5.3	Κατηγορίες αντιστροφέων	- 26 -
1.6	Προστασίες στα φωτοβολταϊκά συστήματα	- 27 -
1.6.1	Εξοπλισμός για την προστασία φωτοβολταϊκών συστημάτων	- 27 -
1.7	Τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα	- 29 -
1.8	Οι αποθηκευτικές διατάξεις σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	- 29 -
1.8.1	Διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας	- 29 -
1.8.2	Τρόποι – διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας	- 30 -
1.8.3	Ηλεκτροχημική αποθήκευση ενέργειας – μπαταρίες	- 30 -
1.8.4	Εναλλακτικές αποθηκευτικές διατάξεις	- 32 -
1.8.5	Εφαρμογές αποθηκευτικών διατάξεων στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας	- 38 -
1.9	Δομή της εργασίας	- 42 -
2	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	- 45 -
2.1	Εισαγωγή	- 45 -
2.2	Επιπτώσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα σε δίκτυα διανομής -	45 -
2.2.1	Εισαγωγή	- 45 -
2.2.2	Επιπτώσεις στους μετασχηματιστές ενός υποσταθμού	- 45 -
2.2.3	Επιπτώσεις στις απώλειες μεταφοράς και διανομής	- 46 -
2.2.4	Διακύμανση τάσης στα σημεία σύνδεσης (voltage fluctuation)	- 46 -
2.2.5	Ανύψωση τάσης στο δίκτυο (voltage rise)	- 46 -
2.3	Περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη της ηλιακής ενέργειας	- 47 -
2.3.1	Περιβάλλον	- 47 -

2.3.2	Οικονομικά οφέλη	- 48 -
2.3.3	Κοινωνικά οφέλη	- 49 -
3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ – ΔΙΚΤΥΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	- 51 -
3.1	Εισαγωγή	- 51 -
3.2	Γενικά για το ΣΗΕ Κρήτης	- 51 -
3.2.1	Διαχρονική εξέλιξη της ζήτησης	- 51 -
3.2.2	Στοιχεία για τις θερμικές μονάδες	- 53 -
3.2.3	Στοιχεία για τις μονάδες ΑΠΕ	- 54 -
3.3	Παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας περιοχής Χανίων	- 56 -
3.3.1	Στοιχεία υποσταθμού (Υ/Σ) Υψηλής τάσης / Μέσης τάσης (Υ.Τ/Μ.Τ) για το 2001	- 56 -
3.3.2	Μονάδες ατμοηλεκτρικού σταθμού (ΑΗΣ) Χανίων	- 58 -
3.3.3	Αεριοστρόβιλος 1 Χανίων	- 61 -
3.4	Περιγραφή του προβλήματος	- 61 -
3.5	Εξεταζόμενη λύση	- 64 -
3.5.1	Περιγραφή	- 64 -
3.5.2	Δυνατότητες φωτοβολταϊκών	- 65 -
4	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	- 71 -
4.1	Εισαγωγή	- 71 -
4.2	Μοντελοποίηση παραγωγής φωτοβολταϊκών	- 71 -
4.2.1	Φωτοβολταϊκά στα Χανιά	- 71 -
4.2.2	Φωτοβολταϊκά στην Ιεράπετρα	- 72 -
4.3	Περιγραφή αλγορίθμου	- 73 -
4.3.1	Οικονομική κατανομή	- 74 -
4.3.2	Διάγραμμα ροής αλγορίθμου	- 78 -
4.3.3	Μεταβολή προγράμματος ένταξης μονάδων	- 79 -
4.4	Περιγραφή κώδικα	- 80 -
4.4.1	Εισαγωγή	- 80 -
4.4.2	Συναρτήσεις – Ρουτίνες	- 80 -
4.4.3	Ανάλυση λειτουργιών	- 81 -
4.5	Υπολογισμός αξίας φωτοβολταϊκών με πιθανοτική μεθοδολογία	- 85 -
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ	- 87 -
5.1	Μείωση θερμικής παραγωγής – Πρώτη οικονομική κατανομή	- 87 -
5.1.1	Σενάριο Χανίων χωρίς περιορισμό	- 87 -
5.1.2	Σενάριο Χανίων με περιορισμό	- 88 -
5.1.3	Σενάριο Ιεράπετρας	- 90 -
5.1.4	Σύγκριση Χανίων με και χωρίς περιορισμό	- 91 -
5.1.5	Σύγκριση Χανίων με περιορισμό και Ιεράπετρας	- 92 -
5.1.6	Σύγκριση των τριών σεναρίων	- 94 -
5.2	Δυνατότητα αύξησης παραγωγής ενταγμένων μονάδων – Δεύτερη οικονομική κατανομή	- 96 -
5.2.1	Σενάριο Χανίων χωρίς περιορισμό	- 96 -
5.2.2	Σενάριο Χανίων με περιορισμό	- 97 -
5.2.3	Σενάριο Ιεράπετρας	- 98 -
5.2.4	Σύγκριση των τριών σεναρίων	- 99 -
5.3	Αλλαγή προγράμματος ένταξης μονάδων	- 103 -

5.3.1	Ένταξη μονάδων σε επίπεδα ώρας	- 103 -
5.3.2	Σύγκριση ένταξης μονάδων με δεύτερη οικονομική κατανομή στα Χανιά	- 105 -
5.3.3	Σύγκριση ένταξης μονάδων με δεύτερη οικονομική κατανομή για περιοχές κοντά στα Χανιά	- 106 -
5.3.4	Ένταξη μονάδων σε επίπεδα εικοσαλέπτων	- 107 -
5.4	Μεταβολή της λειτουργίας του αεριοστρόβιλου 1 Χανίων	- 108 -
5.5	Επίδραση στον υποσταθμό Χανίων	- 111 -
5.6	Επίδραση στη λειτουργία των σταθμών παραγωγής	- 112 -
5.6.1	Επίδραση λόγω πρώτης οικονομικής κατανομής	- 112 -
5.6.2	Επίδραση λόγω δεύτερης οικονομικής κατανομής	- 113 -
5.6.3	Επίδραση λόγω αλλαγής ένταξης μονάδων (ώρες)	- 113 -
5.6.4	Επίδραση λόγω αποφυγής εκκίνησης μονάδας (εικοσάλεπτα)	- 113 -
5.7	Περιβαλλοντικά οφέλη	- 114 -
5.8	Ανάλυση ευαισθησίας τιμής καυσίμων	- 115 -
6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	- 119 -
6.1	Εισαγωγή	- 119 -
6.2	Αβεβαιότητα φωτοβολταϊκής παραγωγής και συνεισφορά αποθηκευτικής διάταξης	- 119 -
6.3	Αποτελέσματα εφαρμογής – Χρήση φωτοβολταϊκών σε συνδυασμό με αποθηκευτική διάταξη ισχύος 1MW	- 122 -
6.3.1	Αποθηκευτική διάταξη στα Χανιά και φωτοβολταϊκά σε κοντινές περιοχές	- 122 -
6.3.2	Αποθηκευτική διάταξη στα Χανιά και φωτοβολταϊκά στα Χανιά	- 123 -
6.3.3	Όφελος αποθήκευσης	- 124 -
6.3.4	Μεταβολή της λειτουργίας του αεριοστρόβιλου 1 Χανίων	- 127 -
6.4	Ανάλυση ευαισθησίας τιμής καυσίμων	- 130 -
7	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΤΗΣΙΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΔΟΤΗΣΕΩΝ	- 133 -
7.1	Εισαγωγή	- 133 -
7.2	Αξία φωτοβολταϊκών πριν την εφαρμογή	- 133 -
7.3	Αξία φωτοβολταϊκών μετά την εφαρμογή	- 139 -
7.3.1	Εφαρμογή σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων	- 139 -
7.3.2	Εφαρμογή σε περιοχές κοντά στα Χανιά	- 144 -
7.3.3	Εφαρμογή σε περιοχές της Ιεράπετρας	- 147 -
7.4	Όφελος τοποθέτησης φωτοβολταϊκών στα Χανιά έναντι άλλων περιοχών	- 150 -
7.4.1	Όφελος τοποθέτησης φωτοβολταϊκών στα Χανιά έναντι περιοχών κοντά στα Χανιά	- 151 -
7.4.2	Όφελος τοποθέτησης φωτοβολταϊκών στα Χανιά έναντι περιοχών της Ιεράπετρας	- 152 -
7.4.3	Μέγιστο όφελος μετακίνησης φωτοβολταϊκών – Μέγιστη επιδότηση	- 152 -
7.5	Ανάλυση ευαισθησίας τιμής καυσίμων	- 154 -
8	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	- 159 -
8.1	Σύνοψη	- 159 -
8.2	Προτάσεις	- 163 -
9	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 167 -

1 Ηλιακή ενέργεια και αξιοποίησή της

1.1 Εισαγωγή

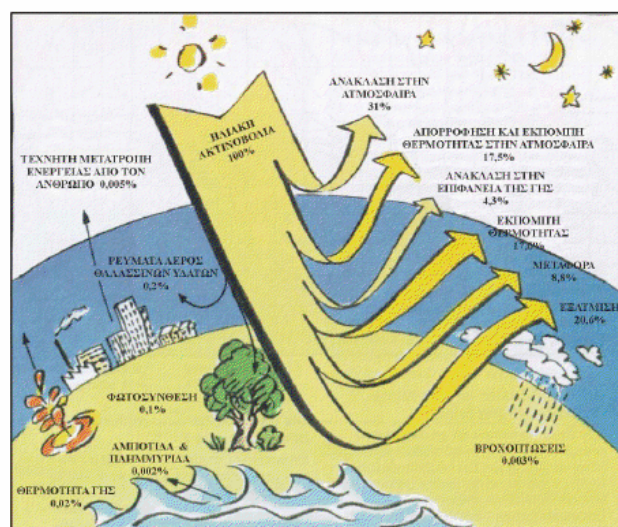
Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της [1].

Από την ενέργεια η οποία φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας:

- Το 31% ανακλάται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της γης.
- Το 47% φθάνει μέχρι την επιφάνεια της γης.
- Το 23% συμβάλλει στη δημιουργία των ανέμων, των κυμάτων και γενικά ρυθμίζει το κλίμα.
- Οι ωκεανοί απορροφούν το 33% της ενέργειας που φθάνει στην επιφάνεια της γης.
- Η ξηρά απορροφά το 14% της ενέργειας που φθάνει στην επιφάνεια της γης.
- Το 0,1% της ηλιακής ενέργειας απορροφάται από τα φυτά.

1.2 Κίνηση του ηλίου

Συχνά είναι αναγκαία η γνώση της κίνησης του ήλιου για τους υπολογισμούς που σχετίζονται με την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 1.1 – Ηλιακή ακτινοβολία

1.2.1 Βασικοί ορισμοί

- *Απόκλιση δ* του ηλίου ορίζεται η γωνία ανάμεσα στην ευθεία ήλιου - γης και την προβολή της στο επίπεδο του ισημερινού.

- Η μέγιστη τιμή της, κατά το θερινό ηλιοστάσιο, είναι $23,45^\circ$
- Η ελάχιστη τιμή της, κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο, είναι $-23,45^\circ$

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \frac{360 \cdot (284 + n)}{365}$$

όπου n: η ημέρα του έτους.

- *Γεωγραφικό πλάτος του τόπου φ :*

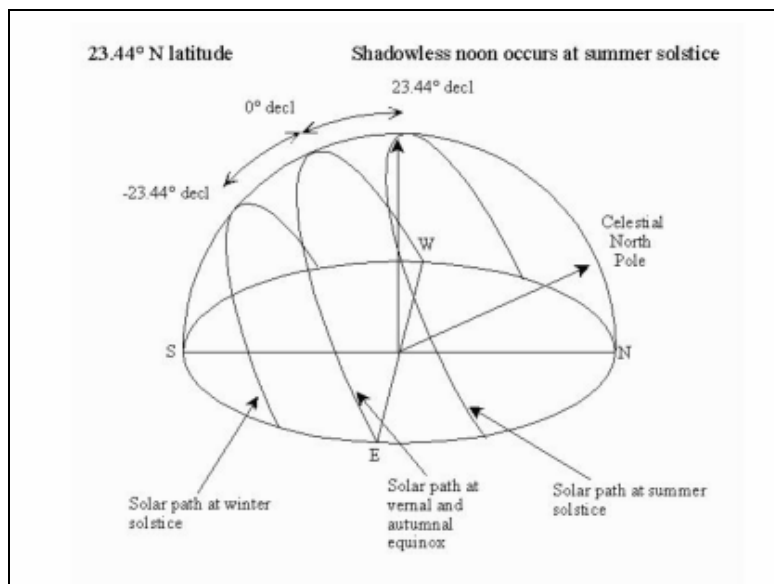
$$-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$$

- *Γωνία ζενίθ θ_z* ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ήλιου.

- *Κλίση β* ορίζεται η κλίση της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

- *Αζιμούθιο γ* ορίζεται η γωνία που σχηματίζει η προβολή του κάθετου διανύσματος της επιφάνειας στο οριζόντιο επίπεδο με τον άξονα Βορρά - Νότου.

- Για νότιο προσανατολισμό: $\gamma = 0$
- Για γωνίες δυτικά: $\gamma > 0$
- Για γωνίες ανατολικά: $\gamma < 0$



Εικόνα 1.2 – Ορισμός απόκλισης δ

- *Ωριαία γωνία ω* είναι η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονά της με ρυθμό 15° ανά ώρα.

$$\omega = \pm 0,25 * (\text{λεπτά από το ηλιακό μεσημέρι})$$

και:

- έχει θετική τιμή για μμ ώρες.
 - αρνητική τιμή για πμ ώρες.
 - στο ηλιακό μεσημέρι $\omega = 0$.
- Γωνία πρόσπτωσης θ είναι η γωνία που σχηματίζει η ευθεία όρασης του ήλιου με την κατακόρυφο.
 - Γενικός τύπος:

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega$$
 - Κατακόρυφες επιφάνειες ($\beta = 90^\circ$):

$$\cos \theta = -\sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega$$
 - Οριζόντιες επιφάνειες ($\beta = 0^\circ$):

$$\cos \theta_z = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega$$
 - Για κεκλιμένες επιφάνειες στο βόρειο ημισφαίριο στραμμένες προς το νότο ($\gamma=0$):

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin (\varphi - \beta) + \cos \delta \cdot \cos (\varphi - \beta) \cdot \cos \omega$$
 - Ωριαία γωνία δύσης ω_s

$$\cos \omega_s = -\frac{\sin \varphi \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta} = -\tan \varphi \cdot \tan \delta$$

1.3 Ηλιακή ακτινοβολία

1.3.1 Βασικοί ορισμοί

- Άμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα.
- Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία είναι η ηλιακή ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα.
- Ολική ηλιακή ακτινοβολία είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε μία επιφάνεια.
- Πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας είναι ο ρυθμός με τον οποίο η ενέργεια που ακτινοβολείται πέφτει σε μία επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας.
- Πυκνότητα ενέργειας ακτινοβολίας είναι η προσπίπτουσα σε μία επιφάνεια ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας και υπολογίζεται με την ολοκλήρωση της πυκνότητας ισχύος σε κάποιο χρονικό διάστημα.

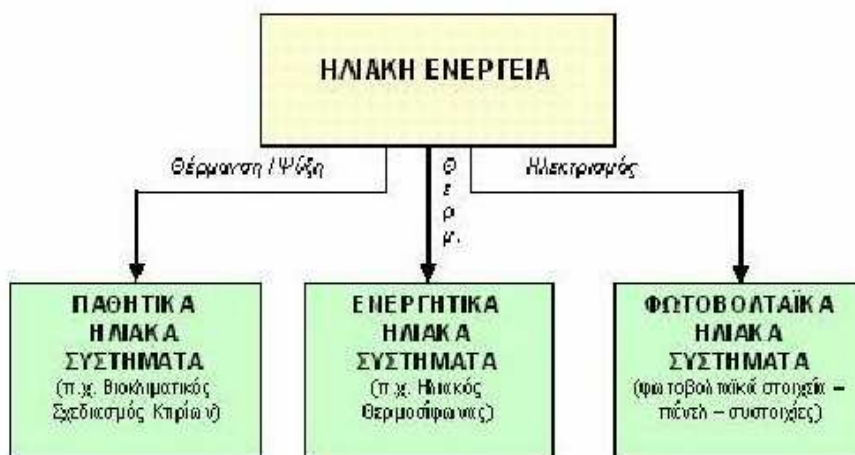
1.3.2 Συστήματα αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

- *Παθητικά Ηλιακά Συστήματα:* Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι δομικά στοιχεία του κτιρίου, που αξιοποιώντας τους νόμους μεταφοράς θερμότητας, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν σε μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα συνδυάζονται και με τεχνικές φυσικού φωτισμού καθώς και παθητικά συστήματα και τεχνικές για το φυσικό δροσισμό των κτιρίων το καλοκαίρι. Μπορούν δε να εφαρμοστούν τόσο σε καινούργια, όσο και σε ήδη υπάρχοντα κτίρια.

- *Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα:* Τα ενεργητικά ή θερμικά ηλιακά συστήματα αποτελούν μηχανολογικά συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, τη μετατρέπουν σε θερμότητα, την αποθηκεύουν και τη διανέμουν, χρησιμοποιώντας είτε κάποιο υγρό είτε αέρα ως ρευστό μεταφοράς της θερμότητας. Χρησιμοποιούνται για θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, για τη θέρμανση και ψύξη χώρων, για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση, για διάφορες αγροτικές εφαρμογές, για θέρμανση του νερού σε πισίνες, κλπ. Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι οι γνωστοί σε όλους μας ηλιακοί θερμοσίφωνες.

- *Φωτοβολταϊκά Συστήματα:* Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β) μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, λύνοντας έτσι το πρόβλημα της ηλεκτροδότησης περιοχών που είναι δύσκολο να πάρουν ρεύμα από το ηλεκτρικό δίκτυο (απομονωμένα σπίτια, φάροι, κ.α.). Μικροί υπολογιστές και ρολόγια χρησιμοποιούν τα Φ/Β για την λειτουργία τους.



Εικόνα 1.3 – Εφαρμογές ηλιακής ενέργειας

1.4 Φωτοβολταϊκά συστήματα

1.4.1 Εισαγωγή

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είναι αρκετά διαδεδομένη κυρίως με εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα βασίζονται στην άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό, με τη χρήση τεχνολογίας ημιαγωγικών υλικών τα οποία ενεργοποιούνται στο φάσμα του ηλιακού φωτός. Τέτοια συστήματα χαρακτηρίζονται ως ηλιακοί συσσωρευτές και η λειτουργία τους είναι φιλική προς το περιβάλλον, ενώ η διάρκεια ζωής τους φθάνει τα 25 χρόνια [2].

1.4.2 Δομή και λειτουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων

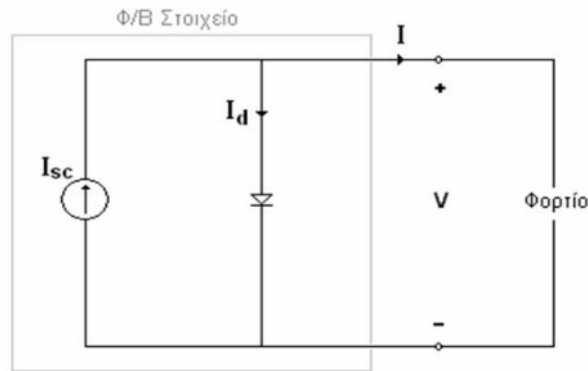
Η δομή και η λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων ή ηλιακών κυψελών βασίζεται στους ημιαγωγούς, οι οποίοι συνδέονται σε ζεύγη αρνητικής και θετικής φόρτισης (p-n), ώστε να διαμορφώσουν μεγάλης επιφάνειας ηλεκτροδιόδους. Η ορθή κατασκευή της ηλεκτροδιόδου αποτελεί βασική προϋπόθεση της επιτυχούς λειτουργίας της φωτοβολταϊκής κυψέλης ως ημιαγωγού.

Με την πρόσπτωση του ηλιακού φωτός στην επιφάνεια του ημιαγωγού τύπου n απελευθερώνονται ηλεκτρόνια, τα οποία συλλέγονται με τη βοήθεια ηλεκτροδίου εφαρμοσμένου στην άνω επιφάνειά του. Στην κάτω επιφάνεια της ηλιακής κυψέλης είναι προσαρμοσμένος ένας ημιαγωγός τύπου p, στον οποίο οδηγούνται τα ηλεκτρόνια μέσω ηλεκτρικού κυκλώματος. Η οπίσθια επιφάνεια της κυψέλης αποτελεί ένα ενιαίο ηλεκτρόδιο, όπως και η εμπρόσθια, η οποία όμως επιπρόσθετα καλύπτεται από στρώση διαφανούς απορροφητικού υλικού για τον περιορισμό της ανακλαστικότητας, καθώς και από διαφανές προστατευτικό υλικό, συνήθως τζάμι ή συνθετικό.

Το ηλεκτρόδιο της εμπρόσθιας επιφάνειας έχει οπωσδήποτε μορφή πλέγματος ή σχάρας, ώστε να μην περιορίζεται η πρόσπτωση του φωτός στην επιφάνεια του ημιαγωγού, ενώ το ηλεκτρόδιο της οπίσθιας επιφάνειας μπορεί να είναι παρόμοιο, αν είναι επιθυμητή η διέλευση φωτός διαμέσου της κυψέλης ή να έχει μορφή συνεχούς λεπτού μεταλλικού φύλλου. Τα ηλεκτρόδια καλύπτουν ολόκληρη την επιφάνεια του ημιαγωγού.

1.4.3 Κυκλωματικό ισοδύναμο

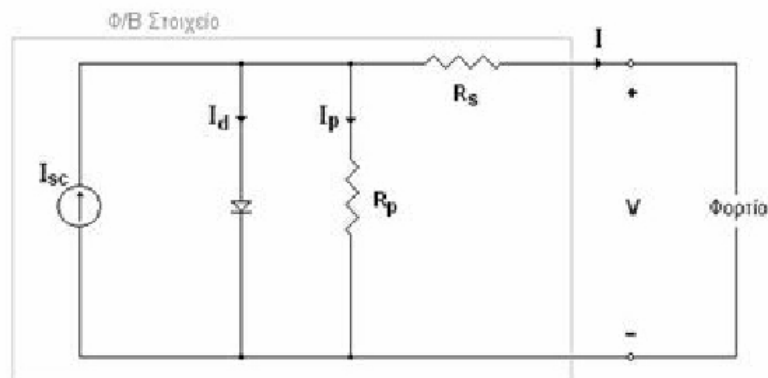
Το κυκλωματικό ισοδύναμο ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου (Φ/Β) αποτελείται από μία δίοδο συνδεδεμένη παράλληλα με μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, η ένταση της οποίας είναι ανάλογη της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 1.4 – Απλό ισοδύναμο κύκλωμα φ/β στοιχείου

Γενικά, τα Φ/Β στοιχεία περιγράφονται από δύο χαρακτηριστικά ηλεκτρικά μεγέθη, όπως η τάση ανοικτοκύκλωσης V_{oc} και το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} . Η ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης μπορεί να θεωρηθεί ανάλογη της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στο αναλυτικό κυκλωματικό ισοδύναμο υπάρχει μία παράλληλη αντίσταση, η οποία ονομάζεται αντίσταση διαρροής R_p και μία αντίσταση εν σειρά R_s .



Εικόνα 1.5 - Αναλυτικό ισοδύναμο κύκλωμα φ/β στοιχείου

1.4.4 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για την κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2 ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.

- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125°C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.

1.4.4.1 Κατηγοριοποίηση φωτοβολταϊκών στοιχείων με βάση το υλικό που χρησιμοποιείται

- *Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Single Crystalline Silicon, sc-Si)*

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοση τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15-18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέση απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας".

Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα είναι της SunPower με απόδοση πλαισίου 18,5%. Είναι μάλιστα το μοναδικό που έχει τις μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.

- *Φωτοβολταϊκά κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Multi Crystalline Silicon, mc-Si)*

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ). Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση") και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.

- *Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)*

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αναπτύσσεται από την Evergreen Solar. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου. Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%.

- *Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων (thin film)*

- Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe₂ ή CIS με προσθήκη γαλλίου CIGS). Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11%.

Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γαλλίου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.

- Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης χαμηλού κόστους, όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι, λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8%, ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά Φ/Β, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσων αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

- Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe). Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Σημαντικότερος κατασκευαστής για φωτοβολταϊκά στοιχεία CdTe είναι η First Solar. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει η έλλειψη του Τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι η ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).

- Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs). Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσενικό δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα

φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας. Γι' αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης τους ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

• Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών.

- HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer). Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Κατασκευάζεται από την Sanyo Solar. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Άλλα πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό φωτοβολταϊκό είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

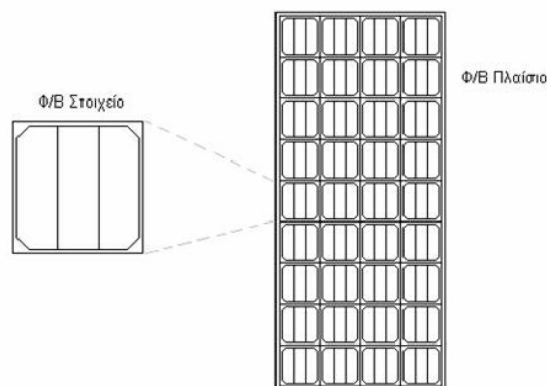
• Άλλες τεχνολογίες

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι:

- Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (nc-Si)
- Οργανικά/Πολυμερή στοιχεία

1.4.5 Φωτοβολταϊκά πλαίσια και συνδεσμολογίες

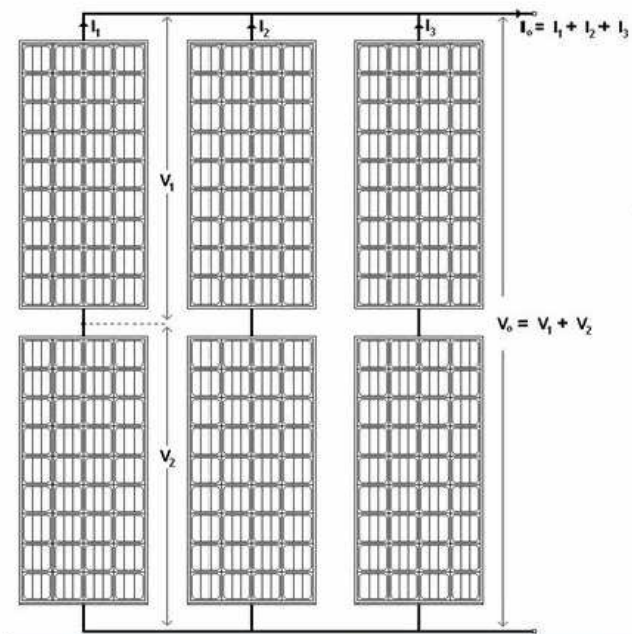
Οι μικρές τιμές τάσεων και ρευμάτων των φωτοβολταϊκών στοιχείων δημιουργούν την ανάγκη σύνθεσης τους σε μεγαλύτερα συμπλέγματα, τα οποία ονομάζονται Φ/Β πλαίσια, προκειμένου να αποδίδουν εκμεταλλεύσιμα ηλεκτρικά μεγέθη.



Εικόνα 1.6 - Αναλυτικό ισοδύναμο κύκλωμα φ/β στοιχείου

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να συνδεθούν σε σειρά και παράλληλα, ανάλογα με τον επιδιωκόμενο σκοπό, κατά τρόπο ανάλογο της σύνδεσης των ηλεκτρικών πηγών. Η σύνδεση σε σειρά N , καθ' όλα όμοιων Φ/Β στοιχείων (σύνδεση του θετικού ηλεκτροδίου του ενός Φ/Β στοιχείου με το αρνητικό του επόμενου), οδηγεί σε σύστημα με ανάλογα πολλαπλάσια τάση ανοικτού κυκλώματος ($V_{\text{toc}} = N \cdot V_{\text{oc}}$). Το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται με το αντίστοιχο του ενός ($I_{\text{tsc}} = I_{\text{sc}}$).

Η παράλληλη σύνδεση N όμοιων Φ/Β στοιχείων (σύνδεση των θετικών ηλεκτροδίων των Φ/Β στοιχείων όλων μαζί και ομοίως για τα αρνητικά ηλεκτρόδια) δίνει ένα σύνολο με την ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος ($V_{\text{toc}} = V_{\text{oc}}$), ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης του ισούται με N φορές το ρεύμα βραχυκύκλωσης εκάστου ($I_{\text{tsc}} = N \cdot I_{\text{sc}}$). Αν τα συνδεόμενα Φ/Β στοιχεία έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά (I_{sc} και V_{oc}), τότε η συνολική διάταξη των N στοιχείων παρουσιάζει σημαντική απόκλιση από τις προηγούμενες τιμές.



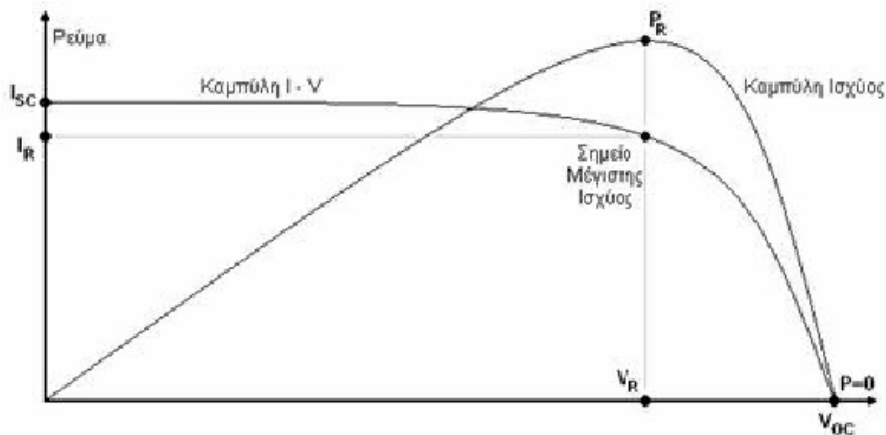
Εικόνα 1.7 – Φ/Β Συστοιχία

Προκειμένου να επιτευχθούν ακόμη υψηλότερες τιμές τάσης και ρεύματος και προφανώς υψηλότερη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ, τα Φ/Β πλαίσια συνδέονται με την σειρά τους σε μεγαλύτερες μονάδες, οι οποίες ονομάζονται Φ/Β συστοιχίες.

1.4.6 Χαρακτηριστική I-V φωτοβολταϊκού πλαισίου - Παράγοντες επίδρασης της απόδοσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Ανάμεσα στις δύο ακραίες καταστάσεις λειτουργίας, όπως η ανοικτοκύκλωση και η βραχυκύκλωση, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο παρέχει ηλεκτρική ισχύ P , η οποία δίνεται από το γινόμενο της αποδιδόμενης τάσης V και του διαρρέοντος ρεύματος I . Όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα, οι μέγιστες τιμές τάσης και ρεύματος αντίστοιχα είναι η τάση ανοικτοκύκλωσης V_{oc} και το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} . Στο ίδιο διάγραμμα απεικονίζεται και η καμπύλη της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος P του

πλαίσιου, με υψηλότερη τιμή P_m στο «γόνατο» της καμπύλης, ως αποτέλεσμα του γινομένου της τάσης V_m και του ρεύματος I_m .



Εικόνα 1.8 - Χαρακτηριστική I-V και καμπύλη ισχύος Φ/B στοιχείου

Η μορφή της χαρακτηριστικής I-V είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Εκτός όμως από την τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας, σημαντική παράμετρος επιρροής της συμπεριφοράς ενός Φ/B πλαισίου και κατά συνέπεια της χαρακτηριστικής του, είναι η θερμοκρασία. Γενικότερα, τα Φ/B πλαίσια παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας επίδρασης της απόδοσης ενός Φ/B πλαισίου είναι οι συνθήκες σκίασης. Η έξοδος του πλαισίου μπορεί να μειωθεί δραματικά, ακόμα και όταν μόνο ένα από το σύνολο των στοιχείων είναι υπό σκιά.

Το πρόβλημα της ανεπιθύμητης πτώσης τάσης στα εκάστοτε σκιασμένα στοιχεία ενός Φ/B πλαισίου, αντιμετωπίζεται με την προσθήκη διόδων παράκαμψης, συνδεδεμένων παράλληλα με κάθε στοιχείο.

1.4.7 Τρόποι στήριξης των συλλεκτών και προσανατολισμός τους

Διακρίνουμε δυο διαφορετικούς τρόπους στήριξης συλλεκτών: *σταθερής στήριξης* και *συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ηλίου* με διάταξη που ονομάζεται *ηλιοτρόπιο (tracker)* [3].

- Στήριξη του συλλέκτη με σταθερή γωνία κλίσης.

Η απουσία κινητών μερών κατά τη στήριξη της συστοιχίας, προσδίδει στη διάταξη επαρκή μηχανική αντοχή, ιδιαίτερα μάλιστα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Στατικές συλλεκτικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται επίσης ενσωματωμένες σε κτίρια.

Για το βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του φωτοβολταϊκού πλαισίου για τη μέγιστη παραγωγή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους είναι ίση με τη γεωγραφικό πλάτος του τόπου και η αζιμούθια γωνία είναι περίπου μηδέν μοίρες (κατεύθυνση προς νότο). Αξίζει να σημειωθεί πως στην Ελλάδα η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης, επιτυγχάνεται για Νότιο προσανατολισμό και κλίση περί των 30 μοιρών.



Εικόνα 1.9 - Φ/Β σταθερού άξονα

- Στήριξη με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από ένα άξονα.

Η συστοιχία περιστρέφεται με κατάλληλο μηχανισμό γύρω από ένα άξονα. Στο τέλος της ημέρας ο συλλέκτης επιστρέφει σε θέση αναμονής. Το πρωί με την ανατολή του ηλίου στρέφεται, έτσι ώστε ο ήλιος να αποδίδει το μέγιστο της διαθέσιμης ενέργειας.

Διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

- Η περιστροφή γίνεται ως προς κατακόρυφο άξονα, έτσι ώστε ο ήλιος να βρίσκεται στο κατακόρυφο επίπεδο που περιέχει την κάθετη στο συλλέκτη. Αυτή η μέθοδος παρέχει μια σταθερή ωριαία παραγωγή κατά τη διάρκεια της ημέρας, αφού ακολουθείται καλύτερα η πορεία του ηλίου.



Εικόνα 1.10 - Φ/Β με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από κατακόρυφο άξονα

- Η συστοιχία έχει τη δυνατότητα στροφής γύρω έναν άξονα xx' , ο οποίος έχει κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Έτσι κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς στο κατακόρυφο επίπεδο που περιέχει τον άξονα xx' . Η γωνία μεταξύ των ακτινών του ηλίου και της κάθετης στο συλλέκτη κατά τη διάρκεια

ενός έτους κυμαίνεται στο διάστημα $-23,5^\circ$ έως $+23,5^\circ$. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται εποχιακή αύξηση της μηνιαίας παραγωγής. Αυτό συμβαίνει διότι μια μεγαλύτερη κλίση της συστοιχίας πλεονεκτεί τους χειμερινούς μήνες.

- Στήριξη με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από δυο άξονες.

Η παρακολούθηση του ήλιου με περιστροφή γύρω από δυο άξονες επιτυγχάνεται μέσω δυο, συνήθως διαδοχικών, κινήσεων του συλλέκτη με τη βοήθεια μιας διάταξης που ονομάζεται **ηλιοτρόπιο (tracker)**. Ο συλλέκτης προσανατολίζεται συνεχώς προς τον ήλιο, έτσι ώστε οι ακτίνες του ηλίου να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνειά του αυξάνοντας την απόδοση του φωτοβολταϊκού. Μειονέκτημα μιας τέτοιας διάταξης παρακολούθησης του ηλίου, δυο αξόνων, είναι η οικονομική επιβάρυνση για την κατασκευή των μηχανολογικών και ηλεκτρονικών τμημάτων της καθώς και η έκθεση της συστοιχίας στον κίνδυνο καταστροφής εξαιτίας ισχυρού ανέμου.



Εικόνα 1.11 - Φ/Β με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από δύο άξονες

1.4.8 Βασικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών συστημάτων

- ♦ Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα.
- ♦ Είναι εύχρηστα. Σε μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες.
- ♦ Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον.
- ♦ Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα).
- ♦ Μπορούν να επεκταθούν ανά πάσα στιγμή για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών.
- ♦ Έχουν αθόρυβη λειτουργία και μηδενικές εκπομπές ρύπων.
- ♦ Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές.
- ♦ Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.

1.4.9 Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων

- ♦ Υψηλή Αξιοπιστία - μεγάλη διάρκεια ζωής: Η αρχική τους κατασκευή ήταν για χρήση στο διάστημα όπου οι επισκευές είναι δαπανηρές έως ακατόρθωτες. Οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες σήμερα τροφοδοτούν με ρεύμα σχεδόν όλους τους δορυφόρους.
- ♦ Μηδενικό κόστος λειτουργίας: Χρησιμοποιούν το φως του ήλιου για να παράγουν ηλεκτρισμό. Δεν καταναλώνουν πρώτες ύλες.
- ♦ Δεν απαιτείται συντήρηση: Τα Φωτοβολταϊκά συστήματα δεν έχουν κινούμενα μέρη έτσι δεν χρειάζονται καθόλου συντήρηση κατά την λειτουργία τους.
- ♦ Δεν μολύνουν το περιβάλλον: Δεν παράγουν υποπροϊόντα ούτε χρειάζονται καύσιμα για να λειτουργήσουν. Επίσης, δεν προκαλούν ηχορύπανση αφού η λειτουργία τους είναι εντελώς αθόρυβη. Τέλος, κατασκευάζονται από ανακυκλώσιμα υλικά (γυαλί, αλουμίνιο, πυρίτιο) συνεπώς είναι περιβαλλοντικά καθαρά.
- ♦ Ευελιξία: Τα φωτοβολταϊκά συστήματα τοποθετούνται ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ενέργεια. Σε περίπτωση που οι ανάγκες αυξηθούν πολύ εύκολα το σύστημα αναβαθμίζεται για να καλύψει ενεργειακά την νέα ζήτηση.

Αυτονομία: Παρέχουν πλήρη ενεργειακή αυτονομία. Έτσι μπορούν να τοποθετηθούν σε δύσβατες περιοχές, σε πλωτές εξέδρες και γενικά όπου το δίκτυο της ΔΕΗ είναι οικονομικά ασύμφορο να φτάσει.

1.5 Αντιστροφείς

1.5.1 Εισαγωγή

Οι αντιστροφείς μετατρέπουν την συνεχή τάση (dc) που παράγεται από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια σε εναλλασσόμενη (ac) τάση και διαιρούνται σε δύο κατηγορίες:

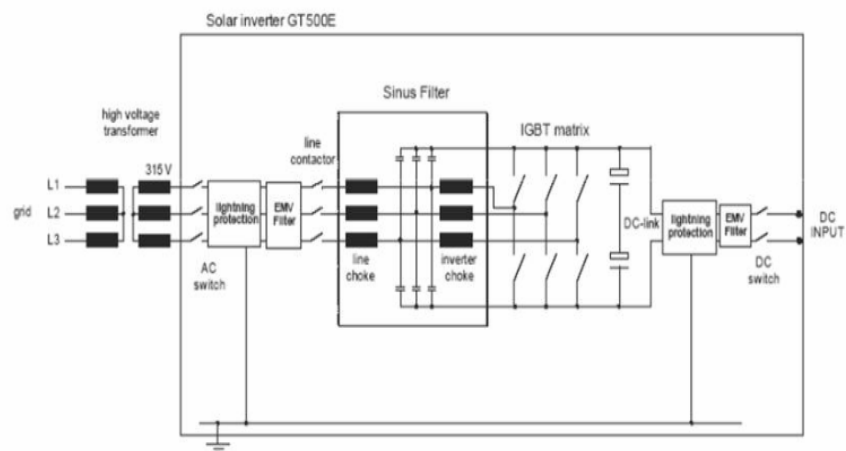
- αντιστροφείς αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων.
- αντιστροφείς συνδεδεμένοι στο δίκτυο.

Οι δύο κατηγορίες αντιστροφέων έχουν πολλές ομοιότητες αλλά η διαφορά τους έγκειται στο κύκλωμα ελέγχου. Ο αντιστροφέας ενός αυτόνομου συστήματος λειτουργεί ανεξάρτητα από το ηλεκτρικό δίκτυο και θα πρέπει να εξασφαλίζει σταθερή τάση και συχνότητα στα φορτία. Οι αντιστροφείς που συνδέονται στο δίκτυο θα πρέπει να προσαρμόσουν την εναλλασσόμενη τάση στη συχνότητα και το επίπεδο τάσης του δικτύου.

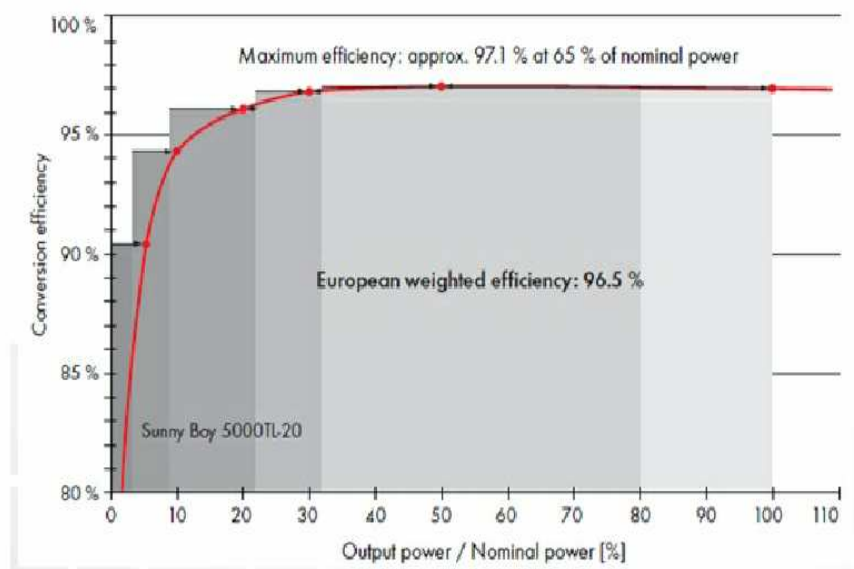
Και στα δύο συστήματα σημαντικός παράγοντας είναι ο βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα (θα πρέπει να εξασφαλίζεται βαθμός απόδοσης πάνω από 0,8) καθώς συνδέεται άμεσα με το κόστος του συνολικού συστήματος άρα και με το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Στόχος μας λοιπόν είναι η επίτευξη υψηλού βαθμού απόδοσης του αντιστροφέα που συνεπάγεται ελαχιστοποίηση του κόστους της παραγόμενης κιλοβατώρας από φωτοβολταϊκή γεννήτρια, έτσι ώστε να μπορεί να συγκριθεί με το αντίστοιχο κόστος από συμβατικές πηγές ενέργειας. Η σύγκριση

για τους αντιστροφείς γίνεται με βάση τον Ευρωπαϊκό Βαθμό Απόδοσης. Ο Ευρωπαϊκός Βαθμός Απόδοσης αξιολογεί τη συμπεριφορά ενός αντιστροφέα σε διάφορα συγκεκριμένα σημεία της καμπύλης απόδοσής του. Η τιμή του συντελεστή αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση δύο αντιστροφών. Οι συνηθισμένες τιμές πλέον υπερβαίνουν το 90% και σε κάποιες περιπτώσεις μεγαλύτερων μετατροπών αγγίζουν το 97% - 98%. Γενικά συνίσταται το μέγεθος του αντιστροφέα να είναι στο 95 - 110% της ονομαστικής ισχύος του Φ/Β. Η υπολειτουργία του θα οδηγεί σε χαμηλό βαθμό απόδοσης ενώ η πολύ χαμηλή ισχύς σε σχέση με την εγκαταστημένη ισχύ του Φ/Β θα οδηγεί σε μη εκμετάλλευση της παραγωγής του Φ/Β.

Η εικόνα 1.13 δείχνει το συντελεστή απόδοσης βάσει του ποσοστού παραγόμενης ισχύος προς ονομαστική ισχύ.



Εικόνα 1.12 - Τυπική διάταξη αντιστροφέα



Εικόνα 1.13 - Ευρωπαϊκός Βαθμός Απόδοσης

1.5.2 Χαρακτηριστικά του αντιστροφέα

Σε ολοκληρωμένα πακέτα κατασκευαστών, ένας αντιστροφέας ενδέχεται:

- Να έχει ενσωματωμένο μετασχηματιστή.
- Να έχει τη δυνατότητα εύρεσης σημείου μέγιστης παραγόμενης ισχύος (Maximum Power Point Tracker). Το σημείο αυτό δεν είναι σταθερό καθώς αλλάζει τόσο με την ηλιακή ακτινοβολία όσο και με τη θερμοκρασία. Από τη στιγμή λοιπόν που η τάση και το ρεύμα της φωτοβολταϊκής συστοιχίας μεταβάλλονται με τις καιρικές συνθήκες ο αντιστροφέας θα πρέπει να μετακινεί το σημείο λειτουργίας του έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή απορρόφηση ισχύος από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος, του Ανιχνευτή του Σημείου Μέγιστης Ισχύος.
- Να προσφέρει γαλβανική απομόνωση
- Να συμπεριλαμβάνει ρυθμιστή φόρτισης. Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια απλή ηλεκτρονική συσκευή που φροντίζει για τη σωστή φόρτιση των συσσωρευτών (μπαταριών) του φωτοβολταϊκού συστήματος. Ελέγχει τη διαδικασία φόρτισης και σταματά τη φόρτιση όταν διαπιστώσει ότι η μπαταρία έχει φορτιστεί πλήρως. Αλλιώς θα υπήρχε ο σοβαρός κίνδυνος να καταστραφεί η μπαταρία. Επειδή οι μπαταρίες έχουν την τάση να αποφορτίζονται σταδιακά ακόμα κι αν δεν τροφοδοτούν με ρεύμα κάποια συσκευή, ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει αυτόματα να ξαναρχίσει η διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας όταν διαπιστώσει ότι η τάση της έπεσε κάτω από το επίπεδο της πλήρους φόρτισης.

Να παρέχει δυνατότητα ελέγχου συχνότητας (για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις).

1.5.3 Κατηγορίες αντιστροφέν

Οι αντιστροφείς χωρίζονται βάσει του αριθμού των φάσεων σε:

- Μονοφασικούς αντιστροφείς.
- Τριφασικούς αντιστροφείς.

και βάσει του τύπου διαμόρφωσης σε:

- Αντιστροφείς τετραγωνικού παλμού.
- Αντιστροφείς ελεγχόμενους με την τεχνική PWM.
- Αντιστροφείς ελεγχόμενους με την τεχνική SPWM.

Οι βασικές κατηγορίες αντιστροφέν για Φ/Β είναι:

- Απλοί μονοφασικοί αντιστροφείς χωρίς Μ/Σ. Αυτοί οι αντιστροφείς είναι οικονομικοί, αξιόπιστοι, βελτιστοποιούν ενιαία όλα τα Φ/Β και απαιτούν κοινή ονομαστική ισχύ εξόδου.
- Μονοφασικοί αντιστροφείς με Μ/Σ. Εκτός από αυτά που ισχύουν για τους απλούς μονοφασικούς αντιστροφείς χωρίς Μ/Σ, οι μονοφασικοί αντιστροφείς με Μ/Σ απαιτούν υψηλή τάση εισόδου και δίνουν τη δυνατότητα γαλβανικής απομόνωσης.
- Μονοφασικοί αντιστροφείς με Μ/Σ υψηλής συχνότητας. Οι μονοφασικοί αντιστροφείς με Μ/Σ υψηλής συχνότητας είναι μονοφασικοί αντιστροφείς με Μ/Σ αλλά παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση.

- Αντιστροφείς με δυνατότητα διαφορετικής ισχύος και τάσης εισόδου ανά στοιχειοσειρά (multi-string). Οι αντιστροφείς multi-string επιτρέπουν τη σύνδεση στοιχείο-σειρών με διαφορετικό πλήθος Φ/Β, τη βελτιστοποίηση παραγωγής ανά στοιχείο-σειρά περιορίζοντας τις επιπτώσεις σκίασης, και την επεκτασιμότητα μίας από τις σειρές και έχουν υψηλή απόδοση.
- Αντιστροφείς ειδικά για συνεργασία με Φ/Β λεπτού υμενίου (thin film). Επιτρέπουν αυξημένη τάση.
- Τριφασικοί αντιστροφείς για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις (άνω των 10 kW).
- Αντιστροφείς με τη δυνατότητα παροχής αέργου ισχύος προς το δίκτυο.
- Κεντρικοί Αντιστροφείς για Φ/Β πάρκα (ακόμη και για σύνδεση στη μέση τάση).

1.6 Προστασίες στα φωτοβολταϊκά συστήματα

Κάθε εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων είναι μια επένδυση για το μέλλον. Η αποδοτικότητα μιας τέτοιας επένδυσης εξαρτάται από το μέγεθος και τη δυνατότητα παραγωγής της μονάδας, τη γεωγραφική της θέση και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν. Για αυτό το λόγο, τίθεται σαν απόλυτη προϋπόθεση η ολοκληρωμένη προστασία όλων των διασυνδεδεμένων εγκαταστάσεων Φ/Β συστημάτων, καθώς οι πιθανότητες να πληγούν αυτές οι εγκαταστάσεις από φαινόμενα όπως μεταβατικές υπερτάσεις και ανάστροφα ρεύματα μπορούν να υπολογιστούν μόνο στατιστικά και κατά προσέγγιση. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η βασική δομή μιας εγκατάστασης Φ/Β με όλα τα απαραίτητα μέσα για την πλήρη προστασία της. Οι λειτουργίες των διακοπών ισχύος, των απαγωγέων υπερτάσεων (αντικεραυνικά) καθώς και των διακοπών φορτίου (απομόνωσης) συνδυαζόμενες μεταξύ τους δημιουργούν ένα αδιαπέραστο εμπόδιο ικανό να αποτρέψει επικίνδυνες βλάβες ή δυσλειτουργίες.

1.6.1 Εξοπλισμός για την προστασία φωτοβολταϊκών συστημάτων

➤ *Μικροαυτόματοι & Αυτόματοι διακόπτες ισχύος ανοιχτού ή κλειστού τύπου.*

Οι μικροαυτόματοι και οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος προστατεύουν μια ηλεκτρική εγκατάσταση από υπερφόρτιση ή βραχυκύκλωμα. Στο κύκλωμα συνεχούς τάσης του Φ/Β συστήματος (DC πλευρά), οι μικροαυτόματοι προστατεύουν κάθε στοιχειοσειρά Φ/Β πλαισίων (string) από ρεύματα ανάστροφης φοράς καθώς επίσης και από την έγχυση εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) στο κύκλωμα συνεχούς σε πιθανή βλάβη του αντιστροφέα (inverter). Κάθε στοιχειοσειρά Φ/Β πλαισίων (ηλιακοί συλλέκτες) πρέπει να προστατεύεται ξεχωριστά ώστε να εξασφαλίζεται ο περιορισμός του σφάλματος μόνο σε εκείνη τη στοιχειοσειρά που αντιμετωπίζει το πρόβλημα, επιτρέποντας την κανονική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την υπόλοιπη εγκατάσταση. Μετά τη διόρθωση του σφάλματος είναι εφικτή η επαναλειτουργία της στοιχειοσειράς, είτε χειροκίνητα είτε με τηλεχειρισμό. Η ευκολία με την οποία μπορεί να απομονωθεί ηλεκτρικά, για λόγους συντήρησης ή επέκτασης, κάποιο μέρος του συστήματος, αποτελεί ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα.

➤ *Απαγωγείς υπερτάσεων.*

Τα Φ/Β πλαίσια και οι αντιστροφείς (inverters) είναι πολύ ευαίσθητα σε μεταβατικές υπερτάσεις και κρουστικά ρεύματα που προκαλούνται από κεραυνούς ή χειρισμούς μεγάλων διακοπών. Οι απαγωγείς υπερτάσεων (αντικεραυνικά), για κυκλώματα συνεχούς τάσης, περιορίζουν αυτές τις υπερτάσεις, προστατεύοντας τον εξοπλισμό και αποτρέποντας περαιτέρω ζημιές στην εγκατάσταση. Για το λόγο αυτό θα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη, κατά τη διάρκεια σχεδιασμού μιας τέτοιας επένδυσης, ο κίνδυνος οικονομικών απωλειών λόγω ανεπαρκούς προστασίας.

➤ *Διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων συνεχούς τάσης (DC).*

Οι διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων συνεχούς τάσης χρησιμοποιούνται για τη ζεύξη ή απόζευξη ενός κυκλώματος υπό φορτίο, με ονομαστική τάση λειτουργίας έως και 1200 V_{DC} για εγκαταστάσεις Φ/Β συστημάτων. Ο εύκολος χειρισμός τους διευκολύνει τις εργασίες συντήρησης ή επέκτασης ενός κυκλώματος, αυξάνοντας τη χρηστικότητα της εγκατάστασης και καθιστώντας τους μια άριστη επένδυση.

➤ *Διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων εναλλασσόμενης τάσης (AC).*

Και οι διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων εναλλασσόμενης τάσης χρησιμοποιούνται για τη ζεύξη ή απόζευξη ενός κυκλώματος υπό φορτίο. Ο εύκολος χειρισμός τους διευκολύνει τις εργασίες συντήρησης ή επέκτασης ενός κυκλώματος εναλλασσόμενης τάσης.

➤ *Διακόπτες διαρροής.*

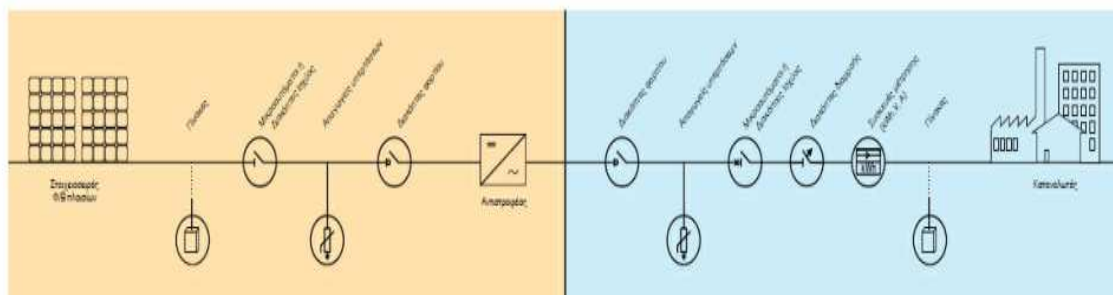
Οι διακόπτες διαρροής προστατεύουν το προσωπικό και τον εξοπλισμό μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης από ηλεκτροπληξία ή εκδήλωση πυρκαγιάς. Η ύπαρξη των διακοπών διαρροής στους πίνακες διανομής μιας εγκατάστασης είναι επιβεβλημένη.

➤ *Μετρητές ενέργειας.*

Μετρούν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει ένα Φ/Β σύστημα.

➤ *Πίνακες.*

Οι πίνακες χρησιμοποιούνται τόσο στο κύκλωμα συνεχούς (DC) όσο και στο κύκλωμα εναλλασσόμενης (AC) τάσης. Συνιστάται να είναι κλάσης II και να διαθέτουν βαθμό προστασίας έναντι εισερχομένων σωματιδίων και υγρασίας IP65, όταν τοποθετούνται σε εξωτερικούς χώρους.



Εικόνα 1.14 - Σύνδεση φ/β συστήματος με τον καταναλωτή

1.7 Τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα

Σύμφωνα με το πληροφοριακό δελτίο των ΑΠΕ για το μήνα Ιούλιο 2011 που δημοσιεύει ο ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) [5], η συνολική εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β στο ηπειρωτικό κομμάτι της χώρας είναι 280 MW και η συνολική παραγόμενη ενέργεια από τα Φ/Β για τον αντίστοιχο μήνα είναι 37.168,89 MWh. Η συνεισφορά των Φ/Β στην ζήτηση του ελληνικού διασυνδεδεμένου συστήματος αντιστοιχεί στο 0.99% της ζήτησης.

Σύμφωνα με το πληροφοριακό δελτίο των ΑΠΕ για το μήνα Ιούλιο 2011 που δημοσιεύει η ΔΕΗ (Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού) [6], η συνολική εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β στα μη διασυνδεδεμένα νησιά είναι 60,59 MW και η συνολική παραγόμενη ενέργεια από τα Φ/Β για τον αντίστοιχο μήνα είναι 13.838,13 MWh. Η συνεισφορά των Φ/Β στην ζήτηση του ελληνικού μη διασυνδεδεμένου συστήματος αντιστοιχεί στο 4,26% της ζήτησης. Στον πίνακα 1.1 περιλαμβάνεται η παραγωγή των Φ/Β ανά νησί ή συγκρότημα νήσων για το μήνα Ιούλιο 2011. Επίσης παρουσιάζονται η ζήτηση ανά νησί ή συγκρότημα νήσων για τον ίδιο μήνα και η εγκατεστημένη Φ/Β ισχύς. Η ταξινόμηση έγινε σύμφωνα με το ποσοστό διείσδυσης.

Πίνακας 1.1 - Στοιχεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φ/β, ζήτησης και εγκατεστημένης ισχύς του ελληνικού μη διασυνδεδεμένου συστήματος για το μήνα Ιούλιο 2011

Νησί	Παραγωγή φ/β (MWh)	Ζήτηση (MWh)	Εγκατεστημένη Ισχύς (MWp)	Ποσοστό διείσδυσης
Κρήτη	10455,91	205201,95	45,38	5,10 %
Κάρπαθος	91,17	2417,6	0,49	3,77 %
Κάλυμνος	151,42	4743,44	0,59	3,19 %
Ρόδος	1413,32	45062,49	5,39	3,14 %
Λέσβος	664,47	23784,42	3,19	2,79 %
Κως	209,95	12380,8	0,82	1,70 %
Λήμνος	79,31	4691,23	0,4	1,69 %
Χίος	249,42	16347,1*	1,34	1,53 %
Λέρος	45,79	3095,44	0,2	1,48 %
Σύρος	91,53	7690,1	0,57	1,19 %
Νάξος	168,21	15318,9**	0,85	1,10 %
Σάμος	117,26	10832,6	0,63	1,08 %
Μήλος	18,17	3426,63	0,12	0,53 %
Μύκονος	3,28	8160,52	0,02	0,04 %
Υπόλοιπα	78,89	18930,22	0,61	0,42 %
Σύνολο	13838,13	382082,99	60,59	3,62 %

* Στη ζήτηση της Χίου περιλαμβάνεται και η ζήτηση των Ψαρών.

** Η ζήτηση της Νάξου περιλαμβάνει και των Πάρου, Ίου, Σχοινούσας.

1.8 Οι αποθηκευτικές διατάξεις σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

1.8.1 Διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας

Η ανάγκη αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζεται με διάφορους τρόπους και οι αποθηκευτικές διατάξεις βρίσκουν διάφορες εφαρμογές. Προφανείς και πολυχρησιμοποιημένες οι αποθηκευτικές διατάξεις (μπαταρίες) στα κινητά

τηλέφωνα ή στους φορητούς υπολογιστές. Εκτός από τις συσκευές καθημερινής χρήσης αποθηκευτικές διατάξεις χρειάζονται και σε πλήθος άλλων εφαρμογών, π.χ. ηλεκτρικό αυτοκίνητο, συστήματα με φωτοβολταϊκά και γενικά με ανανεώσιμες πηγές. Για κάθε εφαρμογή θα πρέπει να επιλεγεί και το μέσο αποθήκευσης με τις κατάλληλες ιδιότητες [8].

Το ιδανικό μέσο αποθήκευσης θα πρέπει να μπορεί να αποθηκεύει μεγάλη ποσότητα ενέργειας σε μικρό χώρο και να είναι σε θέση να διοχετεύει αυτή την ενέργεια αργά ή ταχύτατα ανάλογα με τις απαιτήσεις και πάντα πλήρως ελεγχόμενα. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να μπορεί να λειτουργεί με έναν κύκλο φόρτισης - εκφόρτισης με μεγάλη διάρκεια ζωής και με βαθιά εκφόρτιση χωρίς να καταστρέφεται. Θα πρέπει επίσης να είναι ασφαλές, σχετικά οικονομικό και να μην απαιτεί ιδιαίτερη συντήρηση. Φυσικά δεν υπάρχει αποθηκευτική διάταξη που να συνδυάζει όλους αυτούς τους παράγοντες. Παρακάτω γίνεται μία σύντομη αναφορά στις διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους.

1.8.2 Τρόποι - διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας

Η απευθείας αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι εφικτή. Απαιτείται να μετατραπεί πρώτα σε μια άλλη μορφή ενέργειας [7]. Έτσι για παράδειγμα, μπορεί να αποθηκευτεί ως:

- χημική ενέργεια (μπαταρίες),
- μηχανική (στρεφόμενες μάζες),
- σε ηλεκτρικό πεδίο (πυκνωτές) ή σε μαγνητικό πεδίο (μαγνητικοί υπεραγωγοί),
- με συμπιεσμένο αέρα και στη συνέχεια να ξαναμετατραπεί στην αρχική της μορφή όταν θα χρειαστεί να χρησιμοποιηθεί.

Γενικά οι περισσότερες μορφές ενέργειας προκειμένου να αποθηκευτούν χρειάζεται να μετατραπούν σε μία άλλη 'ενδιάμεση' μορφή. Ένα σπάνιο παράδειγμα μορφής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί άμεσα είναι η θερμότητα. Μπορεί π.χ. να φυλαχτεί στο σκελετό κατάλληλα σχεδιασμένων κτηρίων, στο νερό (όπως στους ηλιακούς-θερμικούς συλλέκτες), ή σε καυτά πετρώματα και βράχους (γεωθερμικώς).

Τα απολιθωμένα καύσιμα αντιπροσωπεύουν ένα φυσικό παράδειγμα αποθήκευσης χημικής ενέργειας. Ωστόσο από όταν ο ηλεκτρισμός καθιερώθηκε καθολικά ως μέσο που μπορεί να μεταφέρει ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις το ενδιαφέρον για την αποθήκευση ενέργειας εστιάστηκε στην αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

1.8.3 Ηλεκτροχημική αποθήκευση ενέργειας - μπαταρίες

1.8.3.1 Μπαταρίες μολύβδου - οξέος

Οι μπαταρίες αυτές είναι οι πιο διαδεδομένες παγκοσμίως. Για το ένα τρίτο του πληθυσμού της γης που ακόμη δεν είναι συνδεδεμένο με ένα δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, η μπαταρία (ηλεκτροχημικό κύτταρο ή συσσωρευτής) παραμένει ο βασικός φορέας ενεργειακής αποθήκευσης. Οι αμέτρητοι ιδιοκτήτες εξοπλισμού γεννητριών ντίζελ και οι αγρότες στηρίζονται στις συμβατικές μπαταρίες μολύβδου - οξέος με το χαμηλό ποσοστό αυτοεκφόρτισης, τη γρήγορη απόκριση και τα ευέλικτα ποσά τροφοδοσίας ισχύς. Ο περιορισμένος κύκλος ζωής

των μπαταριών αυτών (ειδικά σε συνθήκες βαθιάς εκφόρτισης), δεν αποτελεί πρόβλημα λόγω του χαμηλού κόστους τους.

Ωστόσο τα συστήματα μολύβδου - οξέος βελτιώνονται σταδιακά και με διάφορους τρόπους. Μια από τις βελτιώσεις είναι η χρήση ηλεκτρολυτών σε μορφή gel, αντί για υγρούς, είχε ως αποτέλεσμα να μπορούν οι μπαταρίες να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε θέση χωρίς να χρειαστεί να ανεφοδιαστούν, και να είναι ανθεκτικές σε κλονισμούς και κραδασμούς. Στις ρυθμιζόμενες από βαλβίδα, μπαταρίες μολύβδου - οξέος (VRLA) η διαφυγή αερίου ρυθμίζεται από ευαίσθητες βαλβίδες πίεσης. Η απόδοση και ο χρόνος ζωής βελτιώνονται από τις καινοτόμες τεχνικές φόρτισης, όπως οι παλμικές μέθοδοι φόρτισης. Η τεχνολογία μολύβδου - οξέος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια ευρεία κλίμακα. Μπορεί επίσης να εφαρμοστεί για τη διαχείριση αιολικής ή ηλιακής ενέργειας σε συστήματα ισχύος π.χ. συστήματα αγροκτημάτων. Για μεγάλης κλίμακας εφαρμογές αιολικής ενέργειας, έχει προταθεί η αποθήκευση ισχύος της τάξης των 100MW ή περισσότερο, σε μπαταρίες. Αυτό θα βοηθούσε όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στο να αποθηκεύεται η αιολική ενέργεια για τα διαστήματα όπου θα υπάρχει ζήτηση και θα καθιστούσε περιττή την αποκοπή αιολικής ενέργειας όταν δεν υπάρχει ζήτηση.

1.8.3.2 Μπαταρίες νικελίου - καδμίου

Η αποθήκευση σε διατάξεις νικελίου-καδμίου αποδίδει επίσης σε μεγάλο βαθμό. Μια καινούρια εγκατάσταση στην Αλάσκα πρόκειται να παρέχει 40MW ισχύος, χρησιμοποιώντας 13760 κύτταρα νικελίου - καδμίου από τη SAFT Batteries. Η εγκατάσταση δεν έχει λειτουργήσει ακόμη αλλά οι αριθμοί είναι ενδεικτικοί για το βαθμό αποθήκευσης που μπορεί να επιτευχθεί.

Οι μπαταρίες νικελίου - καδμίου παρόλο που είναι ακριβότερες από τις μολύβδου - οξέος, έχουν διπλάσιο χρόνο ζωής και επειδή δεν απαιτείται παρακολούθηση κατά τη λειτουργία τους μπορούν να τοποθετηθούν σε απομακρυσμένες περιοχές με δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες και στην κυριολεξία να ξεχαστούν. Στα μειονεκτήματά τους εκτός από το κόστος ανήκουν και η μεγάλη διάρκεια ζωής των τοξικών σκουπιδιών (ύστερα από τη χρήση της μπαταρίας) καθώς και η πεπερασμένη ποσότητα καδμίου στον πλανήτη.

1.8.3.3 Μπαταρίες λιθίου - ιόντος

Οι μπαταρίες αυτές έχουν μεγάλη πυκνότητα ενέργειας (300-400 kWh/m³ λιθίου), σχεδόν 100% αποτελεσματικότητα και μεγάλο κύκλο ζωής (περίπου 3000 κύκλοι για βάθος εκφόρτισης 80%). Επειδή το λίθιο είναι το ελαφρύτερο στερεό στοιχείο, οι μπαταρίες που βασίζονται σε αυτό μπορούν να είναι κατά πολύ ελαφρύτερες από τις συνηθισμένες. Γι' αυτό το λόγο και λόγω της μεγάλης αποτελεσματικότητάς τους, βρίσκουν πολλές εφαρμογές στα κινητά τηλέφωνα και στους φορητούς υπολογιστές.

1.8.3.4 Μπαταρίες μετάλλου - αέρα

Το γεγονός ότι είναι οι φθηνότερες μπαταρίες, σε συνδυασμό με την υψηλή πυκνότητά τους εξηγεί γιατί τις παράγουν πολλές γνωστές εταιρείες. Ως άνοδος χρησιμοποιούνται συνήθως κατάλληλα μέταλλα π.χ. αλουμίνιο, ψευδάργυρος, μολύβδος ή ακόμη και σίδηρος, τα οποία τοποθετούνται σε ρευστό ή πολυμερή

ενσωματωμένο ηλεκτρολύτη π.χ. από κάλιο, και απελευθερώνουν ηλεκτρόνια κατά τη μετέπειτα αντίδραση οξειδωσης. Αυτά καθώς έλκονται από την κάθοδο καταλύτη και άνθρακα και καθώς ρέουν σε ένα εξωτερικό κύκλωμα, δημιουργούν διαφορά δυναμικού στα άκρα της μπαταρίας.

Οι μπαταρίες μετάλλου - αέρα είναι δομικά ασφαλείς και φιλικές προς το περιβάλλον. Αλλά ενώ η υψηλή ενέργεια, η ελεγχόμενη εκφόρτιση και το χαμηλό κόστος θα μπορούσαν να τις καθιστούν κατάλληλες για πολλές εφαρμογές, η μόνη γνωστή και κατάλληλη επαναφορτιζόμενη συσκευή είναι ένα σύστημα ψευδαργύρου - αέρος. Το σύστημα αυτό έχει πολύ μικρό κύκλο ζωής και αποτελεσματικότητα φόρτισης/εκφόρτισης μόνο 50% περίπου. Μερικοί κατασκευαστές ξεπερνούν τη δυσκολία επαναφόρτισης προσφέροντας συσκευές που είναι δυνατό να ανεφοδιαστούν έτσι ώστε να αντικατασταθεί το μέταλλο που καταναλώθηκε. Αυτή η λύση όμως έχει συνέπειες στον κύκλο ζωής, το κόστος και την ευκολία χρήσης.

1.8.4 Εναλλακτικές αποθηκευτικές διατάξεις

1.8.4.1 Στρεφόμενες μάζες (flywheels)

Μια εναλλακτική λύση στην ηλεκτροχημική αποθήκευση είναι να μετατραπεί η ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική και να αποθηκευτεί σε μια περιστρεφόμενη μάζα. Αρχές όπως η Federal Transit Administration στις Ηνωμένες Πολιτείες βλέπουν ότι τα συστήματα στρεφόμενων τροχών έχουν δυνατότητες στα υβριδικά-ηλεκτρικά λεωφορεία, όπου θα ήταν ελαφρύτερα από τα ισοδύναμα πακέτα μπαταριών. Αντίθετα από τις μπαταρίες, τα συστήματα στρεφόμενων μαζών δεν είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία και η απόδοσή τους μπορεί να φτάσει ως και 80-90%, έναντι στο 65-75% των μπαταριών. Η ενέργεια που αποθηκεύεται με την περιστροφή μίας στρεφόμενης μάζας σε υψηλή ταχύτητα μπορεί να μετατραπεί ξανά ηλεκτρική ισχύ με τη σύνδεση της μάζας σε μια γεννήτρια. Το ποσό ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί στη στρεφόμενη μάζα είναι ανάλογο της μάζας του στροφέα και ανάλογο του τετραγώνου της ταχύτητας του στροφέα (σύμφωνα με την εξίσωση $k=(mv^2)/2$ όπου k =κινητική ενέργεια, m =μάζα και v =ταχύτητα). Γι' αυτό το λόγο αν θέλουμε αυξηθεί η ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί είναι αποτελεσματικότερο να αυξηθεί η ταχύτητα παρά η μάζα. αυξάνεται ταχύτερα όσο αυξάνεται η περιστροφική ταχύτητα σε σχέση με την αύξηση της μάζας της ρόδας. Για αυτό τα τελευταία χρόνια στο σχεδιασμό των στρεφόμενων μαζών η έμφαση έχει μετατοπιστεί από το σχεδιασμό της γεωμετρίας της μάζας στην προσπάθεια να επιτευχθούν υψηλές περιστροφικές ταχύτητες. Ταχύτητες μέχρι 40000rpm έχουν ήδη επιτευχθεί, ενώ μέχρι 60000rpm προβλέπονται για τις μελλοντικές γενεές. Κυλινδρικοί στροφείς, φτιαγμένοι από υψηλής απόδοσης γυαλί και άνθρακα ενισχυμένοι με πλαστικά υλικά για μεγαλύτερη αντίσταση στις υψηλές φυγοκεντρικές δυνάμεις, θα περιστρέφονται στον αέρα.

Οι στρεφόμενες μάζες καθώς παρέχουν μια υψηλής ενέργειας ώθηση, εκφορτίζονται μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα αν είναι απαραίτητο. Έτσι προτιμούνται όλο και περισσότερο για εκτεταμένες εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών καθώς και για την ικανοποίηση της ζήτησης ενέργειας σε ώρες αιχμής όπου απαιτείται άμεση παροχή σχετικά μεγάλης ποσότητας ενέργειας.

Μαγνητικά αιωρούμενοι σύνθετοι στροφείς με ταχύτητες 60.000rpm θα παρείχαν χρόνο πλήρους εκφόρτισης ως και 15 λεπτά. Πιστεύεται ότι οι

στρεφόμενες μάζες θα μπορούσαν να συμπληρώσουν τις μπαταρίες στα συστήματα ισχύος ανανεώσιμων πηγών. Οι στρεφόμενες μάζες θα μπορούσαν να εξισορροπήσουν τις απότομες και γρήγορες μεταβολές στο φορτίο. Οι μεταβολές αυτού του είδους θα έφθειραν γρήγορα τις μπαταρίες λόγω των περιορισμένων κύκλων ζωής που έχουν. Αντίθετα οι ηλεκτροχημικές μονάδες θα μπορούσαν να εξυπηρετήσουν τις πιο αργές μεταβολές.

Έρευνες γίνονται για τη μείωση του κόστους των στρεφόμενων μαζών. Ωστόσο ο αναμενόμενος χρόνος ζωής τους που φτάνει τα 15-20 χρόνια (για χρήση σε υψηλές συχνότητες), καθώς και η ελάχιστη συντήρηση και παρακολούθηση που απαιτείται, αντισταθμίζουν το μέχρι τώρα υψηλό κόστος.

1.8.4.2 Υπέρ-πυκνωτής (supercapacitor)

Μια εναλλακτική λύση για την εξυπηρέτηση των γρήγορων και απότομων μεταβολών του φορτίου είναι ο υπέρ - πυκνωτής.

Οι μονάδες υπέρ-πυκνωτών έχουν χωρητικότητα ισχύος και ενέργειας χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από αυτή των συμβατικών πυκνωτών. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξομαλύνουν τις 'βυθίσεις' που παρατηρούνται στην παραγωγή του ανεμοκινητήρα καθώς τα πτερύγια περνούν από τον πύργο που τον στηρίζει, οπότε η ροή αέρα διαταράσσεται και μειώνεται με αποτέλεσμα να εμφανίζονται βυθίσεις στην παραγωγή. Για να αντιμετωπιστεί αυτό απαιτείται επαναλαμβανόμενη παροχή ενέργειας και ταχύτατη απόκριση με σύντομους υψηλής συχνότητας παλμούς. Οι υπέρ-πυκνωτές είναι ικανοί να παρέχουν ισχύ της τάξης των 100kW, ενώ η ενέργειά τους είναι δυνατό να διοχετευτεί μέσα σε κλάσματα του δευτερολέπτου ως και μέσα σε ένα λεπτό. Ειδικοί (π.χ. SAFT, ELIT) αναφέρουν ότι αναπτύσσουν μονάδες υπέρ - πυκνωτών βασισμένες σε προηγμένους οργανικούς ηλεκτρολύτες που θα είναι ικανές να παρέχουν ενεργειακές πυκνότητες των 25kW/m³.

1.8.4.3 Υπεραγώγιμα πηνία (SMES)

Ένας άλλος τύπος διάταξης που αναπτύσσεται κυρίως για τη σταθεροποίηση των διακυμάνσεων στην τάση του δικτύου και την ενίσχυση της ισχύος σε ώρες αιχμής αλλά και με προοπτική για εφαρμογή σε ανανεώσιμες πηγές είναι το υπεραγώγιμο μαγνητικό σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης (superconducting magnetic energy storage, SMES).

Τα χαρακτηριστικά της διάταξης των υπεραγώγιμων πηνίων είναι τέτοια ώστε να εμφανίζουν σχεδόν μηδενική αντίσταση στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και να οδηγούν τον ηλεκτρισμό, σχεδόν χωρίς απώλειες, σε συστήματα ειδικά σχεδιασμένα ώστε να 'εγκλωβίζουν' αποτελεσματικά την ηλεκτρική ενέργεια μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο. Πρόσφατες παρουσιάσεις εφαρμογών διανομής ενέργειας στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη δείχνουν ότι και τα υπεραγώγιμα πηνία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να συμπληρώσουν τις ανανεώσιμες πηγές, ειδικά όπου υπάρχει ήδη κατάλληλη υποδομή ψύξης. Τα πρώτα υπεραγώγιμα υλικά για να αποδώσουν χρειάζονται κρυογόνο ψύξη η οποία έχει μεγάλο κόστος. Τελευταία εμφανίστηκαν υψηλής θερμοκρασίας υπεραγωγοί ('High Temperature' Superconductors, HTS) οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες σύμφωνες με τη βιομηχανικά τυποποιημένη ψύξη υγρού αζώτου, περισσότερο συμφέρουσα από την κρυογόνο

ψύξη. Λόγω αυτού του γεγονότος αρκετές αμερικανικές επιχειρήσεις έχουν καταφέρει να κυκλοφορήσουν στο εμπόριο υπεραγωγίμα καλώδια και ταινίες.

Πέρα από τα παραπάνω μια περαιτέρω στροφή στην ιστορία της υπεραγωγιμότητας ήταν η πρόσφατη ανακάλυψη ότι μία κοινή ένωση η MgB_2 μπορεί να ημι-άγει. Ωστόσο αυτό το υλικό χρειάζεται ψύξη περίπου στα $20^\circ K$, γι' αυτό οι επιστήμονες αναζητούν ένα υλικό που θα ήταν σε θέση να ημι - άγει σε αρκετά υψηλότερες θερμοκρασίες. Το ιδανικό θα ήταν κάποιο υλικό που θα παρουσίαζε αμελητέα ηλεκτρική αντίσταση στη θερμοκρασία δωματίου. Μέχρι τώρα όμως έχει ανακαλυφθεί το ασβέστιο $130^\circ K$ ως ανώτερο όριο μετάβασης. Ανάμεσα στα υλικά που ερευνώνται είναι και ορισμένα πολυμερή πλαστικά και μερικοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι έχουν παρατηρήσει τα σημάδια της υπεραγωγιμότητας στη θερμοκρασία δωματίου στον άνθρακα nanotubes.

1.8.4.4 Αποθήκευση μακράς διάρκειας

Στα μεγάλα συστήματα ΑΠΕ που είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο, για να συμπέσει η τροφοδοσία ενέργειας από αποθηκευτικές διατάξεις με τις προβλέψεις για ζήτηση ενέργειας απαιτείται μεγάλης κλίμακας και μακράς διάρκειας αποθήκευση ενέργειας. Μία πολλά υποσχόμενη λύση είναι ένα ηλεκτροχημικό σύστημα αποθήκευσης, η κυψέλη καυσίμων. Στη διάταξη αυτή ο ηλεκτρολύτης αποθηκεύεται σε χωριστές δεξαμενές, από τις οποίες ρέει μέσα σε σωλήνες, συγκρατώντας τη συναρμολόγηση των ηλεκτροδίων της μπαταρίας. Αυτή η διάταξη διευκολύνει πολύ τους ογκομετρικούς περιορισμούς που τίθενται σχετικά με την ποσότητα ηλεκτρολύτη που μπορεί να συνδεθεί με ένα δεδομένο σύστημα, και ως εκ τούτου και την ισχύ που μπορεί να αποθηκευτεί.

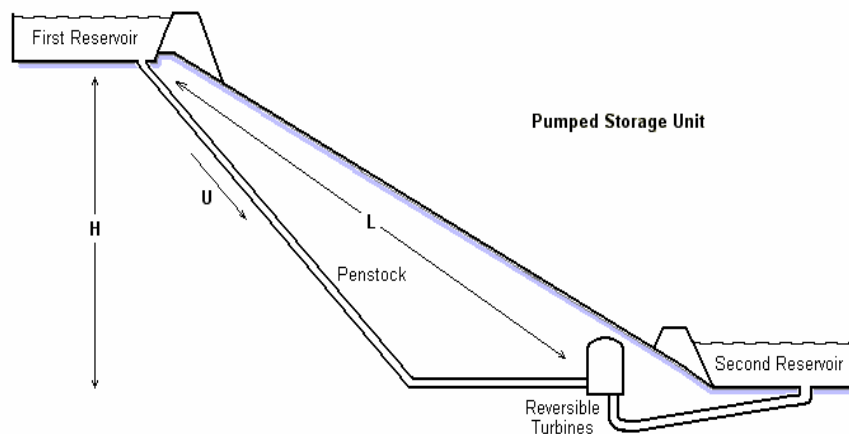
Η ηλεκτροχημική απελευθέρωση της ενέργειας εμφανίζεται όταν δύο διαφορετικές ενώσεις άλατος (ηλεκτρολύτες) φέρνονται κοντά η μία στην άλλη μέσα στην κυψέλη αλλά χωρίζονται από μία μεμβράνη διεξαγωγής ιόντων. Η ροή ρεύματος μέσω της μεμβράνης δημιουργεί διαφορά δυναμικού στα ηλεκτρόδια και κατά συνέπεια ενέργεια σε ένα εξωτερικό κύκλωμα. Αυτή ή ροή ρεύματος συνοδεύεται από χημικές μεταβολές και στους δύο ηλεκτρολύτες. Αυτές οι μεταβολές αναιρούνται αν κατά τη διάρκεια του κύκλου επαναφόρτισης εφαρμοστεί εξωτερικά στα ηλεκτρόδια ένα αντίστροφο δυναμικό. Με αυτό τον τρόπο οι συνδεδεμένοι ηλεκτρολύτες επιστρέφουν στην αρχική ηλεκτροχημική κατάστασή τους.

Με αυτή τη διαδικασία μπορούν να αποθηκευτούν τεράστια ποσά ενέργειας. Για παράδειγμα, ένα σύστημα που υλοποιείται πρόσφατα στο Little Barford, Cambridgeshire, της Αγγλίας έχει χωρητικότητα 120 MWh - καθιστώντας το τη μεγαλύτερη μπαταρία παγκοσμίως. Αυτό το σύστημα έχει δύο δεξαμενές 1800 m^3 που περιέχουν υγρούς ηλεκτρολύτες πολυσουλφιδίων νατρίου και βρωμίδων νατρίου. Η εκφόρτιση μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια λεπτών ή ωρών και ο κύκλος φόρτισης/ εκφόρτισης μπορεί να επαναληφθεί επ' αόριστο. Η μέγιστη εκτιμώμενη ισχύς είναι 15 MW . Η ενεργειακή πυκνότητα είναι χαμηλή και η αποδοτικότητα περιορίζεται σε περίπου $75\text{-}80\%$. Άλλες χημικές δομές των κυψελών ροής είναι οι ψευδάργυρου/ βρωμίου, νατρίου/ βρωμίου και θειικό οξύ/ βαναδίου. Οι κυψέλες καυσίμων έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί με ανανεώσιμες πηγές. Για παράδειγμα διάφορα μακρινά χωριά στη Μαλαισία που τροφοδοτήθηκαν από υβριδικά συστήματα 'εκτός δικτύου' είχαν εγκατεστημένες κυψέλες καυσίμων.

1.8.4.5 Αντλησιοταμίευση (Pump-hydro storage)

Μια προτεινόμενη μέθοδος για συστήματα με ανανεώσιμες πηγές, είναι η αντλησιοταμίευση. Η γενική ιδέα της αντλησιοταμίευσης είναι η εξής: σε μία δεξαμενή βρίσκεται αποθηκευμένη μία ποσότητα νερού. Όταν ζητηθεί ισχύς το νερό μπορεί να πέσει σε μία χαμηλότερα τοποθετημένη (δεύτερη) δεξαμενή με τη βοήθεια υδροστρόβιλου, ενώ όταν δεν υπάρχει πια ζήτηση ισχύος μπορεί με αντλίες να οδηγηθεί ξανά πίσω στην πρώτη (ψηλότερη) δεξαμενή. Αυτή είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται για πάνω από έναν αιώνα και είναι η μόνη τεχνική για αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας που χρησιμοποιείται ευρέως στα συστήματα ισχύος.

Ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης αποτελείται από τα εξής μέρη: μία ανώτερη δεξαμενή, οδηγοί νερού, αντλία, υδροστρόβιλος, κινητήρας, γεννήτρια και κατώτερη δεξαμενή νερού, όπως στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 1.15 – Τυπικό σύστημα αντλησιοταμίευσης

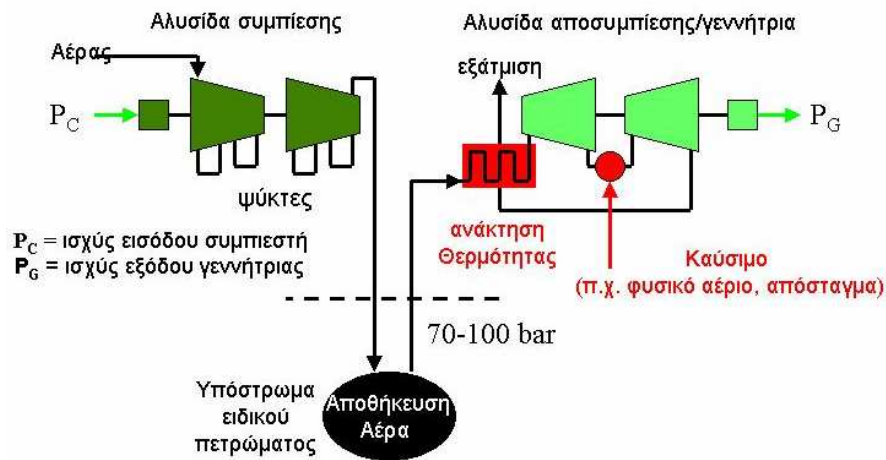
(First Reservoir: πρώτη δεξαμενή, Penstock: αγωγός νερού, Reversible Turbines: στρόβιλοι αντιστρέψιμης φοράς, Second Reservoir: δεύτερη δεξαμενή)

Παρόλο όμως που η αντλησιοταμίευση μπορεί να δώσει υψηλή χωρητικότητα σε χαμηλό κόστος δεν χρησιμοποιείται όσο θα ήταν αναμενόμενο. Ο λόγος είναι αφενός η εξειδικευμένη περιοχή που χρειάζεται για να κατασκευαστεί η εγκατάσταση και αφετέρου ο χρόνος που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία και να απελευθερωθεί η αποθηκευμένη ενέργεια, αφού αν η αντλία δεν λειτουργεί ήδη χρειάζεται χρόνος ένταξης. Για αυτό ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις ισχύος μεγάλης κλίμακας. Παγκοσμίως είναι διαθέσιμα πάνω από 90GW ισχύος από αντλησιοταμίευση και σε μερικές περιπτώσεις σε συνδυασμό με φράγματα.

1.8.4.6 Σύστημα συμπίεσης αέρα (CAES)

Η βασική ιδέα της μεθόδου ότι συμπιεσμένος αέρας στα 800 ως 1600psi μπορεί να αποσυμπιεστεί ώστε, κινώντας αεριοστρόβιλο, να παράγει ηλεκτρισμό, π.χ. κατά τη διάρκεια των αιχμών του φορτίου. Μόνο δύο τέτοιες εγκαταστάσεις υπάρχουν παγκοσμίως, η μία στις ΗΠΑ και η άλλη στη Γερμανία στο Huntorf. Και οι δύο εγκαταστάσεις έχουν υπόστρωμα ορυκτού άλατος. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος φαίνεται σε γενικές γραμμές στο παρακάτω σχήμα.

Σύστημα συμπίεσης αέρα (CAES)



Εικόνα 1.16 – Αρχή λειτουργίας συστήματος συμπιεσμένου αέρα

1.8.4.7 Αποθήκευση και υδρογόνο (Hydricity)

Μια άλλη παραλλαγή ηλεκτροχημικής αποθήκευσης είναι η κυψέλη καυσίμων. Στην ουσία είναι μία μπαταρία που μπορεί επίσης να παραγάγει δική της ισχύ αν τροφοδοτηθεί με καύσιμο. Τέτοια καύσιμα είναι το υδρογόνο, είτε με την καθαρή μορφή του είτε σε μορφή υδρογονανθράκων (π.χ. μεθανόλη, φυσικό αέριο ή βενζίνη) από τους οποίους μπορεί αργότερα να εξαχθεί. Το υδρογόνο που παράγεται από τη μετατροπή ενός από τα καύσιμα που προαναφέρθηκαν ή από την 'ανανεώσιμα τροφοδοτημένη' ηλεκτρόλυση του νερού, αντιπροσωπεύει μία κατάλληλη αποθήκευση ενέργειας. Αυτή η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί είτε να τροφοδοτήσει ένα κύτταρο καυσίμου για την απευθείας μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια είτε να αποθηκευτεί για μετέπειτα χρήση.

Η ηλεκτροχημική ενεργειακή μετατροπή σε ένα κύτταρο καυσίμων είναι περιβαλλοντικά καθαρή. Καταρχήν γιατί το κύριο προϊόν αποβλήτων είναι το νερό (το υδρογόνο αντιδρά χημικά με το οξυγόνο του αέρα για να διαμορφώσει νερό, απελευθερώνοντας ιόντα κατά την αντίδραση) και κατά δεύτερον είναι πολύ πιο αποδοτικό από το να καίγεται σε μία μηχανή καύσης για να παράγει αρχικά θερμική ενέργεια και ύστερα μηχανική.

Αποθήκευση υδρογόνου

Η αποθήκευση του υδρογόνου αποτελεσματικά και ακίνδυνα αποτελεί ακόμη αντικείμενο έρευνας. Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί σαν αέριο, σαν υγρό αν ψυχθεί με κρυοστατικό τρόπο σε θερμοκρασία μικρότερη των 20°K ή, θεωρητικά, σαν στερεό σε θερμοκρασία κάτω των 4.2°K . Μπορεί επίσης να αποθηκευτεί σε συνδυασμό με άλλα υλικά ως υδρίδιο (ένωση υδρογόνου), σαν υδρογονάνθρακας από τον οποίο μπορεί να παρασκευαστεί, σαν μια άλλη χημική ουσία πλούσια σε υδρογόνο όπως η αμμωνία, ή ως αέριο που έχει προσροφηθεί πάνω σε ένα στερεό υλικό ή μέσα στα διάκενα ενός υλικού με μικροπόρους.

Υγρή μορφή

Η υγρή αποθήκευση ως κρυογενές υγρό θα επέφερε υψηλές ενεργειακές πυκνότητες αλλά η διαδικασία ρευστοποίησης και το επόμενο στάδιο της επαναφοράς σε υγρή μορφή πριν από τη χρήση θα πρόσθεταν δαπάνες και θα περιλάμβαναν ενεργειακές απώλειες μέχρι και 30%. Παρόλα αυτά πρωτότυπα οχήματα-δεξαμενές υπάρχουν ήδη, ενώ κορυφαίες επιχειρήσεις στο χώρο του αυτοκινήτου (GM, BMW) συνεργάζονται για να εξετάσουν το πρόβλημα του υγρού υδρογόνου. Ειδικές έρευνες στοχεύουν στο να μειώσουν το βάρος των κρυογόνων δεξαμενών στο ένα τρίτο και τα μέχρι τώρα ποσοστά εξάτμισης στο μισό. Ένα τυπικό σύστημα θα συνδύαζε πίεση 20 bar και θερμοκρασία περίπου 77°K.

Αερώδης μορφή

Τελευταία επίσης το ενδιαφέρον εστιάζεται στην αποθήκευση υδρογόνου με την κανονική (σε κανονικές συνθήκες) αερώδη μορφή του, διατηρώντας το υπό πίεση μέσα στις δεξαμενές. Ένα γραμμάριο υδρογόνου καταλαμβάνει όγκο 11 λίτρων κανονικά και τόσες ατμόσφαιρες πίεσης πρέπει να χρησιμοποιηθούν ώστε να επιτευχθεί μία χρήσιμη πυκνότητα ενέργειας. Μέχρι τώρα έχουν χρησιμοποιηθεί πιέσεις μέχρι 5000psi (350 ατμόσφαιρες ή bar) και πρόσφατα οι αυτοκίνητες δεξαμενές 10000psi (700bar) έχουν πετύχει την πιστοποίηση.

Λαμβάνοντας υπόψη το ζήτημα της ασφάλειας, οι δεξαμενές πρέπει να περάσουν μια αυστηρή σειρά από εκρήξεις, δοκιμές ανακύκλωσης πίεσης, θερμοκρασίας, διάβρωσης, σύγκρουσης, πυρκαγιάς, πυροβολισμού κ.α. Αρκετοί είναι εκείνοι που θεωρούν την αποθήκευση υδριδίων μετάλλων πιο ελπιδοφόρα από τη ρευστοποίηση ή από τη διατήρηση του υδρογόνου υπό πίεση. Τα υδρίδια παράγονται με την επαφή του αερίου υδρογόνου με το μέταλλο και στη συνέχεια με συμπίεση του αερίου, σε τιμές πίεσης όπου το υδρογόνο συμπυκνώνεται στην στερεά του μορφή, διαμορφώνοντας ένα γνωστό υδρίδιο με το μέταλλο. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας 'φόρτισης' απελευθερώνεται θερμότητα και στη συνέχεια απαιτείται θερμότητα για την εξαγωγή υδρογόνου από το υδρίδιο.

Οι υψηλότερες χωρητικότητες προσφέρονται από μέταλλα που διαμορφώνουν υδρίδια στις υψηλές θερμοκρασίες (250 - 350°C), αλλά παρόμοιες θερμοκρασίες απαιτούνται για να ελευθερώσουν ξανά το υδρογόνο όταν χρειαστεί. Αυτό καθιστά το σύστημα ακατάλληλο για πολλές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένου και του αυτοκινήτου. Γι' αυτό οι ερευνητές επιδιώκουν τη χρήση κραμάτων και άλλων υλικών που προσφέρουν αυξημένα ποσοστά απορρόφησης/ απελευθέρωσης σε κανονικότερες θερμοκρασίες και πιέσεις. Άλλα επιθυμητά χαρακτηριστικά των υλικών είναι η δυνατότητα να ανακυκλώνονται πολλές φορές χωρίς υποβάθμιση, να απορροφούν μόνο το υδρογόνο χωρίς σχετικές ακαθαρσίες, να είναι ελέγξιμα τα ποσοστά απορρόφησης και απελευθέρωσης, και η σταθερότητα των υδριδίων κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

Ορισμένα υδρίδια, όπως αυτά που διαμορφώνονται με σίδηρο/ τιτάνιο και λανθάνιο/ κράματα νικελίου προσφέρουν υψηλή ογκομετρική αποδοτικότητα αποθήκευσης αλλά είναι βαριά. Υδρίδια του μαγνησίου, μαγνήσιο/ νικέλιο και μαγνήσιο/ κράματα τιτανίου είναι πολύ ελαφρύτερα.

Πολλά υποσχόμενη είναι η προσρόφηση αερίου υδρογόνου από στερεό άνθρακα, ένα υλικό που έχει μια πολύ λεπτή ιδιαίτερα πορώδη δομή στην οποία οι μυριάδες των μορίων υδρογόνου μπορούν να 'αποθηκευτούν'. Αν και ικανά να συναγωνιστούν την πυκνότητα αποθήκευσης του υγρού υδρογόνου, τα ενεργοποιημένα συστήματα

άνθρακα που ερευνήθηκαν ως τώρα χρειάστηκαν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (υγρού αζώτου) για την αποθήκευση και τη διατήρηση.

1.8.5 Εφαρμογές αποθηκευτικών διατάξεων στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας

1.8.5.1 Αναγκαιότητα αποθηκευτικής διάταξης σε συστήματα με ανανεώσιμες πηγές

Επειδή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από φυσικά φαινόμενα (π.χ. αιολική και ηλιακή ενέργεια) υπάρχει ενδεχόμενο, αρκετές φορές η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ να μη συμπίπτει χρονικά με τη ζήτηση από την πλευρά των καταναλωτών. Η αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας και η μετέπειτα χρήση της σε διαστήματα όπου θα υπάρχει ζήτηση, θα βοηθούσε ώστε να εκμεταλλευτούμε πλήρως τα πλεονεκτήματα που παρέχουν οι ανανεώσιμες πηγές. Επιπλέον σε αυτή την περίπτωση μπορεί να γίνει καλύτερη διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας αφού πλέον σχεδόν εκμηδενίζεται η πιθανότητα να μην υπάρχει ενέργεια τη στιγμή που θα ζητηθεί και έτσι επιτρέπεται η δημιουργία περισσότερο μακροπρόθεσμων σχεδίων διαχείρισης. Η ύπαρξη αποθηκευτικού μέσου λοιπόν δίνει στις ΑΠΕ την αξιοπιστία ενός συμβατικού συστήματος παραγωγής ενέργειας (π.χ. γεννήτριες ντίζελ) και ανοίγει το δρόμο για τη δημιουργία συστημάτων παραγωγής ενέργειας που βασίζονται αποκλειστικά και μόνο σε ανανεώσιμες πηγές.

Ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή για την οποία θα χρησιμοποιούνται οι ΑΠΕ χρειάζεται και μία αποθηκευτική διάταξη με κατάλληλες ιδιότητες. Προκειμένου να αποφασιστεί ποιο αποθηκευτικό μέσο είναι κατάλληλο για κάθε περίπτωση εφαρμογής χρειάζεται να εξεταστεί μια ευρεία γκάμα αποθηκευτικών διατάξεων [9].

Ιδιαίτερη είναι λοιπόν, η χρησιμότητα των ανανεώσιμων πηγών στα συστήματα τροφοδοσίας ενέργειας. Στα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποθηκευτικά μέσα βραχείας ή μακράς διάρκειας αποθήκευσης, ανάλογα με τη χρήση του συστήματος και τις ιδιότητες του αποθηκευτικού μέσου. Ανάλογα με το μέγεθος του αποθηκευτικού μέσου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διατάξεις για σχετικά μικρής διάρκειας αποθήκευση, π.χ. μία μέρα ή βδομάδα, ή για μεγάλης διάρκειας που είναι ικανές να τροφοδοτήσουν με ενέργεια κατά τη διάρκεια σχεδόν όλου του χειμώνα, για παράδειγμα σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών, χωρίς να υπάρχει υποστήριξη συμβατικών γεννητριών. Σαν αποθηκευτικές διατάξεις βραχείας διάρκειας χρησιμοποιούνται κυρίως μπαταρίες μολύβδου λόγω του χαμηλού τους κόστους σε σχέση με τα άλλα μέσα, ενώ για μεγάλη διάρκεια ενδείκνυνται κυρίως αποθηκευτές υδρογόνου. Με τη βοήθεια του αποθηκευτικού μέσου λοιπόν, μπορούν να υπάρξουν εγκαταστάσεις αμιγώς ανανεώσιμων πηγών (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτρια) χωρίς την εφεδρεία συμβατικής γεννήτριας.

Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την επιλογή της αποθηκευτικής διάταξης είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες πρόκειται να εκτεθεί η διάταξη. Έτσι ανάλογα με την περίπτωση και τις εγκαταστάσεις μπορεί να επιλεγεί διάταξη που μπορεί να εκτεθεί σε θερμοκρασίες από -10°C ως 45°C , δηλαδή πρακτικά να τοποθετηθεί σε εξωτερικούς χώρους σχεδόν χωρίς καμία προστασία, διάταξη που πρέπει να τοποθετηθεί μέσα σε κτίριο (5°C ως 20°C) ή διάταξη που

χρειάζεται να τοποθετηθεί σε μονωμένους χώρους ή χώρους με ενεργό έλεγχο θερμοκρασίας ώστε η θερμοκρασία να διατηρείται στους 15°C ως 25°C.

Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο ότι αν οι ανανεώσιμες πηγές καλύπτουν ένα μικρό μέρος από τη ζήτηση σε ενέργεια, η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να μην είναι απαραίτητη καθώς η ζήτηση μπορεί να καλυφθεί από τα άλλα στοιχεία (π.χ. γεννήτριες ντίζελ). Ωστόσο όμως όσο αυξάνει η συμβολή των ανανεώσιμων πηγών στην εξυπηρέτηση του ζητούμενου φορτίου, γεγονός που είναι αναμενόμενο για τα επόμενα χρόνια, τόσο γίνεται απαραίτητη η διάταξη αποθήκευσης. Αυτό γίνεται εμφανές σε εγκαταστάσεις παροχής ενέργειας από φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επειδή τη νύχτα δεν υπάρχει ηλιοφάνεια είναι πιθανό η ζήτηση σε φορτίο να αυξηθεί νωρίς το απόγευμα, γιατί οι καταναλωτές θα προνοήσουν για τη νύχτα, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μία αιχμή στο φορτίο εκείνη την ώρα, η οποία θα πρέπει να καλυφθεί από συμβατικές πηγές. Η εγκατάσταση ενός αποθηκευτικού συστήματος θα βοηθούσε να εξομαλυνθούν αυτές οι κορυφές στη ζήτηση ενέργειας και να δημιουργηθεί στο βαθμό που είναι εφικτό ένα σταθερό φορτίο βάσης. Επίσης η αποθήκευση βοηθάει στο να εξισορροπηθεί η υψηλή παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά το καλοκαίρι με τη χαμηλή κατά τη διάρκεια του χειμώνα όπως προαναφέρθηκε.

Πολλά υποσχόμενη είναι επίσης η ύπαρξη αποθηκευτικού μέσου σε εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών για την τροφοδοσία απομακρυσμένων περιοχών. Το κόστος δημιουργίας μίας γραμμής μεταφοράς προκειμένου να μεταφερθεί ηλεκτρική ενέργεια από τον πλησιέστερο υποσταθμό και το κόστος παραγωγής αυτής της ενέργειας με συμβατικούς τρόπους (π.χ. το κόστος του καυσίμου της συμβατικής γεννήτριας) είναι ασύγκριτα μεγαλύτερο, από ότι η τροφοδοσία ενέργειας από ΑΠΕ με τη συνεισφορά κατάλληλης αποθηκευτικής διάταξης.

Τέλος οι αποθηκευτικές διατάξεις βοηθούν στο να ξεπεραστεί το γεγονός ότι η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ δεν μπορεί να είναι πλήρως προβλέψιμη. Έτσι είναι δυνατή η διαχείριση ενέργειας και ισχύος. Ένα μέρος από την παραγόμενη ενέργεια των ΑΠΕ καταναλώνεται αμέσως ώστε να αντικαταστήσει συμβατικές πηγές και το υπόλοιπο πρέπει να αποθηκεύεται για μετέπειτα χρήση.

1.8.5.2 Σύγκριση των εφαρμογών των κυριότερων αποθηκευτικών μέσων

Με κριτήριο την ταχύτητα εκφόρτισης, πρώτα στην κλίμακα είναι τα υπεραγώγιμα πηνία και οι υψηλής ισχύος πυκνωτές με χρόνο εκφόρτισης λίγα δευτερόλεπτα. Η ισχύς των πυκνωτών υψηλής ισχύος κυμαίνεται από 100kW ως 1MW. Με χρόνο εκφόρτισης αρκετά δευτερόλεπτα ως και μερικά λεπτά ακολουθούν οι υψηλής ισχύος στρεφόμενες μάζες (flywheels), για συστήματα ισχύος από 10 ως λίγες εκατοντάδες kW. Στη συνέχεια ακολουθούν με τη σειρά οι μπαταρίες λιθίου-ιόντος, νικελίου-καδμίου, μολύβδου-οξέως και οι υψηλής ενέργειας υπέρ-πυκνωτές (supercapacitors) με χρόνο εκφόρτισης αρκετά λεπτά ως και μία ώρα αντίστοιχα. Η ισχύς των συστημάτων με μπαταρίες λιθίου-ιόντος κυμαίνεται από 1 ως 100kW, με μπαταρίες νικελίου-καδμίου από 1kW ως 5MW, με μπαταρίες μολύβδου-οξέως από 1kW ως 10MW και τέλος για τους υψηλής ενέργειας υπέρ-πυκνωτές από 5 ως 100kW. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν και οι μακράς διάρκειας στρεφόμενες μάζες για συστήματα ισχύος ως και 5kW περίπου. Στην τελευταία κατηγορία με χρόνο εκφόρτισης της τάξεως κάποιων ωρών βρίσκονται οι μπαταρίες μετάλλου - αέρος για συστήματα ισχύος ως 10kW, οι μπαταρίες ροής ZnBr, VRB, PSB για συστήματα

ισχύος από 10kW ως 10MW, ενώ στην ίδια κατηγορία για συστήματα 1GW κατάλληλη είναι οι αντλησιοταμίευση και τα συστήματα συμπιεσμένου αέρα.

Με κριτήριο το κόστος εγκατάστασης ανά μονάδα ενέργειας (\$/kWh) φθηνότερες είναι οι μπαταρίες μετάλλου-αέρος με αρχικό κόστος 20-50\$, ακολουθούν οι διατάξεις αντλησιοταμίευσης με 40-100\$, οι μπαταρίες ροής (flow batteries) με κόστος από 100 ως 1100\$, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος με 200-1000\$, οι νικελίου-καδμίου, οι λιθίου-ιόντος και οι μακράς διάρκειας στρεφόμενες μάζες με 800-2000\$ και στη συνέχεια οι μακράς διάρκειας στρεφόμενες μάζες και οι υψηλής ισχύος E.C. Capacitors με κόστος που πλησιάζει τα 10000\$.

Με κριτήριο το κόστος εγκατάστασης ανά μονάδα ισχύος φθηνότεροι είναι οι υψηλής ισχύος E.C. Capacitors με 100-700\$, στη συνέχεια έρχονται οι υψηλής ισχύος στρεφόμενες μάζες και οι E.C. Capacitors με 150-700\$, ακολουθούν οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος με 300-800\$. Στην επόμενη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα συμπιεσμένου αέρα με 700 ως 1000\$, οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου και τα συστήματα αντλησιοταμίευσης με 700 ως 1200\$, οι μπαταρίες μετάλλου αέρα με κόστος 1000-1700\$ και τέλος οι λιθίου-ιόντος με 1200-6500\$ και οι μακράς διάρκειας στρεφόμενες μάζες με 3000-10000\$ όπως στον πίνακα 1.3.

Ως προς τη διάρκεια αποθήκευσης τα αποθηκευτικά μέσα μπορούν να ταξινομηθούν σε 4 κατηγορίες:

- Διατάξεις πολύ βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης - κατάλληλες για εφαρμογές ποιότητας ισχύος
- Διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης - κατάλληλες για εφαρμογές εξομάλυνσης διακυμάνσεων της αιολικής παραγωγής
- Διατάξεις μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης - κατάλληλες για εφαρμογές εξομάλυνσης φορτίου
- Διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης - κατάλληλες για αποθέματα αιολικής ενέργειας υψηλής χωρητικότητας

Ως προς αυτές τις κατηγορίες, τα διάφορα αποθηκευτικά μέσα έχουν ταξινομηθεί στους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας 1.2 – Διατάξεις πολύ βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης, κατάλληλες για εφαρμογές ποιότητας ισχύος

Σύστημα πολύ βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης	Κόστος ισχύος (€/kW)	Κόστος ενέργειας (€/kWh)	Χωρητικότητα αποθήκευσης (χρόνος)	Απόδοση μετατροπής
SMES	300	72000	Δευτερόλεπτα	0,95
Στρεφόμενες μάζες (χαμηλή ταχύτητα)	280	300	Δευτερόλεπτα	0,9
Μπαταρίες (μολύβδου-οξέος)	175	100 – 200	Δευτερόλεπτα	0,85
Συμπιεσμένος αέρας	400	10 – 20	Δευτερόλεπτα	0,5 – 0,7
Ultra capacitor	300	82000	Δευτερόλεπτα	0,95

Πίνακας 1.3 – Διατάξεις πολύ βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης, κατάλληλες για εξομάλυνση των διακυμάνσεων της αιολικής ισχύος

Σύστημα βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης	Κόστος ισχύος (€/kW)	Κόστος ενέργειας (€/kWh)	Χωρητικότητα αποθήκευσης (χρόνος)	Απόδοση μετατροπής
Στρεφόμενες μάζες (ρυθμισμένη ταχύτητα)	100	125	Λίγα λεπτά	0,95
Στρεφόμενες μάζες (υψηλή ταχύτητα ταχύτητα)	25000	350	Λίγα λεπτά – μία ώρα	0,93
Μπαταρίες (μολύβδου – οξέος)	175	200	Λίγα λεπτά – μία ώρα	0,85
Μπαταρίες (ενισχυμένες)	245	300	Λίγα λεπτά – μία ώρα	0,7
Συμπιεσμένος αέρας	400	10-20	Λίγα λεπτά – μία ώρα	0,5-0,7

Πίνακας 1.4 – Διατάξεις μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης, κατάλληλες για εξομάλυνση φορτίου

Σύστημα μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης	Κόστος ισχύος (€/kW)	Κόστος ενέργειας (€/kWh)	Χωρητικότητα αποθήκευσης (χρόνος)	Απόδοση μετατροπής
Μπαταρίες (μολύβδου-οξέος)	175	200	Πάνω από 10 ώρες	0,85
Μπαταρίες (ενισχυμένες)	245	300	Πάνω από 10 ώρες	0,7
Υδρογόνο	500-20000	50-300	Πάνω από 10 ώρες	0,6
Συμπιεσμένος αέρας	575	2	Πάνω από 10 ώρες	0,79

Πίνακας 1.5 – Διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης, κατάλληλες για αποθέματα αιολικής ενέργειας υψηλής χωρητικότητας

Σύστημα μακροπρόθεσμης αποθήκευσης	Κόστος ισχύος (€/kW)	Κόστος ενέργειας (€/kWh)	Χωρητικότητα αποθήκευσης (χρόνος)	Αποτελεσματικότητα
Μπαταρίες (μολύβδου-οξέος)	175	200	Αρκετές μέρες	0,85
Υδρογόνο	500-10000	15-200	Αρκετές μέρες	0,59
Συμπιεσμένος αέρας	4150	1	Αρκετές μέρες	0,79
Αντλησιοταμίευση Συμβατική (500-1500MW)	1100	10	Αρκετές μέρες	0,87
Αντλησιοταμίευση Υπόγεια (2000MW)	1200	50	Αρκετές μέρες	0,87

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται συνοπτικά η καταλληλότητα αποθηκευτικών μέσων, όσο αφορά εφαρμογές ισχύος και ενέργειας.

Πίνακας 1.6 – Εφαρμογές των κυριότερων αποθηκευτικών μέσων

Αποθηκευτική διάταξη	πλεονεκτήματα	μειονεκτήματα	Εφαρμ. Ισχύος	Εφαρμ. Ενέργειας
Αντλησιοταμίευση (pumped storage)	Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία		
CAES	Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία και αέριο καύσιμο		
Μπαταρίες ροής (flow): PSB, VRBr, ZnBr	Υψηλή χωρητικότητα, ανεξάρτητη εκτίμηση ισχύος - ενέργειας	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας	/	
Μετάλλου - αέρος	Πολύ υψηλή πυκνότητα ενέργειας	Δύσκολη η ηλεκτρική φόρτιση		
NaS	Υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, υψηλή αποτελεσματικότητα	Κόστος παραγωγής, μέτρα ασφαλείας (λόγω σχεδιασμού)		
Li – ion	Υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, υψηλή αποτελεσματικότητα	Υψηλό κόστος παραγωγής, απαιτεί ειδικό κύκλωμα φόρτισης		–
Ni – Cd	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, αποτελεσματικότητα			/
Άλλες ενισχυμένες μπαταρίες	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος	Υψηλό κόστος παραγωγής		–
Μολύβδου – οξέος	Χαμηλό αρχικό κόστος	Περιορισμένος κύκλος ζωής σε βαθιά εκφόρτιση		–
Στρεφόμενες μάζες (flywheels)	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας		–
SMES, DSMES – Υπεραγώγιμα Πηνία	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας, υψηλό κόστος παραγωγής		
E.C Capacitors	Μεγάλος κύκλος ζωής, υψηλή αποτελεσματικότητα	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας		/

| : πλήρως κατάλληλο και λογικό

/ : λογικό για αυτή την εφαρμογή

– : εφικτό αλλά όχι αρκετά πρακτικό ή οικονομικό

κανένα σύμβολο: μη εφικτό ή μη οικονομικό

1.9 Δομή της εργασίας

Αφού αναφέρθηκαν γενικές έννοιες σχετικά με την ηλιακή ενέργεια, τα φωτοβολταϊκά συστήματα και την αποθήκευση ενέργειας, αναλύεται στα επόμενα κεφάλαια η αξία των φωτοβολταϊκών με και χωρίς αποθηκευτική διάταξη σε ένα κορεσμένο Υ/Σ.

Πιο συγκεκριμένα:

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι επιπτώσεις των φωτοβολταϊκών, έπειτα από βιβλιογραφική αναζήτηση, σε διάφορα επίπεδα, κοινωνικά, περιβαλλοντικά, οικονομικά.

Στο τρίτο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η αναλυτική περιγραφή του προβλήματος. Θα δοθούν στοιχεία για τον υποσταθμό των Χανίων, την παραγωγή των υπό μελέτη φωτοβολταϊκών όπως και τον επίμαχο αεριοστρόβιλο για την περίοδο του 2001. Επίσης θα παρουσιαστεί η προτεινόμενη λύση, η οποία θα εξεταστεί παρακάτω.

Στο τέταρτο κεφάλαιο θα γίνει η ανάλυση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την επίλυση του προβλήματος, η οποία προκύπτει μετά από τη λύση τριών προβλημάτων βελτιστοποίησης. Δύο από αυτά μεταβάλλουν την οικονομική κατανομή των μονάδων του συστήματος λόγω των φωτοβολταϊκών και το τρίτο επιτρέπει εκτός αυτού και μια μικρή αλλαγή στο πρόγραμμα της ένταξης των μονάδων. Θαδειχθεί πως έγινε η μοντελοποίηση των δεδομένων και των εισόδων του προβλήματος, όπως και πως αξιοποιήθηκαν οι έξοδοι σε κάθε σενάριο μελέτης.

Στο πέμπτο και έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής με τη χρήση των φωτοβολταϊκών χωρίς και με αποθήκευση αντίστοιχα. Σε γενικές γραμμές, θα αποδειχθεί πως η χρήση των φωτοβολταϊκών σε ώρες αιχμής, όταν αυτά είναι εγκατεστημένα σε περιοχές του υποσταθμού Χανίων, συνοδευόμενη από μια διαφορετική οικονομική πολιτική με αλλαγές στην ένταξη των μονάδων, μπορεί να ανακουφίσει σημαντικά τον υποσταθμό των Χανίων, προσφέροντας παράλληλα οικονομικό όφελος στο σύστημα. Επιπλέον, θαδειχθεί πως η εγκατάσταση μιας αποθηκευτικής διάταξης στον υποσταθμό των Χανίων και σε συνδυασμό με τα φωτοβολταϊκά μπορεί να βελτιώσει αρκετά τα αποτελέσματα. Στην εξαγωγή του παραπάνω συμπεράσματος θα βοηθήσει η σύγκριση με σενάρια μελέτης που προβλέπουν πως τα φωτοβολταϊκά είναι εγκατεστημένα σε περιοχές εκτός του υποσταθμού Χανίων, με παρόμοιες συνθήκες ηλιοφάνειας ή και ακόμα καλύτερες.

Στο έβδομο κεφάλαιο θα γίνει η παρουσίαση των τελικών συμπερασμάτων της μελέτης για όλα τα σενάρια εφαρμογής. Θα παρουσιαστεί η υπεροχή του σεναρίου της τοποθέτησης όλων των φωτοβολταϊκών σε περιοχές του υποσταθμού Χανίων, με βάση την ετήσια αξία τους σύμφωνα με την πιθανοτική μέθοδο που περιγράφεται στο κεφάλαιο 4. Τέλος, θα προταθεί στο διαχειριστή του συστήματος η πολιτική που πρέπει να ακολουθήσει, συνοδευόμενη από επιδοτήσεις και οικονομικές παροχές στους ιδιοκτήτες φωτοβολταϊκών, για την μετακίνηση όλων των αδειοδοτημένων φωτοβολταϊκών πάρκων σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων.

Στο όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο θα γίνει η σύνοψη των κεντρικότερων συμπερασμάτων της εφαρμογής. Σαν συνέπεια αυτών θα προταθούν μελλοντικοί τρόποι δράσης και συμπεριφοράς από τους ενδιαφερόμενους φορείς, όσον αφορά τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τη χρήση τους που προτείνει η εφαρμογή.

2 Επιπτώσεις διείσδυσης φωτοβολταϊκών συστημάτων

2.1 Εισαγωγή

Για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν σήμερα τον πλανήτη, παρατηρείται η στροφή προς τις καθαρές πηγές ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια είναι μια από αυτές. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση του αριθμού των Φ/Β συστημάτων που συνδέονται στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η διείσδυση των Φ/Β μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία των δικτύων διανομής, να μειώσει τη λειτουργία των θερμικών μονάδων, να λειτουργήσει επικουρικά στη μη υπερφόρτιση των μετασχηματιστών, κ.α. Επιπλέον μπορεί να έχει αντίκτυπο στο περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία [11].

2.2 Επιπτώσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα σε δίκτυα διανομής

2.2.1 Εισαγωγή

Η διασύνδεση φωτοβολταϊκών μπορεί ενδεχομένως να αναβάλλει τις βελτιώσεις γραμμών μετασχηματιστών και μεταφοράς, να επεκτείνει τα διαστήματα συντήρησης εξοπλισμού, να μειώσει τις ηλεκτρικές απώλειες γραμμών, και να βελτιώσει την αξιοπιστία των δικτύων διανομής στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που εγκαθίστανται.

2.2.2 Επιπτώσεις στους μετασχηματιστές ενός υποσταθμού

Η σύνδεση φωτοβολταϊκών με το δίκτυο αναβάλλει την αναβάθμιση του μετασχηματιστή του υποσταθμού καθώς τα φωτοβολταϊκά παράγουν ενέργεια και την παρέχουν στην πλευρά χαμηλής τάσης του μετασχηματιστή κατά τη διάρκεια της μέγιστης χρήσης. Το μειωμένο φορτίο μετασχηματιστών οδηγεί στις μειωμένες θερμοκρασίες μετασχηματιστών και τη μακρύτερη ζωή τους. Ένας πιο δροσερός μετασχηματιστής μπορεί να προσαρμόσει την πρόσθετη αύξηση φορτίων και να επιτρέψει την αναβολή της αγοράς ενός νέου μετασχηματιστή. Σύμφωνα με μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Kerman της Καλιφόρνιας, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ισχύος 0,5MW οδήγησε στη μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας του μετασχηματιστή του υποσταθμού της περιοχής κατά 4°C κατά τη διάρκεια μιας μέρας με μεγάλη ζήτηση το 1993. Η μείωση αυτή συνέβαλλε στην αύξηση της ποσότητας ισχύος που ρέει μέσα από τον μετασχηματιστή κατά 4,6% ή 0,46MW κατά την ώρα αιχμής και στην αναβολή της αναβάθμισης του μετασχηματιστή του υποσταθμού, το κόστος της οποίας ανέρχεται σε \$398.000.

Παρόμοια οφέλη αναμένεται να έχει και ο Μ/Σ-2 του Υ/Σ Χανίων. Μετά την προσφορά της φωτοβολταϊκής ισχύος σε ώρες αιχμής αναμένεται ανακούφιση του συγκεκριμένου Μ/Σ, στον οποίο συνδέονται μονάδες αιχμής, και επομένως αύξηση του προσδόκιμου λειτουργίας του. Αυτό θα διερευνηθεί αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια της εργασίας.

2.2.3 Επιπτώσεις στις απώλειες μεταφοράς και διανομής

Οι ηλεκτρικές απώλειες των γραμμών εμφανίζονται ως ροές ρεύματος μέσω των αγωγών και άλλων συσκευών του συστήματος μεταφοράς και διανομής. Το μέγεθος των απωλειών συσχετίζεται με τη ροή ρεύματος και την αντίσταση των συσκευών. Κατά συνέπεια, οι απώλειες γραμμών μπορούν να μειωθούν με τη μείωση είτε της αντίστασης είτε του ρεύματος. Η μείωση της αντίστασης απαιτεί την αντικατάσταση ή την προσθήκη εξοπλισμού ενώ η μείωση του ρεύματος απαιτεί τη μείωση της ζήτησης ή την εξυπηρέτηση ενός μέρους του φορτίου τοπικά με μία τεχνολογία όπως τα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά. Σύμφωνα με μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Kerman της Καλιφόρνιας, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ισχύος 0,5 MW οδήγησε στη μείωση των απωλειών του συστήματος, μείωση που αντιστοιχεί στο 6% της παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά και εξοικονόμηση \$37.000 κατά τη διάρκεια της ζωής των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων (καθαρή παρούσα αξία), ποσό στο οποίο δεν περιλαμβάνεται η εξοικονόμηση χρημάτων από την αναβολή αναβάθμισης του συστήματος. Επίσης, σύμφωνα με τη μελέτη [12], αποδείχτηκε ότι τα φωτοβολταϊκά που είναι εγκατεστημένα στην Ιεράπετρα προσφέρουν μια μείωση των απωλειών του συστήματος που αγγίζει τα 290 kW σε ωριαία βάση και φτάνει έως τις 1,67 MWh στη διάρκεια μιας καλοκαιρινής μέρας.

2.2.4 Διακύμανση τάσης στα σημεία σύνδεσης (voltage fluctuation)

Οποιαδήποτε έγχυση ισχύος στο δίκτυο διανομής προκαλεί ανύψωση της τάσης στο σημείο σύνδεσης του Φ/Β συστήματος με το δίκτυο. Το μεγαλύτερο πρόβλημα των ΑΠΕ είναι η μη σταθερή παραγωγή ισχύος λόγω της μεταβλητότητας των πηγών αυτών. Όσον αφορά τα Φ/Β συστήματα, το ποσό της ωφέλιμης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σχετίζεται άμεσα με την ένταση της φωτεινής ενέργειας που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια μετατροπής. Αν λοιπόν η έξοδος των μονάδων υπόκειται σε μεγάλες αλλαγές σε σύντομο χρονικό διάστημα, λόγω της εξάρτησής τους από τις φυσικές συνθήκες, τότε ενδεχόμενα να προκληθεί και έντονη διακύμανση της τάσης στα σημεία σύνδεσης.

2.2.5 Ανύψωση τάσης στο δίκτυο (voltage rise)

Η τάση σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου πρέπει να κυμαίνεται μέσα σε κάποια όρια για τη σωστή λειτουργία του δικτύου, τα οποία είναι συνήθως +10% / -10% της οικονομικής τάσης. Η ενσωμάτωση διανεμημένης παραγωγής στο δίκτυο οδηγεί σε μια αύξηση της τάσης του δικτύου με αποτέλεσμα τη βελτίωση της αξιοπιστίας του δικτύου διανομής. Αυτή η μεταβολή μπορεί να είναι ευπρόσδεκτη υπό συγκεκριμένες συνθήκες, αλλά μπορεί επίσης να επιφέρει δυσλειτουργία του δικτύου υπό άλλες συνθήκες. Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων ενδέχεται να προκαλέσει προβλήματα ευστάθειας τάσης και να οδηγήσει σε κατάρρευση της τάσης (voltage

collapse) και άρα σε αναστολή της σωστής λειτουργίας του δικτύου. Λόγω της μικρής ισχύος των Φ/Β το σύστημα μεταφοράς δεν επηρεάζεται, ενώ θεωρήσαμε ότι τα Φ/Β είναι τοποθετημένα σε σημεία «ισχυρού» δικτύου της περιοχής των Χανίων. Περαιτέρω μελέτη διερεύνησης ξεφεύγει από τα όρια της εργασίας αυτής.

2.3 Περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη της ηλιακής ενέργειας

Η Ελλάδα έχει το προνόμιο να είναι μία χώρα με τεράστιο ανανεώσιμο δυναμικό. Ιδιαίτερα ο ήλιος αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές πηγές ενέργειας με ασύγκριτα περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά οφέλη.

2.3.1 Περιβάλλον

2.3.1.1 Μείωση εκπομπής ρύπων

Τα Φ/Β, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με μηδενική ρύπανση. Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συμβάλλει στη μείωση της παραγωγής ενέργειας που απαιτείται για την ικανοποίηση της ζήτησης των διαφόρων φορτίων με αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας καυσίμου που καταναλώνεται από τις διάφορες μονάδες παραγωγής και της εκπομπής ρύπων (CO_2 , NO_x , SO_2) που παράγονται από τα διάφορα καύσιμα.

Μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε στις δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και συγκεκριμένα στις πολιτείες Κολοράντο και Καλιφόρνια έδειξε ότι μια κιλοβατώρα παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης φυσικού αερίου της τάξης των 6000-9000 kJ και της εκπομπής ρύπων CO_2 και NO_x της τάξης των 300-460 και 0.07-0.16g αντίστοιχα για την πολιτεία του Κολοράντο ενώ τα φωτοβολταϊκά της πολιτείας της Καλιφόρνια συμβάλλουν στη μείωση της κατανάλωσης φυσικού αερίου και άνθρακα της τάξης των 2400-8100 kJ και 20-6800 kJ αντίστοιχα και της εκπομπής ρύπων CO_2 , NO_x , SO_2 της τάξης των 300-460, 0,07-0,16 και 0-1,1g αντίστοιχα. Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων προσομοιώθηκε η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στις δύο αυτές πολιτείες με τη μεταβολή της διεύθυνσης των φωτοβολταϊκών στις Δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής από 0 έως 10% με βήμα αύξησης 2%.

Στην Ελλάδα, υπολογίζεται ότι για κάθε μία ηλιακή κιλοβατώρα που παράγεται αποτρέπεται η έκλυση ενός κιλού διοξειδίου του άνθρακα. Αυτό σημαίνει ότι αν η Ελλάδα εκπληρώσει τους στόχους της για την ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας έως το 2020 (700 MW Φ/Β), θα αποτρέπεται ετησίως η έκλυση περίπου 1.000.000 τόνων διοξειδίου του άνθρακα. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε, η εγκατάσταση 2MW από Φ/Β σε σχολεία της Αθήνας, προκάλεσε μια μείωση της ετήσιας εκπομπής CO_2 , NO_x , SO_2 και σωματιδίων περίπου ίση με 1500-2500, 2-3,2, 5,5-12,8 και 0,9-2,5 τόνους αντίστοιχα. Σε μία άλλη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο νησί της Κύθνου, η εγκατάσταση ενός Φ/Β ισχύος 200 kW συνέβαλλε στη μείωση της ετήσιας εκπομπής CO_2 , NO_x , SO_2 και σωματιδίων κατά 80800-96600, 26,4-31,6 και 39,2-47kg αντίστοιχα. Επίσης στην εργασία [12] φαίνεται πως τα φωτοβολταϊκά που είναι εγκατεστημένα στην Ιεράπετρα προκαλούν μια μείωση της εκπομπής των ρύπων από τις θερμικές μονάδες έως και 1060 kg ανά MWh που παράγεται.

2.3.2 Οικονομικά οφέλη

2.3.2.1 Μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα

Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει σήμερα η Ελλάδα είναι η απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, η οποία επιβαρύνει σημαντικά την εθνική οικονομία και κατ' επέκταση τους Έλληνες φορολογούμενους πολίτες. Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του Υπουργείου Ανάπτυξης, τα εισαγόμενα καύσιμα και οι εισαγωγές ενέργειας κάλυψαν την ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα σε ποσοστό μεγαλύτερο από 40% για το έτος 2007. Η αύξηση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα αποτυπώνεται και στην οικονομική πορεία της ΔΕΗ, η οποία για το πρώτο εννεάμηνο του 2008 ανακοίνωσε ρεκόρ οικονομικών ζημιών. Μόνο για την αγορά εισαγόμενων καυσίμων και ενέργειας η ΔΕΗ δαπάνησε 713,4 εκατομμύρια ευρώ επιπλέον σε σύγκριση με το πρώτο εννεάμηνο του 2007. Επομένως, η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα συμβάλλει όχι μόνο στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αλλά και στην τόνωση της εθνικής μας οικονομίας.

2.3.2.2 Μείωση του κόστους καυσίμων

Τα τελευταία έτη παρατηρείται μια σημαντική αύξηση στις τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και σε μεγάλο βαθμό ευθύνεται η άνοδος των τιμών των εισαγόμενων καυσίμων και ενέργειας, δεν πρέπει να παραβλέψουμε και άλλους παράγοντες. Η λανθασμένη ενεργειακή στρατηγική που ακολουθείται ιστορικά (κατασκευή ολοένα και περισσότερων συμβατικών μονάδων, καμία πρόνοια για την εξοικονόμηση ενέργειας) έχει επιτείνει την αρνητική αυτή εξέλιξη. Σε όλα αυτά θα πρέπει να προστεθούν και οι πολιτικές εξελίξεις από το ευρωπαϊκό μέτωπο. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πακέτο για το Κλίμα και την Ενέργεια, από το 2013 οι βιομηχανίες ηλεκτροπαραγωγής στα περισσότερα ευρωπαϊκά κράτη (μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα) θα πρέπει να πληρώνουν για το 100% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Συστήματος Εμπορίας Ρύπων. Η εξέλιξη αυτή σημαίνει ότι η ΔΕΗ θα επιβαρύνεται ετησίως επιπλέον με 1,5 δις ευρώ (συντηρητική εκτίμηση). Αν και τα χρονικά περιθώρια είναι περιορισμένα, η ΔΕΗ θα πρέπει να επενδύσει επιθετικά στις ΑΠΕ και επομένως στην ανάπτυξη Φ/Β συστημάτων και την εξοικονόμηση ενέργειας σε αντικατάσταση των ρυπογόνων συμβατικών μονάδων. Σε μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο νησί της Κύθνου, η εγκατάσταση ενός Φ/Β ισχύος 100 kW συνέβαλλε στη μείωση του ετήσιου κόστους λειτουργίας θερμικών μονάδων στο νησί κατά 4900 ευρώ περίπου, μείωση που αντιστοιχεί στο 0,93% του αρχικού κόστους ενώ η εγκατάσταση ενός Φ/Β ισχύος 200 kW συνέβαλλε στη μείωση του ετήσιου κόστους λειτουργίας θερμικών μονάδων στο νησί κατά 13.000€ περίπου, μείωση που αντιστοιχεί στο 2,49% του αρχικού κόστους. Μια άλλη μελέτη για την περιοχή της Ιεράπετρας έδειξε πως τα φωτοβολταϊκά που είναι εγκατεστημένα στο νομό της Ιεράπετρας προκαλούν μείωση της κατανάλωσης καυσίμου diesel κατά 450 λίτρα και καυσίμου μαζούτ κατά 310 κιλά ανά παραγόμενη MWh, πράγμα που οδηγεί σε εξοικονόμηση έως και 300 περίπου ευρώ ανά παραγόμενη MWh για το σύστημα της Κρήτης.

2.3.3 Κοινωνικά οφέλη

2.3.3.1 Διαφοροποίηση της συμπεριφοράς του παραγωγού - καταναλωτή

Η ανάπτυξη Φ/Β συστημάτων, έχει οδηγήσει σε μεταβολή της συμπεριφοράς των παραγωγών - καταναλωτών σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας. Το να έχουν το δικό τους Φ/Β σύστημα, θα επηρεάσει τη συμπεριφορά τους ως προς την κατανάλωση ενέργειας καθώς θα μεγιστοποιήσουν το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχουν στο δίκτυο, μειώνοντας παράλληλα την κατανάλωσή τους. Δίνοντας τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια, τον καθιστούν πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν έτσι στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας. Επιπλέον η συχνότερη παρατήρηση του μετρητή ενέργειας θα οδηγήσει στην εκδήλωση ενδιαφέροντος για το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται. Η μύηση του καταναλωτή στη διαδικασία παραγωγής ενέργειας και η ενασχόλησή του με την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια του νοικοκυριού του τον οδηγεί στον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας στοχεύοντας όχι μόνο στην εξοικονόμηση χρημάτων αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος. Ένα παράδειγμα που υποστηρίζει αυτή τη θεωρία είναι η αύξηση της χρήσης συσκευών εξοικονόμησης ενέργειας (πχ. συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού) τα τελευταία χρόνια.

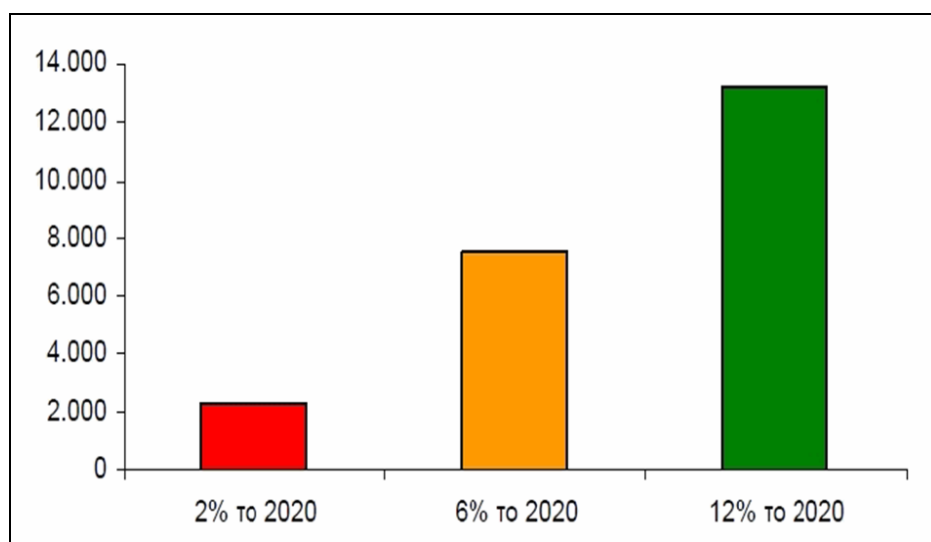
2.3.3.2 Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Η στροφή προς την πράσινη επιχειρηματικότητα, με την αξιοποίηση των ΑΠΕ, οδήγησε στην ανάπτυξη της πράσινης οικονομίας και στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας στο χώρο της ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά είναι μια από τις λίγες ενεργειακές τεχνολογίες όπου η Ελλάδα έχει τη δυνατότητα να έχει σημαντικό μερίδιο με εγχώρια παραγωγή. Ήδη στην παροχή συμβουλευτικών υπηρεσιών, στην εμπορία, εγκατάσταση και συντήρηση φωτοβολταϊκών συστημάτων δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα πάνω από 200 εταιρείες με εκατοντάδες εργαζόμενους. Επιπλέον, δημιουργούνται μονάδες παραγωγής επικουρικού εξοπλισμού όπως βάσεις στήριξης, ηλιοστάτες (trackers), μπαταρίες, αντιστροφείς ισχύος. Σήμερα λειτουργούν 5 εργοστάσια παραγωγής φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα που σε πλήρη ανάπτυξη θα απασχολούν περίπου 1000 άτομα.

Η νέα έκθεση «Εξελιγμένη Στρατηγική στις Ανανεώσιμες» που υποστηρίχθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, υπολόγισε ότι η προώθηση των ΑΠΕ θα προσφέρει 2,5εκ. θέσεις έως το 2020.

Τουλάχιστον 55.000 άνθρωποι απασχολούνται στον τομέα των φωτοβολταϊκών στη Γερμανία. Με συντηρητικούς υπολογισμούς ο αριθμός των εργαζομένων της Ε.Ε. στα φωτοβολταϊκά αναμένεται να φτάσει τους 727.000 εργαζόμενους το 2020 και το 1,4εκ. το 2030.

Ανάλογα με το σενάριο υλοποίησης φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα, θα υπάρχει και ανάλογη κάλυψη θέσεων εργασίας.



Εικόνα 2.1 - Θέσεις πλήρους απασχόλησης στα φ/β το 2020 (3 σενάρια διεύθυνσης στο ενεργειακό ισοζύγιο)

3 Περιγραφή του προβλήματος - Δίκτυο εφαρμογής

3.1 Εισαγωγή

Το ΣΗΕ Κρήτης αποτελεί το μεγαλύτερο αυτόνομο νησιωτικό σύστημα στη χώρα μας με συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας και σημαντική μεταβολή της αιχμής ιδιαίτερα κατά την προηγούμενη δεκαετία. Εκτός από τις ιδιαιτερότητες της λειτουργίας ενός αυτόνομου συστήματος, συχνότερες διαταραχές στη συχνότητα και διακοπές καταναλωτών παρουσιάζει σημαντικό κόστος λειτουργίας λόγω της χρήσης πετρελαϊκών μονάδων και της διακύμανσης της ζήτησής του. Σημαντική επίπτωση στην αύξηση του κόστους επιφέρει και η σημαντική παραγωγή από αεριοστροβλικές μονάδες κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου. Περισσότερες λεπτομέρειες για το ΣΗΕ Κρήτης, τη ζήτησή του και τις μονάδες παραγωγής του ακολουθούν στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου.

Για την περίοδο μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας, το 2001, παρατηρήθηκε μία επιπλέον ιδιαιτερότητα στην οικονομική λειτουργία του ΣΗΕ Κρήτης. Αυτή αφορούσε την «αναγκαστική» λειτουργία της πιο ακριβής μονάδας, του αεριοστροβίλου 1 Χανίων προκειμένου να αντιμετωπίσει την αιχμή της ζήτησης του Μ/Σ-2 του Υ/Σ (ΥΤ/ΜΤ) των Χανίων και να τον προστατεύσει από την υπερφόρτιση. Τούτο είχε σαν συνέπεια να υποκαθίσταται παραγωγή από λιγότερο ακριβές μονάδες από την πιο ακριβή μονάδα του ΣΗΕ Κρήτης προκειμένου να προστατευθεί ο συγκεκριμένος εξοπλισμός.

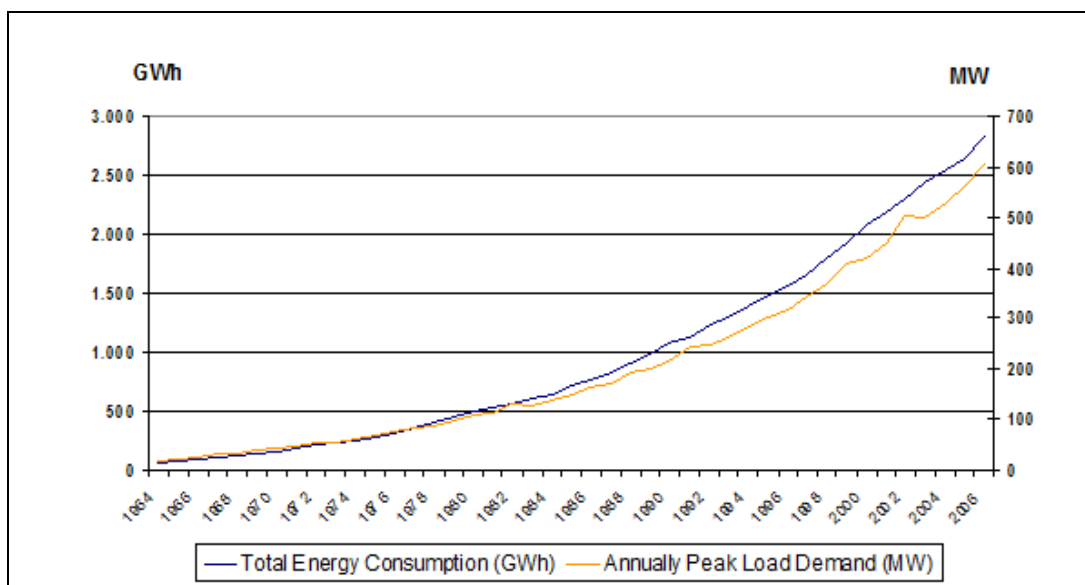
Για τις ώρες κατά τις οποίες λειτουργούσε η συγκεκριμένη μονάδα κατά το δεύτερο εξάμηνο του 2001, αναλύθηκαν οι συνθήκες ζήτησης του Υ/Σ Χανίων. Στη συνέχεια διερευνάται σε ποιο βαθμό τα αδειοδοτημένα Φ/Β αυτή τη στιγμή θα μπορούσαν να συνεισφέρουν στον περιορισμό της ζήτησης του συγκεκριμένου Μ/Σ και επομένως να περιορίσουν την ανάγκη χρήσης της μονάδας ΑΕΡ1ΧΑΝ. Τα γενικά χαρακτηριστικά περιγράφονται σε αυτό το κεφάλαιο, η μεθοδολογική προσέγγιση στο κεφάλαιο 4, ενώ αποτελέσματα για διάφορα σενάρια λειτουργίας των Φ/Β παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5. Τέλος, στο κεφάλαιο 6 διερευνάται κατά πόσο θα μπορούσαν αθροιστικά να συνεισφέρουν οι αποθηκευτικές διατάξεις στην αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος.

3.2 Γενικά για το ΣΗΕ Κρήτης

3.2.1 Διαχρονική εξέλιξη της ζήτησης

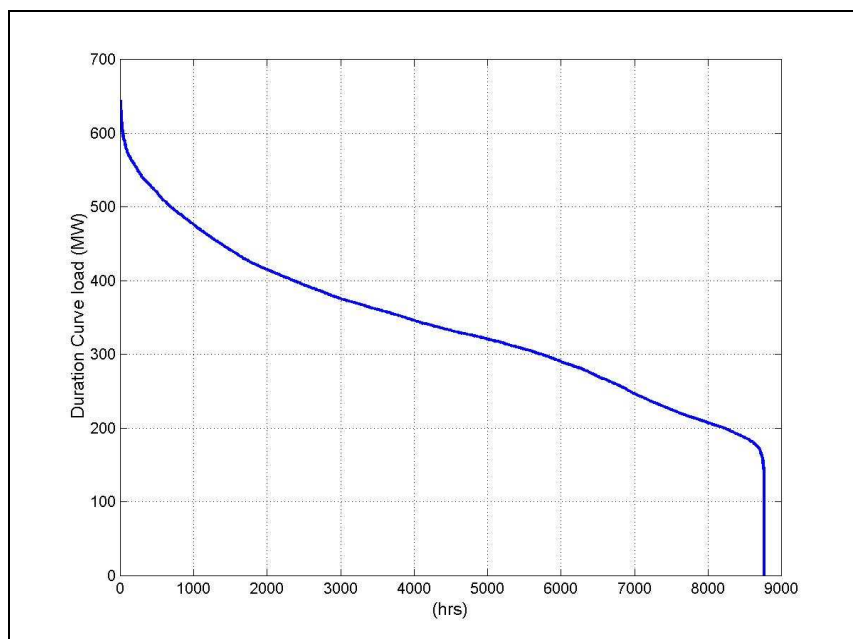
Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας Κρήτης δεν είναι διασυνδεδεμένο με την υπόλοιπη ηπειρωτική χώρα και διαχειριστής του είναι η ΔΕΗ. Η παραγωγή του ΣΗΕ Κρήτης έχει αυξηθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Το 1975 ήταν μόλις 280GWh ενώ

τώρα έχει περάσει ήδη τις 3TWh. Η χαρακτηριστική εξέλιξη του φορτίου παρουσιάζεται στην εικόνα 3.1.

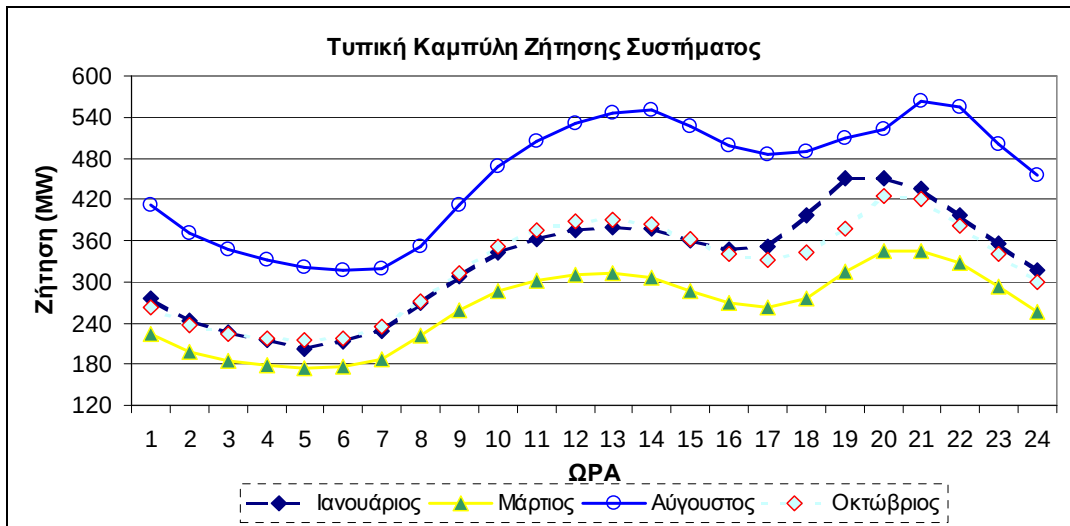


Εικόνα 3.1 - Διαχρονική εξέλιξη ενέργειας και φορτίου

Η αιχμή του φορτίου εμφανίζεται όπως είναι αναμενόμενο τις τελευταίες μέρες του Αυγούστου. Παρακάτω παρουσιάζονται η καμπύλη διάρκειας φορτίου για το ΣΗΕ Κρήτης με δεδομένα που ανταποκρίνονται στο σήμερα (εικόνα 3.2) και οι τυπικές καμπύλες ζήτησης για χαρακτηριστικές εποχές του έτους (εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.2 – Τυπική καμπύλη διάρκειας φορτίου ΣΗΕ Κρήτης σήμερα



Εικόνα 3.3 - Τυπικές καμπύλες ζήτησης για το ΣΗΕ Κρήτης

Το 2001, που είναι η περίοδος στην οποία αναφέρεται η εργασία, η ζήτηση του ΣΗΕ Κρήτης ήταν αρκετά μικρότερη. Για την περίοδο του δεύτερου εξαμήνου του 2001 που βρέθηκαν ικανοποιητικά δεδομένα παρουσιάζεται η καμπύλη διάρκειας φορτίου του ΣΗΕ Κρήτης στην εικόνα 3.4.



Εικόνα 3.4 - Καμπύλη διάρκειας φορτίου ΣΗΕ Κρήτης – 2ο εξάμηνο 2001

3.2.2 Στοιχεία για τις θερμικές μονάδες

Το ΣΗΕ Κρήτης σήμερα διαθέτει 3 θερμικούς σταθμούς παραγωγής οι οποίοι καταναλώνουν παράγωγα του πετρελαίου. Έναν στα Λινοπεράματα, ένα στα Χανιά και τον πιο πρόσφατο στον Αθρινόλακο του νομού Λασιθίου. Χαρακτηριστική είναι η ποικιλομορφία των μονάδων παραγωγής καθώς το ΣΗΕ Κρήτης περιλαμβάνει ατμοστροβλικές μονάδες, μονάδες Μ.Ε.Κ, μια μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου και αεριοστροβλικές μονάδες. Η ποικιλία των μονάδων, η στοχαστική συμπεριφορά των ΑΠΕ, η σημαντική αύξηση της ζήτησης σε συνδυασμό με το γεγονός ότι αποτελεί ένα σημαντικά μεγάλο αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα καθιστούν την Κρήτη ιδανικό

σύστημα μελέτης. Παρ' όλα αυτά, οι μονάδες που θα μας απασχολήσουν σε αυτή την εργασία είναι αυτές που ήταν σε λειτουργία την εξεταζόμενη περίοδο του 2001, όπως φαίνεται στην εργασία [18]. Τότε ο σταθμός του Αθερινόλακου δεν υπήρχε και το δυναμικό του κάθε σταθμού από τους υπόλοιπους δύο ήταν μικρότερο. Παρακάτω στον πίνακα 3.1 φαίνονται αναλυτικά οι μονάδες που λειτουργούσαν την περίοδο του 2001 με τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 3.1 - Εγκατεστημένη ισχύ συμβατικών μονάδων παραγωγής στο ΣΗΕ Κρήτης το 2001

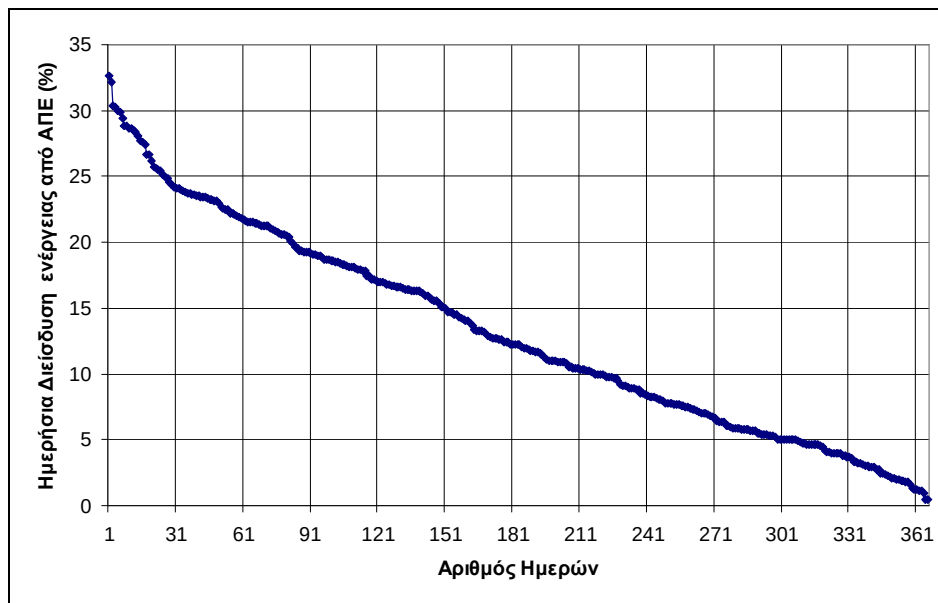
	Ονομαστική ισχύς (MW)	Καθαρή ισχύς (MW)	Ισχύς θέρους (MW)	Τεχνικό ελάχιστο(MW)
ΑΗΣ ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ				
ΑΤΜ 1 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	6	6	6	4
ΑΤΜ 2 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	14	14	13	8
ΑΤΜ 3 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	14	14	13	8
ΑΤΜ 4 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	24	24	23	18
ΑΤΜ 5 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	24	24	23	18
ΑΤΜ 6 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	24	24	23	18
DIESEL 1 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	11	11	11	3
DIESEL 2 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	11	11	11	3
DIESEL 3 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	11	11	11	6
DIESEL 4 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	11	11	11	3
ΑΕΡ 1 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	15	15	13	3
ΑΕΡ 2 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	15	15	13	3
ΑΕΡ 3 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	43	43	41	5
ΑΗΣ ΧΑΝΙΩΝ				
ΑΕΡ 1 ΧΑΝΙΩΝ	16	14	11	3
ΑΕΡ 4 ΧΑΝΙΩΝ	24	20	19	3
ΑΕΡ 5 ΧΑΝΙΩΝ	30	28	27	5
ΑΕΡ 11 ΧΑΝΙΩΝ	59	58	54	10
ΑΕΡ 12 ΧΑΝΙΩΝ	59	58	54	10
ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΣ ΚΥΚΛΟΣ	132	126	112	35
	543	527	489	166

3.2.3 Στοιχεία για τις μονάδες ΑΠΕ

Οι μονάδες ΑΠΕ που είναι εγκατεστημένες στο ΣΗΕ Κρήτης σήμερα παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2. Στην εικόνα 3.5 φαίνεται μια αντιπροσωπευτική καμπύλη διάρκειας της ημερήσιας διείσδυσης των ΑΠΕ στο ΣΗΕ Κρήτης με δεδομένα του σήμερα.

Πίνακας 3.2 - Σύνοψη μονάδων ΑΠΕ στο ΣΗΕ Κρήτης

Αιολικά (MW)	Μικρά Υδροηλεκτρικά (MW)	Βιοαέριο-Βιομάζα (MW)	Φ/Β (MW)	Σύνολο (MW)
169,14	0.6	0.4	45,38	215,52



Εικόνα 3.5 – Καμπύλη διάρκειας ημερήσιας διείσδυσης ΑΠΕ στο ΣΗΕ Κρήτης σήμερα

Παρ' όλα αυτά το 2001 οι μονάδες ΑΠΕ στην Κρήτη δεν ήταν τόσο ανεπτυγμένες όσο σήμερα. Παρακάτω στον πίνακα 3.3 παρουσιάζεται η κατάσταση που επικρατούσε τότε όσον αφορά τις μονάδες ΑΠΕ. Φαίνεται πως τα φωτοβολταϊκά τότε δεν ήταν ευρέως αναπτυγμένα αφού συνολικά ανερχόταν μόλις σε 250kW.

Πίνακας 3.3 – Σύνοψη μονάδων ΑΠΕ στο ΣΗΕ Κρήτης για το 2001

Αιολικά (MW)	Μικρά Υδροηλεκτρικά (MW)	Φ/Β (MW)	Σύνολο (MW)
67,4	0,6	0,25	68,25

Σημαντικό ρόλο στις μονάδες ΑΠΕ έπαιζε το 2001, όπως και σήμερα, η αιολική παραγωγή. Τα αιολικά πάρκα που ήταν σε λειτουργία το 2001 παρουσιάζονται στον πίνακα 3.4.

Πίνακας 3.4 - Αιολικά πάρκα σε λειτουργία το 2001

Ονομασία	Ισχύς (MW)
ΔΕΗ - Τοπλού	6.6
ΟΑΣ	0,5
ΡΟΚΑΣ	10,2
ΙWECO	4,95
ΑΙΟΛΟΣ	9,9
ΑΧΛΑΔΙΑ	10
ΑΝΕΜΟΕΣΣΑ	5
ΚΡΙΑ	10
ΔΕΗ - Ξηρολίμνη	10.2

3.3 Παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας περιοχής Χανίων

3.3.1 Στοιχεία υποσταθμού (Υ/Σ) Υψηλής τάσης / Μέσης τάσης (Υ.Τ/Μ.Τ) για το 2001

Ο υποσταθμός της ΔΕΗ στα Χανιά την περίοδο που εξετάζεται εξυπηρετούσε όλο το νομό Χανίων εκτός των δήμων Κισσάμου, Μηθύμνης, Ινναχωρίου, Κολυμβαρίου, Κανδάνου και Πελεκάνου, οι οποίοι τροφοδοτούνταν από τον υποσταθμό Καστελίου. Μετά από μελέτη της ετήσιας έκθεσης της ΔΕΗ για την Κρήτη το 2001 [16] παρουσιάζονται οι εξής πληροφορίες για τη λειτουργία του υποσταθμού:

- Η μέγιστη και η ελάχιστη μηνιαία παραγωγή όπως και ο αντίστοιχος συντελεστής φορτίου του Υ/Σ των Χανίων φαίνονται στον πίνακα 3.5.
- Αντίστοιχα μεγέθη σε ετήσια κλίμακα φαίνονται στον πίνακα 3.6.
- Τα μέγιστα και τα ελάχιστα λειτουργίας του υποσταθμού παρουσιάζονται γραφικά στην εικόνα 3.6.

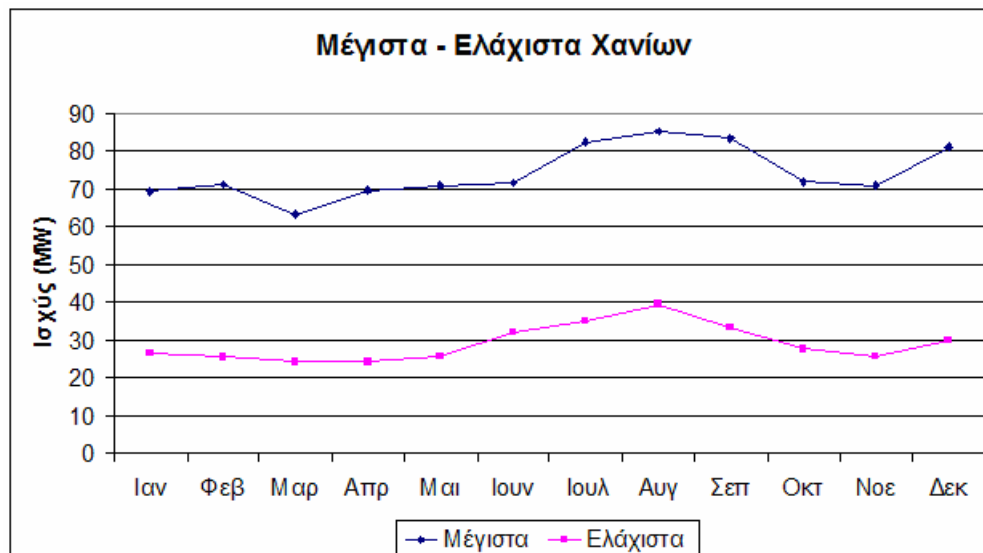
Σήμερα ο Υ/Σ της ΔΕΗ στα Χανιά είναι πιο ανακουφισμένος σε σχέση με το 2001 λόγω έργων κατασκευής νέων υποσταθμών (Βρύσες και Αγκιά).

Πίνακας 3.5 - Μηνιαία μέγιστα - ελάχιστα - συντελεστής φορτίου Υ/Σ Χανίων για το 2001

Μήνες	Μέγιστα (MW)	Ελάχιστα (MW)	Ενέργεια (MWh)	Συντελεστής φορτίου
Ιανουάριος	69,2	26,5	34.546,6	0,671
Φεβρουάριος	71,2	25,3	31.674,6	0,662
Μάρτιος	63,2	24,2	30.747,1	0,654
Απρίλιος	69,8	24,3	30.725,8	0,611
Μάιος	70,8	25,7	33.586,0	0,638
Ιούνιος	71,4	32	37.736,6	0,734
Ιούλιος	82,4	35	45.965,6	0,750
Αύγουστος	85,1	39,5	46.530,3	0,735
Σεπτέμβριος	83,3	33,5	40.078,5	0,668
Οκτώβριος	71,8	27,6	36.879,5	0,690
Νοέμβριος	70,8	25,8	33.173,7	0,651
Δεκέμβριος	81,2	30	40.608,1	0,672

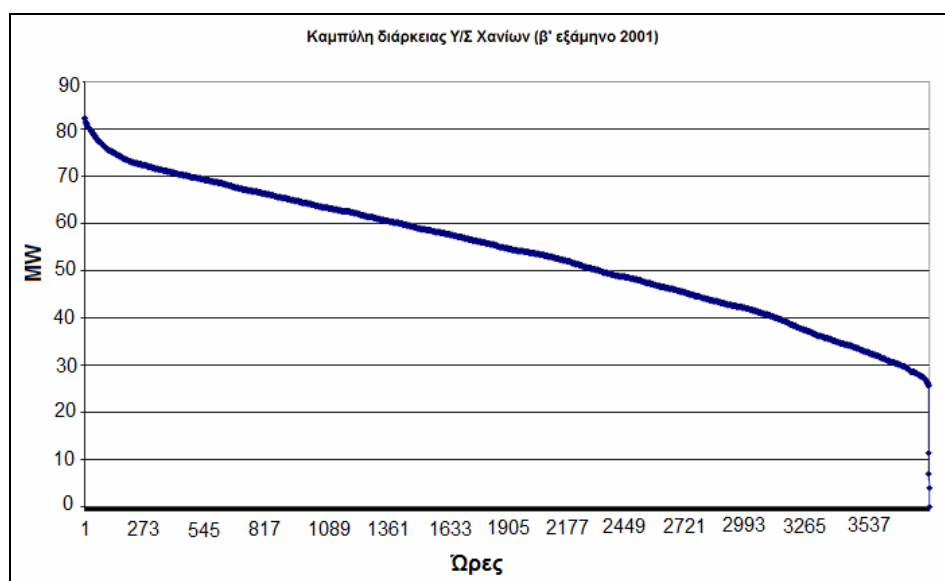
Πίνακας 3.6 - Ετήσια μέγιστα, ελάχιστα, συντελεστής φορτίου Υ/Σ Χανίων για το 2001

Μέγιστο έτους (MW)	Σύνολο Ενέργειας (MWh)	Συντ. Φορτίου Έτους
85,1	442.252,4	0,593



Εικόνα 3.6 - Μέγιστα Ελάχιστα Υ/Σ Χανίων για το 2001

Παρακάτω φαίνεται η καμπύλη διάρκειας φορτίου για τον υποσταθμό Χανίων με το φορτίο που αναφέρει για κάθε ώρα το Σύστημα Διαχείρισης και Εποπτικού Ελέγχου (SCADA) Κρήτης το δεύτερο εξάμηνο του 2001.



Εικόνα 3.7 - Καμπύλη διάρκειας φορτίου Υ/Σ Χανίων (β' εξάμηνο 2001)

Στον παρακάτω πίνακα γίνεται μια σύγκριση του φορτίου του Υ/Σ των Χανίων σε σχέση με το συνολικό φορτίο της Κρήτης για κάθε μήνα του 2001.

Πίνακας 3.7 – Σύγκριση φορτίων Χανίων και Κρήτης

Μήνες	Φορτίο Κρήτης (MWh)	Φορτίο Χανίων (MWh)	Ποσοστό φορτίου Χανίων επί Κρήτης
Ιανουάριος	163.437,0	34.546,6	21,14 %
Φεβρουάριος	147.443,8	31.674,6	21,48 %
Μάρτιος	146.883,1	30.747,1	20,93 %
Απρίλιος	149.153,4	30.725,8	20,60 %

Μάιος	169.915,3	33.586,0	19,77 %
Ιούνιος	195.394,2	37.736,6	19,31 %
Ιούλιος	236.205,1	45.965,6	19,46 %
Αύγουστος	244.809,1	46.530,3	19,01 %
Σεπτέμβριος	214.092,2	40.078,5	18,72 %
Οκτώβριος	188.827,5	36.879,5	19,53 %
Νοέμβριος	151.129,1	33.173,7	21,95 %
Δεκέμβριος	184.287,9	40.608,1	22,04 %

Συνολικά το φορτίο των Χανίων ανέρχεται στο 20,33% του συνολικού φορτίου της Κρήτης. Ο πληθυσμός που αντιστοιχεί στις περιοχές που εξυπηρετεί ο υποσταθμός των Χανίων σύμφωνα με την απογραφή του 2001 ανέρχεται στο 21,19% του συνολικού πληθυσμού της Κρήτης. Συνεπώς, η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος στην περιοχή των Χανίων είναι σε αντιστοιχία με την υπόλοιπη Κρήτη.

3.3.2 Μονάδες ατμοηλεκτρικού σταθμού (ΑΗΣ) Χανίων

Ο Υ/Σ των Χανίων που μελετάται σε αυτή την εργασία βρίσκεται στον ίδιο χώρο με τον ΑΗΣ Χανίων. Ο ατμοηλεκτρικός σταθμός στα Χανιά απαρτίζεται κατά κόρον από αεριοστροβιλικές μονάδες και μία ατμομονάδα, η οποία μαζί με άλλους δύο αεριοστρόβιλους δημιουργούν ένα σύστημα συνδυασμένου κύκλου. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά οι μονάδες που βρίσκονται στον σταθμό των Χανίων.

Οι αεριοστρόβιλοι είναι περιστροφικές μηχανές. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι ελαφρύ πετρέλαιο με απόσταξη αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο βαρύτερο πετρέλαιο όσο και φυσικό αέριο. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες αεριοστρόβιλου (ανοιχτού, κλειστού, μικτού κυκλώματος) αλλά σήμερα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά οι αεριοστρόβιλοι ανοιχτού κυκλώματος.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των αεριοστρόβιλων είναι:

- Είναι απλές μηχανές και χρειάζονται λιγότερο ειδικευμένο προσωπικό και απλούστερη συντήρηση.
- Δεν χρειάζονται νερό τροφοδοσίας.
- Ξεκινούν εύκολα και φτάνουν γρήγορα στην πλήρη φόρτιση με αποτέλεσμα να μπορούν να εξυπηρετήσουν αιχμές φορτίου.

Τα βασικά μειονεκτήματά τους είναι:

- Τα καύσιμά τους είναι ακριβά.
- Έχουν το μικρότερο βαθμό απόδοσης από κάθε συμβατικό εργοστάσιο.

Επομένως ο συγκεκριμένος σταθμός παραγωγής έχει σημαντικά υψηλό κόστος παραγωγής σε σύγκριση με αντίστοιχους σταθμούς του Ηπειρωτικού Συστήματος.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των μονάδων του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στα Χανιά φαίνονται στον πίνακα 3.1. Με πιο αναλυτικά στοιχεία οι μονάδες αυτές περιγράφονται από τις παρακάτω πληροφορίες.

α. Αεριοστρόβιλος 4 Χανίων.

Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά αυτού του αεριοστρόβιλου είναι :

Πίνακας 3.8 - Τεχνικά χαρακτηριστικά του Αερ4Χαν

Συμβολισμός	Un (kV)	Sn(MVA)	Max MW	Min MW	Max MVAR	Min MVAR
ΑΕΡ4ΧΑΝ	11	26.75	18.8	3	15	-15

Η συνάρτηση κόστους για αυτή τη μονάδα δίνεται από τον τύπο:

$$f_{\text{ΑΕΡ4ΧΑΝ}}(x) = 0.008 \cdot x^2 + 219 \cdot x + 2865$$

Όπου:

x : το ύψος παραγωγής σε MW

$f_{\text{ΑΕΡ4ΧΑΝ}}(x)$: κατανάλωση καυσίμου Kg/h

Τα λοιπά τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας παρατίθενται παρακάτω:

Πίνακας 3.9 - Λοιπά χαρακτηριστικά Αερ4Χαν

Χρόνος Συγχρονισμού (min)	5.5
Κατανάλωση Diesel κατά την εκκίνηση (lt)	1355
Χρόνος σβέσης (min)	5
Κατανάλωση καυσίμου κατά τη σβέση (lt)	34
Ρυθμός μεταβολής φορτίου	2 MW/min

β. Αεριοστρόβιλος 5 Χανίων.

Πίνακας 3.10 - Τεχνικά χαρακτηριστικά Αερ5Χαν

Συμβολισμός	Un (kV)	Sn(MVA)	Max MW	Min MW	Max MVAR	Min MVAR
ΑΕΡ5ΧΑΝ	11	39.8	28.1	5	20	-14.1

Η συνάρτηση κόστους για αυτή τη μονάδα δίνεται από τον τύπο:

$$f_{\text{ΑΕΡ5ΧΑΝ}}(x) = 0.008 \cdot x^2 + 275 \cdot x + 3757$$

Πίνακας 3.11 - Λοιπά χαρακτηριστικά Αερ5Χαν

Χρόνος Συγχρονισμού (min)	11
Κατανάλωση Diesel κατά την εκκίνηση (lt)	353
Χρόνος σβέσης (min)	11
Κατανάλωση καυσίμου κατά τη σβέση (lt)	45
Ρυθμός μεταβολής φορτίου	2 MW/min

γ. Αεριοστρόβιλοι 11 και 12 Χανίων.

Είναι όμοιοι αεριοστρόβιλοι και είναι οι μεγαλύτεροι σε ισχύ του συστήματος της Κρήτης, με ισχύ 58 MW ο καθένας. Τα συνοπτικά τεχνικά χαρακτηριστικά τους είναι:

Πίνακας 3.12 - Τεχνικά χαρακτηριστικά Αερ11Χαν & Αερ12Χαν

Συμβολισμός	Un (kV)	Sn(MVA)	Max MW	Min MW	Max MVAR	Min MVAR
ΑΕΡ11ΧΑΝ	11.5	79	58	2.41	35	-5

Η συνάρτηση κόστους για αυτή τη μονάδα δίνεται από τον τύπο:

$$f_{\text{AEP11\&12XAN}}(x) = 0.01 \cdot x^2 + 227 \cdot x + 5000$$

Πίνακας 3.13 - Λοιπά χαρακτηριστικά Αερ11Χαν & Αερ12Χαν

Χρόνος Συγχρονισμού (min)	11
Κατανάλωση Diesel κατά την εκκίνηση (lt)	0.7
Χρόνος σβέσης (min)	11
Κατανάλωση καυσίμου κατά τη σβέση (lt)	0.1
Ρυθμός μεταβολής φορτίου	<7MW/min

δ. Συνδυασμένος Κύκλος Χανίων ΑΕΡ6ΧΑΝ, ΑΕΡ7ΧΑΝ, ΑΤΜ1ΧΑΝ.

Η μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου Χανίων είναι η μεγαλύτερη μονάδα του συστήματος Κρήτης ισχύος 125MW. Είναι μονάδα βάσης και η ατμομονάδα λειτουργεί συνολικά το 98.5% του έτους. Αποτελείται από δύο αεριοστρόβιλους, τον ΑΕΡ6ΧΑΝ και τον ΑΕΡ7ΧΑΝ ισχύος 42MW έκαστος. Αυτοί οι δύο καταναλώνουν ελαφρύ πετρέλαιο diesel και τα καυσαέρια της καύσης οδηγούνται στον ατμοστρόβιλο ΑΤΜ1ΧΑΝ ισχύος 41MW. Έτσι αντί τα καυσαέρια της καύσης να οδηγούνται άμεσα στην ατμόσφαιρα αποδίδουν έργο μέσω της κίνησης ατμοστρόβιλου με αποτέλεσμα να αυξάνεται η συνολική απόδοση της μονάδας κατά 50% καθώς χρησιμοποιώντας την ίδια ποσότητα καυσίμου παράγονται μέχρι 125MW αντί 84MW αν δεν υπήρχε η ατμομονάδα. Για να μοντελοποιηθεί ο συνδυασμένος κύκλος Χανίων ακολουθήθηκε η διαδικασία της εργασίας [17]. Για κάθε εξεταζόμενη ώρα η παραγωγή του ΑΤΜ1ΧΑΝ μοιράζεται κατά το ήμισυ στους αεριοστρόβιλους ΑΕΡ6ΧΑΝ και ΑΕΡ7ΧΑΝ. Τις ώρες που κάποιος από τους δύο δεν λειτουργεί, ο έτερος καρπώνεται όλη την παραγωγή της ατμομονάδας. Σύμφωνα με την παραπάνω εργασία εξήχθηκαν οι εξισώσεις κατανάλωσης καυσίμου για τις δύο μονάδες που αντιπροσωπεύουν το συνδυασμένο κύκλο και παρουσιάζονται παρακάτω. Για την εξαγωγή των εξισώσεων έγιναν δύο παραδοχές. Αρχικά, θεωρήθηκε ότι η μονάδα Σ.Κ. δεν μπορεί να λειτουργήσει ενιαία με μία συνάρτηση κατανάλωσης καυσίμου. Ο λόγος είναι ότι η μονάδα αυτή λειτουργεί ακόμα και αν μόνο ένας από τους αεριοστρόβιλους είναι σε λειτουργία. Δεύτερη παραδοχή είναι πως ο ατμοστρόβιλος δεν μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητη μονάδα. Το κόστος λειτουργίας του εξαρτάται άμεσα από τους δύο αεριοστρόβιλους που συνεργάζονται.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κάθε μονάδας του συνδυασμένου κύκλου παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.14 - Συγκεντρωτικός πίνακας στοιχείων μονάδων Συνδυασμένου Κύκλου

$$f_{16} = 0.001 \cdot x^3 + 0.01 \cdot x^2 + 145.54 \cdot x + 5120$$

$$f_{17} = 0.001 \cdot x^3 + 0.01 \cdot x^2 + 145.64 \cdot x + 5120$$

Συμβολισμός	Un (kV)	Sn(MVA)	Max MW	Min MW	Max MVAR	Min MVAR
ΑΕΡ6ΧΑΝ	11.5	65.25	42	8	26	-7.5
ΑΕΡ7ΧΑΝ	11.5	65.25	42	8	26	-7.5
ΑΤΜ1ΧΑΝ	11.5	65.25	41	19	26	-7.5

3.3.3 Αεριοστρόβιλος 1 Χανίων

Θεωρείται ο ακριβότερος αεριοστρόβιλος του συστήματος παραγωγής της Κρήτης με μέση ειδική κατανάλωση 570-580gr/kWh. Λειτουργεί όχι μόνο για να ικανοποιηθεί η συνολική ζήτηση του συστήματος σε περιόδους αιχμής, αλλά κυρίως για την προστασία του Μ/Σ-2 του Υ/Σ Χανίων από υπερφόρτιση καθώς συνδέεται στο ζυγό μέσης τάσης εκείνου του Μ/Σ. Εγγέοντας ισχύ στο ζυγό Μ.Τ περιορίζεται η ισχύς που απαιτείται να δοθεί από το υπόλοιπο δίκτυο στα φορτία του ζυγού. Έτσι τα φορτία του ζυγού, που υπάρχουν περιπτώσεις να υπερβαίνουν την ικανότητα του Μ/Σ (50MVA), τροφοδοτούνται με ασφάλεια περιορίζοντας τον κίνδυνο υπερφόρτισης του Μ/Σ.

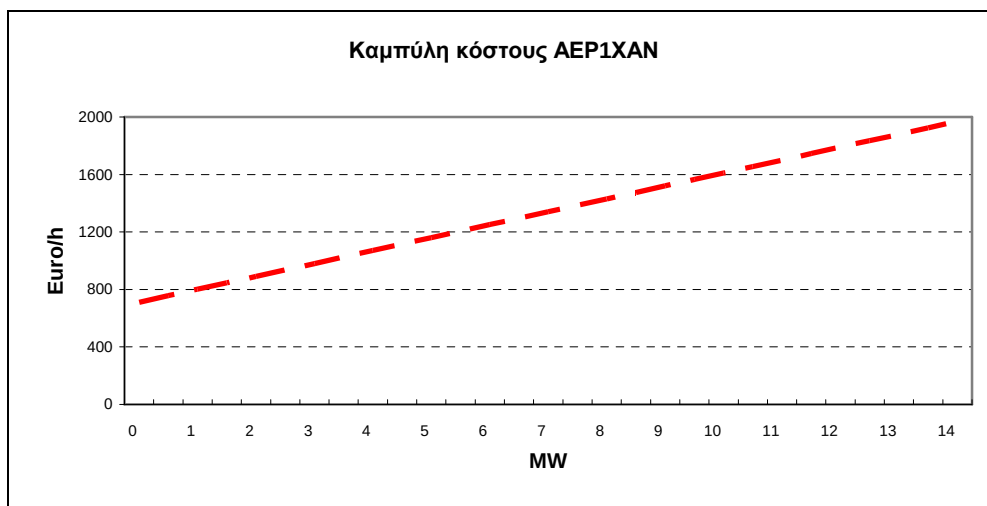
Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του αεριοστρόβιλου αυτού είναι:

Πίνακας 3.15 - Τεχνικά χαρακτηριστικά Αερ1Χαν

Συμβολισμός	Un (kV)	Sn(MVA)	Max MW	Min MW	Max MVAR	Min MVAR
ΑΕΡ1ΧΑΝ	6.3	21.3	14	3	8	2.5

Η συνάρτηση κόστους για αυτή τη μονάδα δίνεται από τον τύπο:

$$f_{\text{ΑΕΡ1ΧΑΝ}}(x) = 0.008 \cdot x^2 + 267 \cdot x + 2113$$



Εικόνα 3.8 - Καμπύλη κόστους Αερ1Χαν

Πίνακας 3.16 - Λοιπά χαρακτηριστικά Αερ1Χαν

Χρόνος Συγχρονισμού (min)	9
Κατανάλωση Diesel κατά την εκκίνηση (lt)	99
Χρόνος σβέσης (min)	9
Κατανάλωση καυσίμου κατά τη σβέση (lt)	35
Ρυθμός μεταβολής φορτίου	2 MW/min

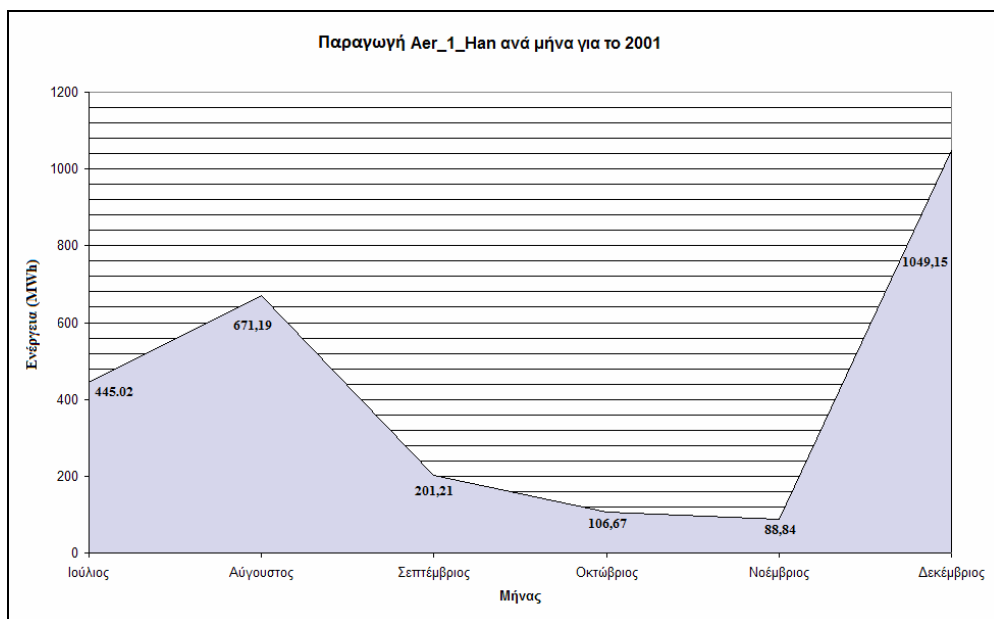
3.4 Περιγραφή του προβλήματος

Όπως έχει προαναφερθεί, το φορτίο που ζητείται να εξυπηρετήσει το ΣΗΕ Κρήτης όπως και οι αιχμές που παρουσιάζει το φορτίο αυξάνονται εκθετικά με τα

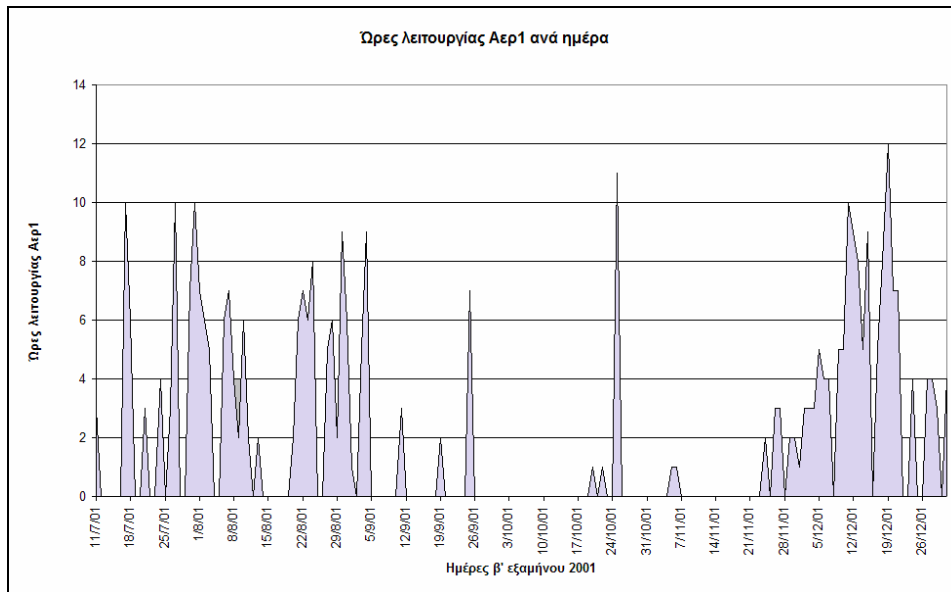
χρόνια. Ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζει το αυτόνομο σύστημα της Κρήτης είναι το υψηλό κόστος λειτουργίας. Αυτό οφείλεται κυρίως στη μεγάλη διακύμανση της ζήτησης και στην εκτεταμένη χρήση πετρελαϊκών μονάδων. Ιδιαίτερα αυξημένη ζήτηση παρατηρείται τους θερινούς μήνες, οπότε αυξάνεται και το κόστος. Στον Υ/Σ των Χανίων η μονάδα που αναλαμβάνει φορτία αιχμής στο Μ/Σ-2, που βρίσκεται ανακουφίζοντας τη λειτουργία του, είναι ο αεριοστρόβιλος 1 Χανίων. Η λειτουργία του είναι επιτακτική για την αποφυγή υπερφόρτισης του Υ/Σ.

Το 2001 παρατηρήθηκε αρκετά μεγάλη δραστηριότητα του Αερ1Χαν, ο οποίος αναγκάστηκε να λειτουργήσει πολλές ώρες σε περιόδους αιχμής για να εξυπηρετήσει φορτία αιχμής αλλά και να προστατεύει τον Υ/Σ από την υπερφόρτιση. Η εκτεταμένη χρήση του Αερ1Χαν, που αποτελεί την πιο ακριβή μονάδα του ΣΗΕ Κρήτης, αυξάνει σημαντικά το συνολικό κόστος για το σύστημα της Κρήτης. Στο σενάριο μελέτης του δεύτερου εξαμήνου του 2001, οπότε και βρέθηκαν ικανοποιητικά στοιχεία, ο Αερ1Χαν παρήγαγε συνολικά 2562,074 MWh. Επίσης, ζητήθηκε η συνεισφορά του 346 ώρες συνολικά. Οπότε υπάρχει ανάγκη μείωσης της παραγωγής ή ακόμα και σβέσης αυτής της μονάδας για κάποια διαστήματα που επιτρέπεται. Η εξοικονόμηση πάνω στην αιχμή είναι η πιο σημαντική που μπορεί να επιτευχθεί μιας και τότε η παραγωγή μιας παραπάνω kWh είναι η πιο ακριβή από όλες για το σύστημα.

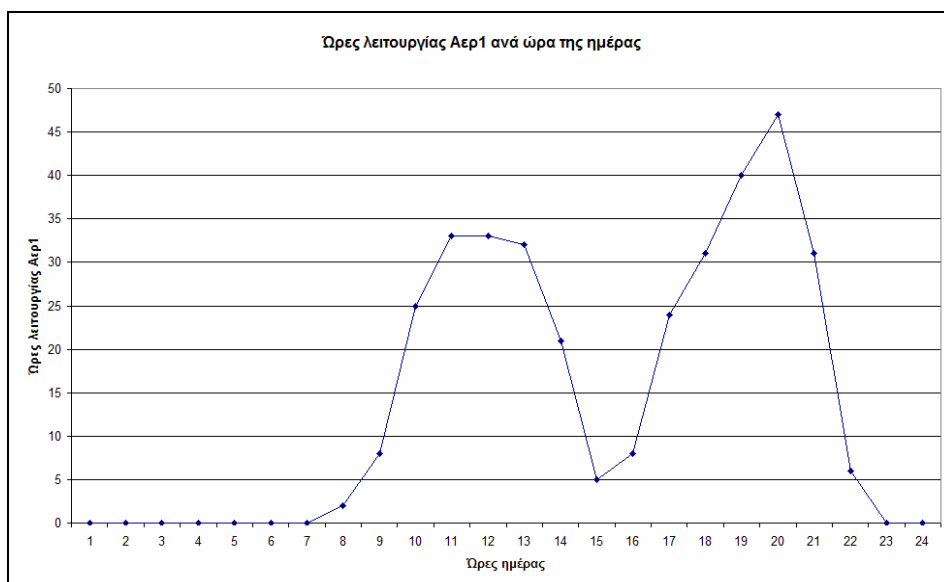
Μετά από επεξεργασία των στοιχείων που βρέθηκαν για το δεύτερο εξάμηνο του 2001 παρουσιάζεται αναλυτικά η συμπεριφορά του Αερ1Χαν. Στις εικόνες 3.9 και 3.10 φαίνονται η μηνιαία και ημερήσια παραγωγή του Αερ1Χαν αντίστοιχα ενώ στην εικόνα 3.11 φαίνονται οι ώρες λειτουργίας που είχε ο Αερ1Χαν για κάθε τύπο ώρας της ημέρας. Στα δύο πρώτα γραφήματα παρατηρείται πως εκτός της ζήτησης του Αερ1Χαν το καλοκαίρι υπάρχει και έντονη δραστηριότητα το μήνα Δεκέμβριο. Επίσης, φαίνεται στο τρίτο γράφημα ότι η ζήτησή του είναι μεγάλη κατά τη διάρκεια του μεσημεριού από τις 11:00 μέχρι τις 13:00 και το απόγευμα από τις 18:00 μέχρι τις 21:00. Περισσότερες φορές άναψε στις 20:00, πράγμα που δηλώνει την ύπαρξη μεγάλης αιχμής φορτίου τη συγκεκριμένη ώρα.



Εικόνα 3.9 - Μηνιαία παραγωγή Αερ1Χαν (β' εξάμηνο 2001)

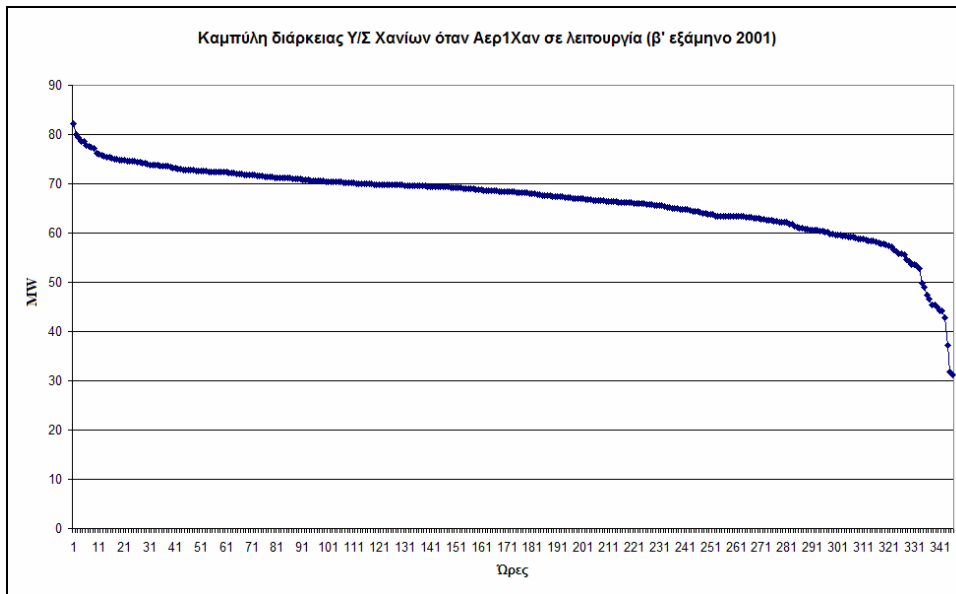


Εικόνα 3.10 - Ημερήσια παραγωγή Αερ1Χαν (β' εξάμηνο 2001)



Εικόνα 3.11 – Ώρες λειτουργίας Αερ1Χαν ανά ώρα της ημέρας (β' εξάμηνο 2001)

Παρακάτω στην εικόνα 3.12 παρουσιάζεται η καμπύλη διάρκειας φορτίου για τον Υ/Σ των Χανίων το δεύτερο εξάμηνο του 2001 μόνο για τις ώρες που ο Αερ1Χαν ήταν ενταγμένος. Φαίνεται και γραφικά η σχέση που έχει η εκκίνηση του Αερ1Χαν με το υψηλό φορτίο που ζητείται από τον Υ/Σ Χανίων εκείνες τις ώρες.



Εικόνα 3.12 - Καμπύλη διάρκειας φορτίου Υ/Σ Χανίων όταν Αερ1Χαν σε λειτουργία – 2ο εξάμηνο 2001

Εκτός των άλλων, ο αεριοστρόβιλος 1 εντάχθηκε και σε περιπτώσεις που δεν υπήρχε αιχμή φορτίου. Συνδυάζοντας τις πληροφορίες για τη λειτουργία του υποσταθμού των Χανίων και για τη ζήτηση του Αερ1Χαν παρατηρούνται κάποιες ώρες που το συνολικό φορτίο δεν δικαιολογούσε την έναρξη του Αερ1Χαν, ήταν δηλαδή μικρότερο των 65MW. Παρ' όλα αυτά ο Αερ1Χαν τότε λειτουργεί. Πολλές από αυτές τις ώρες εντοπίζονται στις 25 Οκτωβρίου από τις 10:00 μέχρι τις 20:00, που υπήρχε γενικευμένη διακοπή ρεύματος. Επίσης υπάρχουν διάσπαρτες μέσα στο Δεκέμβριο, πράγμα που πιθανόν να σημαίνει πως κάποια άλλη μονάδα είχε σβήσει για λόγους συντήρησης, οπότε κάλυψε το κενό που δημιουργήθηκε ο Αερ1Χαν. Συνοπτικά, από τις συνολικές 346 ώρες, που δούλεψε ο Αερ1Χαν το δεύτερο εξάμηνο του 2001, οι 34 ήταν αυτού του είδους. Αυτό σημαίνει πως το 9,83% της ζήτησής του είναι για λόγους διακοπών ρεύματος ή συντήρησης άλλων μονάδων. Όμως, ο Αερ1Χαν είναι ιδιαίτερα ακριβός για να λειτουργεί στιγμιαία τις ώρες που χρειάζεται και να δίνει τη ζητούμενη ισχύ.

Συνοπτικά, το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται είναι η εκτεταμένη χρήση του Αερ1Χαν που έγινε το 2001 λόγω ζήτησης φορτίου, προστασίας του Μ/Σ-2, διακοπών ηλεκτρικού ρεύματος ή συντήρησης άλλων μονάδων. Μια μείωση της παραγωγής αυτής της μονάδας θα επιφέρει όφελος στο συνολικό κόστος του συστήματος και θα προσφέρει περισσότερη ασφάλεια στον Υ/Σ των Χανίων.

3.5 Εξεταζόμενη λύση

3.5.1 Περιγραφή

Όπως έχει περιγραφεί, ο Αερ1Χαν χρησιμοποιείται εκτεταμένα για την προστασία του Μ/Σ-2 του Υ/Σ Χανίων από την υπερφόρτιση. Η λύση που εξετάζεται για τη μείωση της ζήτησης του Αερ1Χαν είναι η χρήση των φωτοβολταϊκών για την ανακούφιση του Υ/Σ αντί για τη χρήση του πετρελαίου. Η δυνατότητα που θα μπορούσε να προσφέρει η φωτοβολταϊκή παραγωγή έγκειται στον περιορισμό της

ζήτησης του Υ/Σ και συνεπώς της ανάγκης χρήσης του Αερ1Χαν, με αποτέλεσμα μείωση της κατανάλωσης του πετρελαίου. Για τη μελέτη γίνεται η υπόθεση πως όλα τα φωτοβολταϊκά που είναι αδειοδοτημένα σήμερα στην περιοχή που εξυπηρετεί ο Υ/Σ των Χανίων υπήρχαν την εξεταζόμενη περίοδο του 2001. Με την παραγωγή των φωτοβολταϊκών αυτών θα καλυφθεί η επιπλέον ζήτηση του υποσταθμού Χανίων λόγω αιχμής φορτίου, ή οποιουδήποτε άλλου λόγου, την περίοδο του 2001. Με αυτό τον τρόπο θα μειωθεί η λειτουργία του επίμαχου αεριοστρόβιλου. Περαιτέρω εξοικονόμηση για το σύστημα θα μπορούσε να επιτευχθεί αν, μετά τη μείωση της λειτουργίας του Αερ1Χαν, μπορούσε να μοιραστεί η παραγωγή του σε άλλες μονάδες πιο οικονομικές με στόχο την σβέση του αεριοστρόβιλου όταν είναι δυνατό. Τα σχετικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5.

3.5.2 Δυνατότητες φωτοβολταϊκών

3.5.2.1 Τα φωτοβολταϊκά στα Χανιά

Αρχικά, συγκεντρώθηκαν όλα τα φωτοβολταϊκά που βρίσκονται στην περιοχή που τροφοδοτεί ο υποσταθμός Χανίων σήμερα. Έτσι θα φανεί τι επίπεδα παραγωγής του Αερ1Χαν μπορούν να καλυφθούν με αυτό τον τρόπο. Στον πίνακα 3.17 φαίνεται η συνολική ισχύς των φωτοβολταϊκών, εγκατεστημένων και αδειοδοτημένων που υπάρχουν στα Χανιά. Επίσης φαίνονται και οι δήμοι στους οποίους είναι εγκατεστημένα ή αδειοδοτημένα αντίστοιχα τα φωτοβολταϊκά.

Πίνακας 3.17 – Εγκατεστημένη και αδειοδοτημένη ισχύς ανά δήμο σήμερα

Δήμοι	Ισχύς (kW)
Ακρωτηρίου	2.639,3
Ν. Κυδωνίας	320
Φρέ	240
Βάμου	690
Χανίων	439,6
Σφακίων	1.840
Γεωργιούπολης	260
Κρυονερίδας	420
Αρμένων	280
Ελ. Βενιζέλου	239,6
Πλατανιά	839,9
Σελίνου	260
Μουσούρων	1.974
Βουκολιών	310

Συνολικά λοιπόν η ισχύς που έχει αδειοδοτηθεί στην περιοχή του Υ/Σ Χανίων ανέρχεται στα 10.752,4 kW. Με αυτή την ισχύ θα γίνουν όλοι οι υπολογισμοί στην εργασία και αυτή η ισχύς θα προσπαθήσει να αντικαταστήσει τον Αερ1Χαν στις αιχμές φορτίου. Πρέπει να σημειωθεί ότι για όλα τα φωτοβολταϊκά θεωρήθηκε ότι είχαν την τεχνολογία σταθερού άξονα χωρίς περιστροφή.

Σε ολόκληρο το νομό Χανίων, συμπεριλαμβανομένης και της περιοχής ευθύνης του Υ/Σ Καστελίου, αξίζει να σημειωθεί ότι σήμερα υπάρχουν 200 αδειοδοτημένα πάρκα που λειτουργούν ή που τώρα κατασκευάζονται και αντιστοιχούν σε ισχύ 14,75MW. Η φωτοβολταϊκή ισχύς που είναι ήδη εγκατεστημένη στην περιοχή του νομού Χανίων σήμερα ανέρχεται σε 4,882MW [12].

Σε κάποιες περιπτώσεις η παρακολούθηση της παραγωγής και συμπεριφοράς των φωτοβολταϊκών πάρκων γίνεται μέσω διαδικτύου από διάφορες εταιρίες εγκατάστασης φωτοβολταϊκών. Τέτοια εταιρία αποτελεί και η SMA Solar Energy [14]. Από αυτή την εταιρία και τον ιστοχώρο της www.sunnyportal.com βρέθηκαν τα φωτοβολταϊκά που είναι σε λειτουργία αυτή τη στιγμή στην περιοχή που εξυπηρετεί ο Υ/Σ Χανίων και παρακολουθούνται μέσω διαδικτύου. Είναι συνολικής ισχύος 1468,09kW και η συνολική τους παραγωγή από την κατασκευή τους μέχρι και σήμερα ανέρχεται στις 2342 MWh περίπου. Παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 3.18.

Πίνακας 3.18 – Φωτοβολταϊκά που παρακολουθούνται από SMA

Όνομα	Περιοχή	Ισχύς (kWp)
K&M Energy (Tsagarakis)	Ορθούνι	80
KM Energy (Esperides 6)	Αλικιανός	77,2
KM Energy (Esperides 7)	Χανιά	80
KM Energy (Esperides 1)	Αλικιανός	80
Aenaos Platanos (ATE)	Χανιά	80
KLT Energy	Βάμος	79,56
Maleme Mare	Χανιά	79,9
Papadakispark	Χανιά	51,6
PSGR Kelaidi	Χανιά	79,5
Retech Μαυρογιάννης	Χανιά	79,65
ΣΥ.ΦΑ.Χανίων (Retech)	Χανιά	64,8
K&M Energy (Keramianakis)	Χανιά	80
GV Solar (Solifer)	Χανιά	79,99
Karefillakis	Χανιά	79,99
Retech Μρονανος	Χανιά	19,32
Retech Βασιλόπουλο	Χανιά	9,2
Retech Βίγλα	Χανιά	79,65
Retech Βίγλα-Μουζουράς	Χανιά	79,65
Retech Καρβουνόλακος	Χανιά	79,2
Retech Κοκκιανίτης	Χανιά	19,32
Retech Ποθουλάκη	Χανιά	9,66
Retech Ποθουλάκη 2	Χανιά	9,66
Tzerakis-pythari	Χανιά	10,32
Vroule	Βρύσες	79,92

3.5.2.2 Δυνατότητα διείσδυσης φωτοβολταϊκών σε Κρήτη και Χανιά το 2001

Σε αυτό το σημείο υπολογίζεται η εκτιμώμενη διείσδυση των φωτοβολταϊκών του σήμερα στο φορτίο του 2001. Με τη βοήθεια των στοιχείων που παρουσιάζονται στην ετήσια έκθεση για την Κρήτη από τη ΔΕΗ για το έτος 2001, βρέθηκε το μηνιαίο και το ετήσιο φορτίο της Κρήτης αλλά και συγκεκριμένα των Χανίων. Για τη δεδομένη ισχύ από φωτοβολταϊκά (10.752,4kW) έγινε υπολογισμός της μηνιαίας απόδοσης ηλεκτρικής ενέργειας από τον ιστοχώρο www.selasenergy.gr [13]. Οπότε στον πίνακα 3.19 παρουσιάζεται το εκτιμώμενο ποσοστό διείσδυσης των φωτοβολταϊκών στο συνολικό φορτίο της Κρήτης και των Χανίων. Προσεγγιστικά, η

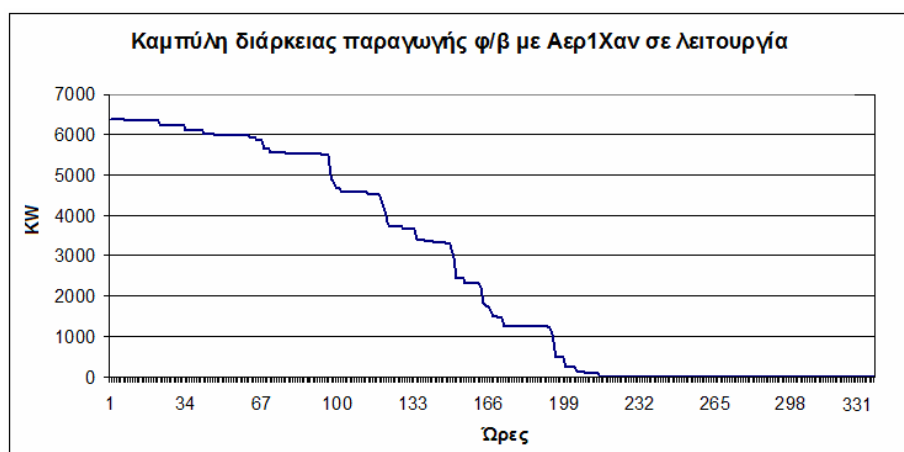
ισχύς των φωτοβολταϊκών του σήμερα μπορεί να καλύψει κατά μέσο όρο 0,67% του φορτίου της Κρήτης και 3,3% του φορτίου των Χανίων για το 2001.

Πίνακας 3.19 – Εκτιμώμενη διείσδυση φωτοβολταϊκών στο φορτίο της Κρήτης και Χανίων αντίστοιχα

	Συνολικό φορτίο (MWh)		Συνολική Παραγωγή Φ/Β Χανίων (kWh)	Φ/Β ανά φορτίο	
	Κρήτης	Χανίων		Κρήτης	Χανίων
Ιανουάριος	163.437,0	34.546,6	760.194,68	0,46 %	2,20 %
Φεβρουάριος	147.443,8	31.674,6	904.276,84	0,61 %	2,86 %
Μάρτιος	146.883,1	30.747,1	1.193.516,40	0,81 %	3,88 %
Απρίλιος	149.153,4	30.725,8	1.440.821,60	0,97 %	4,69 %
Μάιος	169.915,3	33.586,0	1.537.593,20	0,90 %	4,58 %
Ιούνιος	195.394,2	37.736,6	1.559.098,00	0,71 %	4,13 %
Ιούλιος	236.205,1	45.965,6	1.580.602,80	0,67 %	3,44 %
Αύγουστος	244.809,1	46.530,3	1.559.098,00	0,64 %	3,35 %
Σεπτέμβριος	214.092,2	40.078,5	1.408.564,40	0,66 %	3,51 %
Οκτώβριος	188.827,5	36.879,5	1.139.754,40	0,60 %	3,09 %
Νοέμβριος	151.129,1	33.173,7	761.269,92	0,50 %	2,29 %
Δεκέμβριος	184.287,9	40.608,1	663.423,08	0,36 %	1,63 %

3.5.2.3 Συσχέτιση παραγωγής αεριοστρόβιλου 1 Χανίων και φωτοβολταϊκών

Τελικά, θα πρέπει να δειχθεί κατά πόσο η παραγωγή των φωτοβολταϊκών μπορεί να καλύψει την παραγωγή του αεριοστρόβιλου 1. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η εκτιμώμενη καμπύλη διάρκειας της παραγωγής των φωτοβολταϊκών μόνο για τις υπό μελέτη ώρες που ο Αερ1Χαν ήταν σε λειτουργία το 2001. Φαίνεται πως περίπου για τις μισές ώρες λειτουργίας του στο δεύτερο εξάμηνο του 2001 υπάρχει φωτοβολταϊκή παραγωγή που υπερκαλύπτει το τεχνικό του ελάχιστο.



Εικόνα 3.13 - Εκτιμώμενη καμπύλη διάρκειας παραγωγής φ/β όταν Αερ1Χαν σε λειτουργία 2^ο εξάμηνο 2001

Μια γενική εικόνα συσχέτισης των δύο μεγεθών παρουσιάζεται στο πίνακα 3.20, όπου φαίνεται το μηνιαίο ποσοστό κάλυψης της παραγωγής του Αερ1Χαν από την

παραγωγή των φωτοβολταϊκών που υπολογίστηκε από το www.selasenergy.gr. Υπενθυμίζεται πως τα δεδομένα που βρέθηκαν από το SCADA Κρήτης αφορούν μόνο στο δεύτερο εξάμηνο του 2001. Φαίνεται, τουλάχιστον σε επίπεδο μηνιαίου αθροίσματος, πως η παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά του σήμερα θα έφτανε και με το παραπάνω για να καλύψει τον Αερ1Χαν. Η μόνη περίπτωση που υστερεί είναι το Δεκέμβριο. Τότε όμως, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, ο Αερ1Χαν ήταν ιδιαίτερα δραστήριος.

Πίνακας 3.20 – Εκτιμώμενη μηνιαία κάλυψη παραγωγής Αερ1Χαν από φωτοβολταϊκά (β' εξάμηνο 2001)

	Αεριοστρόβιλος	Φωτοβολταϊκά	Ποσοστό
Ιούλιος	445,0180 MWh	1.580.602,8 kWh	355,18 %
Αύγουστος	671,1865 MWh	1.559.098,0 kWh	232,29 %
Σεπτέμβριος	201,2107 MWh	1.408.564,4 kWh	700,04 %
Οκτώβριος	106,6673 MWh	1.139.754,4 kWh	1068,51 %
Νοέμβριος	88,84433 MWh	761.269,92 kWh	856,86 %
Δεκέμβριος	1049,147 MWh	663.423,08 kWh	63,23 %

Για την περίοδο του δεύτερου εξαμήνου του 2001 παρουσιάζεται στον πίνακα 3.21 η συνολική παραγωγή ανά τύπο ώρας του αεριοστρόβιλου 1 και των φωτοβολταϊκών. Έτσι θα δειχθεί το κατά πόσο ταυτοχρονισμένα είναι αυτά τα δύο μεγέθη που εξετάζονται, δηλαδή πόσες ώρες τις ημέρας μπορεί να καλυφθεί η παραγωγή του Αερ1Χαν από τα φωτοβολταϊκά. Φαίνεται πως ο Αερ1Χαν μπορεί να καλυφθεί αρκετά καλά, εκτός των ωρών 18:00 - 20:00, που εκ των πραγμάτων τα φωτοβολταϊκά δεν μπορούν να έχουν σημαντική παραγωγή.

Πίνακας 3.21 – Εκτιμώμενη ωριαία κάλυψη Αερ1Χαν από φωτοβολταϊκά (β' εξάμηνο 2001)

Ωρες	Αερ 1 Χαν (MWh)	Φωτοβολταϊκά (MWh)	Ποσοστιαία Κάλυψη
0:00	0	0	-
1:00	0	0	-
2:00	0	0	-
3:00	0	0	-
4:00	0	0	-
5:00	0	0	-
6:00	0	0,955	-
7:00	0	30,626	-
8:00	14,064	234,018	1.663,95 %
9:00	39,041	483,652	1.238,84 %
10:00	163,360	707,859	433,31 %
11:00	266,725	853,554	320,01 %
12:00	293,183	916,089	312,46 %
13:00	257,546	944,776	366,84 %
14:00	107,139	897,922	838,09 %
15:00	25,839	789,919	3.057,14 %
16:00	37,140	630,537	1.697,74 %
17:00	151,761	392,032	258,32 %
18:00	275,556	147,972	53,70 %
19:00	315,113	19,918	6,32 %

20:00	380,026	1,323	0,35 %
21:00	204,383	0	0 %
22:00	31,198	0	0 %
23:00	0	0	-

Μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της κάλυψης του φορτίου του Αερ1Χαν από τα φωτοβολταϊκά δίνεται αν συνυπολογιστούν μόνο οι 346 ώρες που ήταν σε λειτουργία ο επίμαχος αεριοστρόβιλος για το δεύτερο εξάμηνο του 2001. Η συνολική του παραγωγή ανέρχεται σε 2562,074MWh και η παραγωγή του συνόλου των φωτοβολταϊκών για τις αντίστοιχες ώρες είναι ίση με 865,58MWh. Οπότε η ποσοστιαία κάλυψη που εκτιμάται ότι μπορούν να παρέχουν τα φωτοβολταϊκά του σήμερα στο φορτίο του Αερ1Χαν για το 2001 ανέρχεται σε 33,78%. Η έλλειψη ταυτοχρονισμού στη λειτουργία των δύο ευθύνεται για τυχόν όχι και τόσο ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η χρήση όμως μιας αποθηκευτικής διάταξης θα μπορούσε να βελτιώσει λίγο τα πράγματα, όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 6.

4 Μεθοδολογική προσέγγιση

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται επεξήγηση του αλγόριθμου που ακολουθήθηκε για την επίλυση του προβλήματος. Παρουσιάζονται οι είσοδοι και οι έξοδοι και αναλύεται ο τρόπος που μοντελοποιήθηκε το πρόβλημα και τα δεδομένα. Για την επίλυση του προβλήματος γίνεται πρώτα μια οικονομική κατανομή στις μονάδες του συστήματος σύμφωνα με τις συνθήκες του προβλήματος και στη συνέχεια μια διαφορετική ένταξη των μονάδων [21].

4.2 Μοντελοποίηση παραγωγής φωτοβολταϊκών

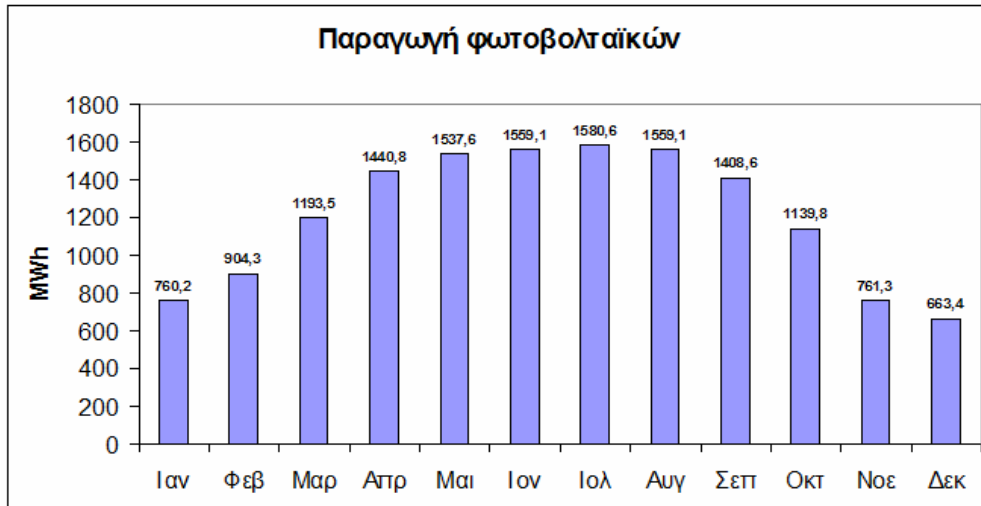
4.2.1 Φωτοβολταϊκά στα Χανιά

Η φωτοβολταϊκή ισχύς στην περιοχή ευθύνης του Υ/Σ Χανίων που είναι εγκατεστημένη σήμερα ανέρχεται σε 1.468kW. Η μελέτη αυτή έγινε με βάση όλα τα φωτοβολταϊκά που έχουν αδειοδοτηθεί σήμερα στην περιοχή του Υ/Σ Χανίων, των οποίων η ισχύς είναι ίση με 10.752,4kW. Ο υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά έγινε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Homer , που υπάρχει στην ιστοσελίδα του εθνικού εργαστηρίου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας των ΗΠΑ [19], και εισάγοντας τα κατάλληλα στοιχεία για τα Χανιά. Τα δεδομένα που χρειάστηκαν σαν είσοδοι στο Homer είναι τα παρακάτω:

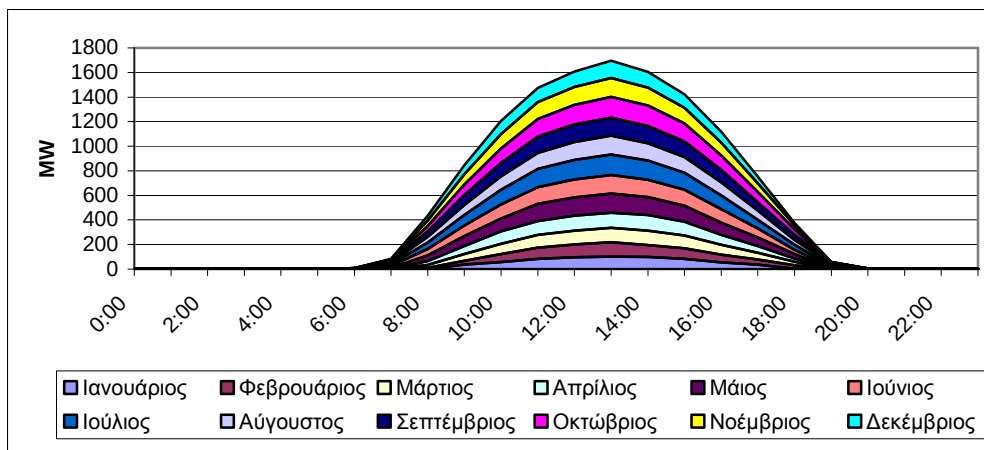
- Η ακριβής γεωγραφική θέση των Χανίων.
- Η μέση μηνιαία θερμοκρασία των Χανίων, που υπάρχει στην σελίδα της EMY.
- Η μέση ημερήσια άμεση ακτινοβολία και η διαύγεια της ατμόσφαιρας για κάθε μήνα του έτους, που προμηθεύτηκαν από τα ετήσια στοιχεία του TEE [15].
- Η ισχύς των διαθέσιμων φωτοβολταϊκών που είναι 10752,4 kW, όπως έχει προαναφερθεί.
- Η επιλογή στήριξης του φωτοβολταϊκού, που στην περίπτωση μας είναι σταθερού άξονα.
- Η κλίση των φωτοβολταϊκών πάνελ σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, που για τα Χανιά αντιστοιχεί σε 35,5°.

Το αποτέλεσμα είναι η εξαγωγή μιας χρονοσειράς δεδομένων που αναπαριστούν την παραγωγή των φωτοβολταϊκών σε ετήσια, μηνιαία και ωριαία μορφή. Η εισαγωγή στο πρόγραμμα έγινε στην ωριαία μορφή μετά από επεξεργασία όπου διατηρήθηκαν μόνο οι ώρες που δουλεύει ο αεριοστρόβιλος 1 Χανίων.

Η συνολική ετήσια παραγωγή των φωτοβολταϊκών ανέρχεται σε 12.687,3 MWh και αντιστοιχεί σε 1,18 MWh ανά εγκατεστημένο kW. Ενδεικτικά στην εικόνα 4.1 παρουσιάζεται η παραγωγή των εν λόγω φωτοβολταϊκών στα Χανιά για κάθε μήνα του έτους και στην εικόνα 4.2 η παραγωγή ανά μήνα και τύπο ώρας.



Εικόνα 4.1 - Μηνιαία παραγωγή των υπό μελέτη φωτοβολταϊκών

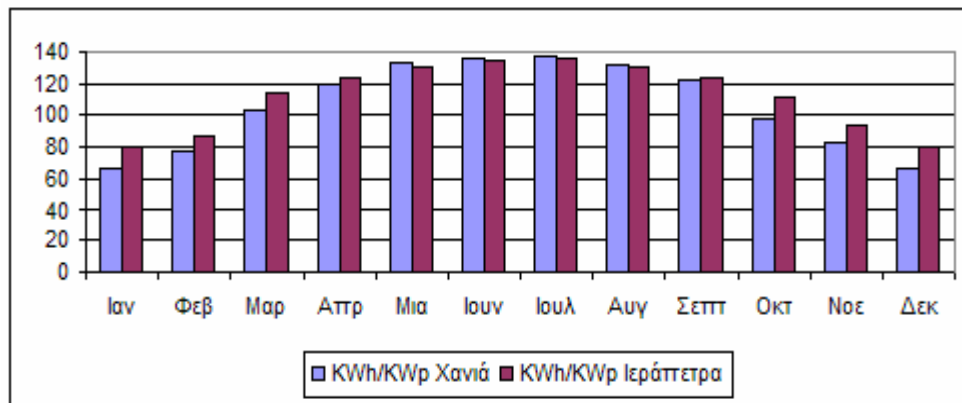


Εικόνα 4.2 - Παραγωγή φωτοβολταϊκών στα Χανιά ανά μήνα και τύπο ώρας

4.2.2 Φωτοβολταϊκά στην Ιεράπετρα

Η μελέτη του προβλήματος προβλέπει εφαρμογή του αλγορίθμου και σε περιοχές εκτός των Χανίων με μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, όπως η Ιεράπετρα. Γι' αυτό το λόγο υπολογίστηκε, όπως και προηγουμένως, με το πρόγραμμα Homer η παραγωγή των φωτοβολταϊκών εκεί. Αλλάζοντας τα στοιχεία για τη γεωγραφική θέση, τη θερμοκρασία και την ακτινοβολία προκύπτει η νέα παραγωγή των υπό μελέτη φωτοβολταϊκών αν αυτά είχαν εγκατασταθεί στην περιοχή της Ιεράπετρας. Η συνολική ετήσια παραγωγή τους ανέρχεται σε 13.146.9 MWh και αντιστοιχεί σε 1,22 MWh ανά εγκατεστημένο kW.

Παρατηρείται αύξηση της ετήσιας παραγωγής των φωτοβολταϊκών στην Ιεράπετρα, η οποία ανέρχεται σε 3,6% σε σχέση με τα Χανιά. Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η μηνιαία διαφορά της παραγωγής των φωτοβολταϊκών ανά εγκατεστημένο kW για τις δύο περιπτώσεις περιοχών εγκατάστασής τους.



Εικόνα 4.3 - Μηνιαία παραγωγή kWh/kWp σε Χανιά και Ιεράπετρα

Η μηνιαία ποσοστιαία διαφορά της παραγωγής των φωτοβολταϊκών σε Χανιά και Ιεράπετρα φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Σύμφωνα με αυτή κλιμακώθηκαν τα δεδομένα για την παραγωγή των φωτοβολταϊκών στα Χανιά, εκείνες τις ώρες που λειτουργεί ο Αερ1Χαν, ώστε να χρησιμοποιηθούν σαν είσοδοι στον αλγόριθμο και να ανταποκρίνονται σε δεδομένα Ιεράπετρας.

Πίνακας 4.1 - Ποσοστιαία διαφορά Φ/Β Παραγωγής Ιεράπετρας έναντι Χανίων

Μήνες	Ποσοστιαία διαφορά Ιεράπετρας έναντι Χανίων
Ιανουάριος	20,16 %
Φεβρουάριος	10,96 %
Μάρτιος	10,23 %
Απρίλιος	3,51 %
Μάιος	-1,47 %
Ιούνιος	-0,66 %
Ιούλιος	-1,27 %
Αύγουστος	-1,13 %
Σεπτέμβριος	0,97 %
Οκτώβριος	13,22 %
Νοέμβριος	14,66 %
Δεκέμβριος	21,52 %

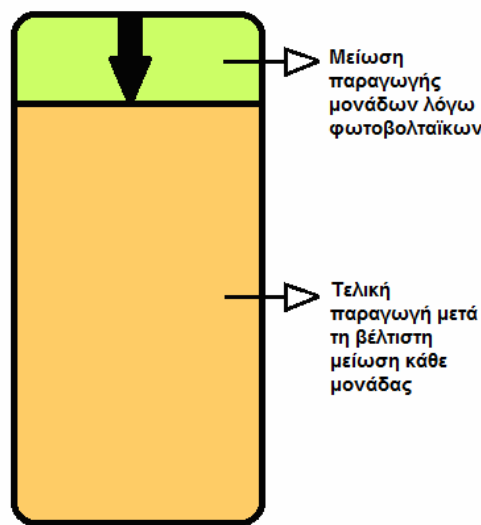
4.3 Περιγραφή αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε για όλη την περίοδο που βρέθηκαν ικανοποιητικά δεδομένα, δηλαδή για κάθε μήνα του δεύτερου εξαμήνου του 2001. Οι ώρες που είναι υπό εξέταση είναι αυτές που ο αεριοστρόβιλος 1 Χανίων είναι ενταγμένος. Ο αλγόριθμος προσομοιώνει μια οικονομική κατανομή των μονάδων του συστήματος που ακολουθείται από μια αλλαγή του προγράμματος της ένταξης των μονάδων τηρώντας πάντα τους κατάλληλους περιορισμούς. Στην ουσία, ανάλογα με τις συνθήκες, υπολογίζεται ποια είναι η βέλτιστη παραγωγή των μονάδων μετά την είσοδο των φωτοβολταϊκών, σύμφωνα με τους περιορισμούς που ακολουθούν παρακάτω. Στόχος είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους για το ΣΗΕ Κρήτης.

4.3.1 Οικονομική κατανομή

4.3.1.1 Μείωση θερμικής παραγωγής - Πρώτη οικονομική κατανομή

Το πρώτο στάδιο προσομοίωσης αφορά σε μια οικονομική κατανομή των μονάδων του συστήματος. Με τα φωτοβολταϊκά στην περιοχή του Υ/Σ Χανίων προσφέρουμε όλη τη παραγωγή τους για την εξυπηρέτηση του φορτίου. Αυτή η κίνηση δημιουργεί μια μείωση στη ζήτηση. Στόχος είναι η βέλτιστη μείωση της παραγωγής κάθε μονάδας για να επιτευχθεί το μέγιστο δυνατό όφελος για το σύστημα με τις δεδομένες συνθήκες. Η ιδιαιτερότητα σε αυτό το κομμάτι είναι πως οι μονάδες έχουν τη δυνατότητα μόνο να μειώσουν την παραγωγή τους και όχι να την αυξήσουν. Παρακάτω φαίνεται η γραφική αναπαράσταση του προβλήματος της πρώτης οικονομικής κατανομής.



Εικόνα 4.4 – Γραφική αναπαράσταση προβλήματος της Πρώτης Οικονομικής Κατανομής

Στον εφαρμοζόμενο αλγόριθμο επιλύεται το πρόβλημα ελαχιστοποίησης που εκφράζεται μαθηματικά στη σχέση (4.1):

$$F(x,t) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{gen_max_num} f(dpg(i,t) - x(i,t)) \quad (4.1)$$

Όπου:

- gen_max_num : ο αριθμός των συμβατικών μονάδων παραγωγής
- T : χρονική περίοδος για τη βελτιστοποίηση
- dpg : παραγωγή των μονάδων πριν τη βελτιστοποίηση (Στοιχεία ΔΕΗ)
- x : διάνυσμα της μεταβολής της παραγωγής των μονάδων που προκύπτει μετά τη βελτιστοποίηση

Η συνάρτηση κόστους κατανάλωσης καυσίμου για την πρώτη οικονομική κατανομή δίνεται από τη σχέση (4.2):

$$f(dpg(i,t) - x(i,t)) = (cubcoeff_i \cdot (dpg(i,t) - x(i,t))^3 + sqcoeff_i \cdot (dpg(i,t) - x(i,t))^2 + lincoeff_i \cdot (dpg(i,t) - x(i,t)) + constcoeff_i + start_up_i) \cdot fuel_cost \quad (4.2)$$

Όπου:

- $cubcoeff_i$: Κυβικός όρος εξίσωσης κόστους μονάδας (kg/MWh³)

- $sqcoeff_i$: Τετραγωνικός όρος εξίσωσης κόστους μονάδας (kg/MWh²)
 $lincoeff_i$: Γραμμικός όρος εξίσωσης κόστους μονάδας (kg/MWh)
 $constcoeff_i$: Σταθερός όρος εξίσωσης κόστους μονάδας (kg)
 $start_up_i$: Κατανάλωση καυσίμου κατά την εκκίνηση
 $fuel_cost_i$: Κόστος κιλού ή λίτρου καυσίμου (αλλαγή ανά μήνα) για κάθε μονάδα (€/kg-lt)

Η λύση του προβλήματος πρέπει να είναι σύμφωνη με τους τεχνικούς περιορισμούς των μονάδων. Πιο συγκεκριμένα:

- Η μείωση στην παραγωγή των μονάδων θα πρέπει να τις οδηγεί σε λειτουργία εντός των ορίων τεχνικού ελαχίστου (4.3).
- Η μεταβολή της φόρτισης των μονάδων μεταξύ δύο διαδοχικών διαστημάτων θα πρέπει να ικανοποιεί τους περιορισμούς μεταβολής αύξησης (4.4) ή μείωσης (4.5) της φόρτισης σε κάθε μία εξεταζόμενη μονάδα.
- Οι μονάδες που λειτουργούν μπορούν μόνο να μειώσουν την παραγωγή τους και όχι να την αυξήσουν (4.6). Το βέλτιστο διάνυσμα μεταβολής της παραγωγής των μονάδων “x” θα αφαιρεθεί στο τέλος από τη συνολική παραγωγή.
- Η επιπρόσθετη παραγωγή θα πρέπει να είναι σε θέση να μην παραβιάζει τους περιορισμούς στρεφόμενης εφεδρείας (4.7).
- Οι μονάδες θα πρέπει να ικανοποιούν το σύνολο της ζήτησης του συστήματος (4.8). Η μεταβλητή IN αναφέρεται στις τελικά ενταγμένες μονάδες του συστήματος.

$$P_{g_i}^{\min} \leq dp_g(i, t) - x(i, t) \quad (4.3)$$

$$dp_g(i, t) - x(i, t) - dp_g(i, t-1) + x(i, t-1) \leq up_rate_i \quad (4.4)$$

$$dp_g(i, t-1) - x(i, t-1) - dp_g(i, t) + x(i, t) \leq down_rate_i \quad (4.5)$$

$$0 \leq x(i, t) \quad (4.6)$$

$$\sum_{i \in IN} P_{g_i}^{\max} - \sum_{i \in IN} (dp_g(i, t) - x(i, t)) \geq Spin_res(t) \quad (4.7)$$

$$\sum_{i \in IN} (dp_g(i, t) - x(i, t)) = Demand(t) - WP(t) - PV(t) \quad (4.8)$$

Ο αλγόριθμος στην ουσία δίνει την επιλογή στις ακριβές μονάδες του συστήματος να μειώσουν περισσότερο την παραγωγή τους λόγω της εισόδου των φωτοβολταϊκών αν είναι δυνατόν και πάντα σύμφωνα με τους περιορισμούς.

Οι προσομοιώσεις συνεχίζονται με αλλαγή της θέσης των φωτοβολταϊκών και μετακίνησή τους σε περιοχές κοντά στα Χανιά με όμοια ηλιοφάνεια, όπως το Καστέλι αλλά και σε περιοχές με περισσότερη ηλιοφάνεια, όπως η Ιεράπετρα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, που τα φωτοβολταϊκά δεν είναι τοποθετημένα στην περιοχή εξυπηρέτησης του Υ/Σ των Χανίων, δεν μπορεί να επηρεαστεί καθόλου η λειτουργία του Αερ1Χαν. Ο συγκεκριμένος αεριοστρόβιλος τότε συνεχίζει να εκκινεί σε περιόδους αιχμής φορτίου και είναι εξ' ολοκλήρου υπεύθυνος για την προστασία του Μ/Σ-2 από υπερφόρτιση.

Προσθέτοντας τον περιορισμό αυτό στον κώδικα, δεν επιτρέπεται στις ανάλογες ώρες να αλλάξει καθόλου το σημείο λειτουργίας του Αερ1Χαν σε σχέση με το σημείο

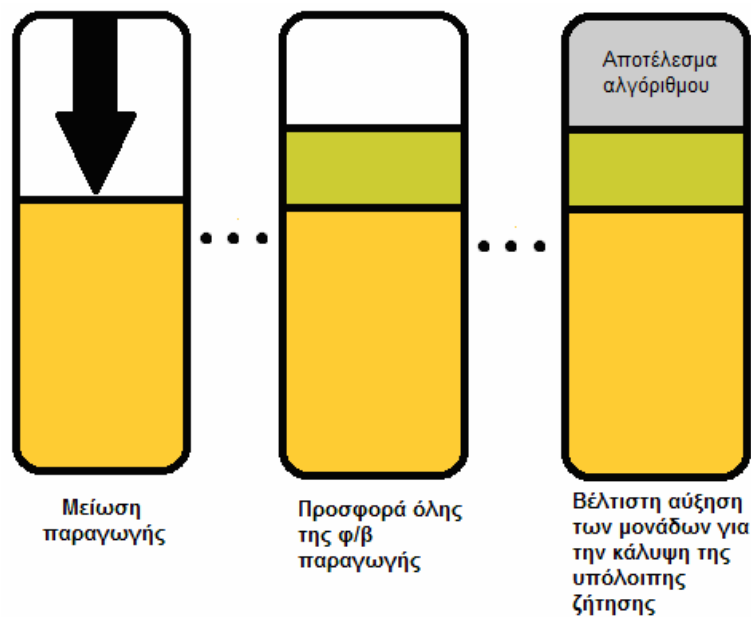
λειτουργίας των χειριστών της ΔΕΗ. Για κάθε ώρα προσομοίωσης λοιπόν, για τη μονάδα 16 που αντιστοιχεί στον Αερ1Χαν ισχύει το εξής:

$$x(16, t) = 0 \quad (4.9)$$

Όπου x είναι το διάνυσμα αλλαγής της παραγωγής κάθε μονάδας.

4.3.1.2 Δυνατότητα αύξησης παραγωγής ενταγμένων μονάδων - Δεύτερη οικονομική κατανομή

Το δεύτερο στάδιο της μελέτης αποτελείται από ακόμα μια οικονομική κατανομή των μονάδων του συστήματος της Κρήτης. Η διαφορά είναι πως σε αυτή την περίπτωση οι μονάδες έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν την παραγωγή τους εκτός από το να τη μειώσουν, σε αντίθεση με την προηγούμενη. Αρχικά πραγματοποιείται μια μείωση του φορτίου, μεγαλύτερη από αυτή της πρώτης οικονομικής κατανομής. Στη συνέχεια, αφού προσφερθεί η φωτοβολταϊκή παραγωγή στο σύστημα, οι μονάδες αυξάνουν την παραγωγή τους για να καλύψουν την υπόλοιπη ζήτηση με τον πιο βέλτιστο οικονομικά τρόπο σεβόμενες πάντα τους περιορισμούς. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα στις πιο φθηνές μονάδες να αυξήσουν την παραγωγή τους και στις πιο ακριβές να τη μειώσουν. Παρακάτω φαίνεται μια γραφική απεικόνιση αυτής της διαδικασίας.



Εικόνα 4.5 – Γραφική αναπαράσταση προβλήματος της Δεύτερης Οικονομικής Κατανομής

Η δεύτερη οικονομική κατανομή είναι πιο αληθοφανής διαδικασία και οδηγεί σε ακριβέστερη εκτίμηση των ορίων ελάχιστης παραγωγής του Αερ1Χαν σε σχέση με την προηγούμενη. Λαμβάνονται υπόψη παράμετροι αβεβαιότητας της φωτοβολταϊκής παραγωγής, θεωρώντας δεδομένο το 50% αυτής. Αυτός ο περιορισμός εκφράζεται με την ανάθεση της τιμής 0,5 στη μεταβλητή pos (αναλυτικά για την pos στην ενότητα 6.2). Επίσης, λαμβάνονται υπόψη αβεβαιότητες που αφορούν στη ζήτηση του Υ/Σ των Χανίων, που μπορεί να αυξηθεί έως και 5%. Η εξίσωση που αντιπροσωπεύει το φορτίο των Χανίων μετά από τους παραπάνω περιορισμούς διαμορφώνεται ως εξής:

$$Demand(t) = 1,05 * Demand(t) - pos * PV(t) \quad (4.10)$$

Πρέπει να σημειωθεί πως η μεταβλητή dpg σε αυτή την περίπτωση δεν αναφέρεται στην παραγωγή των μονάδων πριν τη βελτιστοποίηση, όπως στην πρώτη οικονομική κατανομή. Αναφέρεται στην παραγωγή των μονάδων έτσι όπως έχει διαμορφωθεί μετά την αρχική μείωση της παραγωγής (εικόνα 4.5). Η αναπαράσταση του dpg έτσι όπως διαμορφώνεται στον κώδικα φαίνεται στην παρακάτω συνάρτηση.

$$dpg(i,t) = \max(red * dpg(i,t), P_{g_i}^{\min}) \quad (4.11)$$

Οι μονάδες αιχμής στο αρχικό στάδιο υλοποίησης έχουν την ελευθερία μείωσης της παραγωγής τους έως και 3% οπότε η μεταβλητή red παίρνει την τιμή 0,97. Αντιθέτως οι μονάδες βάσης μπορούν να μειώσουν μόνο μέχρι 1,5% την τρέχουσα παραγωγή, άρα η μεταβλητή red σε αυτή την περίπτωση είναι στο 0,985. Αυτό συμβαίνει προφανώς γιατί οι δεύτερες έχουν φθηνότερο κόστος λειτουργίας αλλά και γιατί σίγουρα υπάρχει λόγος που οι διαχειριστές τις έθεσαν σε αυτό το σημείο λειτουργίας και όχι ψηλότερα. Σε καμία περίπτωση δεν επιτρέπεται κάποια μονάδα να μειώσει την παραγωγή της κάτω από το τεχνικό της ελάχιστο. Γενικά πάντως, λόγω εφεδρείας και αέργου παραγωγής, κρίθηκε περιορισμένη η μεταβολή των μονάδων σε σχέση με την αρχική τους κατανομή.

Πιο συγκεκριμένα, για να υπολογιστεί η βέλτιστη εφικτή μείωση του Αερ1Χαν, στο αρχικό στάδιο υλοποίησης, βρέθηκε κάποιο όριο στη ζήτηση των Χανίων που είναι κρίσιμο για τη λειτουργία αυτής της μονάδας. Η τιμή που θεωρείται ως όριο ονομάστηκε d_limit και προκύπτει αφού παρατηρήθηκε πως το φορτίο του Υ/Σ ήταν λιγότερο από αυτή το 70% των περιπτώσεων που ο αεριοστρόβιλος ήταν σε λειτουργία. Η τιμή αυτή για καλοκαιρινούς μήνες είναι 42MW ενώ τους χειμερινούς μήνες μειώνεται στα 38MW, μιας και η ζήτηση του υποσταθμού είναι μικρότερη.

Σύμφωνα με το παραπάνω, όταν η ζήτηση του Υ/Σ Χανίων είναι μικρότερη από το d_limit για την εξεταζόμενη περίοδο, ο Αερ1Χαν έχει τη δυνατότητα να μειώσει το σημείο λειτουργίας του, όπως δείχνει η εξίσωση (4.11). Σε αντίθετη περίπτωση, η αυξημένη ζήτηση δεν επιτρέπει μια τέτοια ενέργεια, οπότε ο Αερ1Χαν, όπως φαίνεται στην εξίσωση (4.12), αν είναι εφικτό μειώνει τη λειτουργία του, παραμένοντας όμως ικανός να εξυπηρετήσει το πλεονάζων φορτίο ή παραμένει σε ίδια επίπεδα λειτουργίας αν ήταν ήδη χαμηλά (η μεταβλητή $dpg'(16,t)$ εδώ αναφέρεται στο αρχικό σημείο λειτουργίας του Αερ1Χαν πριν την πρώτη μείωση παραγωγής). Σε καμία περίπτωση ο Αερ1Χαν δεν αυξάνει το σημείο λειτουργίας του από το αρχικό των χειριστών. Παρακάτω παρουσιάζεται η φιλοσοφία μείωσης παραγωγής του Αερ1Χαν στην περίπτωση που η ζήτηση του Υ/Σ ξεπερνάει το όριο d_limit :

Αν $Demand(t) > d_limit$ τότε

$$dpg(16,t) = \min(P_{g_i}^{\min} + (Demand(t) - d_limit), dpg'(16,t)) \quad (4.12)$$

Στην περίπτωση που η εφαρμογή προβλέπει την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε περιοχές εκτός του Υ/Σ Χανίων είναι σαφές πως η αρχική μείωση που πραγματοποιείται δεν επηρεάζει τον Αερ1Χαν, αφού δεν υπάρχουν τα φωτοβολταϊκά να βοηθήσουν. Οπότε η παραγωγή του Αερ1Χαν, στα σενάρια μελέτης που θα παρουσιαστούν στο κεφάλαιο 5 και προβλέπουν τα φωτοβολταϊκά να είναι τοποθετημένα σε περιοχές των Χανίων εκτός του Υ/Σ ή στην Ιεράπετρα, δίνεται από τον εξής τύπο:

$$dpg(16,t) = dpg'(16,t) \quad (4.13)$$

Στη συνέχεια επιλύεται ένα παρόμοιο πρόβλημα ελαχιστοποίησης με αυτό της πρώτης οικονομικής κατανομής, που εκφράζεται από τη σχέση (4.14). Η συνάρτηση που υπολογίζει το κόστος κατανάλωσης καυσίμου διαμορφώνεται όπως δείχνει η σχέση (4.15). Η διαφορά με την πρώτη οικονομική κατανομή είναι ότι σε αυτή την περίπτωση το αποτέλεσμα του αλγόριθμου, δηλαδή το βέλτιστο διάνυσμα μεταβολής της παραγωγής των μονάδων “x”, προσμετράται θετικά αφού τώρα πρόκειται για αύξηση παραγωγής.

$$F(x,t) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{gen_max_num} f(dpg(i,t) + x(i,t)) \quad (4.14)$$

$$f(dpg(i,t) + x(i,t)) = (cubcoeff_i \cdot (dpg(i,t) + x(i,t))^3 + sqcoeff_i \cdot (dpg(i,t) + x(i,t))^2 + lincoeff_i \cdot (dpg(i,t) + x(i,t)) + constcoeff_i + start_up_i) \cdot fuel_cost \quad (4.15)$$

Παρομοίως με την πρώτη οικονομική κατανομή, ισχύουν και εδώ παρόμοιοι περιορισμοί, οι οποίοι φαίνονται παρακάτω.

$$P_{g_i}^{min} \leq dpg(i,t) + x(i,t) \quad (4.16)$$

$$dpg(i,t) + x(i,t) \leq P_{g_i}^{max} \quad (4.17)$$

$$dpg(i,t) + x(i,t) - dpg(i,t-1) - x(i,t-1) \leq up_rate_i \quad (4.18)$$

$$dpg(i,t-1) + x(i,t-1) - dpg(i,t) - x(i,t) \leq down_rate_i \quad (4.19)$$

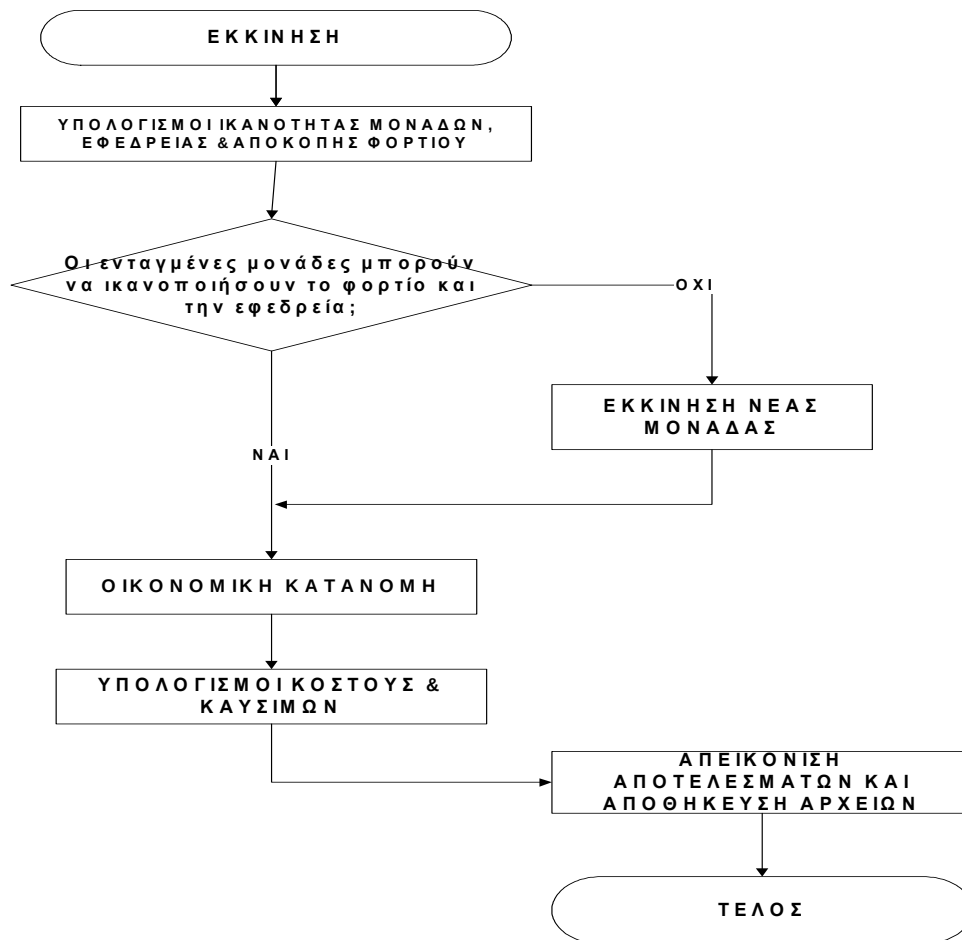
$$0 \leq x(i,t) \quad (4.20)$$

$$\sum_{i \in IN} P_{g_i}^{max} - \sum_{i \in IN} (dpg(i,t) + x(i,t)) \geq Spin_res(t) \quad (4.21)$$

$$\sum_{i \in IN} (dpg(i,t) + x(i,t)) = Demand(t) - WP(t) - PV(t) \quad (4.22)$$

4.3.2 Διάγραμμα ροής αλγορίθμου

Το παρακάτω διάγραμμα ροής παρουσιάζει γενικά την λογική της επίλυσης του προβλήματος. Τα κομμάτια της «οικονομικής κατανομής» και των «υπολογισμών κόστους και καυσίμων» αναφέρονται στα δύο προβλήματα που περιγράφηκαν μέχρι στιγμής και είναι ο βασικός κορμός του προβλήματος. Στην επόμενη ενότητα επεξηγείται η διαδικασία της αλλαγής στην ένταξη μονάδων, που στο διάγραμμα απεικονίζεται με τον έλεγχο πριν από την οικονομική κατανομή.



Εικόνα 4.6 – Διάγραμμα ροής αλγορίθμου

4.3.3 Μεταβολή προγράμματος ένταξης μονάδων

Το τρίτο στάδιο της εφαρμογής είναι μια βελτιστοποιημένη έκδοση της δεύτερης οικονομικής κατανομής. Η επιπλέον λειτουργία που παρέχει είναι μια αναδιανομή στις μονάδες με στόχο τη βελτιστοποίηση του κέρδους. Στις δύο προηγούμενες οικονομικές κατανομές στην περίπτωση που ο Υ/Σ των Χανίων ήταν υπερφορτωμένος, ακόμα και μετά τη βελτιστοποίηση με τα φωτοβολταϊκά, εκκινούσε ο Αερ1Χαν. Τώρα όμως δίνεται η δυνατότητα στο χειριστή να εκκινήσει κάποιο άλλο αεριοστρόβιλο με χαμηλότερο κόστος λειτουργίας που εκείνη τη στιγμή δεν είναι ενταγμένος στο σύστημα. Για να συμβεί αυτό, αρχικά θα πρέπει να το επιτρέπει η ζήτηση του Υ/Σ των Χανίων, δηλαδή να είναι μικρότερη από το προκαθορισμένο όριο d_limit , που εξηγήθηκε σε παραπάνω ενότητα και να εξεταστεί αν υπάρχει φθηνότερη μονάδα μη ενταγμένη. Επίσης πρέπει να υποτεθεί πως τα φωτοβολταϊκά είναι εγκατεστημένα στην περιοχή που εξυπηρετεί ο Υ/Σ των Χανίων και υπάρχει ο Αερ1Χαν για να μπορεί να ανακουφιστεί η λειτουργία του. Το όφελος προέρχεται από τη μείωση της παραγωγής του Αερ1Χαν και τη χρήση άλλων φθηνότερων μονάδων αιχμής αντί αυτού. Η εφεδρεία του ΣΗΕ Κρήτης σε αυτό το στάδιο παραμένει αμετάβλητη και ο Υ/Σ των Χανίων δεν υπερφορτίζεται, ακόμα και εάν αυξηθεί λίγο η τελική ζήτησή του.

4.3.3.1 Μεταβολή προγράμματος ένταξης μονάδων σε μικρότερα χρονικά διαστήματα

Στις ειδικές περιπτώσεις ωρών που ο αεριοστρόβιλος 1 λειτουργεί χαμηλότερα από το τεχνικό του ελάχιστο (3 MW), πράγμα που σημαίνει πως δε ήταν αναμμένος όλη την ώρα, γίνεται εκτενέστερη μελέτη σε επίπεδο εικοσαλέπτων της ώρας, πάντα θεωρώντας πως τα φωτοβολταϊκά είναι εγκατεστημένα στην περιοχή του Υ/Σ Χανίων. Στην προσομοίωση αυτή λαμβάνεται κάποιο ρίσκο λόγω μείωσης για μικρό χρονικό διάστημα της στρεφόμενης εφεδρείας του συστήματος. Αυτό που γίνεται είναι ότι εκκινεί ο Αερ1Χαν αργότερα ή σβήνει νωρίτερα από το αναμενόμενο της προηγούμενης προσομοίωσης για την ένταξη μονάδων. Έτσι, το όφελος προσδίδεται από τα επιπλέον εικοσάλεπτα που σταμάτησε να λειτουργεί. Η προσπάθεια διατήρησης της εφεδρείας είναι σημαντική για να ισοσταθμίσει το ρίσκο της σβέσης του αεριοστρόβιλου 1. Πρέπει να διασφαλίζεται πως η ζήτηση μπορεί να καλυφθεί ακόμα και αν υπάρχει απώλεια της μεγαλύτερης μονάδας του συστήματος, που θεωρείται η μια από τις δύο αεριοστροβλικές μονάδες του Συνδυασμένου Κύκλου στα Χανιά με ισχύ 60 MW. Η μονάδα του Συνδυασμένου Κύκλου είναι μονάδα βάσης και υπό κανονικές συνθήκες λειτουργεί συνολικά το 98,5% του έτους. Οπότε, ο Αερ1Χαν αποκτά τη δυνατότητα να σβήσει μόνο όταν ισχύει το παρακάτω:

$$act_gen(t) - Load(t) > P_{g14}^{max} + P_{g16}^{max} - pos * PV(t) \quad (4.23)$$

Όπου:

$act_gen(t)$: Η μέγιστη ικανότητα παραγωγής του συστήματος από τις διαθέσιμες μονάδες.

$Load(t)$: Το φορτίο του ΣΗΕ Κρήτης εκείνη τη στιγμή.

P_{g14}^{max} : Τεχνικό μέγιστο του Αερ6Χαν.

P_{g16}^{max} : Τεχνικό μέγιστο του Αερ1Χαν.

pos : Βέβαιη φωτοβολταϊκή παραγωγή. Σε αυτή την περίπτωση ίσο με 0,5.

4.4 Περιγραφή κώδικα

4.4.1 Εισαγωγή

Για την επίλυση του προβλήματος που περιγράφηκε στις παραπάνω ενότητες αναπτύχθηκε λογισμικό σε περιβάλλον MATLAB με τη μορφή δομημένων συναρτήσεων, ώστε αυτό να μπορεί να εξελιχθεί ανά τμήμα ανάλογα με τις ανάγκες. Ως βήμα των προσομοιώσεων θεωρήθηκε διάστημα μίας ώρας. Το πρόγραμμα έτρεξε για δεδομένα που αντιστοιχούν σε κάθε μήνα ξεχωριστά για ευκολία στη διαχείριση των αποτελεσμάτων και παρατήρηση της συμπεριφοράς του συστήματος ανά μήνα.

4.4.2 Συναρτήσεις - Ρουτίνες

Οι συναρτήσεις που αποτελούν το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι:

- **Ecdis**: Κυρίως υπορουτίνα υπεύθυνη τόσο για την ανάγνωση των δεδομένων εισόδου όσο και για τη δημιουργία αρχείων εξόδου.

- **cost_f**. Αποτελεί την συνάρτηση που καλούμαστε να βελτιστοποιήσουμε (αντικειμενική συνάρτηση).
- **confi**. Αποτελεί την υπορουτίνα που περιγράφει τους περιορισμούς τους προβλήματος.
- **opt**. Αποτελεί την υπορουτίνα που χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση `optimization-fmincon` του Matlab και κατάλληλες παραμέτρους βελτιστοποιεί το κόστος για την ικανοποίηση της ισχύος μετά την είσοδο των φωτοβολταϊκών. Η συγκεκριμένη συνάρτηση χρησιμοποιεί τις εισόδους και εξόδους των δύο συναρτήσεων `cost_f` και `confi` προκειμένου να επιλύσει το πρόβλημα βελτιστοποίησης, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Σειριακού Τετραγωνικού Προγραμματισμού.

4.4.3 Ανάλυση λειτουργιών

Στην κύρια υπό-ρουτίνα `Ecdis` του αλγορίθμου εκτελούνται οι εξής διαδικασίες:

- Ανάγνωση και αποσφαλμάτωση των αρχείων εισόδου.
- Εξέταση για την εκκίνηση ή μη επιπλέον μονάδας.
- Καταγραφή των αποτελεσμάτων που επιστρέφονται από τις συναρτήσεις που κλήθηκαν.
- Υπολογισμός των τελικών αποτελεσμάτων τα οποία εκτυπώνει και αποθηκεύει σε αρχεία.

Οι λειτουργίες περιγράφονται αναλυτικότερα σε βήματα:

Βήμα 1 - Ανάγνωση αρχείων εισόδου

Τα αρχεία που χρησιμοποιούνται είναι:

α) Αρχείο `indat.txt` που περιλαμβάνει τα στατικά στοιχεία των 20 συνολικά μονάδων του συστήματος. Μία τυπική εικόνα του αρχείου δίνεται στην εικόνα 4.7.

Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια						
7	15	0.476	-11.824	378.937	0.001	0.1839	1489	0.01	200	2
4	6.3	17.377	-167.2	727.6	0.001	0.1839	464.24	0	200	1
7	15	0.476	-11.824	378.937	0.001	0.1839	1489	0.01	35	3
13	25	0.18	-8.053	355.088	0	0.1839	2600	0.01	60	4
14	25	0.092	-4.166	300.58	0	0.1839	1547	0.01	13.5	5
14	25	0.092	-4.166	300.58	0	0.1839	1547	0.07	27	6
3	11.8	0.421	-8.378	230.369	0	0.1839	192	0.03	38	7
3	11.8	0.421	-8.378	230.369	0	0.1839	192	0.03	20	8
3	11.8	0.421	-8.378	230.369	0	0.1839	139.27	0.03	0	9
3	11.8	0.421	-8.378	230.369	0.01	0.1839	139.27	0.03	0	10
3	15	0.0001	0.81	233.57	1709	0.3422	179.11	0.03	0	11
3	15	0.0001	0.81	233.57	1709	0.3422	179.1	0.03	0	12
5	21	0.0001	0.001	247	2126	0.3422	15	0.01	0	13
11	62.5	0.001	0.01	145.54	5120	0.3422	192.01	0.01	0	14
11	62.5	0.001	0.01	145.64	5120	0.3422	230.41	0.01	0	15
3	14	0	0.01	267	2170	0.3422	38.4	0.1	0	16
3	18.8	0	0.01	219	2865	0.3422	460.83	0.005	0	17
5	28.1	0	0.01	275	3757	0.3422	307.22	0	0	18
2.51	58	0.001	0.01	227	5000	0.3422	0.1	0.011	0	19
2.41	58	0.001	0.01	227	5000	0.3422	0.1	0.021	0	20

Εικόνα 4.7 - Ένα τυπικό αρχείο `indat.txt`

β) Στη συνέχεια φορτώνεται το αρχείο `ld.txt` με τα φορτία του συστήματος για την διάρκεια της ανάλυσης.

γ) Ακολουθεί το αρχείο *ramprates.txt* του οποίου η πρώτη στήλη δίνει το ρυθμό μείωσης της φόρτισης της γεννήτριας σε μία ώρα $down_rate_i$ και η δεύτερη το ρυθμό ανάληψης φορτίου σε μία ώρα $uprate_i$. Η τιμή του αρχείου αποθηκεύεται στη μεταβλητή *ramrat*.

δ) Το αρχείο *availability.txt* δίνει τη διαθεσιμότητα κάθε μίας μονάδας για κάθε χρονικό υπό-διάστημα του υπό εξέταση χρονικού διαστήματος. Οι τιμές σε αυτό το αρχείο είναι 0 ή 1 με την τιμή 1 να συμβολίζει την πλήρως διαθέσιμη μονάδα και την τιμή 0 να συμβολίζει τη μη διαθέσιμη μονάδα. Η μεταβλητή *avail* αποθηκεύει τις τιμές που περιέχει το αρχείο αυτό.

ε) Το αρχείο *dispatch_with_WP.txt* περιέχει την παραγωγή κάθε συμβατικής μονάδας για κάθε βήμα της προσομοίωσης. Πηγή μας ήταν τα αρχεία καταγραφής των μονάδων του υπό μελέτη συστήματος.

στ) Το αρχείο *PVs.txt* περιέχει την παραγωγή των φωτοβολταϊκών για κάθε βήμα της προσομοίωσης. Η παραγωγή είναι από όλα τα αδειοδοτημένα πάρκα στην περιοχή του Υ/Σ Χανίων και είναι αυτή που θα βοηθήσει στην ανακούφιση του Αερ1Χαν.

ζ) Το αρχείο *WP_production.txt* περιέχει την συνολική αιολική παραγωγή του ΣΗΕ Κρήτης για κάθε βήμα της προσομοίωσης.

Βήμα 2 - Αρχικοποίηση μεταβλητών

Στη συνέχεια αρχικοποιούνται οι μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν στους περαιτέρω υπολογισμούς. Έτσι αποθηκεύεται στη μεταβλητή *gen_max_num* ο μέγιστος αριθμός των συμβατικών μονάδων που υπάρχουν στο σύστημα. Επίσης αρχικοποιούνται στο μηδέν οι μεταβλητές που αποθηκεύουν αποτελέσματα για κάθε βήμα προσομοίωσης, όπως η κατανάλωση καυσίμου, η ικανότητα παραγωγής κτλ.

Βήμα 3 - Αποσφαλμάτωση Αρχείων

Λόγω προβλημάτων του συστήματος τηλε-μετρήσεων SCADA υπάρχουν περιπτώσεις που δεν καταγράφηκε η παραγωγή των μονάδων ή τα φορτία του συστήματος. Μερικές γραμμές κώδικα αντιμετωπίζουν το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Σημειώνεται ότι οι αρνητικές καταγραφές παραγωγής μηδενίζονται διότι είναι σφάλματα του αρχείου καταγραφής. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει καταγραφή για κάποια ώρα, τότε εάν αυτή είναι η πρώτη ώρα της ημέρας λαμβάνονται οι καταγραφές της επόμενης ώρας ειδάλλως λαμβάνεται το ημι-άθροισμα της παραγωγής της προηγούμενης και της επόμενης ώρας. Για το φορτίο ενδιαφέρει το περιεχόμενο του σχετικού αρχείου *Load.txt* ενώ για τις παραγωγές των τοπικών μονάδων ενδιαφέρει το άθροισμα ανά βήμα προσομοίωσης των παραγωγών τους.

Βήμα 4 - Υπολογισμός ικανότητας μονάδων

Από το αρχείο *dispatch_with_WP.txt* που περιέχει τις παραγωγές των συμβατικών μονάδων μπορεί κανείς να κατανοήσει αν κάποια μονάδα είναι ή όχι ενταγμένη στο σύστημα και να υπολογιστεί η τρέχουσα ικανότητα παραγωγής των ενταγμένων μονάδων. Μία μονάδα θεωρείται ενταγμένη αν η παραγωγή της ξεπερνά το τεχνικό ελάχιστο (4.24) και σημειώνεται με 1 στον πίνακα *stat(t)*, διαφορετικά με 0. Η ικανότητα παραγωγής για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή δίνεται από την σχέση (4.25), όπου $reserves_i$, ένα ποσοστό μείωσης της ικανότητας παραγωγής της μονάδας για να συνεισφέρει ταχύτερα στη στρεφόμενη εφεδρεία του συστήματος. Το ποσοστό αυτό επιλέγεται να υπολογίζεται από τη μέγιστη τιμή που καταγράφεται

για την παραγωγή της μονάδας για ένα συγκεκριμένο υψηλό ποσοστό του έτους, π.χ. 95%. Η μέγιστη ικανότητα παραγωγής του συστήματος από τις διαθέσιμες μονάδες όπως καταγράφονται στον πίνακα avail(t) θα δίνεται από τη σχέση (4.26).

$$dpg(i,t) > Pg_i^{\min} \quad (4.24)$$

$$sum_in(t) = \sum_{i=1}^{gen_max_num} stat(t)_i \cdot (1 - reserves_i) \cdot Pg_i^{\max} \quad (4.25)$$

$$act_gen(t) = \sum_{i=1}^{gen_max_num} avail(t)_i (1 - reserves_i) \cdot Pg_i^{\max} \quad (4.26)$$

Βήμα 5 - Αποτελέσματα και Υπολογισμός μεταβλητών εξόδου

Μετά την ολοκλήρωση της opt, εμφανίζεται μία αναφορά ελέγχου της διαδικασίας βελτιστοποίησης δηλαδή εάν η μέθοδος συνέκλινε, εξάντλησε τις επαναλήψεις ή δεν βρήκε εφικτή λύση καθώς και επιστρέφεται το διάνυσμα της αλλαγής της παραγωγής των τοπικών μονάδων, x.

Έτσι, η τελική παραγωγή για τις γεννήτριες διαμορφώνεται από τη σχέση (4.27) αν πρόκειται για την πρώτη οικονομική κατανομή και από τη σχέση (4.28) για τη δεύτερη, αντίστοιχα.

$$final_gen(i,t) = dPg(i,t) - x(i,t) \quad (4.27)$$

$$final_gen(i,t) = dPg(i,t) + x(i,t) \quad (4.28)$$

Το κόστος παραγωγής για κάθε μία ώρα υπολογίζεται με αντικατάσταση στην αντίστοιχη σχέση κόστους. Η διαίρεση με το κόστος καυσίμου δίνει την κατανάλωση καυσίμου. Εάν εκκίνησε μία μονάδα ή όχι τότε αυτό προκύπτει από την διαφορά $stat(i,t) - stat(i,t-1)$, οπότε αν για κάποια μονάδα i αυτή η τιμή είναι διάφορη της μονάδας τότε σημαίνει ότι η μονάδα εκκίνησε οπότε πρέπει να συμπεριληφθεί το κόστος εκκίνησης στο συνολικό κόστος λειτουργίας του συστήματος.

Η καταγραφή γίνεται μόνο για τις περιόδους κατά τις οποίες το πρόβλημα της βελτιστοποίησης έχει λύση. Αντίθετα σε περίπτωση μη σύγκλισης του αλγορίθμου είτε λόγω σφάλματος στα δεδομένα εισόδου, είτε λόγω ειδικής περίπτωσης στην καταγραφή των δεδομένων, π.χ. στιγμιαία υπερφόρτιση μονάδας, μπορούμε να εντοπίσουμε ακριβώς σε ποια ακριβώς ώρα παρουσιάστηκε το πρόβλημα.

Πλεονέκτημα λοιπόν του αλγορίθμου είναι το ότι παρά τη μη σύγκλιση σε κάποια ανακύκλωση η διαδικασία εκτέλεσης συνεχίζεται χωρίς να επηρεάζεται από τις προηγούμενες καταστάσεις, απλά τα αποτελέσματα των παρομοιώσεων για αυτές τις ώρες αγνοούνται ώστε όταν διορθωθεί το πρόβλημα με τα δεδομένα κτλ, ο χρήστης να προσθέσει το κόστος στη συνέχεια «τρέχοντας» χωριστά τις ώρες αυτές.

Βήμα 6 - Εκτύπωση και Απεικόνιση αποτελεσμάτων

Σε γραφήματα εκτυπώνονται οι τιμές των μεταβλητών final_gen και dP για κάθε χρονική στιγμή και κάθε μονάδα. Τα γραφήματα έχουν τη μορφή στοίβας και ράβδων. Τυπικά γραφήματα εξόδου παρουσιάζονται στις εικόνες 4.8 και 4.9.

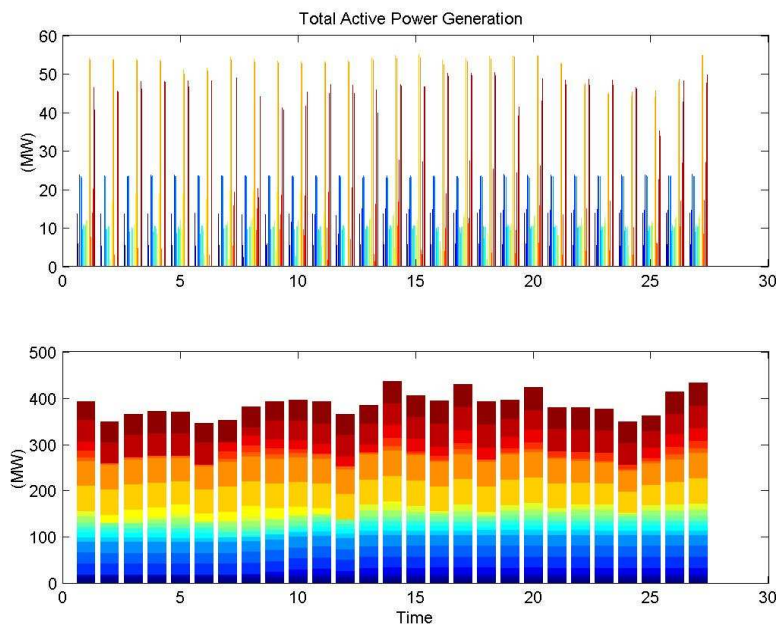
Από τη μορφή στοίβας για τη μεταβλητή final_gen μπορεί να εκτιμήσει ο χρήστης το ύψος του φορτίου που καλούνται να ικανοποιήσουν οι μονάδες, ενώ από τη μορφή ράβδων να εκτιμήσει το ύψος παραγωγής κάθε μονάδας χωριστά

Αντίστοιχα από τη μορφή στοίβας για τη μεταβλητή dP μπορεί να εκτιμήσει το ύψος του επιπλέον φορτίου που καλούνται να ικανοποιήσουν οι μονάδες, κατά συνέπεια και την παραγωγή των φωτοβολταϊκών ενώ από τη μορφή ράβδων να εκτιμήσει την πρόσθετη παραγωγή κάθε μονάδας χωριστά και να εκτιμήσει ποιες μονάδες έχουν μικρότερο διαφορικό κόστος λειτουργίας οπότε και είναι οικονομικότερο να αναλάβουν κάποια αύξηση του φορτίου.

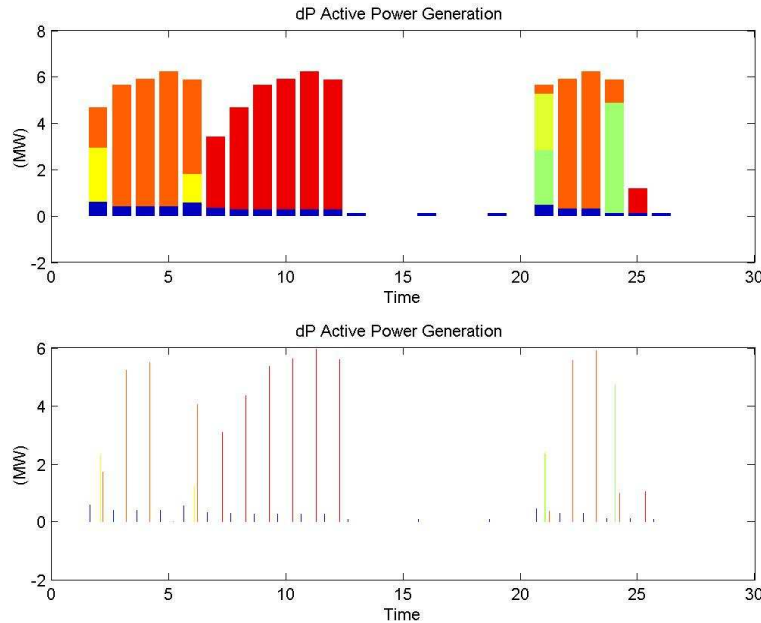
Στο τέλος της διαδικασίας καταγράφεται ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου. Έτσι μπορεί ο χρήστης, εάν κρίνει σκόπιμο, να τροποποιήσει την ακρίβεια της μεθόδου ή τον αριθμό των επαναλήψεων προκειμένου να ελαττώσει το χρόνο σύγκλισης.

Βήμα 7 - Αποθήκευση αρχείων εξόδου

Παράγονται αρχεία εξόδου ένα για την τελική παραγωγή, final_gen.txt και ένα για τη μεταβολή της παραγωγής dP.txt. Επίσης εξάγονται το κόστος που εξοικονομήθηκε και τα αντίστοιχα κιλά των καυσίμων όπως και ότι άλλο χρειάστηκε για την αναπαράσταση των αποτελεσμάτων. Εύκολα αυτά μπορούν να επεξεργαστούν από οποιοδήποτε πρόγραμμα για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Σε αυτή την περίπτωση τα δεδομένα επεξεργάστηκαν με το excel και παρουσιάζονται σε πίνακες και γραφήματα.



Εικόνα 4.8 - Γραφική απεικόνιση της μεταβλητής final_gen



Εικόνα 4.9 - Γραφική απεικόνιση της μεταβλητής dP

4.5 Υπολογισμός αξίας φωτοβολταϊκών με πιθανοτική μεθοδολογία

Ο αλγόριθμος που περιγράφεται στις παραπάνω ενότητες θα δείξει το όφελος που μπόρεσε να εξοικονομηθεί για το σύστημα τις ώρες που ο αεριοστρόβιλος 1 ήταν σε λειτουργία. Αυτό το όφελος προσδίδεται χάρη στα φωτοβολταϊκά που είναι εγκατεστημένα και απορροφούν μέρος του φορτίου. Η αξία των φωτοβολταϊκών για τις υπόλοιπες ώρες υπολογίζεται σύμφωνα με τη μεθοδολογία των εργασιών [22] και [23]. Αυτή η αξία θα προσαρμοστεί με την αξία των φωτοβολταϊκών τις επίμαχες ώρες λειτουργίας του Αερ1Χαν ώστε να υπολογιστεί το τελικό όφελος από την προσθήκη των φωτοβολταϊκών ανάλογα με τη χωροθέτησή τους.

Σύμφωνα με αυτή την εργασία, τα φωτοβολταϊκά λόγω της χαμηλής διείσδυσης δεν έχουν την ικανότητα να αλλάξουν ριζικά την ένταση των θερμικών μονάδων στην Κρήτη. Οπότε το πρόγραμμα της ένταξης των μονάδων παραμένει ανέπαφο από την είσοδο των φωτοβολταϊκών και το μόνο που μπορεί να επηρεαστεί είναι η οικονομική κατανομή των μονάδων. Η προσφορά των φωτοβολταϊκών στη ζήτηση αλλάζει τα σημεία λειτουργίας των μονάδων με έμφαση σε αυτές με το ακριβότερο κόστος λειτουργίας. Σαν αποτέλεσμα αυτής της ενέργειας εξοικονομούνται καύσιμα και προσδίδεται κέρδος στο ΣΗΕ Κρήτης. Σκοπός μας είναι να υπολογιστεί η αξία που έχει η παραγωγή των φωτοβολταϊκών για κάθε μήνα και κάθε τύπο ώρας για το διαχειριστή του συστήματος.

Έτσι βασιζόμενοι στην παραγωγή των φωτοβολταϊκών αλλά και τη ζήτηση του συστήματος και συνυπολογίζοντας όλες τις υπόλοιπες ΑΠΕ που υπάρχουν στην περιοχή και βοηθούν στην εξυπηρέτηση του φορτίου μπορεί να εξαχθεί η αξία των φωτοβολταϊκών σε χρηματικές μονάδες ανά παραγόμενη MWh. Προφανώς η αξία επηρεάζεται αρκετά από τη ζήτηση του φορτίου, την παραγωγή των φωτοβολταϊκών, όπως επίσης και από το μήνα του έτους ή τον τύπο ώρας που

αναφέρεται. Τέλος, η ύπαρξη πολλών μονάδων ΑΠΕ στην εξεταζόμενη περιοχή μειώνει την αξία των φωτοβολταϊκών. Τα βήματα που ακολουθούνται από την εργασία για τον υπολογισμό της αξίας των φωτοβολταϊκών περιγράφονται παρακάτω:

1. Κατασκευή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της ζήτησης του συστήματος για κάθε μήνα και τύπο ώρας που αναμένεται παραγωγή από φωτοβολταϊκά.
2. Αν υπάρχουν άλλες μονάδες ΑΠΕ στην περιοχή, εξαγωγή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας για την αναμενόμενη παραγωγή τους για κάθε μήνα και τύπο ώρας. Λαμβάνονται υπόψη η εποχικότητα της παραγωγής όπως και η διαφορά που παρουσιάζει κατά τη διάρκεια μιας ημέρας.
3. Υπολογισμός της διαφοράς κόστους που επιφέρει η μείωση της παραγωγής κάποιων μονάδων λόγω της εισαγωγής των φωτοβολταϊκών για κάθε μήνα και τύπο ώρας.
4. Πολλαπλασιασμός της αξίας της μείωσης παραγωγής σε όρους χρηματικών μονάδων ανά MWh με την πιθανότητα συνδυασμού συγκεκριμένου φορτίου και παραγωγής από φωτοβολταϊκά.

Το τελευταίο βήμα είναι αυτό που εξάγει την πιθανοτική αξία για κάθε MWh που παράγεται από φωτοβολταϊκά για κάθε μήνα και τύπο ώρας. Αυτή η αξία αν πολλαπλασιαστεί με το σύνολο της παραγωγής των φωτοβολταϊκών για κάποιο διάστημα δείχνει την πραγματική αξία που προσφέρουν τα φωτοβολταϊκά στο σύστημα παραγωγής.

Πάνω σε αυτό θα βασιστούν και τα συμπεράσματα της εργασίας, που αναλύονται εκτενώς στο κεφάλαιο 7, όπου θα υπολογιστεί πόσο παραπάνω αξίζει κάθε MWh από φωτοβολταϊκό στο σύστημα, μετά τη βελτιστοποίηση που θα γίνει, με αποτέλεσμα να δοθεί κίνητρο στη ΔΕΗ ή σε ιδιώτες φωτοβολταϊκών πάρκων για περισσότερα οικονομικά οφέλη με μια πιθανή εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών εκεί που προτείνεται από την εργασία.

5 Αποτελέσματα χρήσης φωτοβολταϊκών

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που είχε η προσομοίωση με τα αδειοδοτημένα φωτοβολταϊκά που υπάρχουν σήμερα στα Χανιά εφαρμοσμένα στο έτος 2001. Τα σενάρια μελέτης, που αναλυτικά περιγράφονται στο κεφάλαιο 4, είναι:

- Μια οικονομική κατανομή συνοδευόμενη από μείωση των μονάδων λόγω φωτοβολταϊκών.
- Μια οικονομική κατανομή με δυνατότητα αυξομείωσης της παραγωγής των μονάδων
- Βελτιστοποίηση του δεύτερου με μια αλλαγή στο πρόγραμμα της ένταξης των μονάδων.
- Επιπλέον μελέτη σε μικρότερα χρονικά διαστήματα με σκοπό την αποφυγή εκκίνησης μονάδας.

Παρουσιάζεται η μεταβολή των καυσίμων για κάθε προσομοίωση όπως και το οικονομικό όφελος που προκύπτει. Γίνονται συγκρίσεις ανάμεσα σε διαφορετικές τοποθεσίες που μπορούν να βρεθούν τα φωτοβολταϊκά στο ΣΗΕ Κρήτης και επιλέγεται η βέλτιστη. Γίνεται αναφορά στην αντίδραση του Αερ1Χαν σε κάθε σενάριο ξεχωριστά και υπολογίζεται το ποσό της ενέργειας που εξοικονομήθηκε. Παρουσιάζεται η μεταβολή της παραγωγής ενέργειας στους δύο σταθμούς που υπήρχαν το 2001 στην Κρήτη και η μεταβολή της ζήτησης που παρουσιάζεται στην περιοχή των Χανίων. Τελικά, αναφέρονται τα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από αυτή την ενέργεια.

5.1 Μείωση θερμικής παραγωγής - Πρώτη οικονομική κατανομή

Αυτό είναι το πρώτο στάδιο βελτιστοποίησης που έγινε. Αφορά τις ώρες που ο αεριοστρόβιλος 1 Χανίων είναι ενταγμένος το δεύτερο εξάμηνο του 2001. Εκείνες τις ώρες η φωτοβολταϊκή παραγωγή προσφέρεται όλη στο σύνολο της ζήτησης του συστήματος. Έτσι εντοπίζεται η βέλτιστη ποσότητα που πρέπει κάθε μονάδα του συστήματος να μειώσει την παραγωγή της.

5.1.1 Σενάριο Χανίων χωρίς περιορισμό

Σε αυτή την περίπτωση όλα τα φωτοβολταϊκά έχουν συγκεντρωθεί στην περιοχή ευθύνης του Υ/Σ Χανίων. Αυτό επιτρέπει στον Αερ1Χαν να αλλάξει το σημείο λειτουργίας του καθώς δεν είναι πλέον ο μοναδικός τρόπος μείωσης της ζήτησης. Το οικονομικό όφελος και η εξοικονόμηση που παρατηρείται λόγω της μείωσης των καυσίμων σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 5.1 – Εξοικονόμηση Diesel, Χανιά χωρίς περιορισμό, 1^η οικονομική κατανομή

	Κατανάλωση Diesel πριν (lt)	Κατανάλωση Diesel μετά (lt)	Εξοικονόμηση Diesel (lt)
Ιούλιος	4020532,40	3966389,80	54142,60
Αύγουστος	7891091,3	7794314,9	96776,40
Σεπτέμβριος	2170810,10	2149636,40	21173,70
Οκτώβριος	694773,58	686496,40	8277,18
Νοέμβριος	798118,32	795167,79	2950,53
Δεκέμβριος	8157954,3	8125176,5	32777,80
Β' εξάμηνο 2001	23733280,00	23517181,79	216098,21

Πίνακας 5.2 – Εξοικονόμηση Μαζούτ, Χανιά χωρίς περιορισμό, 1^η οικονομική κατανομή

	Κατανάλωση Μαζούτ πριν (kg)	Κατανάλωση Μαζούτ μετά (kg)	Εξοικονόμηση Μαζούτ (kg)
Ιούλιος	2001115,30	1996178,90	4936,40
Αύγουστος	3690511,2	3677208,9	13302,30
Σεπτέμβριος	940314,79	937135,76	3179,03
Οκτώβριος	267037,85	265620,80	1417,05
Νοέμβριος	358880,66	358187,19	693,47
Δεκέμβριος	4545960,1	4536991,5	8968,60
Β' εξάμηνο 2001	11803819,90	11771323,05	32496,85

Σύμφωνα λοιπόν με την πρώτη οικονομική κατανομή που έγινε έχουν εξοικονομηθεί περίπου 216 τόνοι diesel πετρέλαιο και 32 τόνοι μαζούτ. Σύμφωνα με τις τιμές που επικρατούσαν την περίοδο που μελετάται το οικονομικό όφελος είναι αυτό που φαίνεται στον πίνακα παρακάτω.

Πίνακας 5.3 – Εξοικονόμηση κόστους, Χανιά χωρίς περιορισμό, 1^η οικονομική κατανομή

	Κόστος πριν (€)	Κόστος μετά (€)	Εξοικονόμηση κόστους (€)
Ιούλιος	1852090,40	1831423,80	20666,60
Αύγουστος	3513261	3476435	36826,00
Σεπτέμβριος	930670,28	922756,46	7913,82
Οκτώβριος	302648,85	299403,16	3245,69
Νοέμβριος	339114,24	337977,04	1137,20
Δεκέμβριος	3328189,5	3316419,9	11769,60
Β' εξάμηνο 2001	10265974,27	10184415,36	81558,91

Συνεπώς, τοποθετώντας όλη τη διαθέσιμη φωτοβολταϊκή ισχύ στην περιοχή ευθύνης του Υ/Σ Χανίων και όχι διεσπαρμένη στο νομό εξοικονομείται ένα κόστος για τη ΔΕΗ της τάξης των 81.500€ περίπου για το δεύτερο μισό του 2001.

5.1.2 Σενάριο Χανίων με περιορισμό

Σε αυτή την περίπτωση ακολουθείται η ίδια διαδικασία με πριν με τη μόνη διαφορά ότι δεν επιτρέπεται στον αεριοστρόβιλο 1 Χανίων να αλλάξει το σημείο λειτουργίας του, όπως περιγράφεται από την εξίσωση (4.9) του προηγούμενου κεφαλαίου. Τεχνικά αυτό σημαίνει ότι τα φωτοβολταϊκά τοποθετήθηκαν αυτή τη φορά όχι στα

Χανιά αλλά σε μια κοντινή περιοχή με παρόμοιες συνθήκες ηλιοφάνειας και καθαρότητας της ατμόσφαιρας. Τέτοια περιοχή θα μπορούσε να είναι το Καστέλι, όπου βρίσκεται ο δεύτερος υποσταθμός της ΔΕΗ στο νομό Χανίων, ή το Βόρειο τμήμα του νομού Ρεθύμνης. Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες με το όφελος καυσίμων και κόστους.

Πίνακας 5.4 – Εξοικονόμηση Diesel, Χανιά με περιορισμό, 1^η οικονομική κατανομή

	Κατανάλωση Diesel πριν (lt)	Κατανάλωση Diesel μετά (lt)	Εξοικονόμηση Diesel (lt)
Ιούλιος	4020532,40	3970091,60	50440,80
Αύγουστος	7891091,3	7797381,8	93709,50
Σεπτέμβριος	2170810,10	2150518,80	20291,30
Οκτώβριος	694773,58	686511,90	8261,68
Νοέμβριος	798118,32	795240,88	2877,44
Δεκέμβριος	8157954,3	8129205,5	28748,80
Β' εξάμηνο 2001	23733280,00	23528950,48	204329,52

Πίνακας 5.5 – Εξοικονόμηση Μαζούτ, Χανιά με περιορισμό, 1^η οικονομική κατανομή

	Κατανάλωση Μαζούτ πριν (kg)	Κατανάλωση Μαζούτ μετά (kg)	Εξοικονόμηση Μαζούτ (kg)
Ιούλιος	2001115,30	1994132,70	6982,60
Αύγουστος	3690511,2	3676174,7	14336,50
Σεπτέμβριος	940314,79	936712,52	3602,27
Οκτώβριος	267037,85	265593,57	1444,28
Νοέμβριος	358880,66	358035,88	844,78
Δεκέμβριος	4543671,3	4532661,5	11009,80
Β' εξάμηνο 2001	11801531,10	11763310,87	38220,23

Πίνακας 5.6 – Εξοικονόμηση κόστους, Χανιά με περιορισμό, 1^η οικονομική κατανομή

	Κόστος πριν (€)	Κόστος μετά (€)	Εξοικονόμηση κόστους (€)
Ιούλιος	1852090,40	1832373,90	19716,50
Αύγουστος	3513261	3477316,8	35944,20
Σεπτέμβριος	930670,28	922978,34	7691,94
Οκτώβριος	302648,85	299403,14	3245,71
Νοέμβριος	339114,24	337974,23	1140,01
Δεκέμβριος	3327794,9	3316930	10864,90
Β' εξάμηνο 2001	10265579,67	10186976,41	78603,26

Άρα τα φωτοβολταϊκά τοποθετημένα στην ευρύτερη περιοχή του νομού Χανίων μπορούν να επιφέρουν μια μείωση κόστους γύρω στις 78.500€ για το δεύτερο μισό του 2001. Με μια πρώτη ματιά, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πως τα φωτοβολταϊκά είναι καλύτερα να τοποθετηθούν στην περιοχή που εξυπηρετεί ο Υ/Σ Χανίων αντί μιας άλλης κοντινής περιοχής μιας και η μείωση κόστους που προσφέρουν εκεί είναι περίπου 3.000€ μεγαλύτερη. Παρ' όλα αυτά το όφελος για αυτή τη μετακίνηση σε αυτό το στάδιο της προσομοίωσης είναι αρκετά χαμηλό αφού αντιστοιχεί σε 0,30€ ανά εγκατεστημένο kW για την περίοδο μελέτης του δεύτερου εξαμήνου του 2001.

5.1.3 Σενάριο Ιεράπετρας

Σε αυτό το σενάριο συνεχίζει να υπάρχει ο περιορισμός της μη αλλαγής του σημείου λειτουργίας του αεριοστρόβιλου 1 Χανίων. Η μελέτη γίνεται με δεδομένα Ιεράπετρας, όπου υπάρχουν καλύτερες συνθήκες ηλιοφάνειας τη μεγαλύτερο περίοδο του έτους, για να εξετάσουμε αν είναι περισσότερο συμφέρουσα η μετακίνηση των φωτοβολταϊκών στη συγκεκριμένη περιοχή. Παρουσιάζονται, όπως και παραπάνω, η εξοικονόμηση των καυσίμων και του κόστους για το σύστημα.

Πίνακας 5.7 – Εξοικονόμηση Diesel, Ιεράπετρα, 1η οικονομική κατανομή

	Κατανάλωση Diesel πριν (lt)	Κατανάλωση Diesel μετά (lt)	Εξοικονόμηση Diesel (lt)
Ιούλιος	4020532,40	3970771,40	49761,00
Αύγουστος	7891103	7798531,6	92571,40
Σεπτέμβριος	2170810,10	2150259,30	20550,80
Οκτώβριος	694773,58	685318,31	9455,27
Νοέμβριος	798118,32	794767,85	3350,47
Δεκέμβριος	8157954,3	8121843,4	36110,90
Β' εξάμηνο 2001	23733291,70	23521491,86	211799,84

Πίνακας 5.8 – Εξοικονόμηση Μαζούτ, Ιεράπετρα, 1η οικονομική κατανομή

	Κατανάλωση Μαζούτ πριν (kg)	Κατανάλωση Μαζούτ μετά (kg)	Εξοικονόμηση Μαζούτ (kg)
Ιούλιος	2001115,30	1994136,10	6979,20
Αύγουστος	3690511,2	3676185,6	14325,60
Σεπτέμβριος	940314,79	936790,04	3524,75
Οκτώβριος	267037,85	265598,33	1439,52
Νοέμβριος	358880,66	358016,84	863,82
Δεκέμβριος	4543671,3	4532585,2	11086,10
Β' εξάμηνο 2001	11801531,10	11763312,11	38218,99

Πίνακας 5.9 – Εξοικονόμηση κόστους, Ιεράπετρα, 1η οικονομική κατανομή

	Κόστος πριν (€)	Κόστος μετά (€)	Εξοικονόμηση κόστους (€)
Ιούλιος	1852090,40	1832622,00	19468,40
Αύγουστος	3513265,1	3477725,6	35539,50
Σεπτέμβριος	930670,28	922903,99	7766,29
Οκτώβριος	302648,85	298977,76	3671,09
Νοέμβριος	339114,24	337808,86	1305,38
Δεκέμβριος	3327794,9	3314620,7	13174,20
Β' εξάμηνο 2001	10265583,77	10184658,91	80924,86

Άρα στην Ιεράπετρα εμφανίζεται μια μείωση κόστους της τάξης των 81.000€. Αν συγκριθεί με τη μείωση κόστους των Χανίων με περιορισμό, αφού και οι δύο περιπτώσεις έχουν κοινή συνισταμένη τη μη αλλαγή του αεριοστρόβιλου 1 Χανίων, η μείωση κόστους που επιτυγχάνεται στην Ιεράπετρα είναι μεγαλύτερη κατά 2.500€ περίπου. Αυτό είναι λογικό λόγω της ηλιοφάνειας στην Ιεράπετρα, που είναι σαφώς περισσότερη.

5.1.4 Σύγκριση Χανίων με και χωρίς περιορισμό

Στα δύο πρώτα σενάρια το μόνο που αλλάζει είναι η τοποθεσία που βρίσκονται τα φωτοβολταϊκά στα Χανιά. Στην περίπτωση που βρίσκονται στην περιοχή ευθύνης του Υ/Σ των Χανίων βοηθούν στην εξυπηρέτηση φορτίου που θα αναλάμβανε ο Αερ1Χαν οπότε συμβάλλουν στην μείωση της παραγωγής του. Αν τα φωτοβολταϊκά είναι εγκατεστημένα σε οποιαδήποτε άλλη περιοχή κοντινή των Χανίων με παρόμοιες συνθήκες, χωρίς όμως να μπορεί να επηρεαστεί ο αεριοστρόβιλος 1 καθόλου, η μείωση κόστους που επιφέρουν είναι μικρότερη.

Το οικονομικό όφελος που επιφέρει η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών στην περιοχή ευθύνης του Υ/Σ Χανίων έναντι μιας διεσπαρμένης εγκατάστασης σε κοντινές περιοχές με παρόμοιες συνθήκες παρουσιάζεται παρακάτω στον πίνακα 5.10. Φαίνεται πως εξοικονομούνται 11,8 τόνοι diesel και δαπανούνται 5,7 τόνοι μαζούτ παραπάνω με αυτή τη μετακίνηση των φωτοβολταϊκών. Αυτό συμβαίνει διότι η μείωση στην κατανάλωση του μαζούτ είναι μικρότερη στην περίπτωση που τα φωτοβολταϊκά είναι στον Υ/Σ Χανίων αφού προτεραιότητα δίνεται στη μείωση της μονάδας του Αερ1Χαν. Η μετακίνηση αυτή εξοικονομεί περίπου 3000€ για το ΣΗΕ Κρήτης. Υπενθυμίζεται πως το όφελος αυτό ανταποκρίνεται στις ώρες που δούλεψε ο αεριοστρόβιλος 1 Χανίων το δεύτερο εξάμηνο του 2001, που μόνο για αυτό βρέθηκαν ικανοποιητικά στοιχεία στο SCADA Κρήτης.

Πίνακας 5.10 - Όφελος τοποθέτησης φ/β στα Χανιά έναντι περιοχών με όμοια ηλιοφάνεια, 1η οικονομική κατανομή

Όφελος Μήνες	Όφελος Diesel (lt)	Όφελος Μαζούτ (kg)	Οικονομικό όφελος (€)
Ιούλιος	3701,8	-2046,2	950,1
Αύγουστος	3066,9	-1034,2	881,8
Σεπτέμβριος	882,4	-423,24	221,88
Οκτώβριος	15,5	-27,23	0,00
Νοέμβριος	73,09	-151,31	0,00
Δεκέμβριος	4029	-2041,2	904,7
Β' εξάμ. 2001	11768,69	-5723,38	2955,65

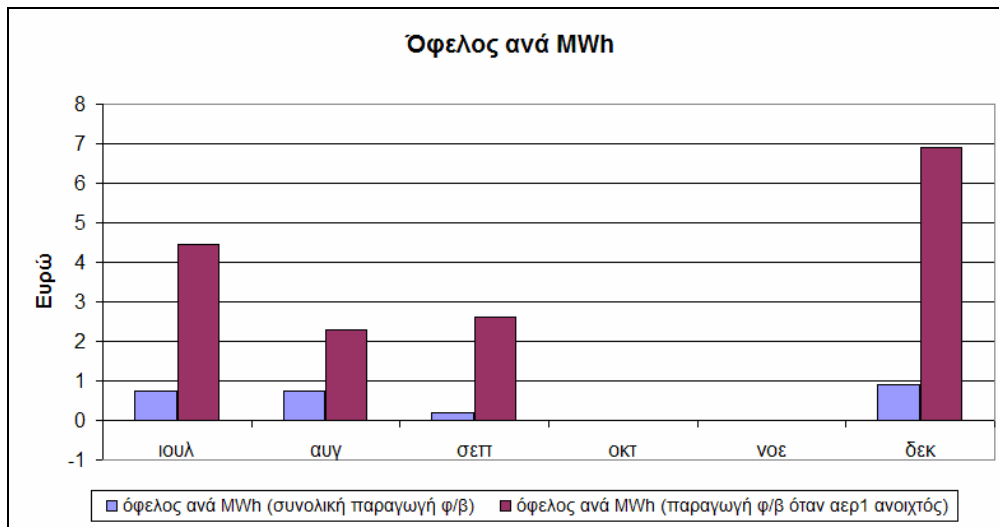
Αξίζει να σημειωθεί επίσης το όφελος που προκύπτει ανά MWh αν μετακινηθούν τα φωτοβολταϊκά από όλο το νομό Χανίων στην ευρύτερη περιοχή του Υ/Σ Χανίων. Παρακάτω στον πίνακα 5.11 φαίνεται το όφελος ανά παραγόμενη MWh από το σύνολο των φωτοβολταϊκών που είναι διαθέσιμα ενώ στον πίνακα 5.12 το όφελος ανά παραγόμενη MWh για τις επίμαχες ώρες που δούλεψε ο αεριοστρόβιλος 1. Το μηδενικό όφελος των μηνών Οκτώβρη και Νοέμβρη οφείλεται στο γεγονός ότι ο αεριοστρόβιλος 1 δεν επηρεάστηκε καθόλου από την παραγωγή των φωτοβολταϊκών τις ώρες που ήταν σε λειτουργία.

Πίνακας 5.11 - Όφελος ανά MWh για τη μετακίνηση των φ/β στα Χανιά από κοντινές περιοχές των Χανίων υπολογίζοντας το σύνολο της μηνιαίας παραγωγής φ/β, 1η οικονομική κατανομή

	Παραγωγή από Φ/β Χανίων (MWh)	Όφελος ανά MWh (€)
Ιούλιος	1277,340	0,74
Αύγουστος	1186,416	0,74
Σεπτέμβριος	1161,418	0,19
Οκτώβριος	1287,356	0,00
Νοέμβριος	1174,413	0,00
Δεκέμβριος	1002,109	0,90
Β' εξάμ. 2001	7089,053	0,42

Πίνακας 5.12 – Όφελος ανά MWh για τη μετακίνηση των φ/β στα Χανιά από κοντινές περιοχές των Χανίων υπολογίζοντας την παραγωγή φ/β τις ώρες που λειτουργεί ο Αερ1Χαν, 1^η οικονομική

	Παραγωγή Φ/Β όταν Αερ1 ανοιχτός (MWh)	Όφελος ανά MWh (€)
Ιούλιος	213,971	4,44
Αύγουστος	387,234	2,28
Σεπτέμβριος	85,370	2,60
Οκτώβριος	32,710	0,00
Νοέμβριος	11,968	0,00
Δεκέμβριος	131,055	6,90
Β' εξάμ. 2001	862,308	3,43



Εικόνα 5.1 - Όφελος ανά MWh για τη μετακίνηση των φ/β στα Χανιά από περιοχές με όμοια ηλιοφάνεια, 1^η οικονομική κατανομή

5.1.5 Σύγκριση Χανίων με περιορισμό και Ιεράπετρας

Στον πίνακα 5.13 γίνεται η σύγκριση μεταξύ του σεναρίου μιας περιοχής με παρόμοιες συνθήκες με τα Χανιά, όπως το Καστέλι, με την Ιεράπετρα. Και στις δύο περιπτώσεις ο αεριοστρόβιλος 1 Χανίων δεν δικαιούται να αλλάξει το σημείο λειτουργίας του, μιας και τα φωτοβολταϊκά δεν είναι εγκατεστημένα στην περιοχή ευθύνης του Υ/Σ Χανίων. Η μελέτη της τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στην Ιεράπετρα δείχνει στην ουσία το όφελος που έχει το σύστημα αν τα φωτοβολταϊκά είναι τοποθετημένα σε περιοχές της Κρήτης με τη μέγιστη ηλιοφάνεια. Με δεδομένο λοιπόν ότι δεν βρίσκονται σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων, μελετάται αν είναι πιο ωφέλιμο να τοποθετηθούν σε περιοχές κοντά στα Χανιά ή στην Ιεράπετρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν καλύτερη μείωση κόστους στην Ιεράπετρα κι αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά εκεί.

Πίνακας 5.13 - Όφελος τοποθέτησης φ/β στην Ιεράπετρα έναντι περιοχών με όμοιες συνθήκες με τα Χανιά,
1η οικονομική κατανομή

Μήνες \ Όφελος	Όφελος Diesel (lt)	Όφελος Μαζούτ (kg)	Οικονομικό όφελος (€)
Ιούλιος	-679,8	-3,4	-248,1
Αύγουστος	-1138,1	-10,9	-404,7
Σεπτέμβριος	259,5	-77,52	74,35
Οκτώβριος	1193,59	-4,76	425,38
Νοέμβριος	473,03	19,04	165,37
Δεκέμβριος	7362,1	76,3	2309,3
Β' εξάμ. 2001	7470,32	-1,24	2321,6

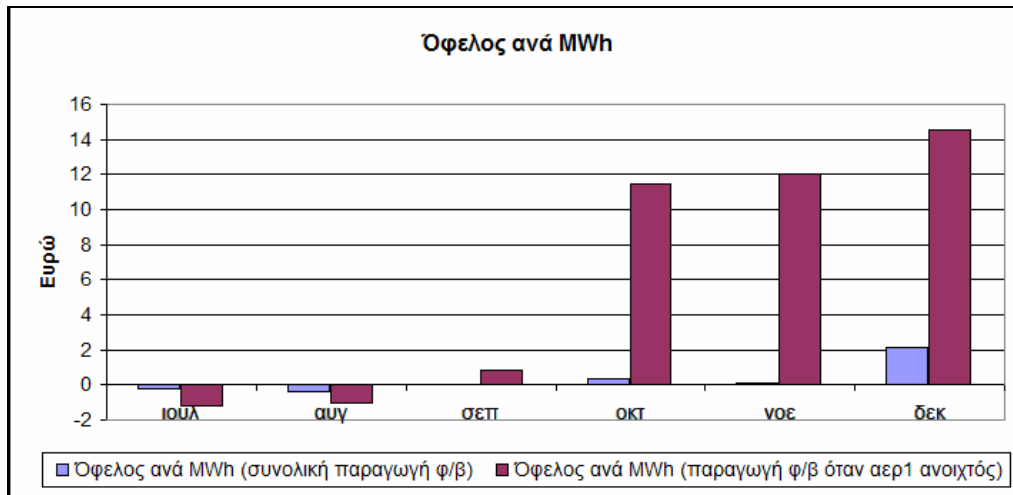
Παρακάτω υπολογίζεται το όφελος ανά MWh για αυτή τη σύγκριση και παρουσιάζεται σε διάγραμμα, όπως πριν. Αρχικά σε σχέση με όλη την παραγωγή που δίνει η διαθέσιμη ισχύς (10.752,4kW) σε συνθήκες Ιεράπετρας και στη συνέχεια σε σχέση με την παραγωγή των φ/β τις επίμαχες ώρες, πάντα με συνθήκες Ιεράπετρας. Πρέπει να σημειωθεί πως η αξία της επιπλέον παραγωγής στην Ιεράπετρα ανέρχεται σε 82,86 €/MWh για τις ώρες που ο Αερ1Χαν ήταν ενταγμένος και 63,4 €/MWh αν συνυπολογιστεί όλη η φωτοβολταϊκή παραγωγή.

Πίνακας 5.14 - Όφελος ανά MWh για τη μετακίνηση των φ/β στην Ιεράπετρα από κοντινές περιοχές των Χανίων υπολογίζοντας το σύνολο της μηνιαίας παραγωγής φ/β,
1η οικονομική κατανομή

	Παραγωγή από Φ/β Ιεράπετρας (MWh)	Όφελος ανά MWh (€)
Ιούλιος	1265,789	-0,20
Αύγουστος	1175,178	-0,34
Σεπτέμβριος	1146,866	0,06
Οκτώβριος	1272,809	0,33
Νοέμβριος	1182,818	0,14
Δεκέμβριος	1082,193	2,13
Β' εξάμ. 2001	7125,654	0,33

Πίνακας 5.15 - Όφελος ανά MWh για τη μετακίνηση των φ/β στην Ιεράπετρα από κοντινές περιοχές των Χανίων υπολογίζοντας την παραγωγή φ/β τις ώρες που λειτουργεί ο Αερ1Χαν
1η οικονομική

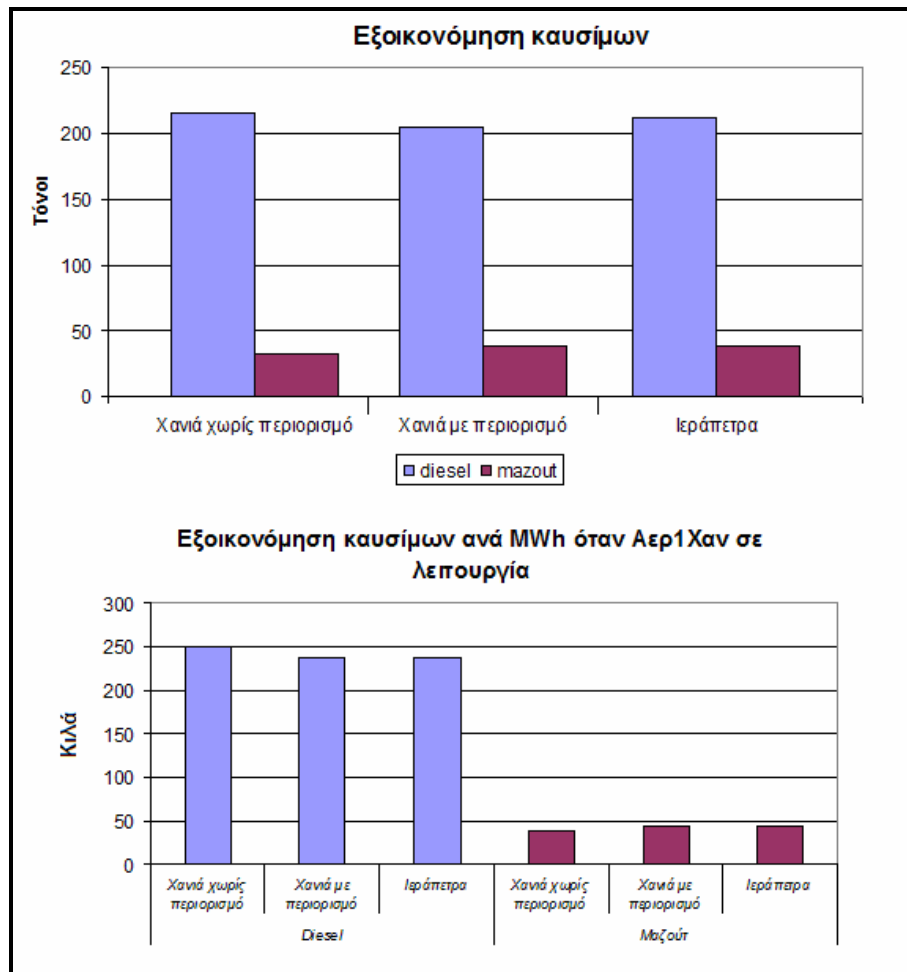
	Παραγωγή Φ/Β όταν Αερ1 ανοιχτός (MWh)	Όφελος ανά MWh (€)
Ιούλιος	211,254	-1,17
Αύγουστος	382,859	-1,06
Σεπτέμβριος	86,198	0,86
Οκτώβριος	37,034	11,49
Νοέμβριος	13,722	12,05
Δεκέμβριος	159,258	14,50
Β' εξάμ. 2001	890,325	2,61



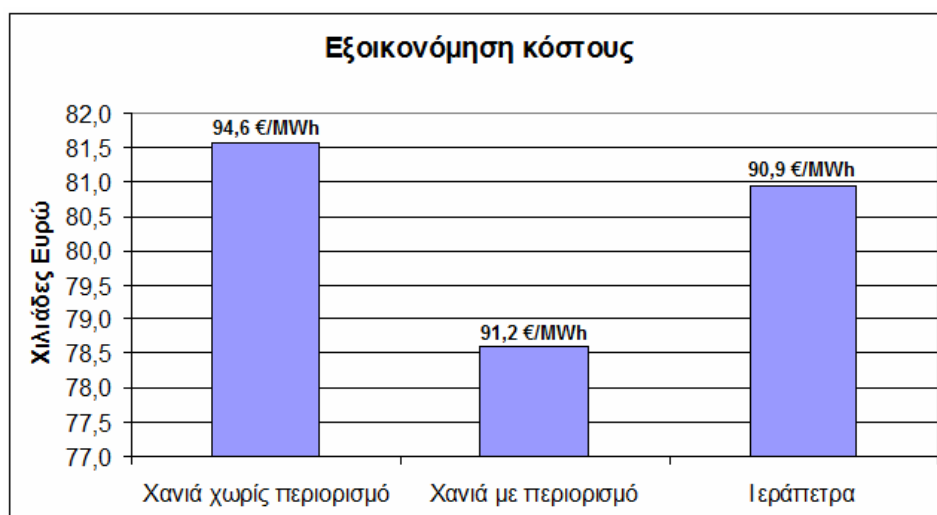
Εικόνα 5.2 - Όφελος ανά MWh για τη μετακίνηση φ/β στην Ιεράπετρα από περιοχές κοντά στα Χανιά, 1^η οικονομική κατανομή

5.1.6 Σύγκριση των τριών σεναρίων

Στα τρία σενάρια που υλοποιήθηκαν για την πρώτη οικονομική κατανομή τα φωτοβολταϊκά μεταφέρθηκαν εικονικά στην περιοχή του Υ/Σ των Χανίων, στην ευρύτερη περιοχή του νομού των Χανίων και στην Ιεράπετρα. Από τις τρεις μειώσεις κόστους που παρουσιάζονται η μεγαλύτερη είναι αυτή που παρουσιάζεται στα Χανιά χωρίς περιορισμό, δηλαδή στην περίπτωση που μπορεί να μειωθεί και η παραγωγή του επίμαχου αεριοστρόβιλου. Μειώνεται αρκετά η παραγωγή του γιατί ο αλγόριθμος που υλοποιείται εξαιτίας της εισόδου των φωτοβολταϊκών ελαττώνει την παραγωγή των μονάδων σύμφωνα με το κόστος τους, ξεκινώντας από την πιο ακριβή, που είναι ο επίμαχος αεριοστρόβιλος. Είναι αξιοσημείωτο το συμπέρασμα πως τα φωτοβολταϊκά είναι προτιμότερο να τοποθετηθούν σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων και η παραγωγή τους να είναι στοχευμένη παρά να τοποθετηθούν σε περιοχές με περισσότερη ηλιοφάνεια. Παρακάτω παρουσιάζεται γραφικά το κόστος που εξοικονομήθηκε για το σύστημα σε καθεμιά περιοχή που τοποθετήθηκαν τα φωτοβολταϊκά, όπως επίσης πως μεταβλήθηκε η κατανάλωση καυσίμων για κάθε σενάριο, για τις ώρες που ήταν σε λειτουργία ο αεριοστρόβιλος 1 το δεύτερο εξάμηνο του 2001.



Εικόνα 5.3 - Εξοικονόμηση καυσίμων για τα τρία σενάρια συνολικά και ανά MWh παραγόμενη από φ/β τις ώρες λειτουργίας του Αερ1Χαν, 1η οικονομική κατανομή



Εικόνα 5.4 - Εξοικονόμηση κόστους για τα τρία σενάρια συνολικά και ανά παραγόμενη MWh από φ/β τις ώρες λειτουργίας του Αερ1Χαν, 1η οικονομική κατανομή

5.2 Δυνατότητα αύξησης παραγωγής ενταγμένων μονάδων - Δεύτερη οικονομική κατανομή

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συγκεντρωτικοί πίνακες αποτελεσμάτων της δεύτερης οικονομικής κατανομής. Σε αυτή την περίπτωση οι μονάδες έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν την παραγωγή τους. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 4.5.2 του 4^{ου} κεφαλαίου. Δίνεται έμφαση στα στοιχεία εξοικονόμησης κόστους και καυσίμων, όπως και προηγουμένως.

5.2.1 Σενάριο Χανίων χωρίς περιορισμό

Σε αυτή την περίπτωση τα φωτοβολταϊκά θεωρείται πως είναι τοποθετημένα στην περιοχή εξυπηρέτησης του Υ/Σ Χανίων, όπου βρίσκεται και ο επίμαχος αεριοστρόβιλος. Το κέρδος της εφαρμογής του αλγορίθμου για αυτό το σενάριο όσον αφορά τα καύσιμα αλλά και το κόστος παρουσιάζεται παρακάτω.

Πίνακας 5.16 – Εξοικονόμηση Diesel, Χανιά χωρίς περιορισμό, 2^η οικονομική κατανομή

	Κατανάλωση Diesel πριν (lt)	Κατανάλωση Diesel μετά (lt)	Εξοικονόμηση Diesel (lt)
Ιούλιος	4020532,40	3914272,90	106259,50
Αύγουστος	7891091,30	7720400,70	170690,60
Σεπτέμβριος	2170810,10	2124883,40	45926,70
Οκτώβριος	694773,58	673007,13	21766,45
Νοέμβριος	798118,32	786164,49	11953,83
Δεκέμβριος	8157954,3	7983615,1	174339,20
Β' εξάμηνο 2001	23733280,00	23202343,72	530936,28

Πίνακας 5.17 – Εξοικονόμηση Μαζούτ, Χανιά χωρίς περιορισμό, 2^η οικονομική κατανομή

	Κατανάλωση Μαζούτ πριν (kg)	Κατανάλωση Μαζούτ μετά (kg)	Εξοικονόμηση Μαζούτ (kg)
Ιούλιος	2001115,30	2039797,60	-38682,30
Αύγουστος	3690511,20	3740035,70	-49524,50
Σεπτέμβριος	940314,79	956062,65	-15747,86
Οκτώβριος	267037,85	275759,07	-8721,22
Νοέμβριος	358880,66	366344,78	-7464,12
Δεκέμβριος	4543671,3	4618795,4	-75124,10
Β' εξάμηνο 2001	11801531,10	11996795,20	-195264,10

Πίνακας 5.18 – Εξοικονόμηση κόστους, Χανιά χωρίς περιορισμό, 2^η οικονομική κατανομή

	Κόστος πριν (€)	Κόστος μετά (€)	Εξοικονόμηση κόστους (€)
Ιούλιος	1852090,40	1820924,00	31166,40
Αύγουστος	3513261,00	3462606,70	50654,30
Σεπτέμβριος	930670,28	917902,19	12768,09
Οκτώβριος	302648,85	296653,00	5995,85
Νοέμβριος	339114,24	336396,29	2717,95
Δεκέμβριος	3327794,9	3286369,9	41425,00
Β' εξάμηνο 2001	10265579,67	10120852,08	144727,59

Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μια εξοικονόμηση diesel πετρελαίου περί τους 531 τόνους. Αντίθετα παρατηρείται μια αύξηση στην κατανάλωση του μαζούτ γύρω στους 195 τόνους. Αυτή η αύξηση οφείλεται στο ότι σε αυτή την προσομοίωση, όπως επεξηγείται στο κεφάλαιο 4, στην αρχική μείωση των μονάδων οι μονάδες αιχμής έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα μείωσης της παραγωγής τους από τις μονάδες βάσης. Έτσι, με τις τιμές που επικρατούσαν τότε, τοποθετώντας τη φωτοβολταϊκή ισχύ στην περιοχή ευθύνης του Υ/Σ Χανίων, υπάρχει μια εξοικονόμηση κόστους της τάξης των 145.000€ για το δεύτερο εξάμηνο του 2001. Αυτό αντιστοιχεί σε όφελος 20,42€ ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά και σε 167,84€ ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά για εκείνες τις ώρες που ο Αερ1Χαν είναι σε λειτουργία.

5.2.2 Σενάριο Χανίων με περιορισμό

Η χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών σε αυτό το σενάριο είναι διεσπαρμένη στο νομό Χανίων σε περιοχές εκτός ευθύνης του Υ/Σ με παρόμοια ηλιοφάνεια με τα Χανιά. Το κέρδος του αλγορίθμου από αυτή τη χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών όσον αφορά τα καύσιμα και το κόστος παρουσιάζεται παρακάτω.

Πίνακας 5.19 – Εξοικονόμηση Diesel, Χανιά με περιορισμό, 2^η οικονομική κατανομή

	Κατανάλωση Diesel πριν (lt)	Κατανάλωση Diesel μετά (lt)	Εξοικονόμηση Diesel (lt)
Ιούλιος	4020532,40	3964160,70	56371,70
Αύγουστος	7891091,3	7782077,8	109013,50
Σεπτέμβριος	2170810,10	2142116,00	28694,10
Οκτώβριος	694773,58	680269,61	14503,97
Νοέμβριος	798118,32	788590,96	9527,36
Δεκέμβριος	8157954,3	8051518,8	106435,50
Β' εξάμηνο 2001	23733280,00	23408733,87	324546,13

Πίνακας 5.20 – Εξοικονόμηση Μαζούτ, Χανιά με περιορισμό, 2^η οικονομική κατανομή

	Κατανάλωση Μαζούτ πριν (kg)	Κατανάλωση Μαζούτ μετά (kg)	Εξοικονόμηση Μαζούτ (kg)
Ιούλιος	2001115,30	2004899,90	-3784,60
Αύγουστος	3690511,2	3698609,9	-8098,70
Σεπτέμβριος	940314,79	945752,22	-5437,43
Οκτώβριος	267037,85	270978,12	-3940,27
Νοέμβριος	358880,66	364560,89	-5680,23
Δεκέμβριος	4543671,3	4591672,8	-48001,50
Β' εξάμηνο 2001	11801531,10	11876473,83	-74942,73

Πίνακας 5.21 – Εξοικονόμηση κόστους, Χανιά με περιορισμό, 2^η οικονομική κατανομή

	Κόστος πριν (€)	Κόστος μετά (€)	Εξοικονόμηση κόστους (€)
Ιούλιος	1852090,40	1832306,10	19784,30
Αύγουστος	3513261	3476300,4	36960,60
Σεπτέμβριος	930670,28	921838,27	8832,01
Οκτώβριος	302648,85	298271,84	4377,01
Νοέμβριος	339114,24	336898,58	2215,66
Δεκέμβριος	3327794,9	3302873,1	24921,80
Β' εξάμηνο 2001	10265579,67	10168488,29	97091,38

Στο σενάριο τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών σε περιοχές με παρόμοιες συνθήκες με των Χανίων, όπως π.χ. το Καστέλι ή το βόρειο τμήμα του νομού Ρεθύμνης, παρατηρείται πάλι μείωση της κατανάλωσης του diesel και αύξηση της κατανάλωσης του μαζούτ. Συνολικά η εξοικονόμηση που γίνεται στο σύστημα είναι της τάξης των 97.000€ για το δεύτερο εξάμηνο του 2001. Αυτό αντιστοιχεί σε 13,70€ ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά και σε 112,60€ ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά για εκείνες τις ώρες που ο Αερ1Χαν είναι σε λειτουργία.

5.2.3 Σενάριο Ιεράπετρας

Τελικά μελετάται η βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων που μπορεί να επιτευχθεί με μια μετακίνηση όλης της φωτοβολταϊκής παραγωγής στην περιοχή της Ιεράπετρας, όπου υπάρχουν καλύτερες συνθήκες ηλιοφάνειας. Το κέρδος καυσίμων και κόστους που δίνει ο αλγόριθμος λόγω της τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών εκεί παρουσιάζεται παρακάτω.

Πίνακας 5.22 – Εξοικονόμηση Diesel, Ιεράπετρα, 2^η οικονομική κατανομή

	Κατανάλωση Diesel πριν (lt)	Κατανάλωση Diesel μετά (lt)	Εξοικονόμηση Diesel (lt)
Ιούλιος	4020532,40	3964166,80	56365,60
Αύγουστος	7891091,3	7782083,8	109007,50
Σεπτέμβριος	2170810,10	2142108,80	28701,30
Οκτώβριος	694773,58	680096,98	14676,60
Νοέμβριος	798118,32	788523,33	9594,99
Δεκέμβριος	8157954,3	8051122,5	106831,80
Β' εξάμηνο 2001	23733280,00	23408102,21	325177,79

Πίνακας 5.23 – Εξοικονόμηση Μαζούτ, Ιεράπετρα, 2^η οικονομική κατανομή

	Κατανάλωση Μαζούτ πριν (kg)	Κατανάλωση Μαζούτ μετά (kg)	Εξοικονόμηση Μαζούτ (kg)
Ιούλιος	2001115,30	2005450,50	-4335,20
Αύγουστος	3690511,2	3699557,2	-9046,00
Σεπτέμβριος	940314,79	945598,40	-5283,61
Οκτώβριος	267037,85	269955,92	-2918,07
Νοέμβριος	358880,66	364225,37	-5344,71
Δεκέμβριος	4543671,3	4586003,5	-42332,20
Β' εξάμηνο 2001	11801531,10	11870790,89	-69259,79

Πίνακας 5.24 – Εξοικονόμηση κόστους, Ιεράπετρα, 2^η οικονομική κατανομή

	Κόστος πριν (€)	Κόστος μετά (€)	Εξοικονόμηση κόστους (€)
Ιούλιος	1852090,40	1832415,20	19675,20
Αύγουστος	3513261	3476488,1	36772,90
Σεπτέμβριος	930670,28	921805,89	8864,39
Οκτώβριος	302648,85	298001,65	4647,20
Νοέμβριος	339114,24	336813,73	2300,51
Δεκέμβριος	3327794,9	3301772,1	26022,80
Β' εξάμηνο 2001	10265579,67	10167296,67	98283,00

Η τοποθέτηση της φωτοβολταϊκής ισχύς στην Ιεράπετρα εξοικονομεί για το σύστημα περίπου 98.000€ για το δεύτερο μισό του 2001. Αυτό αντιστοιχεί σε 13,80€ ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά και σε 110,40€ ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά για εκείνες τις ώρες που ο Αερ1Χαν είναι σε λειτουργία. Αυτή η εξοικονόμηση είναι αρκετά κοντά με αυτή του δεύτερου σεναρίου, που τα φωτοβολταϊκά βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του νομού Χανίων αλλά όχι στην περιοχή εξυπηρέτησης του Υ/Σ Χανίων. Παρομοίως σε αυτή την περίπτωση δεν επιτρέπεται να αλλάξει το σημείο λειτουργίας του Αερ1Χαν από την προσφορά των φωτοβολταϊκών στη ζήτηση του συστήματος, διότι δεν βρίσκονται στην περιοχή του Υ/Σ των Χανίων.

5.2.4 Σύγκριση των τριών σεναρίων

Είναι σαφές η υπεροχή της τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στην περιοχή των Χανίων έναντι των άλλων δύο περιοχών. Η τοποθέτηση όλων των φωτοβολταϊκών στην περιοχή ευθύνης του Υ/Σ των Χανίων δίνει μια αρκετά σημαντική μείωση του κόστους για το σύστημα της Κρήτης. Αυτό συμβαίνει διότι ο αεριοστροβίλος 1 ήταν δυνατό να λειτουργήσει στο σημείο του τεχνικού του ελαχίστου όποτε το επέτρεπε η ζήτηση του Υ/Σ, όπως προέβλεπε ο αλγόριθμος. Τα άλλα δύο σεναρία έχουν παρόμοια αποτελέσματα με ένα μικρό προβάδισμα μείωσης κόστους να δίνεται για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στην Ιεράπετρα έναντι περιοχών με όμοιες συνθήκες με τα Χανιά εξαιτίας κυρίως των καλύτερων συνθηκών ηλιοφάνειας.

Πίνακας 5.25 - Όφελος τοποθέτησης φ/β στα Χανιά έναντι περιοχών με όμοια ηλιοφάνεια, 2η οικονομική κατανομή

Όφελος Μήνες	Όφελος Diesel (lt)	Όφελος Μαζούτ (kg)	Οικονομικό όφελος (€)
Ιούλιος	49887,8	-34897,7	11382,1
Αύγουστος	61677,1	-41425,8	13693,7
Σεπτέμβριος	17232,6	-10310,43	3936,08
Οκτώβριος	7262,48	-4780,95	1618,84
Νοέμβριος	2426,47	-1783,89	502,29
Δεκέμβριος	67903,7	-27122,6	16503,2
Β' εξάμ. 2001	206390,15	-120321,37	47636,21

Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται τα οφέλη σε καύσιμα και κόστος όσον αφορά την τοποθέτηση της διαθέσιμης φωτοβολταϊκής ισχύς στα Χανιά έναντι σε μια πιο διεσπαρμένη τοποθέτηση μέσα στα όρια του νομού. Όπως παρατηρείται υπάρχει ένα όφελος 47.600€ για τη ΔΕΗ το δεύτερο εξάμηνο του 2001 αν τα φωτοβολταϊκά που είναι διεσπαρμένα σε όλο το νομό των Χανίων συγκεντρωθούν στην περιοχή που εξυπηρετεί ο Υ/Σ των Χανίων.

Με άλλα λόγια, όπως φαίνεται και παρακάτω, το όφελος ανά MWh για αυτή τη μετακίνηση για την υπό μελέτη περίοδο είναι περίπου 6,7€ αν συνυπολογιστεί όλη η φωτοβολταϊκή παραγωγή. Συνεπώς η ΔΕΗ έχει την ευχέρεια, δεδομένου αυτού του κέρδους, να δώσει κάποιο κίνητρο στους ιδιοκτήτες φωτοβολταϊκών πάρκων να τοποθετούν τις εγκαταστάσεις τους στην περιοχή που εξυπηρετεί ο Υ/Σ των Χανίων με το επιπλέον αντίτιμο των 6,7€ για κάθε παραγόμενη MWh. Όπως είναι φυσικό, το κέρδος ανά MWh αυτής της μετακίνησης για τις επίμαχες ώρες που λειτουργεί ο Αερ1Χαν είναι πολύ υψηλότερο και κυμαίνεται στα 55,2€/MWh. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο κέρδος του μήνα Δεκεμβρίου. Για τις ώρες που ο Αερ1Χαν ήταν

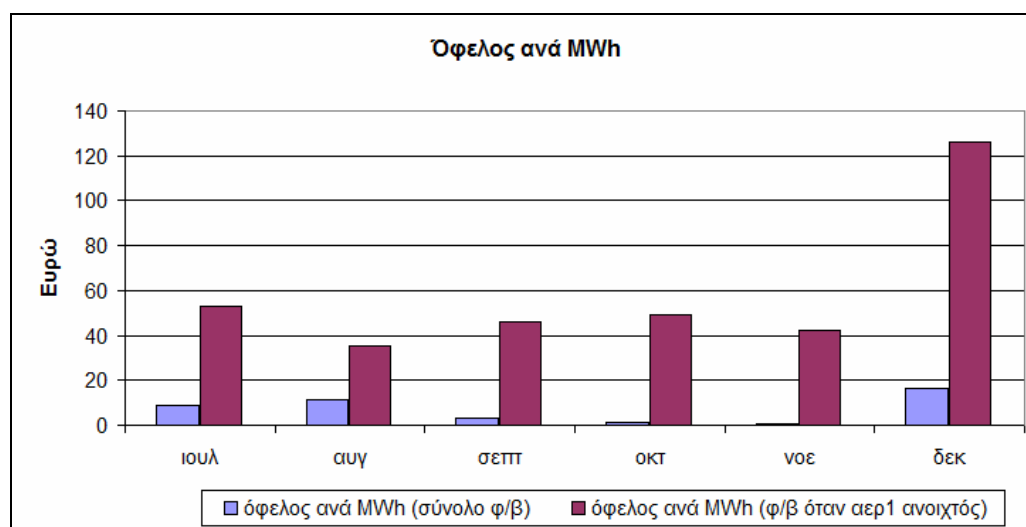
ενταγμένος το συνολικό κέρδος για το σύστημα ανέρχεται σε 126 €/MWh. Υπενθυμίζεται πως η ισχύουσα αξία της MWh από φωτοβολταϊκά σύμφωνα με τη ΔΕΗ για το 2001 ήταν ίση με 70,9€. Οπότε η προκειμένη εφαρμογή του αλγόριθμου προσδίδει αύξηση στην αξία της ενέργειας των φωτοβολταϊκών κατά 77% της αρχικής, τουλάχιστον για τις ώρες που λειτουργεί ο Αερ1Χαν.

Πίνακας 5.26 - Όφελος ανά MWh για τη μετακίνηση των φ/β στα Χανιά από κοντινές περιοχές των Χανίων υπολογίζοντας το σύνολο της μηνιαίας παραγωγής φ/β, 2^η οικονομική κατανομή

	Παραγωγή από Φ/β Χανίων (MWh)	Όφελος ανά MWh (€)
Ιούλιος	1277,340	8,91
Αύγουστος	1186,416	11,54
Σεπτέμβριος	1161,418	3,39
Οκτώβριος	1287,356	1,26
Νοέμβριος	1174,413	0,43
Δεκέμβριος	1002,109	16,47
Β' εξάμ. 2001	7089,053	6,72

Πίνακας 5.27 - Όφελος ανά MWh για τη μετακίνηση των φ/β στα Χανιά από κοντινές περιοχές των Χανίων υπολογίζοντας την παραγωγή φ/β τις ώρες που λειτουργεί ο Αερ1Χαν, 2^η οικονομική

	Παραγωγή Φ/Β όταν Αερ1 ανοιχτός (MWh)	Όφελος ανά MWh (€)
Ιούλιος	213,971	53,19
Αύγουστος	387,234	35,36
Σεπτέμβριος	85,370	46,11
Οκτώβριος	32,710	49,49
Νοέμβριος	11,968	41,97
Δεκέμβριος	131,055	125,93
Β' εξάμ. 2001	862,308	55,24



Εικόνα 5.5 – Όφελος ανά MWh για τη μετακίνηση των φ/β στα Χανιά από περιοχές με όμοια ηλιοφάνεια, 2^η οικονομική κατανομή

Παρακάτω παρουσιάζεται το όφελος μετακίνησης των φωτοβολταϊκών από κοντινές περιοχές των Χανίων με παρόμοιες συνθήκες προς την Ιεράπετρα. Το συνολικό όφελος της τάξης των 1.200€ για όλο το δεύτερο εξάμηνο του 2001 είναι

σαφώς πολύ μικρότερο από το προηγούμενο. Το αμελητέο όφελος για το σύστημα καθιστά αυτή τη μετακίνηση μάταιη.

Πίνακας 5.28 - Όφελος τοποθέτησης φ/β στην Ιεράπετρα έναντι περιοχών με όμοιες συνθήκες με τα Χανιά, 2η οικονομική κατανομή

Μήνες \ Όφελος	Όφελος Diesel (lt)	Όφελος Μαζούτ (kg)	Οικονομικό όφελος (€)
Ιούλιος	-6,1	-550,6	-109,1
Αύγουστος	-6	-947,3	-187,7
Σεπτέμβριος	7,2	153,82	32,38
Οκτώβριος	172,63	1022,2	270,19
Νοέμβριος	67,63	335,52	84,85
Δεκέμβριος	396,3	5669,3	1101
Β' εξάμ. 2001	631,66	5682,94	1191,62

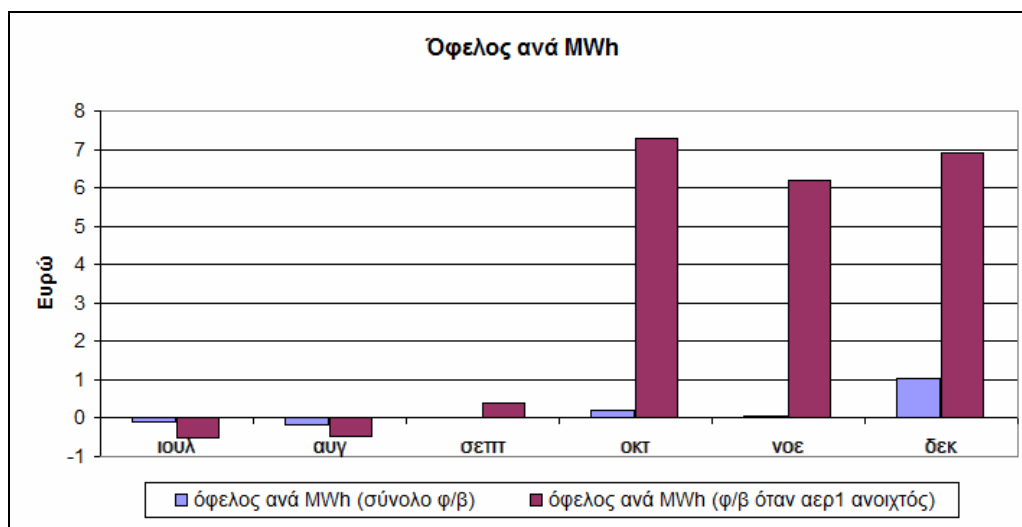
Τα αντίστοιχα οφέλη σε €/MWh της μετακίνησης των φωτοβολταϊκών από περιοχές με όμοια ηλιοφάνεια με τα Χανιά στην Ιεράπετρα σύμφωνα με τη δεύτερη οικονομική κατανομή είναι τα παρακάτω.

Πίνακας 5.29 - Όφελος ανά MWh για τη μετακίνηση των φ/β στην Ιεράπετρα από κοντινές περιοχές των Χανίων υπολογίζοντας το σύνολο της μηνιαίας παραγωγής φ/β, 2η οικονομική κατανομή

	Παραγωγή από Φ/β Ιεράπετρας (MWh)	Όφελος ανά MWh (€)
Ιούλιος	1265,789	-0,09
Αύγουστος	1175,178	-0,16
Σεπτέμβριος	1146,866	0,03
Οκτώβριος	1272,809	0,21
Νοέμβριος	1182,818	0,07
Δεκέμβριος	1082,193	1,02
Β' εξάμ. 2001	7125,654	0,17

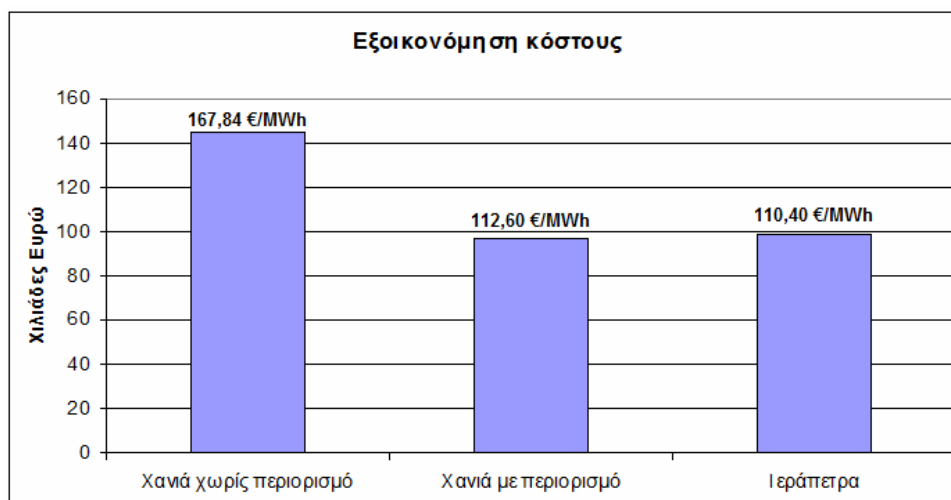
Πίνακας 5.30 - Όφελος ανά MWh για τη μετακίνηση των φ/β στην Ιεράπετρα από κοντινές περιοχές των Χανίων υπολογίζοντας την παραγωγή φ/β τις ώρες που λειτουργεί ο Αερ1Χαν 2η οικονομική

	Παραγωγή Φ/Β όταν Αερ1 ανοιχτός (MWh)	Όφελος ανά MWh (€)
Ιούλιος	211,254	-0,52
Αύγουστος	382,859	-0,49
Σεπτέμβριος	86,198	0,38
Οκτώβριος	37,034	7,30
Νοέμβριος	13,722	6,18
Δεκέμβριος	159,258	6,91
Β' εξάμ. 2001	890,325	1,34

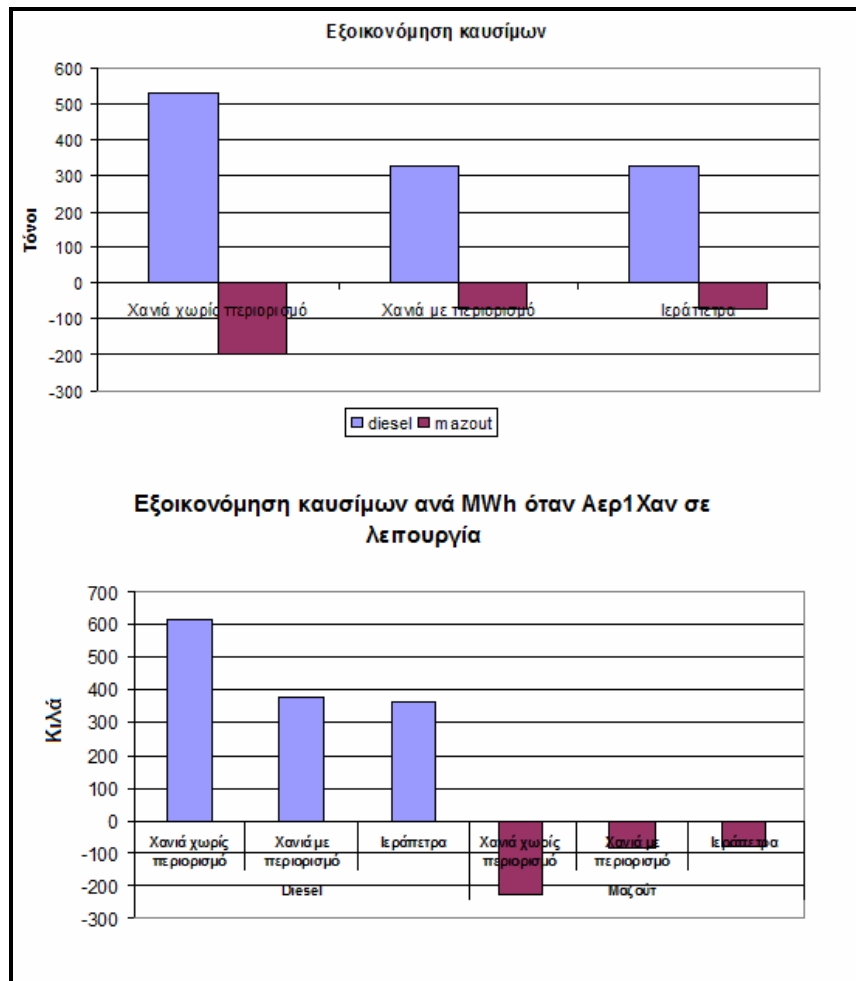


Εικόνα 5.6 - Όφελος ανά MWh για τη μετακίνηση φ/β από περιοχές των Χανίων στην Ιεράπετρα, 2^η οικονομική κατανομή

Για καλύτερη οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται παρακάτω γραφικά το κόστος που εξοικονομήθηκε για κάθε διαφορετική χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών σύμφωνα με τη δεύτερη οικονομική κατανομή όπως και η μεταβολή στην κατανάλωση των καυσίμων.



Εικόνα 5.7 - Εξοικονόμηση κόστους για τα τρία σενάρια συνολικά και ανά παραγόμενη MWh από φ/β τις ώρες λειτουργίας του Αεr1Χαν, 2^η οικονομική κατανομή



Εικόνα 5.8 - Εξοικονόμηση καυσίμων για τα τρία σενάρια συνολικά και ανά MWh παραγόμενη από φ/β τις ώρες λειτουργίας του Αερ1Χαν, 2η οικονομική κατανομή

5.3 Αλλαγή προγράμματος ένταξης μονάδων

5.3.1 Ένταξη μονάδων σε επίπεδα ώρας

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις για την πρώτη απόπειρα αλλαγής ένταξης των μονάδων. Η ένταξη μονάδων εφαρμόστηκε στο σενάριο των Χανίων χωρίς περιορισμό. Αυτό έγινε γιατί στόχος είναι να μειωθεί η λειτουργία του Αερ1Χαν που βρίσκεται στον Υ/Σ Χανίων. Η διαδικασία αναμένεται να δώσει πιο ενθαρρυντικά αποτελέσματα από τις δύο προηγούμενες οικονομικές κατανομές, αφού τώρα δίνεται προτεραιότητα σβέσης στον Αερ1Χαν και αντικατάστασης του από άλλη οικονομικότερη αεριοστροβιλική μονάδα. Παρακάτω παρουσιάζεται η εξοικονόμηση που πετυχαίνεται στα καύσιμα αλλά και το οικονομικό όφελος του συστήματος σύμφωνα με αυτή την προσομοίωση.

Πίνακας 5.31 – Εξοικονόμηση Diesel, Χανιά χωρίς περιορισμό, Αλλαγή ένταξης μονάδων

	Κατανάλωση καυσίμου diesel πριν (lt)	Κατανάλωση καυσίμου diesel μετά (lt)	Εξοικονόμηση καυσίμου diesel (lt)
Ιούλιος	4009468,40	3900801,30	108667,10
Αύγουστος	7878183,30	7704071,00	174112,30
Σεπτέμβριος	2168044,10	2120598,80	47445,30
Οκτώβριος	693851,58	671691,53	22160,05
Νοέμβριος	798118,32	786098,82	12019,50
Δεκέμβριος	8149656,30	7974396,70	175259,60
Β' εξάμηνο 2001	23697322,00	23157658,15	539663,85

Πίνακας 5.32 - Εξοικονόμηση Μαζούτ, Χανιά χωρίς περιορισμό, Αλλαγή ένταξης μονάδων

	Κατανάλωση καυσίμου μαζούτ πριν (kg)	Κατανάλωση καυσίμου μαζούτ μετά (kg)	Εξοικονόμηση καυσίμου μαζούτ (kg)
Ιούλιος	2001115,30	2039223,20	-38107,90
Αύγουστος	3690511,20	3740444,60	-49933,40
Σεπτέμβριος	940314,79	956467,16	-16152,37
Οκτώβριος	267037,85	275668,74	-8630,89
Νοέμβριος	358880,66	366406,39	-7525,73
Δεκέμβριος	4543671,30	4615854,10	-72182,80
Β' εξάμηνο 2001	11801531,10	11994064,19	-192533,09

Πίνακας 5.33 - Εξοικονόμηση Κόστους, Χανιά χωρίς περιορισμό, Αλλαγή ένταξης μονάδων

	Κόστος πριν (€)	Κόστος μετά (€)	Εξοικονόμηση κόστους (€)
Ιούλιος	1852090,40	1815908,80	36181,60
Αύγουστος	3513261,00	3456912,50	56348,50
Σεπτέμβριος	930670,28	916504,28	14166,00
Οκτώβριος	302648,85	296164,64	6484,21
Νοέμβριος	339114,24	336385,15	2729,09
Δεκέμβριος	3327794,90	3282987,60	44807,30
Β' εξάμηνο 2001	10265579,67	10104862,97	160716,70

Υπήρχαν περιπτώσεις που το φορτίο των Χανίων, όντας αρκετά υψηλό, δεν επέτρεπε στον Αερ1Χαν να σταματήσει τη λειτουργία του. Τότε Ο Αερ1Χαν μείωνε το σημείο λειτουργίας του σε χαμηλότερα επίπεδα ή μέχρι και το τεχνικό του ελάχιστο, όπου ήταν δυνατό σύμφωνα με τη δεύτερη οικονομική κατανομή. Σε πολλές περιπτώσεις όμως, που το φορτίο το επέτρεπε, ο Αερ1Χαν μπορούσε να σβήσει. Παρατηρήθηκε ότι οι μονάδες που εκκινούσαν όταν ο Αερ1Χαν σταματούσε ήταν οι αεριοστρόβιλοι 1 ή 2 των Λινοπεραμάτων. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένα επιπλέον όφελος για το σταθμό παραγωγής που βρίσκεται στα Χανιά, αφού πραγματοποιείται μια μετάθεση παραγωγής προς το Ηράκλειο. Οι ώρες που επιτράπηκε στον Αερ1Χαν να σταματήσει τη λειτουργία του παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 5.34 – Ποσοστό δυνατότητας σβέσης του Αερ1Χαν, Αλλαγή ένταξης μονάδων, 2^ο εξάμηνο 2001

	Σύνολο ωρών με Αερ1Χαν ενταγμένο	Σύνολο ωρών που Αερ1Χαν μπόρεσε να σβήσει	Ποσοστό δυνατότητας σβέσης του Αερ1Χαν
Ιούλιος	56	24	42,9%
Αύγουστος	104	28	26,9%
Σεπτέμβριος	27	6	22,2%
Οκτώβριος	13	2	15,4%
Νοέμβριος	14	0	0%
Δεκέμβριος	132	18	13,7%
Β' Εξάμηνο 2001	346	78	22,6%

Με την προσομοίωση της αλλαγής στην ένταξη των μονάδων, από τις 346 ώρες που ήταν ενταγμένος ο Αερ1Χαν το δεύτερο εξάμηνο του 2001, μπορέσαμε να τον βγάλουμε από την παραγωγή συνολικά 78 ώρες. Αυτό αντιστοιχεί σε ποσοστό 22,6%.

Έχοντας λοιπόν κάνει μια ένταξη μονάδων για το σύστημα της Κρήτης, με στόχο σε περιόδους χαμηλής ζήτησης του Υ/Σ των Χανίων ο αεριοστρόβιλος 1 να σταματάει τη λειτουργία του ή αν δεν είναι δυνατό αυτό να λειτουργεί στο τεχνικό του ελάχιστο, τα οφέλη ανέρχονται σε 161.000€ για το δεύτερο εξάμηνο του 2001. Αυτό αντιστοιχεί σε 22,67€ ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά και σε 186,38€ ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά για εκείνες τις ώρες που ο Αερ1Χαν είναι σε λειτουργία. Μεγαλύτερα οφέλη παρουσιάζουν όπως ήταν αναμενόμενο οι καλοκαιρινοί μήνες, αλλά και ο μήνας Δεκέμβριος που ο αεριοστρόβιλος 1 ήταν ιδιαίτερα δραστήριος και το μεσημέρι, άρα ήταν εφικτή μια μετακίνηση του φορτίου στα φωτοβολταϊκά.

5.3.2 Σύγκριση ένταξης μονάδων με δεύτερη οικονομική κατανομή στα Χανιά

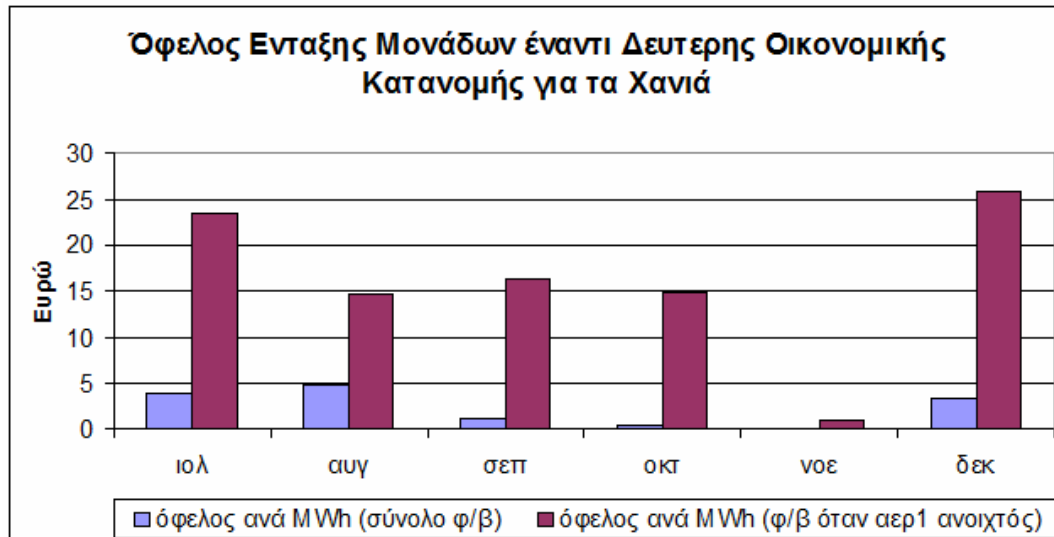
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ της δεύτερης οικονομικής κατανομής που έγινε για την περιοχή των Χανίων με τα αποτελέσματα της ένταξης μονάδων. Παρατηρείται πως η επιλογή να απενεργοποιηθεί ο αεριοστρόβιλος 1 σε περιόδους που η ζήτηση του Υ/Σ ήταν χαμηλή, και να μοιραστεί η ζήτηση στα φωτοβολταϊκά και τις υπόλοιπες φθηνότερες μονάδες, προσέδωσε στο σύστημα ένα όφελος περίπου 16.000 για το δεύτερο μισό του 2001.

Πίνακας 5.35 – Σύγκριση Αλλαγής ένταξης μονάδων έναντι Δεύτερης οικονομικής κατανομής, Χανιά χωρίς περιορισμό

Μήνες \ Όφελος	Όφελος Diesel (kg)	Όφελος Μαζούτ (kg)	Οικονομικό όφελος (€)
Ιούλιος	2407,60	574,40	5.015,20
Αύγουστος	3421,70	-408,90	5.694,20
Σεπτέμβριος	1518,60	-404,51	1.397,91
Οκτώβριος	393,60	90,33	488,36
Νοέμβριος	65,67	-61,61	11,14
Δεκέμβριος	920,40	2941,30	3.382,30
Β' εξάμ. 2001	8727,57	2731,01	15.989,11

Το όφελος της αλλαγής της ένταξης μονάδων σε σχέση με την δεύτερη οικονομική κατανομή για την περιοχή των Χανίων αντιστοιχεί σε 2,26€ ανά

παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά και σε 18,54€ ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά για εκείνες τις ώρες που ο Αερ1Χαν είναι σε λειτουργία. Φαίνεται πως η αξία της παρούσας προσομοίωσης φτάνει να υπερτερεί το μήνα Δεκέμβριο μέχρι και πάνω από 25€ ανά παραγόμενη MWh σε ώρες που λειτουργεί ο Αερ1Χαν σε σχέση με την οικονομική κατανομή.



Εικόνα 5.9 – Όφελος ανά MWh - Σύγκριση Ένταξης μονάδων έναντι Δεύτερης οικονομικής κατανομής στα Χανιά

5.3.3 Σύγκριση ένταξης μονάδων με δεύτερη οικονομική κατανομή για περιοχές κοντά στα Χανιά

Αντίστοιχη σύγκριση πρέπει να γίνει για τις περιοχές με όμοια ηλιοφάνεια με τα Χανιά. Με αυτό τον τρόπο θαδειχθεί η αξία που προσφέρει η προσομοίωση της αλλαγής στην ένταξη των μονάδων σε μια υποθετική μετακίνηση όλων των φωτοβολταϊκών από περιοχές γύρω από τα Χανιά σε περιοχές εξυπηρέτησης του Υ/Σ Χανίων. Παρακάτω φαίνεται η υπεροχή της αλλαγής της ένταξης των μονάδων έναντι στη δεύτερη οικονομική κατανομή για περιοχές κοντινές των Χανίων με παρόμοια ηλιοφάνεια.

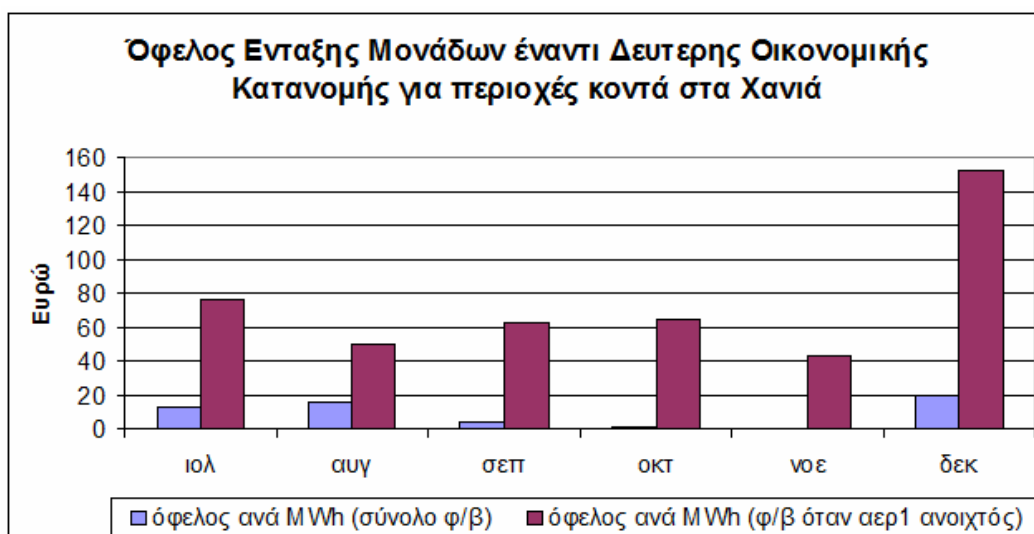
Πίνακας 5.36 - Σύγκριση Αλλαγής ένταξης μονάδων έναντι Δεύτερης οικονομικής κατανομής, Χανιά με περιορισμό

Όφελος Μήνες	Όφελος Diesel (kg)	Όφελος Μαζούτ (kg)	Οικονομικό όφελος (€)
Ιούλιος	52295,40	-34323,30	16397,30
Αύγουστος	65098,80	-41834,70	19387,90
Σεπτέμβριος	18751,20	-10714,94	5333,99
Οκτώβριος	7656,08	-4690,62	2107,20
Νοέμβριος	2492,14	-1845,50	513,43
Δεκέμβριος	68824,10	-24181,30	19885,50
Β' εξάμ. 2001	215117,72	-117590,36	63625,32

Το κέρδος που πρόσφερε ο αλγόριθμος για τη δεύτερη οικονομική κατανομή σε περιοχές κοντινές των Χανίων ανερχόταν σε 97.000€. Με την αλλαγή στην ένταξη των μονάδων επετεύχθη κέρδος περίπου 160.700€. Η διαφορά των δύο, που ισούται

με 63.700€, δείχνει το όφελος, για το δεύτερο εξάμηνο του 2001, της μετακίνησης όλων των φωτοβολταϊκών από περιοχές κοντινές των Χανίων σε περιοχές του Υ/Σ τηρώντας μια διαφορετική πολιτική ένταξης μονάδων.

Για καλύτερη αντίληψη των αποτελεσμάτων το κέρδος μεταφράζεται σε κέρδος ανά MWh. Συνυπολογίζοντας όλη τη φωτοβολταϊκή παραγωγή, το όφελος της μετακίνησης των φωτοβολταϊκών στα Χανιά τηρώντας μια διαφορετική πολιτική στην ένταξη των μονάδων είναι περίπου 9€ ανά παραγόμενη MWh ή αλλιώς 5,9€ ανά εγκατεστημένο kW. Αν ληφθούν υπόψη όμως μόνο οι ώρες που λειτουργεί ο Αερ1Χαν το όφελος ανέρχεται σε 73,8€ ανά παραγόμενη MWh για το δεύτερο εξάμηνο του 2001 με αποκορύφωμα το μήνα Δεκέμβριο που ξεπερνά τα 151€/MWh.



Εικόνα 5.10 - Όφελος ανά MWh - Σύγκριση Ένταξης μονάδων έναντι Δεύτερης οικονομικής κατανομής σε περιοχές κοντά στα Χανιά

5.3.4 Ένταξη μονάδων σε επίπεδα εικοσαλέπτων

Στις ώρες που παρατηρήθηκαν χαμηλά επίπεδα λειτουργίας του Αερ1Χαν έγινε επέκταση της μελέτης σε επίπεδο εικοσαλέπτων. Λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 4 ο Αερ1Χαν καθυστερεί να εκκινήσει ή σβήνει νωρίτερα αν δε χρειάζεται η συνεισφορά του ολόκληρη την ώρα. Τα εικοσάλεπτα που ο Αερ1Χαν φαίνεται να λειτουργεί κάτω από το τεχνικό του ελάχιστο είναι 27 στον αριθμό. Με την εφαρμογή του αλγόριθμου ο Αερ1Χαν σταμάτησε τη λειτουργία του σε 21 από αυτά προσφέροντας επιπλέον κέρδος στην προσομοίωση της ένταξης των μονάδων. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που επέφερε η εφαρμογή του αλγόριθμου σε επίπεδο εικοσαλέπτων.

Πίνακας 5.37 - Εξοικονόμηση καυσίμων και κόστους για την ένταξη μονάδων σε επίπεδο εικοσαλέπτων

Εξοικονόμηση diesel	Εξοικονόμηση μαζούτ	Εξοικονόμηση κόστους
12132 kg	-4876 kg	8262 €

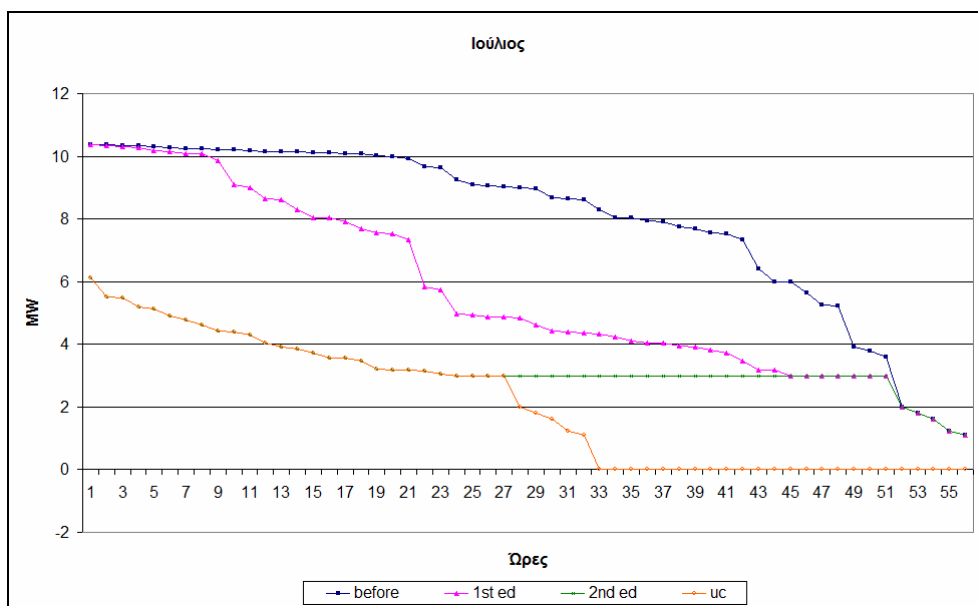
Αν προσμετρηθεί το παραπάνω οικονομικό όφελος σε αυτό της αρχικής ένταξης μονάδων, το κέρδος του συστήματος για το δεύτερο εξάμηνο του 2001 ανέρχεται

σε 168.979€. Αυτό αντιστοιχεί σε 23,8€ ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά και 195.96€ ανά παραγόμενη MWh τις επίμαχες ώρες λειτουργίας του Αερ1Χαν. Επίσης το όφελος της ένταξης σε σχέση με τη δεύτερη οικονομική κατανομή στα Χανιά τώρα είναι ίσο με 3,42€/MWh. Όπως και το όφελος της ένταξης σε σχέση με τη δεύτερη οικονομική κατανομή σε κοντινές στα Χανιά περιοχές, που δείχνει και το όφελος της μετακίνησης, ανέρχεται τώρα σε 10,14€/MWh ή αλλιώς 6,7 €/kWp για το δεύτερο εξάμηνο του 2001. Αυτό σημαίνει πως η εφαρμογή στα εικοσάλεπτα προσδίδει περίπου 1€ επιπλέον όφελος ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά σε σχέση με πριν.

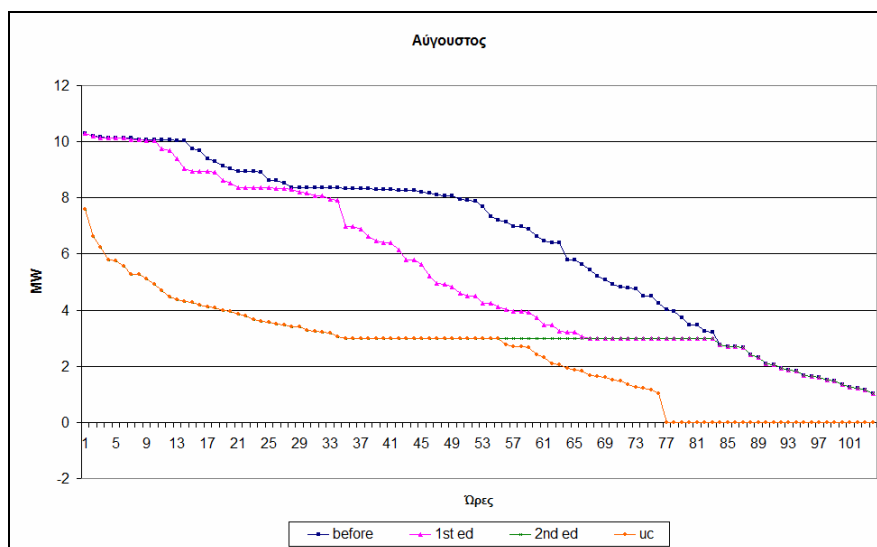
Για να υπολογιστεί η εξοικονόμηση κόστους στη μελέτη των εικοσάλεπτων, που όπως φαίνεται είναι 8262€, έγινε κλιμάκωση των αποτελεσμάτων. Το κέρδος που αναφέρεται σε περίοδο μιας ώρας για αυτή την προσομοίωση ανέρχεται σε 24.800€ περίπου για το δεύτερο εξάμηνο του 2001.

5.4 Μεταβολή της λειτουργίας του αεριοστρόβιλου 1 Χανίων

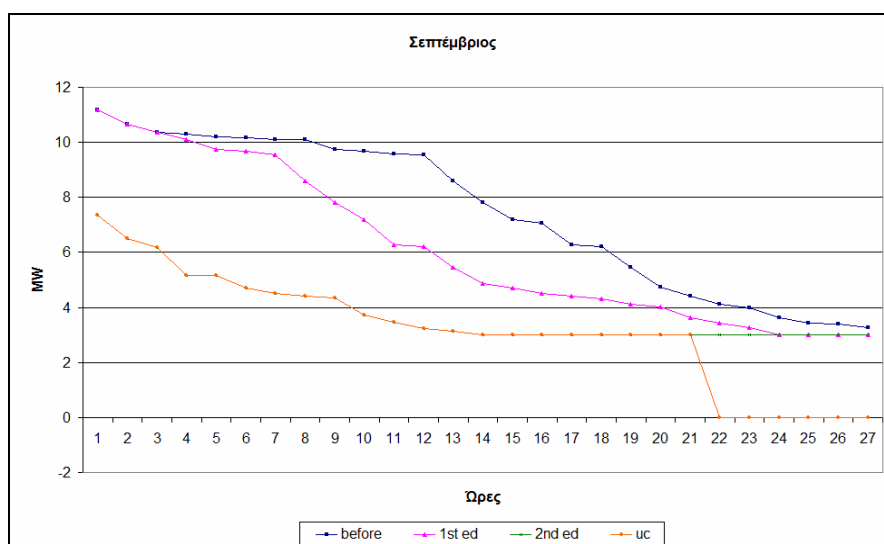
Στα παρακάτω γραφήματα φαίνεται η αντίδραση του επίμαχου αεριοστρόβιλου σε κάθε κίνηση που έγινε. Παρουσιάζεται η καμπύλη διάρκειας της παραγωγής του για κάθε μήνα και συνολικά για το δεύτερο εξάμηνο του 2001. Φαίνεται καθαρά πόση επίδραση είχαν στην παραγωγή του η εφαρμογές της οικονομικής κατανομής και της ένταξης μονάδων. Υπενθυμίζεται πως το τεχνικό ελάχιστο του Αερ1Χαν είναι τα 3MW. Το γεγονός ότι στα γραφήματα φαίνεται η παραγωγή του να είναι για λίγες ώρες κάτω από το τεχνικό ελάχιστο, οφείλεται στον τρόπο που προμηθεύτηκαν τα δεδομένα από το SCADA Κρήτης. Τα δεδομένα αναφέρονται στον ωριαίο μέσο όρο της παραγωγής του Αερ1Χαν, που ενδέχεται να δούλεψε λίγο και χαμηλά, οπότε ο ωριαίος μέσος όρος της παραγωγής φαίνεται να είναι μικρότερος από το τεχνικό ελάχιστο. Αυτό το κομμάτι βελτιστοποίησης ανατέθηκε στην εφαρμογή του αλγόριθμου σε επίπεδο εικοσάλεπτων. Στον πίνακα 5.38 επίσης, φαίνεται η μηνιαία παραγωγή του Αερ1Χαν για κάθε σενάριο.



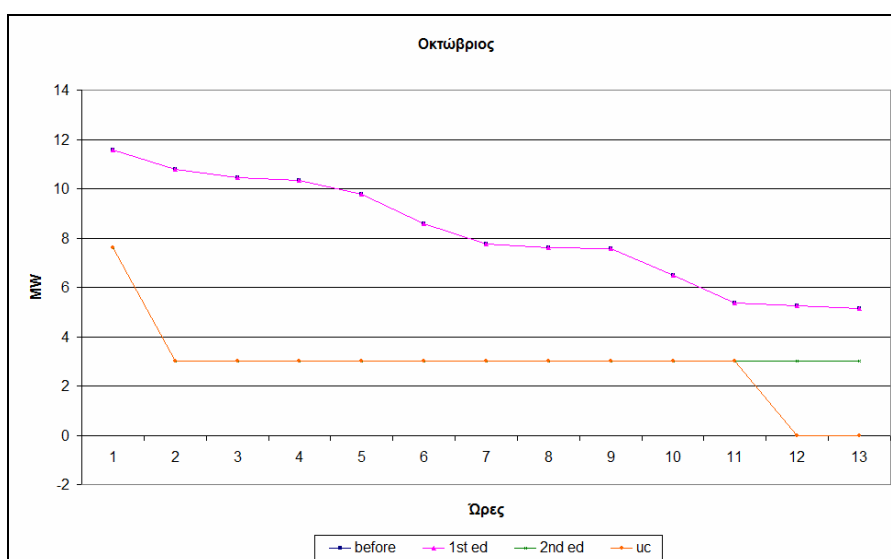
Εικόνα 5.11 – Καμπύλη παραγωγής Αερ1Χαν σύμφωνα με τα σενάρια μελέτης – Ιούλιος 2001



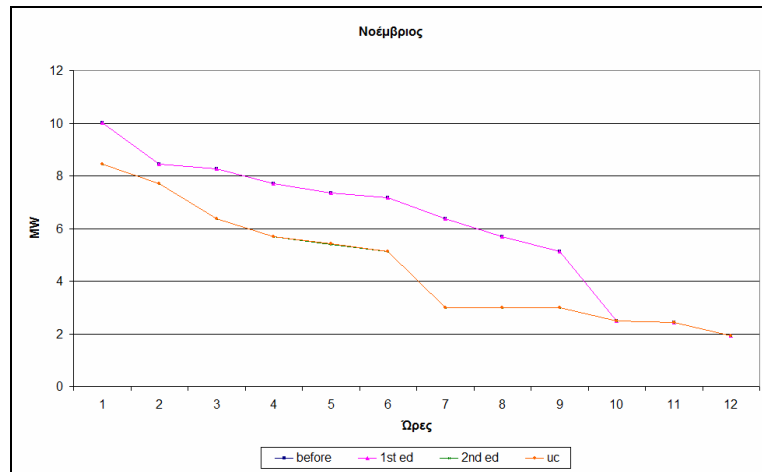
Εικόνα 5.12 - Καμπύλη παραγωγής Αερ1Χαν σύμφωνα με τα σενάρια μελέτης – Αύγουστος 2001



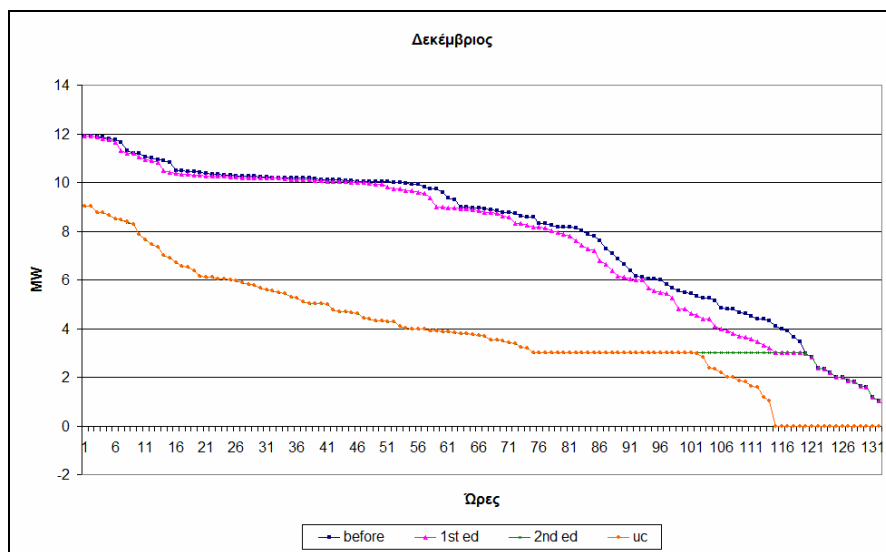
Εικόνα 5.13 - Καμπύλη παραγωγής Αερ1Χαν σύμφωνα με τα σενάρια μελέτης – Σεπτέμβριος 2001



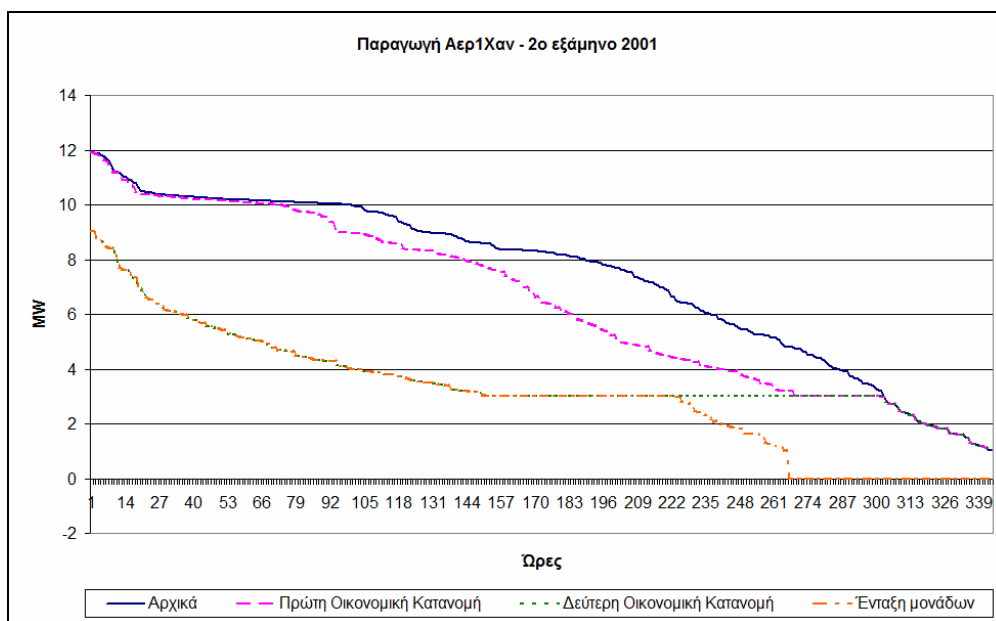
Εικόνα 5.14 - Καμπύλη παραγωγής Αερ1Χαν σύμφωνα με τα σενάρια μελέτης – Οκτώβριος 2001



Εικόνα 5.15 - Καμπύλη παραγωγής Αερ1Χαν σύμφωνα με τα σενάρια μελέτης – Νοέμβριος 2001



Εικόνα 5.16 - Καμπύλη παραγωγής Αερ1Χαν σύμφωνα με τα σενάρια μελέτης – Δεκέμβριος 2001



Εικόνα 5.17 - Καμπύλη παραγωγής Αερ1Χαν σύμφωνα με τα σενάρια μελέτης – 2ο εξάμηνο 2001

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η συνολική μηνιαία παραγωγή του Αερ1Χαν πριν τις προσομοιώσεις αλλά και μετά τα σενάρια μελέτης. Σε σχέση με την αρχική λειτουργία του Αερ1Χαν το δεύτερο εξάμηνο του 2001, η μείωση που επήλθε στην παραγωγή του αντιστοιχεί σε:

- 12,6% στην πρώτη οικονομική κατανομή.
- 49,4% στη δεύτερη οικονομική κατανομή.
- 58,5% με την αλλαγή ένταξης μονάδων.
- 63,4% αν συνυπολογιστούν και οι ώρες που έσβησε ο Αερ1Χαν στην εφαρμογή σε επίπεδο εικοσαλέπτων.

Πίνακας 5.38 – Μηνιαία παραγωγή Αερ1Χαν για όλα τα σενάρια μελέτης

Σενάρια Μελέτης Μήνες	Παραγωγή Αερ1Χαν (MWh)			
	Πριν τις προσομοιώσεις	Πρώτη Οικονομική Κατανομή	Δεύτερη Οικονομική Κατανομή	Αλλαγή ένταξης μονάδων
Ιούλιος	445,022	317,965	188,455	116,455
Αύγουστος	671,196	552,754	335,038	251,038
Σεπτέμβριος	201,213	166,036	103,914	85,914
Οκτώβριος	106,669	106,669	43,607	37,621
Νοέμβριος	72,952	72,952	54,555	54,570
Δεκέμβριος	1049,160	1009,239	563,979	509,993
Β' Εξάμηνο 2001	2546,212	2225,615	1289,549	1055,593

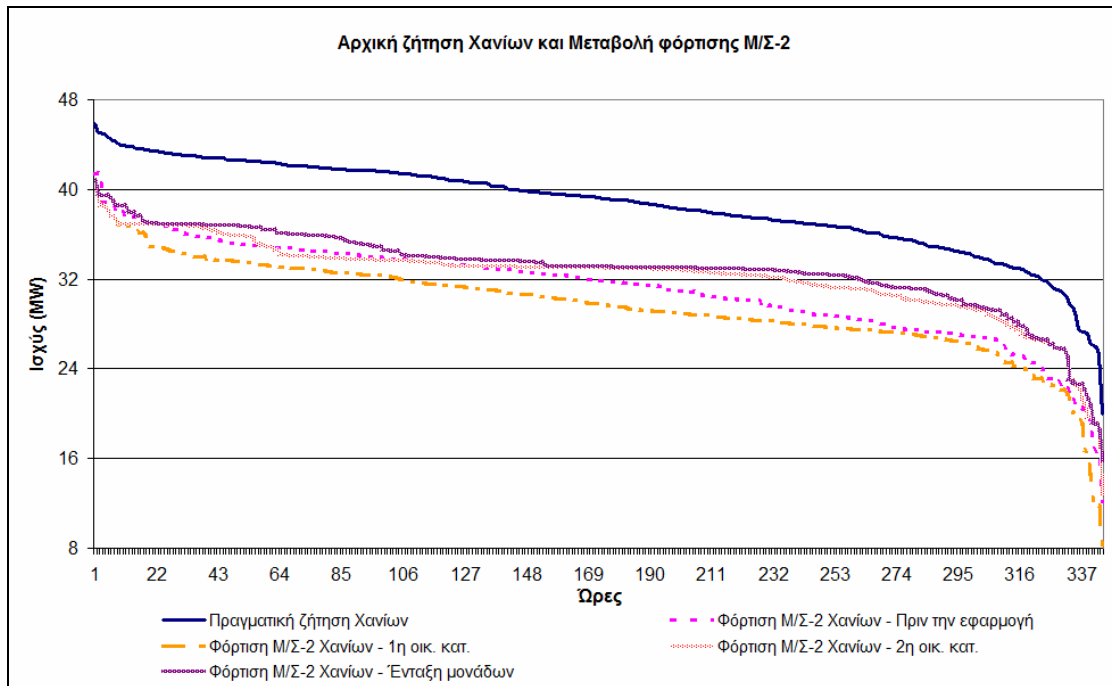
5.5 Επίδραση στον υποσταθμό Χανίων

Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται η μεταβολή που παρουσιάστηκε στη ζήτηση του Υ/Σ Χανίων μετά την εφαρμογή. Για τις επίμαχες ώρες που μελετήθηκαν, πριν την εφαρμογή η πραγματική ζήτηση των Χανίων, που είναι αυτή που καταγράφεται στους μετρητές των σπιτιών, έφτασε μέχρι 45,9MW κάποια ώρα. Η πραγματική ζήτηση αναφέρεται στο φορτίο του Μ/Σ-2 πριν την εφαρμογή αυξημένο κατά το αρχικό φορτίο του Αερ1Χαν. Λόγω της λειτουργίας των τοπικών μονάδων όμως, η τελική φόρτιση που καταγράφεται στον Μ/Σ-2 φτάνει μέχρι τα 41,4MW.

Μετά την εφαρμογή της πρώτης και δεύτερης οικονομικής κατανομής όπως και της ένταξης μονάδων, η μέγιστη φόρτιση του Μ/Σ-2 είναι ίση με 40,8MW. Αυτό σημαίνει πως σε όλες τις περιπτώσεις μελέτης η μέγιστη φόρτιση του διακόπτη είναι μικρότερη από την αρχική της ΔΕΗ. Η συνολική ζήτηση του Μ/Σ-2 μόνο στην πρώτη οικονομική κατανομή μειώνεται, λόγω της φύσης της επίλυσης του προβλήματος με μείωση της παραγωγής των μονάδων. Στις άλλες δύο περιπτώσεις η συνολική ζήτηση του Μ/Σ-2, για την εξεταζόμενη περίοδο ωρών, αυξάνεται σε σχέση με την αρχική κατά 3,7% στην δεύτερη οικονομική κατανομή και κατά 5,8% στην ένταξη μονάδων. Η αύξηση της συνολικής ζήτησης του διακόπτη σε συνδυασμό με τη μείωση της μέγιστης ζήτησης που παρατηρείται έχει σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση του συντελεστή φορτίου του Υ/Σ Χανίων.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται γραφικά τα στοιχεία για τη ζήτηση. Άξιο σημείωσης είναι πως στη δεύτερη οικονομική κατανομή υπήρχαν περιπτώσεις που η φόρτιση του Μ/Σ-2 αυξήθηκε σε σχέση με το αρχικό. Η φόρτιση του Μ/Σ παρόλα αυτά δεν έφτασε ποτέ πάνω από τα 37MW ενώ ξεπέρασε τα 36MW μόνο για 36

ώρες. Αυτή η αύξηση ήταν αναμενόμενη και δεν επηρέασε αρνητικά τα αποτελέσματα.



Εικόνα 5.18 – Αρχική ζήτηση και μεταβολή φόρτισης του Μ/Σ-2 Χανίων για όλα τα σενάρια εφαρμογής τις ώρες που λειτουργεί ο Αερ1Χαν

5.6 Επίδραση στη λειτουργία των σταθμών παραγωγής

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η συμπεριφορά των σταθμών παραγωγής ενέργειας σε κάθε σενάριο της εφαρμογής. Γενικά παρατηρείται περισσότερη μείωση παραγωγής στα Χανιά, που είναι και το ζητούμενο. Η αντίδραση των σταθμών στην εφαρμογή παρουσιάζεται παρακάτω ανά σενάριο μελέτης.

5.6.1 Επίδραση λόγω πρώτης οικονομικής κατανομής

Πίνακας 5.39 – Ποσοστό μείωσης παραγωγής σταθμών για τα τρία σενάρια, 1^η οικονομική κατανομή

Σενάριο εφαρμογής	Μείωση παραγωγής σταθμού	
	Λινοπεράματα	Χανιά
Χανιά χωρίς περιορισμό	0,3%	1,1%
Χανιά με περιορισμό	0,8%	0,6%
Ιεράπετρα	0,9%	0,7%

Φαίνεται πως όταν τα φωτοβολταϊκά βρίσκονται στην περιοχή του Υ/Σ των Χανίων παρατηρείται η μεγαλύτερη μείωση του σταθμού παραγωγής στα Χανιά. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να μειώσει τη λειτουργία του ο Αερ1Χαν αφού βρίσκεται στην ίδια περιοχή με τα φωτοβολταϊκά και έχει προτεραιότητα στη μείωση της παραγωγής του εξαιτίας του ακριβού κόστους λειτουργίας του. Όταν τα φωτοβολταϊκά βρίσκονται εκτός περιοχής του Υ/Σ Χανίων, τότε δεν επηρεάζεται ο Αερ1Χαν η μείωση στους

δύο σταθμούς είναι πιο ομοιόμορφη με τη μεγαλύτερη να παρατηρείται στα Λινοπεράματα.

5.6.2 Επίδραση λόγω δεύτερης οικονομικής κατανομής

Πίνακας 5.40 - Ποσοστό μείωσης παραγωγής σταθμών για τα τρία σενάρια, 2^η οικονομική κατανομή

Σενάριο εφαρμογής	Μείωση παραγωγής σταθμού	
	Λινοπεράματα	Χανιά
Χανιά χωρίς περιορισμό	-1,5%	2,6%
Χανιά με περιορισμό	-0,6%	1,8%
Ιεράπετρα	-0,5%	1,8%

Στην περίπτωση της δεύτερης οικονομικής κατανομής που επιτρέπονται αυξομειώσεις στις παραγωγές των μονάδων παρατηρείται αρκετή μείωση στο σταθμό των Χανίων και αύξηση των Λινοπεραμάτων. Αυτό συμβαίνει διότι στα Λινοπεράματα βρίσκονται μονάδες βάσης που λειτουργούν με μαζούτ. Αυτές επωμίζονται περισσότερη παραγωγή αφού έχουν φθηνότερο κόστος λειτουργίας. Η περίπτωση των φωτοβολταϊκών στα Χανιά εξακολουθεί να δίνει τη μεγαλύτερη μείωση παραγωγής στο σταθμό των Χανίων.

5.6.3 Επίδραση λόγω αλλαγής ένταξης μονάδων (ώρες)

Πίνακας 5.41 - Ποσοστό μείωσης παραγωγής σταθμών,
Ένταξη μονάδων

Μείωση παραγωγής σταθμού	
Λινοπεράματα	Χανιά
-1,9%	2,9%

Με την αλλαγή του προγράμματος ένταξης μονάδων πετυχαίνεται η σβέση του Αερ1Χαν αρκετές ώρες και βελτιστοποιούνται τα αποτελέσματα της δεύτερης οικονομικής κατανομής. Η σβέση του Αερ1Χαν και η εκκίνηση των Αερ1Λιν και Αερ2Λιν για την κάλυψη του φορτίου προκαλεί μια μείωση της παραγωγής στο σταθμό των Χανίων και αντίστοιχη αύξηση στις Λινοπεραμάτων.

5.6.4 Επίδραση λόγω αποφυγής εκκίνησης μονάδας (εικοσάλεπτα)

Πίνακας 5.42 - Ποσοστό μείωσης παραγωγής σταθμού,
Ένταξη μονάδων σε επίπεδο εικοσαλέπτου

Μείωση παραγωγής σταθμού	
Λινοπεράματα	Χανιά
-2%	3%

Τελικά, με την αλλαγή του προγράμματος στην ένταξη των μονάδων σε επίπεδο εικοσαλέπτου, όπου λαμβάνεται κάποιο ρίσκο με σκοπό την αποφυγή εκκίνησης μονάδας, καταφέραμε να μειώσουμε την παραγωγή του εργοστασίου των Χανίων έως και 3% με την αναγκαία βέβαια αύξηση 2% αυτού στα Λινοπεράματα. Αυτό το ποσοστό αντιστοιχεί σε 1961MWh περίπου μείωση παραγωγής στα Χανιά για το δεύτερο εξάμηνο του 2001.

5.7 Περιβαλλοντικά οφέλη

Τα περιβαλλοντικά οφέλη των φωτοβολταϊκών είναι γνωστά και έγινε αναφορά σε αυτά στο δεύτερο κεφάλαιο. Η εξοικονόμηση των καυσίμων όμως που έχει ως αποτέλεσμα ο αλγόριθμος έρχεται να συνεισφέρει στα οφέλη προς το περιβάλλον. Παρακάτω φαίνεται, για το σενάριο τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στην περιοχή του Υ/Σ Χανίων, πόσες εκπομπές αερίων αποφεύχθηκαν μετά τη χρήση του αλγόριθμου για κάθε διαφορετική εφαρμογή του.

Πίνακας 5.43 - Εκπομπές που απεφεύχθησαν, Χανιά, 1η οικονομική κατανομή

Εκπομπές (tn) Όνομα	Μαζούτ		Diesel		Εκπομπές ανά τύπο και συνολικά
	Μέση εκπομπή (kg/tn)	Τόνοι	Μέση εκπομπή (kg/tn)	Τόνοι	Τόνοι
Σωματίδια	1,86	0,06	1,19	0,257	0,318
SO₂	57,12	1,856	0,8	0,173	2,029
NO_x	11,4	0,37	4,67	1,01	1,38
CO₂	3200	103,99	2445	528,36	632,35

Πίνακας 5.44 - Εκπομπές που απεφεύχθησαν, Χανιά, 2η οικονομική κατανομή

Εκπομπές (tn) Όνομα	Μαζούτ		Diesel		Εκπομπές ανά τύπο και συνολικά
	Μέση εκπομπή (kg/tn)	Τόνοι	Μέση εκπομπή (kg/tn)	Τόνοι	Τόνοι
Σωματίδια	1,86	-0,363	1,19	0,632	0,269
SO₂	57,12	-11,153	0,8	0,425	-10,729
NO_x	11,4	-2,226	4,67	2,479	0,253
CO₂	3200	-624,845	2445	1298,139	673,294

Πίνακας 5.45 - Εκπομπές που απεφεύχθησαν, Χανιά, Αλλαγή ένταξης μονάδων

Εκπομπές (tn) Όνομα	Μαζούτ		Diesel		Εκπομπές ανά τύπο και συνολικά
	Μέση εκπομπή (kg/tn)	Τόνοι	Μέση εκπομπή (kg/tn)	Τόνοι	Τόνοι
Σωματίδια	1,86	-0,358	1,19	0,632	0,274
SO₂	57,12	-10,997	0,8	0,425	-10,573
NO_x	11,4	-2,195	4,67	2,479	0,285
CO₂	3200	-616,106	2445	1298,139	682,033

Πίνακας 5.46 - Εκπομπές που απεφεύχθησαν, Χανιά, Αλλαγή ένταξης μονάδων σε επίπεδο εικοσαλέπτων

Εκπομπές (tn) Όνομα	Μαζούτ		Diesel		Εκπομπές ανά τύπο και συνολικά
	Μέση εκπομπή (kg/tn)	Τόνοι	Μέση εκπομπή (kg/tn)	Τόνοι	Τόνοι
Σωματίδια	1,86	-0,367	1,19	0,646	0,279
SO₂	57,12	-11,276	0,8	0,434	-10,842
NO_x	11,4	-2,25	4,67	2,536	0,286
CO₂	3200	-631,709	2445	1327,802	696,093

Το διοξείδιο του άνθρακα φαίνεται να έχει την περισσότερη μείωση. Αυτό συμβαίνει διότι στην εφαρμογή προτεραιότητα μείωσης παραγωγής έχουν οι ακριβές μονάδες που χρησιμοποιούν diesel πετρέλαιο. Επειδή λοιπόν ο σταθμός παραγωγής των Χανίων αποτελείται κατά κόρον από τέτοιες, το όφελος για την πώλη των Χανίων από περιβαλλοντικής σκοπιάς είναι μεγάλο. Παρ' όλα αυτά, σε όλες της εφαρμογές εκτός της πρώτης οικονομικής κατανομής, η αναγκαία αύξηση των μονάδων βάσης που καταναλώνουν μαζούτ υψηλού θείου και βρίσκονται στο Ηράκλειο αυξάνουν λίγο τα επίπεδα του διοξειδίου του θείου στην περιοχή του Ηρακλείου.

5.8 Ανάλυση ευαισθησίας τιμής καυσίμων

Είναι προφανές ότι τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας εξαρτώνται σημαντικά από τις τιμές που αγοράζει το καύσιμο η ΔΕΗ. Την περίοδο του 2001, οπότε και αναφέρεται η μελέτη, οι τιμές των καυσίμων ήταν αρκετά χαμηλές. Ενδεικτικά, ο αλγόριθμος έτρεξε για τιμές καυσίμων που κατά μέσο όρο αντιστοιχούν για diesel σε 0,3456 €/lt και για μαζούτ 0,1908 €/kg. Παρ' όλα αυτά, αν γίνει μια αναγωγή του σεναρίου σε άλλη περίοδο, που οι ισχύουσες τιμές των καυσίμων είναι πιο ακριβές, τα αποτελέσματα είναι αρκετά διαφορετικά και πιο ωφέλιμα για το διαχειριστή του συστήματος. Παρακάτω παρουσιάζεται η διαφορά που προκύπτει στα κέρδη της εφαρμογής από την αλλαγή στην τιμή αγοράς του καυσίμου για όλα τα σενάρια μελέτης. Οι νέες τιμές με τις οποίες έγιναν οι υπολογισμοί είναι αυτές που ίσχυαν το 2008 και ανέρχονται σε 0,697 €/lt και 0,4072 €/kg για diesel και μαζούτ αντίστοιχα.

Πίνακας 5.47 – Συνολικό κέρδος εφαρμογής (€) για το δεύτερο εξάμηνο του 2001, για κάθε σενάριο μελέτης, με τιμές καυσίμων του 2001

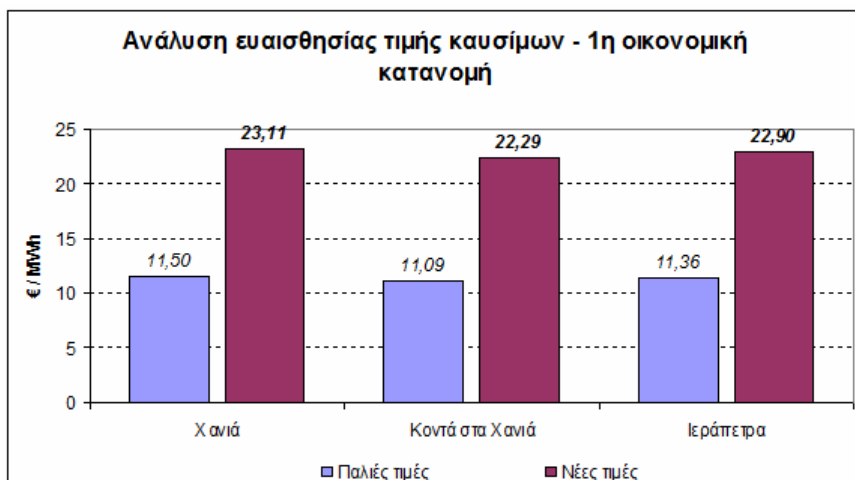
	1 ^η οικονομική κατανομή	2 ^η οικονομική κατανομή	Ένταξη μονάδων (ώρες)	Αποφυγή ένταξης (εικοσάλεπτα)
Χανιά	81.558,91	144.727,59	160.716,70	168.978,70
Κοντά στα Χανιά	78.603,26	97.091,38	-	-
Ιεράπετρα	80.924,86	98.283,00	-	-

Πίνακας 5.48 – Συνολικό κέρδος εφαρμογής (€) για το δεύτερο εξάμηνο του 2001, για κάθε σενάριο μελέτης, με τιμές καυσίμων του 2008

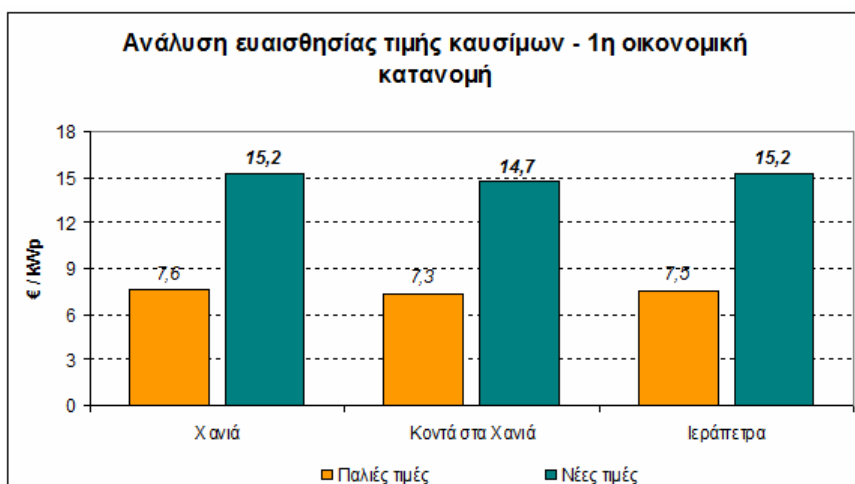
	1 ^η οικονομική κατανομή	2 ^η οικονομική κατανομή	Ένταξη μονάδων (ώρες)	Αποφυγή ένταξης (εικοσάλεπτα)
Χανιά	163.853,2	290.551	297.746,23	306.008,23
Κοντά στα Χανιά	157.981	195.692	-	-
Ιεράπετρα	163.187,3	198.446,3	-	-

Στα επόμενα γραφήματα φαίνεται η αύξηση των κερδών της εφαρμογής ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά και ανά εγκατεστημένο kW φωτοβολταϊκών για το δεύτερο εξάμηνο του 2001. Η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται για το ΣΗΕ Κρήτης με τις νέες τιμές καυσίμων είναι σε διπλάσια επίπεδα από προηγουμένως. Πιο συγκεκριμένα, για το πιο προσοδοφόρο σενάριο, αυτό της ένταξης μονάδων με το ρίσκο αποφυγής εκκίνησης μονάδας, τα κέρδη φαίνεται πως αυξάνονται κατά

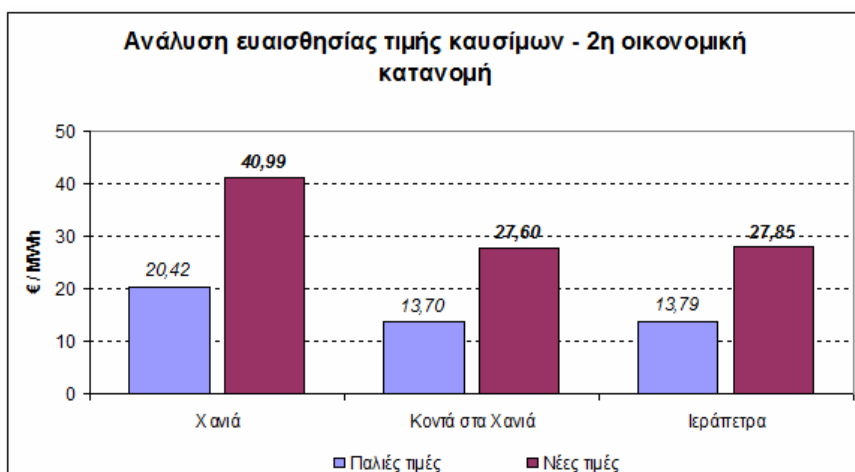
81%. Αντίστοιχη αύξηση παρουσιάζουν πλέον και τα οφέλη των ενδεχόμενων μετακινήσεων της φωτοβολταϊκής παραγωγής σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων.



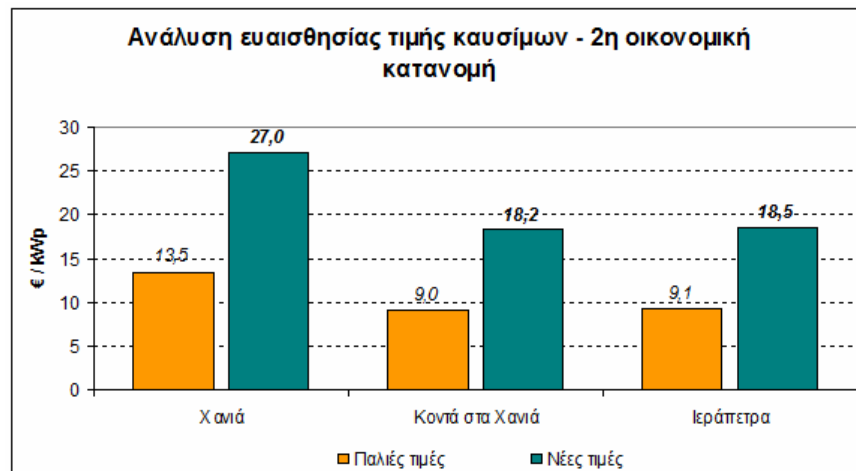
Εικόνα 5.19 – Ανάλυση ευαισθησίας κερδών εφαρμογής ανά παραγόμενη MWh από φ/β, λόγω αύξησης τιμής καυσίμων, πρώτη οικονομική κατανομή



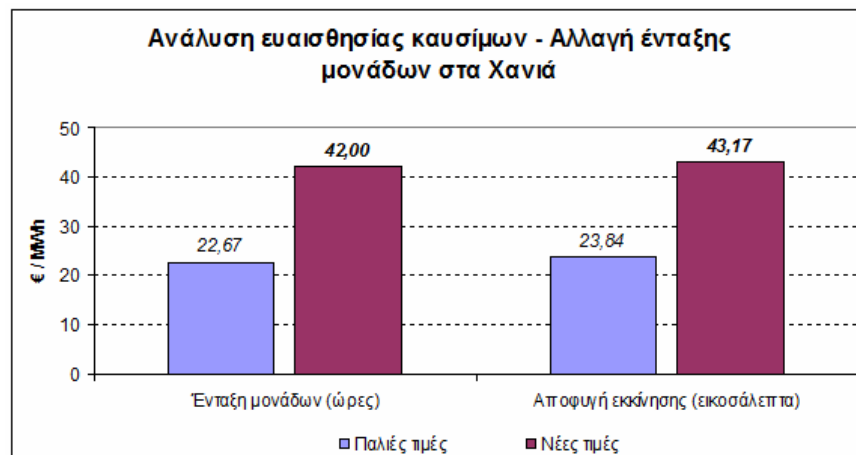
Εικόνα 5.20 - Ανάλυση ευαισθησίας κερδών εφαρμογής ανά εγκατεστημένο kW φ/β, λόγω αύξησης τιμής καυσίμων, πρώτη οικονομική κατανομή



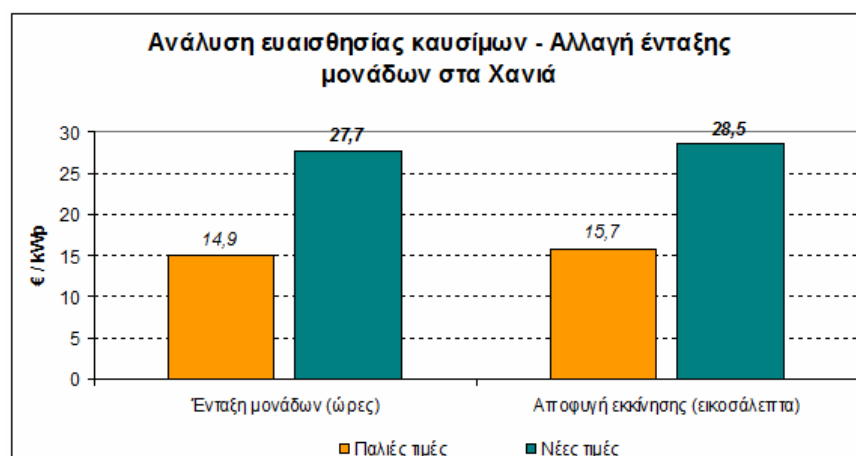
Εικόνα 5.21 – Ανάλυση ευαισθησίας κερδών εφαρμογής ανά παραγόμενη MWh από φ/β, λόγω αύξησης τιμής καυσίμων, δεύτερη οικονομική κατανομή



Εικόνα 5.22 - Ανάλυση ευαισθησίας κερδών εφαρμογής ανά εγκατεστημένο kW φ/β, λόγω αύξησης τιμής καυσίμων, δεύτερη οικονομική κατανομή



Εικόνα 5.23 - Ανάλυση ευαισθησίας κερδών εφαρμογής ανά παραγόμενη MWh από φ/β, λόγω αύξησης τιμής καυσίμων, αλλαγή ένταξης μονάδων στα Χανιά



Εικόνα 5.24 - Ανάλυση ευαισθησίας κερδών εφαρμογής ανά εγκατεστημένο kW φ/β, λόγω αύξησης τιμής καυσίμων, αλλαγή ένταξης μονάδων στα Χανιά

6 Αποτελέσματα χρήσης φωτοβολταϊκών σε συνδυασμό με αποθηκευτική διάταξη

6.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της τελευταίας εφαρμογής του αλγορίθμου. Η τελευταία εφαρμογή είναι στην ουσία μια προσπάθεια βελτίωσης των προηγούμενων αποτελεσμάτων με την εγκατάσταση μιας αποθηκευτικής διάταξης. Τα φωτοβολταϊκά συνεχίζουν να προσφέρουν την παραγωγή τους για την ανακούφιση του Αερ1Χαν, έχοντας τη βοήθεια μιας αποθηκευτικής διάταξης που βρίσκεται στον Υ/Σ Χανίων και προσφέρει στο σύστημα για τον ίδιο σκοπό. Η αποθηκευτική διάταξη έρχεται να συμπληρώσει τα κενά ταυτοχρονισμού των φορτίων του Αερ1Χαν και της παραγωγής των φωτοβολταϊκών. Όπως φαίνεται στην ενότητα 3.5.2.3 (πίνακας 3.21 και 3.22) η συνολική παραγωγή των φωτοβολταϊκών υπερκαλύπτει το συνολικό φορτίο του Αερ1Χαν για το δεύτερο εξάμηνο του 2001, αλλά υστερεί κατά τη διάρκεια των ωρών λειτουργίας του. Στόχος είναι, με την επιπλέον βοήθεια της αποθήκευσης, η όσο το δυνατό περισσότερη ελάφρυνση του Μ/Σ-2 που σε περιόδους αιχμής φορτίου υπερφορτίζεται. Η μελέτη γίνεται σε δύο στάδια. Αρχικά τα φωτοβολταϊκά θεωρείται πως βρίσκονται διασκορπισμένα στο νομό Χανίων και έπειτα πως είναι συγκεντρωμένα σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής για τις διαφορετικές χωροθετήσεις των φωτοβολταϊκών όπως και τα οφέλη που προκύπτουν με την είσοδο της αποθήκευσης.

6.2 Αβεβαιότητα φωτοβολταϊκής παραγωγής και συνεισφορά αποθηκευτικής διάταξης

Στο προηγούμενο κεφάλαιο κατά τη δεύτερη οικονομική κατανομή θεωρήθηκε βέβαιο το 50% της παραγωγής των φωτοβολταϊκών για λόγους αβεβαιότητας, π.χ. λόγω ξαφνικής συννεφιάς. Τα αποτελέσματα όμως είναι διαφορετικά αν θεωρηθεί βέβαια η φωτοβολταϊκή παραγωγή κατά 25% ή 75%. Έγινε λοιπόν μια ανάλυση ευαισθησίας της εφαρμογής στην αλλαγή του ποσοστού της φωτοβολταϊκής παραγωγής που θεωρείται βέβαιη από τους χειριστές του ΣΗΕ Κρήτης. Τα φωτοβολταϊκά θεωρήθηκε πως είναι τοποθετημένα στα Χανιά και οι αλλαγές που έγιναν στον κώδικα της δεύτερης οικονομικής κατανομής έχουν να κάνουν με την εκτιμώμενη ζήτηση του Υ/Σ των Χανίων. Παρακάτω παρουσιάζεται η εξίσωση η οποία αλλάζει για να επιτευχθεί αυτό.

$$Demand(t) = 1,05 * Demand(t) - pos * PVs(t) \quad (6.1)$$

Με τη μεταβλητή *ros* να αντιπροσωπεύει το ποσοστό βεβαιότητας. Οι τιμές που παίρνει είναι 0,25 όταν θεωρείται 25% βέβαιη η φωτοβολταϊκή παραγωγή, 0,5 όταν θεωρείται 50% και 0,75 όταν θεωρείται 75% αντίστοιχα.

Η εξοικονόμηση των καυσίμων της δεύτερης οικονομικής κατανομής, για την περιοχή των Χανίων με διαφορετικές θεωρήσεις βέβαιης φωτοβολταϊκής παραγωγής, δίνεται παρακάτω. Λόγω της διακύμανσης της τιμής των καυσίμων, πρέπει να υπάρχει μια εικόνα της μεταβολής της κατανάλωσης καυσίμου. Με τη θεώρηση του 50% σε σχέση με το 25% έχουμε μείωση του diesel κατά 14 τόνους και αύξηση του μαζούτ κατά 5 τόνους περίπου. Αντίστοιχα με τη θεώρηση του 75% σε σχέση με 50% παρατηρούμε μείωση του diesel κατά 5 τόνους και αύξηση του μαζούτ κατά 2 τόνους περίπου.

Πίνακας 6.1 - Εξοικονόμηση καυσίμου diesel δεύτερης οικονομικής κατανομής στα Χανιά για διαφορετικές θεωρήσεις βεβαιότητας της φωτοβολταϊκής παραγωγής

	25% βέβαια φ/β (lt)	50% βέβαια φ/β (lt)	75% βέβαια φ/β (lt)
Ιούλιος	102057,90	106259,50	108063,20
Αύγουστος	163680,20	170690,60	172223,50
Σεπτέμβριος	44598,20	45926,70	46628,20
Οκτώβριος	21766,45	21766,45	21766,45
Νοέμβριος	11953,83	11953,83	11953,83
Δεκέμβριος	172534,80	174339,20	175599,90
Β' εξάμ. 2001	516591,38	530936,28	536235,08

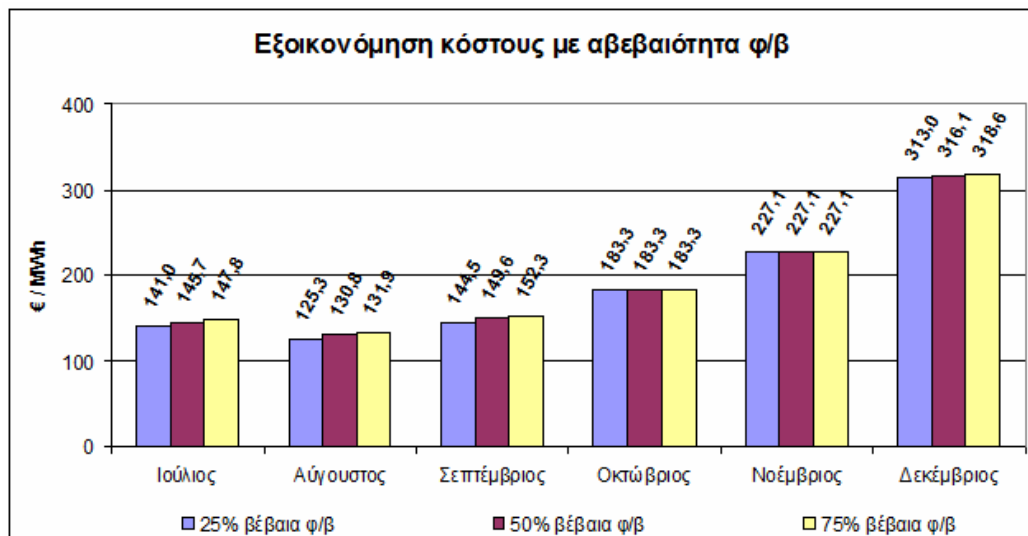
Πίνακας 6.2 - Εξοικονόμηση καυσίμου μαζούτ δεύτερης οικονομικής κατανομής στα Χανιά για διαφορετικές θεωρήσεις βεβαιότητας της φωτοβολταϊκής παραγωγής

	25% βέβαια φ/β (kg)	50% βέβαια φ/β (kg)	75% βέβαια φ/β (kg)
Ιούλιος	-35988,80	-38682,30	-39693,70
Αύγουστος	-47824,90	-49524,50	-50086,30
Σεπτέμβριος	-15621,01	-15747,86	-15800,00
Οκτώβριος	-8721,22	-8721,22	-8721,22
Νοέμβριος	-7464,12	-7464,12	-7464,12
Δεκέμβριος	-74245,50	-75124,10	-75498,00
Β' εξάμ. 2001	-189865,55	-195264,10	-197263,34

Παρακάτω παρουσιάζεται το όφελος που προσφέρει ο αλγόριθμος στο ΣΗΕ Κρήτης για την περίπτωση της δεύτερης οικονομικής κατανομής με διαφορετικές θεωρήσεις βεβαιότητας της φωτοβολταϊκής παραγωγής. Τα φωτοβολταϊκά σε αυτή την περίπτωση θεωρείται πως είναι τοποθετημένα στην περιοχή εξυπηρέτησης του Υ/Σ Χανίων.

Πίνακας 6.3 - Εξοικονόμηση κόστους δεύτερης οικονομικής κατανομής στα Χανιά για διαφορετικές θεωρήσεις βεβαιότητας της φωτοβολταϊκής παραγωγής

	25% βέβαια φ/β (€)	50% βέβαια φ/β (€)	75% βέβαια φ/β (€)
Ιούλιος	30160	31170	31630
Αύγουστος	48510	50650	51090
Σεπτέμβριος	12330	12770	13000
Οκτώβριος	6000	6000	6000
Νοέμβριος	2720	2720	2720
Δεκέμβριος	41010	41430	41750
Β' εξάμ. 2001	140730	144730	146180



Εικόνα 6.1 - Εξοικονόμηση κόστους σε €/MWh δεύτερης οικονομικής κατανομής στα Χανιά με αβεβαιότητα φ/β

Η διαφορά του κέρδους της θεώρησης του 50% από του 25% βέβαιης φωτοβολταϊκής παραγωγής ανέρχεται στις 4.000€ για το δεύτερο εξάμηνο του 2001. Για τις ώρες λειτουργίας του Αερ1Χαν τότε, αυτό το κέρδος αντιστοιχεί σε 4,64 €/MWh. Ανάμεσα στο 75% και το 50% βέβαιης παραγωγής η διαφορά του κέρδους είναι περίπου 1.500€ ή αλλιώς 1,68 €/MWh για τις επίμαχες ώρες.

Θεωρώντας τη φωτοβολταϊκή παραγωγή βέβαιη κατά 50% αντί 25% φαίνεται ότι το σύστημα επωφελείται συνολικά κατά 4.000€. Αυτό σημαίνει πως η ΔΕΗ μπορεί με αυτό το κέρδος να δανειστεί για την αγορά ενός μοντέλου πρόβλεψης φωτοβολταϊκής παραγωγής έως και 30.000€, αν λόγου χάρη το επιτόκιο ανέρχεται στο 8% και τα χρόνια αποπληρωμής είναι τα 12. Μια τέτοια κίνηση δεν θα μπορούσε να γίνει για τη θεώρηση του 75% βέβαιης φωτοβολταϊκής παραγωγής, λόγω κυρίως του χαμηλού κέρδους. Αυτό το κενό πρόβλεψης της φωτοβολταϊκής παραγωγής μπορεί να καλυφθεί εναλλακτικά με τη βοήθεια αποθηκευτικής διάταξης κατάλληλης ισχύος. Το μέγεθός της πρέπει να είναι τουλάχιστον όσο η διαφορά των δύο προβλέψεων φωτοβολταϊκής παραγωγής, δηλαδή 25%. Το 25% της συνολικής φωτοβολταϊκής ισχύος, που ανέρχεται σε 10.752,4kW, αντιστοιχεί σε 2.688,1kW. Τόσο πρέπει να είναι και το ελάχιστο μέγεθος ισχύος της αποθηκευτικής διάταξης για να καλυφθεί το κενό της πρόβλεψης της φωτοβολταϊκής παραγωγής για ποσοστό 75% σε σχέση με το 50%.

Τα ποσά των κερδών αλλάζουν σημαντικά αν οι τιμές καυσίμου με τις οποίες γίνονται οι υπολογισμοί αυξηθούν. Για παράδειγμα, με τιμές που ίσχυαν το 2008 και είναι περίπου διπλάσιες από αυτές του 2001, τα οφέλη για το σύστημα διπλασιάζονται επίσης. Η διαφορά της θεώρησης του 50% αντί για 25% βέβαιης φωτοβολταϊκής παραγωγής ανέρχεται σε 7.800€ περίπου για το δεύτερο εξάμηνο του έτους. Αυτό σημαίνει πως η ΔΕΗ έχει τη δυνατότητα να δανειστεί για την αγορά μοντέλου πρόβλεψης της φωτοβολταϊκής παραγωγής έως και 60.000€. Η διαφορά της θεώρησης του 75% σε σχέση με το 50% βέβαιης φωτοβολταϊκής παραγωγής παραμένει πάλι σε χαμηλά επίπεδα, σε ποσά δηλαδή της τάξης των 2.800€. Με αυτά τα οφέλη το ποσό που μπορεί να δανειστεί η ΔΕΗ για αγορά μοντέλου πρόβλεψης μπορεί να ανέλθει σε μόλις 21.000€.

6.3 Αποτελέσματα εφαρμογής - Χρήση φωτοβολταϊκών σε συνδυασμό με αποθηκευτική διάταξη ισχύος 1MW

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης του σεναρίου επίλυσης του προβλήματος με τη χρήση φωτοβολταϊκών σε συνδυασμό με αποθηκευτική διάταξη. Θεωρήθηκε λοιπόν ότι τοποθετήθηκε στον Υ/Σ των Χανίων μια αποθηκευτική διάταξη για να μπορεί να συνεισφέρει μαζί με τα φωτοβολταϊκά στην ανακούφιση του Υ/Σ σε ώρες αιχμής. Το μέγεθός της ορίστηκε ίσο με 1MW. Η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών έγινε σε περιοχές γύρω από τα Χανιά αλλά και στον Υ/Σ Χανίων και ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε είναι πανομοιότυπος με τη δεύτερη οικονομική κατανομή [4].

Η αλλαγή που έγινε στον κώδικα αναπαριστά την είσοδο της αποθηκευτικής διάταξης. Στην ουσία πραγματοποιείται μια μείωση της απαίτησης του εκτιμώμενου φορτίου των Χανίων, αφού πλέον μπορεί να συμβάλει και η αποθηκευτική διάταξη. Το φορτίο των Χανίων περιγράφεται πλέον από την εξίσωση (6.2) αν τα φωτοβολταϊκά είναι τοποθετημένα σε περιοχές κοντινές των Χανίων και από την (6.3) αν τα φωτοβολταϊκά είναι στην περιοχή του Υ/Σ Χανίων.

$$Demand(t) = 1,05 * Demand(t) - bat_cap \quad (6.2)$$

$$Demand(t) = 1,05 * Demand(t) - pos * PVs(t) - bat_cap \quad (6.3)$$

Όπου *bat_cap* είναι η μεταβλητή που αντιπροσωπεύει τη χωρητικότητα της αποθηκευτικής διάταξης που χρησιμοποιείται. Στην περίπτωση μας, αυτή είναι *bat_cap* = 1MW. Η μελέτη για την αποθήκευση αποτελεί μια βελτίωση της δεύτερης οικονομικής κατανομής, οπότε η μεταβλητή *pos* παίρνει την τιμή 0,5 όπως και προηγούμενως.

Επίσης, δόθηκε από τον αλγόριθμο η ελευθερία στον Αερ1Χαν, τις ώρες που η ζήτηση του Υ/Σ Χανίων είναι υψηλή, να μειώσει τη λειτουργία του κατά 1MW επιπλέον από την αντίστοιχη μείωση της δεύτερης οικονομικής κατανομής, εφ' όσον δεν παραβιάζεται το τεχνικό του ελάχιστο. Αυτή η ισχύς είναι η βοήθεια που προσφέρει η αποθηκευτική διάταξη στον Αερ1Χαν για να ανταπεξέλθει στις ώρες αιχμής και να μην υπερφορτιστεί ο Μ/Σ-2, όπου βρίσκεται.

Οι παρακάτω συγκρίσεις θα δείξουν το όφελος της χρήσης αποθηκευτικής διάταξης στα Χανιά με τα φωτοβολταϊκά να είναι τοποθετημένα στα Χανιά ή σε κοντινές περιοχές. Επίσης θα βρεθεί το όφελος μιας πιθανής συγκέντρωσης των φωτοβολταϊκών σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων από τοποθεσίες διεσπαρμένες στην ευρύτερη περιοχή του νομού.

6.3.1 Αποθηκευτική διάταξη στα Χανιά και φωτοβολταϊκά σε κοντινές περιοχές

Αρχικά, χρησιμοποιώντας μια αποθηκευτική διάταξη ισχύος 1MW στον Υ/Σ Χανίων, γίνεται η μελέτη με τα φωτοβολταϊκά να βρίσκονται σε περιοχές γύρω από τα Χανιά, όπως έγινε αντίστοιχα και στην ενότητα 5.2.2 του προηγούμενου κεφαλαίου. Παρακάτω φαίνεται η εξοικονόμηση που προκύπτει για το σύστημα με αυτό το συνδυασμό όσον αφορά στα καύσιμα και το κόστος.

Πίνακας 6.4 – Εξοικονόμηση diesel, Χανιά με περιορισμό, Μελέτη αποθήκευσης

	Κατανάλωση Diesel πριν (lt)	Κατανάλωση Diesel μετά (lt)	Εξοικονόμηση Diesel (lt)
Ιούλιος	3952979	4020532,4	67553,4
Αύγουστος	7764154,4	7891091,3	126936,9
Σεπτέμβριος	2137090,8	2170810,1	33719,3
Οκτώβριος	679964,78	694773,58	14808,8
Νοέμβριος	787534,7	798128,2	10593,49
Δεκέμβριος	8031398,3	8157954,3	126556,0
Β' εξάμηνο 2001	23353121,99	23733289,88	380167,89

Πίνακας 6.5 – Εξοικονόμηση μαζούτ, Χανιά με περιορισμό, Μελέτη αποθήκευσης

	Κατανάλωση Μαζούτ πριν (kg)	Κατανάλωση Μαζούτ μετά (kg)	Εξοικονόμηση Μαζούτ (kg)
Ιούλιος	2012854,50	2001115,30	-11739,20
Αύγουστος	3712638,9	3690511,2	-22127,70
Σεπτέμβριος	949160,98	940314,79	-8846,19
Οκτώβριος	271331,08	267037,85	-4293,23
Νοέμβριος	365139,90	358880,66	-6259,24
Δεκέμβριος	4602690,5	4543671,3	-59019,20
Β' εξάμηνο 2001	11913815,86	11801531,10	-112284,76

Πίνακας 6.6 – Εξοικονόμηση κόστους, Χανιά με περιορισμό, Μελέτη αποθήκευσης

	Κόστος πριν (€)	Κόστος μετά (€)	Εξοικονόμηση κόστους (€)
Ιούλιος	1829780,70	1852090,40	22309,70
Αύγουστος	3472711	3513261	40550,00
Σεπτέμβριος	920768,55	930670,28	9901,73
Οκτώβριος	298234,96	302648,85	4413,89
Νοέμβριος	336643,60	339117,62	2474,02
Δεκέμβριος	3298496,9	3327794,9	29298,00
Β' εξάμηνο 2001	10156635,71	10265583,05	108947,34

Φαίνεται πως αυτή η προσομοίωση μείωσε την κατανάλωση καυσίμου diesel κατά 380 τόνους ενώ παράλληλα αύξησε την κατανάλωση μαζούτ κατά 112 τόνους περίπου. Συνολικά, με αυτό το συνδυασμό φωτοβολταϊκών και αποθηκευτικής διάταξης το σύστημα ωφελήθηκε κατά 109.000€ περίπου το δεύτερο μισό του 2001.

6.3.2 Αποθηκευτική διάταξη στα Χανιά και φωτοβολταϊκά στα Χανιά

Η δεύτερη περίπτωση μελέτης προβλέπει την αποθηκευτική διάταξη να είναι τοποθετημένη στον Υ/Σ των Χανίων και τα φωτοβολταϊκά σε περιοχές εξυπηρέτησης του ίδιου Υ/Σ. Αντίστοιχα με την ενότητα 5.2.1, πιο κάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αυτής που αντιπροσωπεύουν την εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται για το ΣΗΕ Κρήτης.

Πίνακας 6.7 - Εξοικονόμηση diesel, Χανιά χωρίς περιορισμό, Μελέτη αποθήκευσης

	Κατανάλωση Diesel πριν (lt)	Κατανάλωση Diesel μετά (lt)	Εξοικονόμηση Diesel (lt)
Ιούλιος	3911055,90	4020532,40	109476,50
Αύγουστος	7716261,9	7891091,3	174829,40
Σεπτέμβριος	2123291,70	2170810,10	47518,40
Οκτώβριος	673007,13	694773,58	21766,45
Νοέμβριος	785444,01	798118,32	12674,31
Δεκέμβριος	7971162,20	8157954,30	186792,10
Β' εξάμηνο 2001	23180222,84	23733280,00	553057,16

Πίνακας 6.8 - Εξοικονόμηση μαζούτ, Χανιά χωρίς περιορισμό, Μελέτη αποθήκευσης

	Κατανάλωση Μαζούτ πριν (kg)	Κατανάλωση Μαζούτ μετά (kg)	Εξοικονόμηση Μαζούτ (kg)
Ιούλιος	2041629,40	2001115,30	-40514,10
Αύγουστος	3741649,1	3690511,2	-51137,90
Σεπτέμβριος	956465,96	940314,79	-16151,17
Οκτώβριος	275759,07	267037,85	-8721,22
Νοέμβριος	366775,59	358880,66	-7894,93
Δεκέμβριος	4622110,80	4543671,30	-78439,50
Β' εξάμηνο 2001	12004389,92	11801531,10	-202858,82

Πίνακας 6.9 - Εξοικονόμηση κόστους, Χανιά χωρίς περιορισμό, Μελέτη αποθήκευσης

	Κόστος πριν (€)	Κόστος μετά (€)	Εξοικονόμηση κόστους (€)
Ιούλιος	1820108,80	1852090,40	31981,60
Αύγουστος	3461459,3	3513261	51801,70
Σεπτέμβριος	917432,02	930670,28	13238,26
Οκτώβριος	296653,00	302648,85	5995,85
Νοέμβριος	336228,97	339114,24	2885,27
Δεκέμβριος	3283057,40	3327794,90	44737,50
Β' εξάμηνο 2001	10114939,49	10265579,67	150640,18

Με την τοποθέτηση αποθηκευτικής διάταξης και φωτοβολταϊκών στον Υ/Σ των Χανίων πετυχαίνεται μείωση στην κατανάλωση diesel κατά 553 τόνους και αύξηση μαζούτ κατά 203 τόνους περίπου. Αυτές οι ποσότητες μεταφρασμένες σε οικονομικά μεγέθη ανέρχονται σε εξοικονόμηση για το σύστημα σχεδόν 151.000€ για το δεύτερο εξάμηνο του 2001.

6.3.3 Όφελος αποθήκευσης

Το όφελος της χρήσης μιας αποθηκευτικής διάταξης στο σενάριο μελέτης αυτής της εργασίας θα προκύψει παρακάτω από μια σύγκριση της προσομοίωσης της δεύτερης οικονομικής κατανομής και της αποθήκευσης. Έτσι θα φανεί τι όφελος έχει η ΔΕΗ να τοποθετήσει αποθηκευτική διάταξη ισχύος 1MW στα Χανιά συνυπολογίζοντας τα φωτοβολταϊκά και στις δύο χωροθετήσεις τους στο νομό Χανίων. Επίσης, θα δειχθεί κατά πόσο συμφέρει να μεταφερθεί όλη η φωτοβολταϊκή ισχύς σε περιοχές εξυπηρέτησης του Υ/Σ Χανίων με αποτέλεσμα να προσφέρεται βέλτιστη ανακούφιση στον Υ/Σ από τα φωτοβολταϊκά σε συνδυασμό με αποθήκευση.

6.3.3.1 Όφελος αποθηκευτικής διάταξης - φωτοβολταϊκά σε κοντινές περιοχές των Χανίων

Σε αυτό το σημείο γίνεται μια σύγκριση της δεύτερης οικονομικής κατανομής για περιοχές κοντινές στα Χανιά πριν και μετά τη χρήση αποθηκευτικής διάταξης. Στον πίνακα 5.21 του προηγούμενου κεφαλαίου φαίνεται το όφελος για το ΣΗΕ Κρήτης της προσομοίωσης της δεύτερης οικονομικής κατανομής με τα φωτοβολταϊκά να βρίσκονται σε περιοχές των Χανίων αλλά εκτός επιρροής του Υ/Σ Χανίων. Η σύγκριση γίνεται με τα αποτελέσματα της αποθήκευσης του πίνακα 6.4. Παρακάτω φαίνεται η αξία χρήσης αποθηκευτικής διάταξης για το σενάριο αυτό.

Πίνακας 6.10 – Όφελος αποθηκευτικής διάταξης, Χανιά με περιορισμό

Μήνες Όφελος	Όφελος Diesel (lt)	Όφελος Μαζούτ (kg)	Οικονομικό όφελος (€)
Ιούλιος	11181,70	-7954,60	2525,40
Αύγουστος	17923,40	-14029,00	3589,40
Σεπτέμβριος	5025,20	-3408,76	1069,72
Οκτώβριος	304,83	-352,96	36,88
Νοέμβριος	1066,13	-579,01	258,36
Δεκέμβριος	20120,50	-11017,70	4376,20
Β' εξάμ. 2001	55621,76	-37342,03	11855,96

Η τοποθέτηση αποθηκευτικής διάταξης στον Υ/Σ Χανίων συνδυασμένη με μια διεσπαρμένη χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών στο νομό Χανίων δίνει ένα όφελος της τάξης των 12.000€ περίπου για το δεύτερο εξάμηνο του 2001. Αυτό αντιστοιχεί σε 13,75 €/MWh από φωτοβολταϊκά επιπλέον σε σχέση με την προσομοίωση χωρίς τη χρήση αποθήκευσης ενέργειας για τις ώρες λειτουργίας του Αερ1Χαν. Όσον αφορά την αποθηκευτική διάταξη, το όφελος που προσδίδει σε αυτό το σενάριο μελέτης είναι της τάξης των 11,8€ ανά εγκατεστημένο kW αποθήκευσης ενέργειας. Αυτό είναι το μέγιστο χρηματικό ποσό ανά έτος που μπορεί να διαθέσει η ΔΕΗ για την τοποθέτηση αποθηκευτικής διάταξης σε αυτό το σενάριο.

6.3.3.2 Όφελος αποθηκευτικής διάταξης - φωτοβολταϊκά στα Χανιά

Παρόμοια σύγκριση γίνεται και για την περίπτωση που τα φωτοβολταϊκά βρίσκονται σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων. Τα αποτελέσματα που συγκρίνονται προέρχονται από τους πίνακες 5.18 και 6.7. Οι δύο πίνακες αντιπροσωπεύουν το κέρδος για το ΣΗΕ Κρήτης όταν τα φωτοβολταϊκά είναι σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων πριν και μετά την αποθήκευση αντίστοιχα.

Πίνακας 6.11 – Όφελος αποθηκευτικής διάταξης, Χανιά χωρίς περιορισμό

Μήνες Όφελος	Όφελος Diesel (lt)	Όφελος Μαζούτ (kg)	Οικονομικό όφελος (€)
Ιούλιος	3217,00	-1831,80	815,20
Αύγουστος	4138,80	-1613,40	1147,40
Σεπτέμβριος	1591,70	-403,31	470,17
Οκτώβριος	0,00	0,00	0,00
Νοέμβριος	720,48	-430,81	167,32
Δεκέμβριος	12452,90	-3315,40	3312,50
Β' εξάμ. 2001	22120,88	-7594,72	5912,59

Η εξοικονόμηση κόστους σε σχέση με πριν τη χρήση αποθήκευσης αυξάνεται κατά 6.000€ περίπου το δεύτερο εξάμηνο του 2001. Αυτό αντιστοιχεί σε 6,9€/MWh από φωτοβολταϊκά για εκείνες τις ώρες που λειτουργεί ο Αερ1Χαν το δεύτερο εξάμηνο του 2001. Το όφελος που προσδίδει η αποθήκευση σε αυτό το σενάριο μελέτης είναι της τάξης των 5,9€ ανά εγκατεστημένο kW αποθηκευτικής διάταξης. Με άλλα λόγια η ΔΕΗ μπορεί να διαθέσει κάθε χρόνο μέχρι 5,9 €/kW για την εγκατάσταση αποθηκευτικής διάταξης σε αυτό το σενάριο μελέτης. Τα πιθανά οφέλη της αποθηκευτικής διάταξης για το διαχειριστή είναι περισσότερα από αυτά της εφαρμογής, όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 1.

6.3.3.3 Όφελος μετακίνησης φωτοβολταϊκών από κοντινές περιοχές προς τον Υ/Σ Χανίων με συνθήκες αποθήκευσης

Τέλος, παρακάτω φαίνεται η διαφορά που έχουν οι δύο προσομοιώσεις της αποθήκευσης, μια με τη θεώρηση πως τα φωτοβολταϊκά βρίσκονται σε περιοχές κοντινές των Χανίων και μια με τη θεώρηση πως βρίσκονται σε περιοχές που εξυπηρετεί ο Υ/Σ Χανίων. Αυτή η διαφορά δείχνει το όφελος που προκύπτει για το διαχειριστή σε μια πιθανή μετακίνηση όλης της φωτοβολταϊκής παραγωγής στην περιοχή των Χανίων, δεδομένης της ύπαρξης αποθηκευτικής διάταξης.

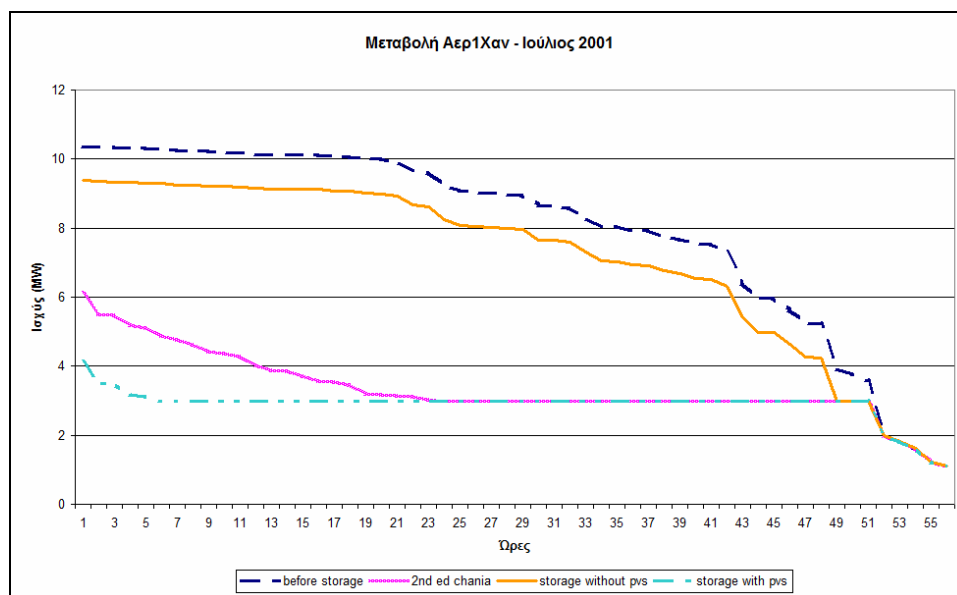
Πίνακας 6.12 – Όφελος τοποθέτησης φ/β στα Χανιά έναντι περιοχών με όμοια ηλιοφάνεια
Μελέτη αποθήκευσης

Όφελος Μήνες	Όφελος Diesel (lt)	Όφελος Μαζούτ (kg)	Οικονομικό όφελος (€)
Ιούλιος	41923,10	-28774,90	9671,90
Αύγουστος	47892,50	-29010,20	11251,70
Σεπτέμβριος	13799,10	-7304,98	3336,53
Οκτώβριος	6957,65	-4427,99	1581,96
Νοέμβριος	2080,82	-1635,69	411,25
Δεκέμβριος	60236,10	-19420,30	15439,50
Β' εξάμ. 2001	172889,27	-90574,06	41692,84

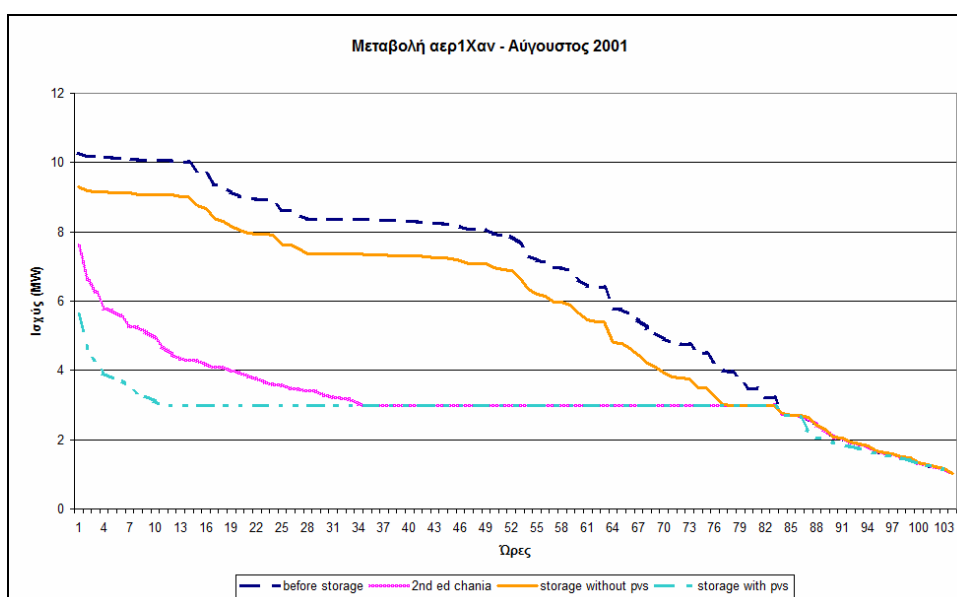
Παρατηρείται πως η διαφορά ανέρχεται σε 41.600€ περίπου για το δεύτερο εξάμηνο του 2001. Αυτό είναι το μέγιστο ποσό που κερδίζει η ΔΕΗ σε αυτό το διάστημα αν η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών γίνει πιο συγκεντρωμένα σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων κι όχι διεσπαρμένα στο νομό. Το παραπάνω όφελος αντιστοιχεί σε 3,9€ ανά παραγόμενη MWh από το σύνολο των φωτοβολταϊκών και σε 48,4€ ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά εκείνες τις ώρες που λειτουργεί ο Αερ1Χαν. Σαν αποτέλεσμα, η ΔΕΗ μπορεί να χρησιμοποιήσει τα φωτοβολταϊκά σε συνδυασμό με αποθηκευτική διάταξη ισχύος 1MW για την ανακούφιση του Υ/Σ των Χανίων. Για να το πετύχει αυτό, σύμφωνα με την παραπάνω προσομοίωση, φαίνεται πως έχει την ευχέρεια να δώσει κίνητρο στους ιδιοκτήτες φωτοβολταϊκών πάρκων για την εγκατάστασή τους σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων μέχρι και 3,9€/MWh επιπλέον. Στη μελέτη της δεύτερης οικονομικής κατανομής το αντίστοιχο όφελος εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών στα Χανιά έναντι κοντινών περιοχών ανερχόταν σε 6,7€/MWh, όπως φαίνεται στον πίνακα 5.25. Αυτό σημαίνει πως ακόμα και με τη χρήση αποθήκευσης πιο ωφέλιμο είναι να μεταφερθούν τα φωτοβολταϊκά σε περιοχές που εξυπηρετεί ο Υ/Σ Χανίων. Παρ' όλα αυτά, στην παρούσα προσομοίωση παίζει ρόλο και η προσφορά της αποθηκευτικής διάταξης στην εξυπηρέτηση του φορτίου των Χανίων και γι' αυτό το όφελος της μετακίνησης είναι κατά 2,8€/MWh μικρότερο από πριν.

6.3.4 Μεταβολή της λειτουργίας του αεριοστρόβιλου 1 Χανίων

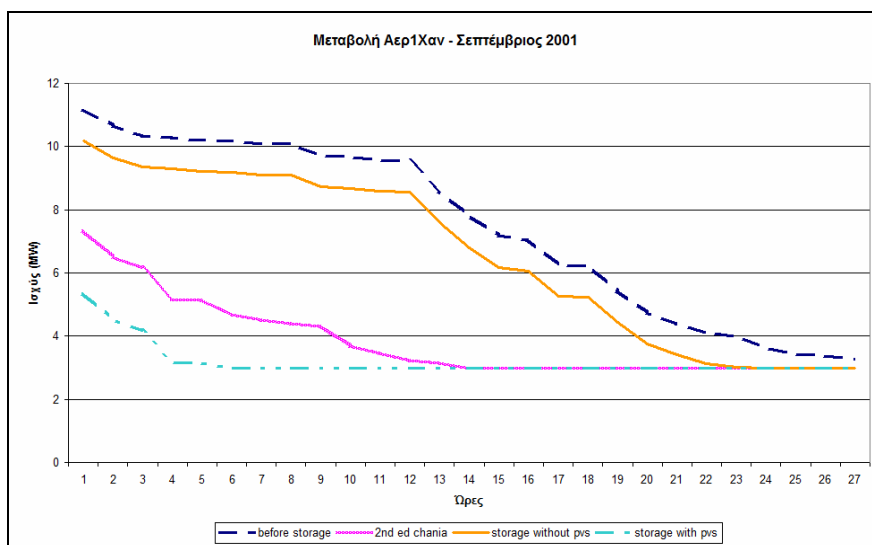
Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζονται οι καμπύλες διάρκειας φορτίου του Αερ1Χαν για τα σενάρια μελέτης της αποθήκευσης. Φαίνεται πως στο πρώτο σενάριο, που τα φωτοβολταϊκά δεν βρίσκονται σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων ώστε να μπορούν να βοηθήσουν τον Αερ1Χαν, η μείωση στην παραγωγή του προέρχεται μόνο από την αποθηκευτική διάταξη ισχύος 1MW. Αντιθέτως, στο δεύτερο σενάριο που φωτοβολταϊκά και αποθήκευση υποβοηθούν τη λειτουργία του Αερ1Χαν στις περιόδους αιχμής, παρατηρείται μεγάλη μείωση της παραγωγής του. Επίσης, γίνεται αντιπαραβολή της λειτουργίας που ακολούθησε ο Αερ1Χαν σύμφωνα με την δεύτερη οικονομική κατανομή στα Χανιά, όπου και βασίστηκε η προσομοίωση της αποθήκευσης. Ακολουθεί πίνακας με τη συνολική παραγωγή του επίμαχου αεριοστρόβιλου.



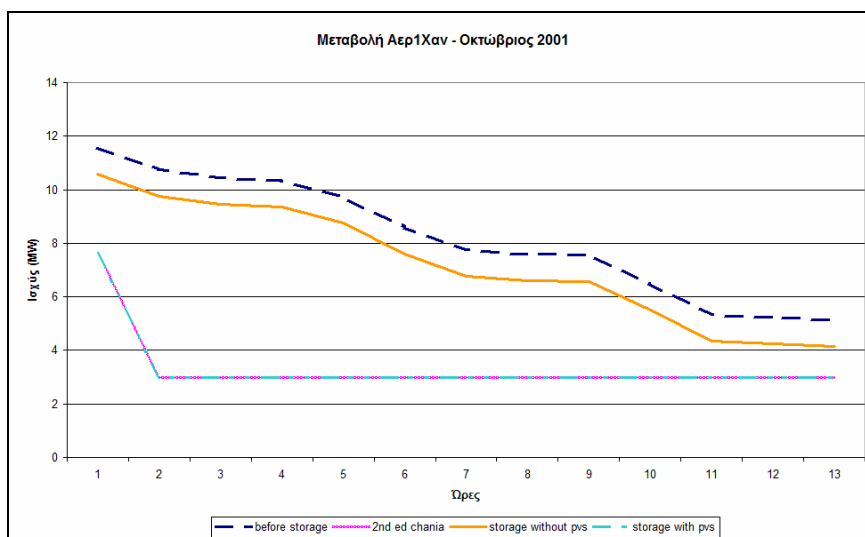
Εικόνα 6.2 - Καμπύλη παραγωγής Αερ1Χαν σύμφωνα με τα σενάρια μελέτης αποθήκευσης Ιούλιος 2001



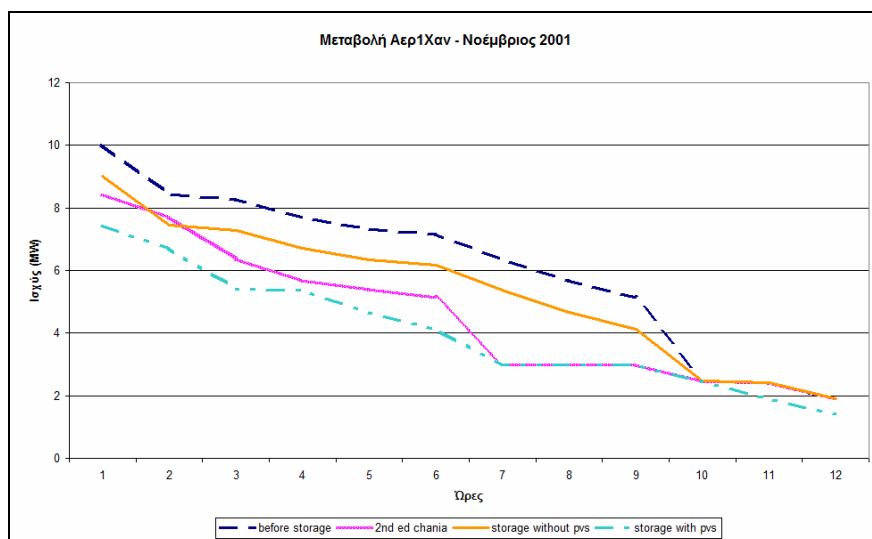
Εικόνα 6.3 - Καμπύλη παραγωγής Αερ1Χαν σύμφωνα με τα σενάρια μελέτης αποθήκευσης Αύγουστος 2001



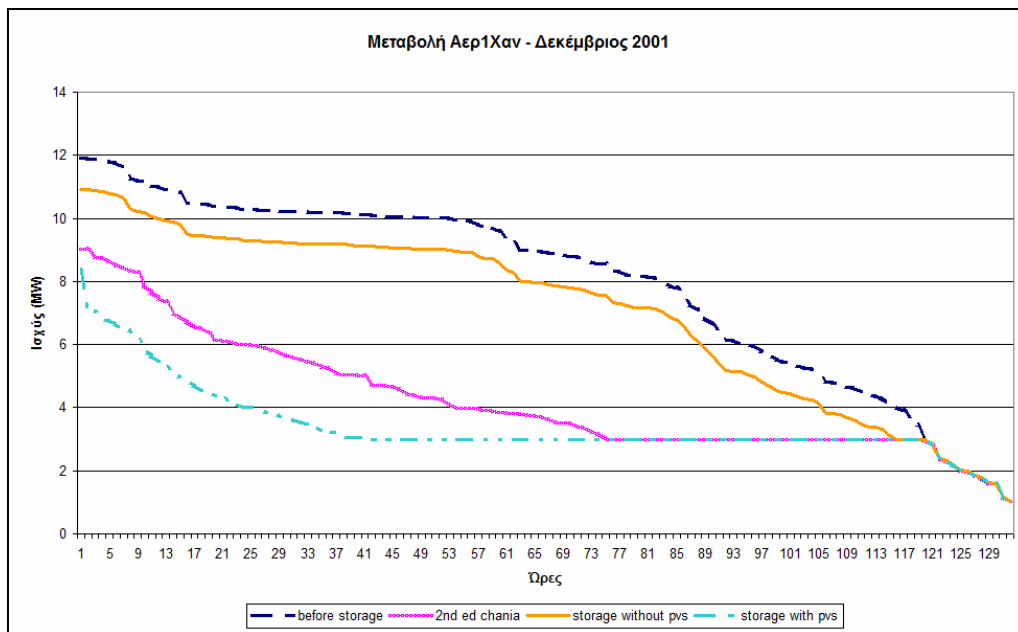
Εικόνα 6.4 - Καμπύλη παραγωγής Αερ1Χαν σύμφωνα με τα σενάρια μελέτης αποθήκευσης Σεπτέμβριος 2001



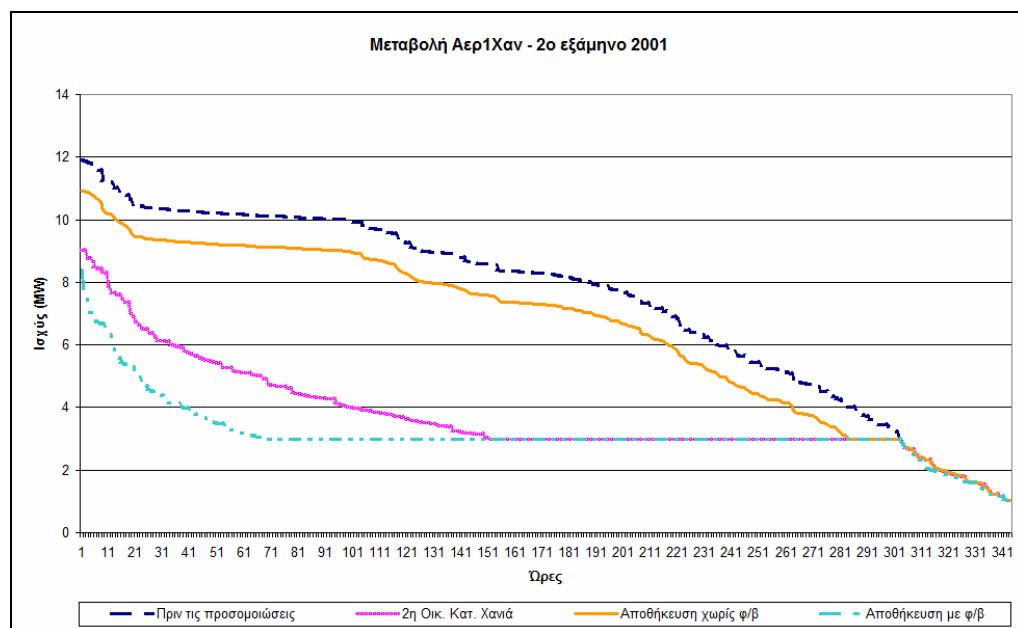
Εικόνα 6.5 - Καμπύλη παραγωγής Αερ1Χαν σύμφωνα με τα σενάρια μελέτης αποθήκευσης Οκτώβριος 2001



Εικόνα 6.6 - Καμπύλη παραγωγής Αερ1Χαν σύμφωνα με τα σενάρια μελέτης αποθήκευσης Νοέμβριος 2001



Εικόνα 6.7 - Καμπύλη παραγωγής Αερ1Χαν σύμφωνα με τα σενάρια μελέτης αποθήκευσης Δεκεμβρίου 2001



Εικόνα 6.8 - Καμπύλη παραγωγής Αερ1Χαν πριν και μετά τα σενάρια μελέτης αποθήκευσης Αντιπαράθεση με τη 2^η οικονομική κατανομή στα Χανιά 2^ο εξάμηνο 2001

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η συνολική μηνιαία παραγωγή του Αερ1Χαν πριν τις προσομοιώσεις αλλά και μετά τα σενάρια μελέτης για την αποθήκευση. Σε σχέση με την αρχική λειτουργία του Αερ1Χαν το δεύτερο εξάμηνο του 2001, η μείωση που επήλθε στην παραγωγή του αντιστοιχεί σε:

- 11,6% στην περίπτωση με την αποθηκευτική διάταξη να είναι τοποθετημένη στα Χανιά και τα φωτοβολταϊκά διασκορπισμένα σε κοντινές περιοχές.
- 57,2% στην περίπτωση με την αποθηκευτική διάταξη να είναι τοποθετημένη στα Χανιά και τα φωτοβολταϊκά στα Χανιά εξίσου.

Πίνακας 6.13 – Μηνιαία παραγωγή Αερ1Χαν για όλα τα σενάρια μελέτης αποθήκευσης

Μήνες \ Σενάρια μελέτης	Παραγωγή Αερ1Χαν (MWh)		
	Πριν τις προσομοιώσεις	Αποθήκευση με φ/β εκτός Χανίων	Αποθήκευση με φ/β εντός Χανίων
Ιούλιος	445,022	394,743	163,204
Αύγουστος	671,196	591,147	295,363
Σεπτέμβριος	201,213	176,477	86,369
Οκτώβριος	106,669	93,669	43,607
Νοέμβριος	72,952	63,952	48,555
Δεκέμβριος	1049,160	931,285	452,978
Β' Εξάμηνο 2001	2546,212	2251,273	1090,075

Αξίζει να γίνει σύγκριση ανάμεσα στη δεύτερη οικονομική κατανομή για την περιοχή των Χανίων, που ήταν η αφετηρία των προσομοιώσεων για την αποθήκευση, και του καλύτερου σεναρίου αποθήκευσης, που είναι αυτό με μια αποθηκευτική διάταξη ισχύος 1MW τοποθετημένη σε περιοχή του Υ/Σ Χανίων και όλη τη διαθέσιμη φωτοβολταϊκή ισχύ στην ίδια περιοχή. Σε σχέση με τη δεύτερη οικονομική κατανομή, η μελέτη της αποθήκευσης έχει μειώσει την παραγωγή του Αερ1Χαν, που είναι και το ζητούμενο, κατά 15,5% ή αλλιώς περίπου 200 MWh για το δεύτερο εξάμηνο του 2001.

Πίνακας 6.14 – Μείωση παραγωγής Αερ1Χαν, σύγκριση 2^{ης} οικονομικής κατανομής με προσομοίωση αποθήκευσης και φωτοβολταϊκών στα Χανιά

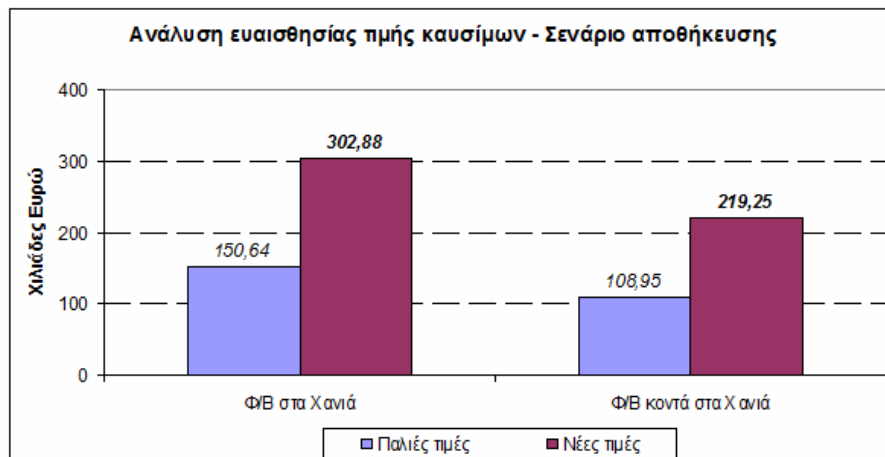
Μήνες \ Σενάρια μελέτης	Παραγωγή Αερ1Χαν (MWh)	
	2 ^η οικονομική κατανομή Χανιά	Αποθήκευση με φ/β εντός Χανίων
Ιούλιος	188,455	163,204
Αύγουστος	335,038	295,363
Σεπτέμβριος	103,914	86,369
Οκτώβριος	43,607	43,607
Νοέμβριος	54,555	48,555
Δεκέμβριος	563,979	452,978
Β' Εξάμηνο 2001	1289,549	1090,075

6.4 Ανάλυση ευαισθησίας τιμής καυσίμων

Παρόμοια με την ενότητα 5.8, σε αυτό το σημείο γίνεται μια ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων της εφαρμογής σε μια πιθανή αύξηση της τιμής του καυσίμου. Υπενθυμίζεται πως για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές καυσίμων που ίσχυαν το 2001, οι οποίες είναι 0,3456 €/lt και 0,1908 €/kg για diesel και μαζούτ αντίστοιχα. Οι αυξημένες τιμές με τις οποίες γίνεται η σύγκριση είναι οι ισχύουσες το 2008 και ανέρχονται σε 0,697 €/lt και 0,4072 €/kg για diesel και μαζούτ αντίστοιχα. Παρακάτω φαίνεται σε μορφή πινάκων και γραφημάτων η διαφορά που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα, σε χρηματικές μονάδες για την περίοδο του δεύτερου εξαμήνου του 2001, μετά από αυτή την αλλαγή.

Πίνακας 6.15 – Ανάλυση ευαισθησίας τελικού κέρδους εφαρμογής (€) με αποθηκευτική διάταξη ισχύος 1MW στον Υ/Σ Χανίων για κάθε σενάριο χωροθέτησης των φ/β

	Παλιές τιμές	Νέες τιμές
Φ/Β στα Χανιά	150.640,18	302.876,7
Φ/Β κοντά στα Χανιά	108.947,34	219.254,7



Εικόνα 6.9 – Ανάλυση ευαισθησίας κερδών εφαρμογής λόγω αύξησης τιμής καυσίμων, σενάριο αποθήκευσης

Συμπεραίνεται λοιπόν πως μια αύξηση στις τιμές των καυσίμων που κυμαίνεται περίπου σε επίπεδα διπλασιασμού, αντικατοπτρίζεται σε διπλασιασμό των κερδών της εφαρμογής. Αυτό σημαίνει πως και τα αντίστοιχα οφέλη των πιθανών μετακινήσεων των φωτοβολταϊκών προς περιοχές του Υ/Σ Χανίων, όπως περιγράφονται παραπάνω σε αυτό το κεφάλαιο, διπλασιάζονται επίσης.

7 Εκτίμηση ετήσιων αποτελεσμάτων και επιδοτήσεις

7.1 Εισαγωγή

Έχοντας περιγράψει επαρκώς όλα τα αποτελέσματα της εφαρμογής για τις διάφορες περιπτώσεις μελέτης, είναι ώρα να αναφερθούν τα συμπεράσματα των αποτελεσμάτων. Τα συμπεράσματα είναι οικονομικής φύσεως και βασίζονται στην πιθανοτική μεθοδολογία εκτίμησης της αξίας των φωτοβολταϊκών που έχει περιγραφεί στο κεφάλαιο 4. Συνοπτικά, γίνεται αναφορά στην αξία που έχουν τα φωτοβολταϊκά στα Χανιά και την Ιεράπετρα πριν και μετά την εφαρμογή. Επίσης, παρουσιάζεται η ποιοτική και ποσοτική συνεισφορά της έκβασης αυτής της μελέτης προς τη ΔΕΗ και τους ιδιώτες - ιδιοκτήτες φωτοβολταϊκών πάρκων. Τέλος, γίνεται μια ανάλυση στην ευαισθησία που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της εφαρμογής στην αύξηση της τιμής των καυσίμων.

7.2 Αξία φωτοβολταϊκών πριν την εφαρμογή

Σε αυτή την ενότητα υπολογίζεται η αξία που έχουν τα υπό μελέτη φωτοβολταϊκά πριν την προσομοίωση της εφαρμογής, ακολουθώντας την πιθανοτική μεθοδολογία του κεφαλαίου 4. Οι παρακάτω συγκεντρωτικοί πίνακες περιέχουν τις εξής πληροφορίες:

- Στον πίνακα 7.1 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της πιθανοτικής μεθοδολογίας εκτίμησης της αξίας των φωτοβολταϊκών. Με άλλα λόγια φαίνεται η αναμενόμενη αξία σε Ευρώ της κάθε παραγόμενης MWh από φωτοβολταϊκά στην Κρήτη για κάθε μήνα και τύπο ώρας. Η μεγαλύτερη τιμή εμφανίζεται ανάμεσα στις 12:00 και 13:00 το μήνα Νοέμβρη και είναι ίση με 105,38 €/MWh.
- Στον πίνακα 7.2 και 7.3 παρουσιάζεται η συνολική παραγωγή των φωτοβολταϊκών ανά μήνα και τύπο ώρας για τα δύο σενάρια χωροθέτησής τους σε Χανιά και Ιεράπετρα αντίστοιχα.
- Σαν αποτέλεσμα των παραπάνω πινάκων μπορεί να υπολογιστεί η συνολική πραγματική αξία των φωτοβολταϊκών για κάθε μήνα και τύπο ώρας σε Χανιά και Ιεράπετρα. Αυτή η ποσότητα παρουσιάζεται στους πίνακες 7.4 και 7.5 αντίστοιχα, χωρίς όμως να έχει προσμετρηθεί η παραγωγή των φωτοβολταϊκών τις επίμαχες ώρες που ο Αερ1Χαν είναι ενταγμένος το δεύτερο εξάμηνο του 2001.

Στους τελευταίους δύο πίνακες, που αποτελούν την αξία των φωτοβολταϊκών πριν την εφαρμογή, θα προσμετρηθούν τα οφέλη που προσέφεραν τα φωτοβολταϊκά σε όλα τα σενάρια εφαρμογής, όπως παρουσιάστηκαν στα κεφάλαια 5 και 6. Σε επόμενες ενότητες φαίνεται η τελική πραγματική αξία που έχει το σύνολο των φωτοβολταϊκών μετά την υλοποίηση της εφαρμογής.

Πίνακας 7.1 - Αναμενόμενη αξία φ/β Κρήτης ανά μήνα και τύπο ώρας (€/MWh)

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
0:00-1:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1:00-2:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2:00-3:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3:00-4:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4:00-5:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5:00-6:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6:00-7:00	-	-	52,07	48,68	50,69	53,01	56,09	57,08	-	-	-	-
7:00-8:00	46,49	47,90	52,67	49,08	50,93	53,09	56,18	57,11	67,27	67,95	65,15	58,06
8:00-9:00	49,28	49,36	63,39	51,64	51,62	53,58	56,74	57,88	68,56	69,84	81,40	66,35
9:00-10:00	50,12	61,69	71,13	64,66	52,71	56,50	63,56	69,14	86,11	75,44	95,24	79,62
10:00-11:00	58,84	69,59	74,49	70,76	58,89	66,20	73,96	83,27	97,52	87,99	101,67	88,21
11:00-12:00	72,90	74,95	74,94	73,85	64,06	73,46	78,40	86,18	102,27	95,49	101,67	93,69
12:00-13:00	75,60	74,44	76,24	74,67	50,84	77,59	80,46	88,37	104,09	99,18	105,38	96,14
13:00-14:00	75,78	72,86	75,76	75,49	70,66	77,89	80,40	87,86	104,45	100,00	105,13	96,33
14:00-15:00	75,06	68,80	74,27	74,30	67,82	75,54	79,54	87,54	103,57	100,00	104,92	95,32
15:00-16:00	72,16	68,58	72,86	72,06	58,70	68,57	77,04	85,04	101,23	97,49	103,07	91,90
16:00-17:00	70,53	65,56	71,68	67,99	53,45	60,74	72,91	82,82	96,68	88,13	103,07	90,73
17:00-18:00	70,09	65,22	71,14	65,34	52,70	58,19	70,71	80,59	94,29	80,44	101,89	-
18:00-19:00	-	-	71,14	66,76	53,57	61,06	73,16	82,64	97,07	77,87	-	-
19:00-20:00	-	-	-	70,02	57,13	66,57	77,11	83,67	101,21	82,81	-	-
20:00-21:00	-	-	-	-	63,27	81,23	78,89	84,84	-	-	-	-
21:00-22:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:00-23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23:00-24:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 7.2 - Συνολική παραγωγή φωτοβολταϊκών (MWh) στα Χανιά ανά μήνα και τύπο ώρας

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
0:00-1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00-2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00-3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00-4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00-5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00-6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00-7:00	0	0	0	0	0	1,236	3,084	3,127	0,921	0	0	0
7:00-8:00	0	0	0	1,682	9,717	13,950	14,582	13,444	9,487	6,849	8,018	6,017
8:00-9:00	0	10,302	23,073	32,415	45,213	53,173	52,554	45,254	44,589	46,097	44,514	37,707
9:00-10:00	37,018	31,840	54,298	64,337	81,004	85,803	86,728	80,009	79,870	85,883	84,736	71,258
10:00-11:00	56,224	65,868	84,456	101,578	104,648	113,941	118,720	109,799	109,426	116,835	117,681	105,909
11:00-12:00	82,832	91,006	105,173	110,937	142,283	134,986	147,749	129,487	134,141	143,501	138,886	114,496
12:00-13:00	95,632	105,884	109,958	122,940	148,865	146,392	158,481	146,338	143,451	158,582	145,473	124,261
13:00-14:00	102,191	117,312	115,309	124,432	154,660	152,041	167,348	152,950	146,632	169,030	152,519	141,316
14:00-15:00	97,843	98,362	117,274	127,718	145,763	140,223	155,748	140,970	141,495	165,442	145,319	127,599
15:00-16:00	84,276	84,419	105,838	111,689	128,267	130,828	138,302	127,696	127,095	145,993	127,427	110,110
16:00-17:00	54,995	62,532	79,273	80,731	100,810	109,857	110,562	107,624	100,978	116,643	104,167	90,368
17:00-18:00	37,362	41,675	52,588	55,132	69,932	72,919	72,622	74,636	68,485	82,161	71,026	53,096
18:00-19:00	2,820	27,267	30,525	26,146	34,545	36,228	39,307	40,588	41,943	44,527	32,370	19,972
19:00-20:00	0	0	0	2,592	4,990	8,218	10,592	11,962	11,675	5,815	2,278	0
20:00-21:00	0	0	0	0	0	0	0,961	2,532	1,230	0	0	0
21:00-22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00-23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00-24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 7.3 - Συνολική παραγωγή φωτοβολταϊκών (MWh) στην Ιεράπετρα ανά μήνα και τύπο ώρας

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
0:00-1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00-2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00-3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00-4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00-5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00-6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00-7:00	0	0	0	0	0	1,218	3,056	3,099	0,909	0	0	0
7:00-8:00	0	0	0	1,782	10,058	13,745	14,446	13,321	9,369	6,772	8,075	6,374
8:00-9:00	0	11,431	25,500	35,068	46,800	52,391	52,074	44,831	44,032	45,576	44,825	40,758
9:00-10:00	44,481	35,940	59,995	69,764	83,847	84,542	85,944	79,253	78,869	84,913	85,359	76,897
10:00-11:00	67,559	74,509	93,312	110,206	108,322	112,266	117,642	108,763	108,059	115,515	118,536	114,911
11:00-12:00	99,531	103,263	116,226	120,386	147,277	133,002	146,403	128,266	132,461	141,879	139,887	123,175
12:00-13:00	114,911	119,391	121,555	133,563	154,090	144,240	157,047	144,955	141,652	156,790	146,544	134,123
13:00-14:00	122,793	132,260	127,427	134,838	160,089	149,806	165,846	151,494	144,793	167,119	153,634	152,909
14:00-15:00	117,568	110,780	129,560	138,381	150,880	138,161	154,345	139,624	139,723	163,573	146,393	138,014
15:00-16:00	101,266	95,086	117,000	121,232	132,769	128,905	137,048	126,471	125,501	144,343	128,316	118,778
16:00-17:00	66,082	70,410	87,626	87,468	104,349	108,242	109,548	106,605	99,713	115,325	104,863	97,582
17:00-18:00	44,894	47,167	58,136	59,752	72,387	71,847	71,982	73,932	67,626	81,232	71,520	57,239
18:00-19:00	3,389	30,908	33,760	28,354	35,757	35,695	38,960	40,206	41,418	44,023	32,581	21,434
19:00-20:00	0	0	0	2,803	5,165	8,097	10,494	11,850	11,529	5,749	2,286	0
20:00-21:00	0	0	0	0	0	0	0,954	2,508	1,214	0	0	0
21:00-22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00-23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00-24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 7.4 - Συνολική πραγματική αξία φ/β στα Χανιά ανά μήνα και τύπο ώρας (€) χωρίς να υπολογίζονται οι ώρες που ο Αερ1Χαν ήταν ενταγμένος το 2^ο εξάμηνο του 2001

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
0:00-1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00-2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00-3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00-4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00-5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00-6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00-7:00	0	0	0	0	0	65,53	173,00	178,49	0	0	0	0
7:00-8:00	0	0	0	82,57	494,88	740,60	819,17	767,75	638,17	465,40	522,37	349,31
8:00-9:00	0	508,51	1462,58	1673,96	2333,89	2848,76	2878,04	2619,18	3056,90	3219,23	3390,31	2501,95
9:00-10:00	1855,53	1964,36	3862,03	4160,09	4269,46	4848,20	5104,75	5106,37	6474,45	6478,88	7501,39	5327,17
10:00-11:00	3308,41	4583,43	6291,04	7187,14	6162,23	7543,39	7013,63	4762,36	9835,73	9738,30	11276,92	8360,16
11:00-12:00	6038,62	6820,66	7882,07	8192,71	9114,65	9916,08	8385,02	4120,48	12206,19	12986,32	13542,48	8966,44
12:00-13:00	7229,66	7881,96	8383,08	9180,16	7568,99	11358,88	8861,17	5683,22	13168,45	15286,20	15330,37	9169,92
13:00-14:00	7744,08	8547,79	8736,33	9393,96	10928,10	11842,48	9985,95	5356,04	13476,74	16464,89	16033,72	10838,48
14:00-15:00	7343,74	6767,27	8709,36	9489,83	9885,32	10592,07	9860,35	8468,67	13291,99	16004,53	15246,32	9829,94
15:00-16:00	6081,35	5789,78	7711,27	8048,53	7528,96	8971,11	9290,36	10859,15	12865,60	13880,55	13133,43	9963,73
16:00-17:00	3878,73	4099,79	5682,37	5489,32	5388,41	6672,76	8061,07	8913,51	9762,66	9924,37	10736,08	6575,97
17:00-18:00	2618,75	2718,27	3741,39	3602,46	3685,12	4243,31	5135,25	6015,14	6457,17	6404,42	6721,87	0
18:00-19:00	0	0	2171,72	1745,41	1850,51	2211,97	2727,76	3214,98	3922,63	3433,06	0	0
19:00-20:00	0	0	0	181,52	285,12	547,06	662,67	859,51	1154,84	481,56	0	0
20:00-21:00	0	0	0	0	0	0	65,82	214,83	0	0	0	0
21:00-22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00-23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00-24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 7.5 - Συνολική πραγματική αξία φ/β στην Ιεράπετρα ανά μήνα και τύπο ώρας (€) χωρίς να υπολογίζονται οι ώρες που ο Αερ1Χαν ήταν ενταγμένος το 2^ο εξάμηνο του 2001

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
0:00-1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00-2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00-3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00-4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00-5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00-6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00-7:00	0	0	0	0	0	64,56	171,42	176,88	0	0	0	0
7:00-8:00	0	0	0	87,46	512,25	729,71	811,49	760,72	630,21	460,14	526,05	370,06
8:00-9:00	0	564,24	1616,41	1810,99	2415,81	2806,88	2852,14	2594,70	3018,71	3182,85	3381,42	2704,41
9:00-10:00	2229,60	2217,29	4267,22	4511,04	4419,31	4776,93	5060,07	5058,88	6384,33	6405,67	7477,29	5701,72
10:00-11:00	3975,38	5184,71	6950,74	7797,61	6378,52	7432,51	6956,34	4725,60	9694,25	9550,46	11263,03	8942,81
11:00-12:00	7256,01	7739,24	8710,43	8890,50	9434,58	9770,31	8320,16	4094,79	12019,66	12736,68	13559,48	9400,67
12:00-13:00	8687,16	8887,42	9267,24	9973,45	7834,66	11191,91	8795,21	5642,97	12964,12	15049,98	15443,20	9520,61
13:00-14:00	9305,28	9636,93	9654,42	10179,56	11311,68	11668,40	9909,19	5319,42	13266,80	16215,98	16150,98	11358,17
14:00-15:00	8824,24	7621,65	9621,80	10282,14	10232,29	10436,37	9780,88	8394,60	13095,23	15746,24	15358,96	10320,68
15:00-16:00	7307,35	6521,38	8524,52	8736,22	7793,22	8839,24	9211,11	10754,93	12704,23	13673,23	13225,04	10726,93
16:00-17:00	4660,68	4616,28	6281,12	5947,35	5577,54	6574,68	7987,14	8829,17	9640,30	9761,26	10807,83	6881,16
17:00-18:00	3146,69	3076,45	4136,05	3904,33	3814,46	4180,94	5089,98	5958,41	6376,15	6302,71	6696,78	0
18:00-19:00	0	0	2401,86	1892,82	1915,46	2179,45	2704,23	3184,99	3870,26	3389,36	0	0
19:00-20:00	0	0	0	196,29	295,12	539,02	657,07	851,72	1139,84	476,12	0	0
20:00-21:00	0	0	0	0	0	0	65,45	212,77	0	0	0	0
21:00-22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00-23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00-24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.3 Αξία φωτοβολταϊκών μετά την εφαρμογή

Στους πίνακες 7.4 και 7.5 φαίνεται η πραγματική αξία των φωτοβολταϊκών για την περιοχή των Χανίων και της Ιεράπετρας για όλη τη διάρκεια του έτους. Έχουν όμως αποκλειστεί από τον υπολογισμό οι επίμαχες ώρες που μελετώνται σε αυτή την εργασία, που είναι οι ώρες που ο αεριοστρόβιλος 1 Χανίων λειτουργεί και είναι 346 στον αριθμό. Για αυτές τις ώρες η εφαρμογή έχει εκτιμήσει μια διαφορετική αξία για τη φωτοβολταϊκή παραγωγή, μιας και λόγω της τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών σε διαφορετικές περιοχές του ΣΗΕ Κρήτης έχει γίνει μια διαφορετική οικονομική κατανομή και επανένταξη μονάδων από εκείνη της πιθανοτικής μεθόδου, που έχει τα οφέλη που περιγράφονται στο κεφάλαιο 5. Παρομοίως τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά με τη βοήθεια που προσφέρει στα φωτοβολταϊκά μια αποθηκευτική διάταξη, όπως φαίνεται στο κεφάλαιο 6.

Στους παρακάτω πίνακες φαίνεται η τελική συνολική αξία των φωτοβολταϊκών μετά την εφαρμογή για κάθε σενάριο μελέτης. Η «Γενική πιθανοτική αξία» προκύπτει από τον πίνακα 7.1, η «Πιθανοτική αξία χωρίς Αερ1Χαν» προκύπτει από τους πίνακες 7.4 και 7.5, το «Όφελος λόγω Αερ1Χαν» είναι το κέρδος που εξοικονομείται λόγω της εφαρμογής για το δεύτερο εξάμηνο του 2001, όπως παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 5, και τέλος η «Συνολική αξία φ/β» αποτελείται από το άθροισμα των δύο προηγούμενων. Τα συγκρινόμενα μεγέθη κάθε φορά είναι η «Γενική πιθανοτική αξία», που δείχνει την αξία των φ/β πριν την εφαρμογή και η «Συνολική αξία φ/β», που δείχνει την αξία μετά. Επίσης, τα μεγέθη παρουσιάζονται και σε αξία ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά.

7.3.1 Εφαρμογή σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων

7.3.1.1 Πρώτη οικονομική κατανομή

Παρακάτω παρουσιάζεται η συνολική αξία σε Ευρώ των φωτοβολταϊκών που προκύπτει από την πρώτη οικονομική κατανομή αν η περιοχή μελέτης είναι εντός του Υ/Σ Χανίων.

Πίνακας 7.6 – Συνολική μηνιαία αξία φ/β (€) πριν και μετά την εφαρμογή, Χανιά, 1^η οικονομική κατανομή

	Γενική πιθανοτική αξία	Πιθανοτική αξία χωρίς Αερ1Χαν	Όφελος λόγω Αερ1Χαν	Συνολική αξία φ/β
Ιανουάριος	46098,87	46098,87	0,00	46098,87
Φεβρουάριος	49681,82	49681,82	0,00	49681,82
Μάρτιος	64633,25	64633,25	0,00	64633,25
Απρίλιος	68427,68	68427,68	0,00	68427,68
Μάιος	69495,61	69495,61	0,00	69495,61
Ιούνιος	82402,21	82402,21	0,00	82402,21
Ιούλιος	96064,26	79024,01	20666,60	99690,61
Αύγουστος	98467,96	67139,70	36826,00	103965,70
Σεπτέμβριος	114202,67	106311,52	7913,82	114225,34
Οκτώβριος	118392,47	114767,70	3245,69	118013,39
Νοέμβριος	116017,71	113435,26	1137,20	114572,46
Δεκέμβριος	84633,05	71883,06	11769,60	83652,66
Ετησίως	1008517,57	933300,66	81558,91	1014859,57

Η συνολική αξία των φωτοβολταϊκών στα Χανιά για όλο το 2001 φαίνεται πως αυξάνεται κατά 6.300€ περίπου εξαιτίας της συμμετοχής των φωτοβολταϊκών αν θεωρηθεί ότι εφαρμόζεται η πρώτη οικονομική κατανομή. Αυτό αντιστοιχεί σε 0,59€ ανά εγκατεστημένο kW φωτοβολταϊκών.

Παρακάτω φαίνεται η μηνιαία αξία ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά πριν και μετά την εφαρμογή. Η επιπλέον αξία που προσδίδει η πρώτη οικονομική κατανομή ανέρχεται ετησίως σε 0,5 €/MWh.

Πίνακας 7.7 – Μηνιαία αξία φ/β ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά πριν και μετά την εφαρμογή, Χανιά, 1^η οικονομική κατανομή

	Αξία ανά MWh πριν	Αξία ανά MWh μετά
Ιανουάριος	70,79	70,79
Φεβρουάριος	67,46	67,46
Μάρτιος	73,63	73,63
Απρίλιος	71,11	71,11
Μάιος	59,36	59,36
Ιούνιος	68,68	68,68
Ιούλιος	75,21	78,05
Αύγουστος	83,00	87,63
Σεπτέμβριος	98,33	98,35
Οκτώβριος	91,97	91,67
Νοέμβριος	98,79	97,56
Δεκέμβριος	84,45	83,48
Ετησίως	79,49	79,99

7.3.1.2 Δεύτερη οικονομική κατανομή

Η συνολική αξία των φωτοβολταϊκών για περιοχές των Χανίων, λόγω της συμμετοχής των φωτοβολταϊκών αν εφαρμοστεί η δεύτερη οικονομική κατανομή, διαμορφώνεται όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7.8 – Συνολική μηνιαία αξία φ/β (€) πριν και μετά την εφαρμογή, Χανιά, 2^η οικονομική κατανομή

	Γενική πιθανοτική αξία	Πιθανοτική αξία χωρίς Αερ1Χαν	Όφελος λόγω Αερ1Χαν	Συνολική αξία φ/β
Ιανουάριος	46098,87	46098,87	0,00	46098,87
Φεβρουάριος	49681,82	49681,82	0,00	49681,82
Μάρτιος	64633,25	64633,25	0,00	64633,25
Απρίλιος	68427,68	68427,68	0,00	68427,68
Μάιος	69495,61	69495,61	0,00	69495,61
Ιούνιος	82402,21	82402,21	0,00	82402,21
Ιούλιος	96064,26	79024,01	31166,40	110190,41
Αύγουστος	98467,96	67139,70	50654,30	117794,00
Σεπτέμβριος	114202,67	106311,52	12768,09	119079,61
Οκτώβριος	118392,47	114767,70	5995,85	120763,55
Νοέμβριος	116017,71	113435,26	2717,95	116153,21
Δεκέμβριος	84633,05	71883,06	41425,00	113308,06
Ετησίως	1008517,57	933300,66	144727,59	1078028,25

Η συνολική αξία των φωτοβολταϊκών στα Χανιά για όλο το 2001 φαίνεται πως αυξάνεται κατά 69.500€ περίπου με την εφαρμογή της δεύτερης οικονομικής κατανομής. Αυτό αντιστοιχεί σε 6,46€ ανά εγκατεστημένο kW φωτοβολταϊκών.

Παρακάτω φαίνεται η μηνιαία αξία ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά πριν και μετά την εφαρμογή. Η επιπλέον αξία που προσδίδει η δεύτερη οικονομική κατανομή ανέρχεται ετησίως σε 5,5 €/MWh.

Πίνακας 7.9 – Μηνιαία αξία φ/β ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά πριν και μετά την εφαρμογή, Χανιά, 2^η οικονομική κατανομή

	Αξία ανά MWh πριν	Αξία ανά MWh μετά
Ιανουάριος	70,79	70,79
Φεβρουάριος	67,46	67,46
Μάρτιος	73,63	73,63
Απρίλιος	71,11	71,11
Μάιος	59,36	59,36
Ιούνιος	68,68	68,68
Ιούλιος	75,21	86,27
Αύγουστος	83,00	99,29
Σεπτέμβριος	98,33	102,53
Οκτώβριος	91,97	93,81
Νοέμβριος	98,79	98,90
Δεκέμβριος	84,45	113,07
Ετησίως	79,49	84,97

7.3.1.3 Ένταξη μονάδων

Η συνολική αξία των φωτοβολταϊκών για περιοχές των Χανίων, λόγω της συμμετοχής των φωτοβολταϊκών αν πραγματοποιηθεί μια αλλαγή του προγράμματος ένταξης μονάδων, διαμορφώνεται όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7.10 – Συνολική μηνιαία αξία φ/β (€) πριν και μετά την εφαρμογή, Χανιά, Ένταξη μονάδων

	Γενική πιθανοτική αξία	Πιθανοτική αξία χωρίς Αερ1Χαν	Όφελος λόγω Αερ1Χαν	Συνολική αξία φ/β
Ιανουάριος	46098,87	46098,87	0,00	46098,87
Φεβρουάριος	49681,82	49681,82	0,00	49681,82
Μάρτιος	64633,25	64633,25	0,00	64633,25
Απρίλιος	68427,68	68427,68	0,00	68427,68
Μάιος	69495,61	69495,61	0,00	69495,61
Ιούνιος	82402,21	82402,21	0,00	82402,21
Ιούλιος	96064,26	79024,01	36181,60	115205,61
Αύγουστος	98467,96	67139,70	56348,50	123488,20
Σεπτέμβριος	114202,67	106311,52	14166,00	120477,52
Οκτώβριος	118392,47	114767,70	6484,21	121251,91
Νοέμβριος	116017,71	113435,26	2729,09	116164,35
Δεκέμβριος	84633,05	71883,06	44807,30	116690,36
Ετησίως	1008517,57	933300,66	160716,70	1094017,36

Η συνολική αξία των φωτοβολταϊκών στα Χανιά για όλο το 2001 φαίνεται πως αυξάνεται κατά 85.500€ περίπου με την εφαρμογή της ένταξης μονάδων. Αυτό αντιστοιχεί σε 7,95€ ανά εγκατεστημένο kW φωτοβολταϊκών.

Παρακάτω φαίνεται η μηνιαία αξία ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά πριν και μετά την εφαρμογή. Η επιπλέον αξία που προσδίδει η αλλαγή του προγράμματος της ένταξης των μονάδων ανέρχεται ετησίως σε 6,74 €/MWh.

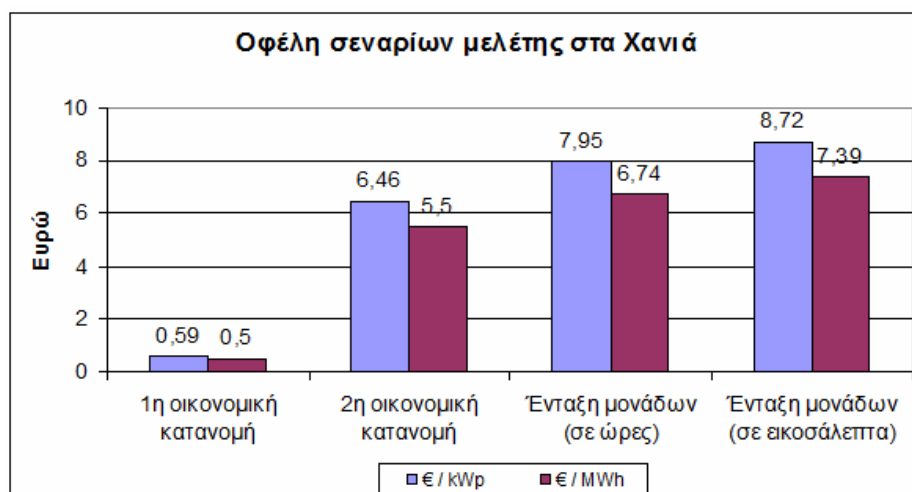
Πίνακας 7.11 – Μηνιαία αξία φ/β ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά πριν και μετά την εφαρμογή, Χανιά, Ένταξη μονάδων

	Αξία ανά MWh πριν	Αξία ανά MWh μετά
Ιανουάριος	70,79	70,79
Φεβρουάριος	67,46	67,46
Μάρτιος	73,63	73,63
Απρίλιος	71,11	71,11
Μάιος	59,36	59,36
Ιούνιος	68,68	68,68
Ιούλιος	75,21	90,19
Αύγουστος	83,00	104,09
Σεπτέμβριος	98,33	103,73
Οκτώβριος	91,97	94,19
Νοέμβριος	98,79	98,91
Δεκέμβριος	84,45	116,44
Ετησίως	79,49	86,23

Αν προσμετρηθούν και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε επίπεδο εικοσαλέπτων, που αντιστοιχούν σε περίπου 8.300€ για το δεύτερο εξάμηνο του 2001, το όφελος που προσδίδει η αλλαγή της ένταξης των μονάδων ανέρχεται σε περίπου 93.800€ σε ετήσιο επίπεδο. Αυτό μεταφράζεται ως 8,7 €/kWp ή αλλιώς 7,4 €/MWh παραγόμενη από φωτοβολταϊκά ετησίως και είναι το μέγιστο όφελος για τη ΔΕΗ που μπορεί να προκύψει από αυτή την εφαρμογή.

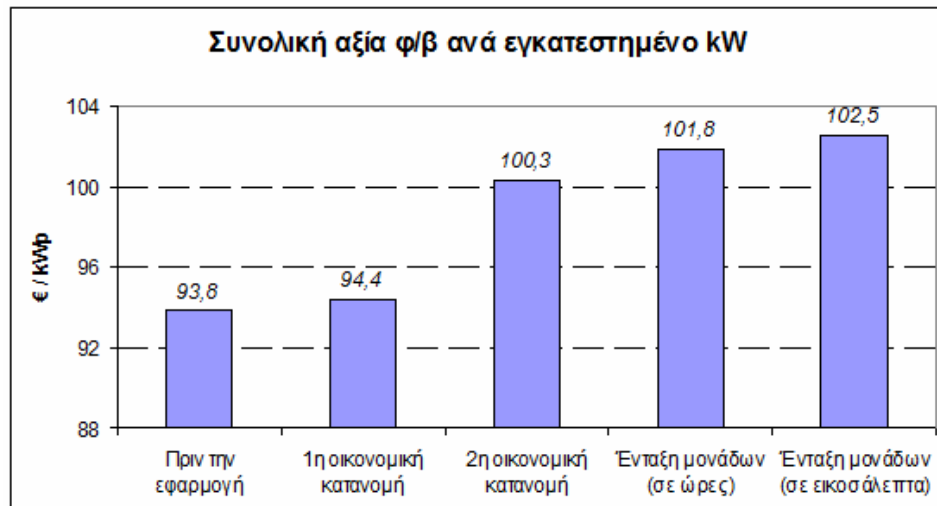
7.3.1.4 Σύγκριση όλων των σεναρίων μελέτης

Πριν οποιαδήποτε εφαρμογή, η ετήσια αξία των φωτοβολταϊκών ανερχόταν σε 93,8€ ανά εγκατεστημένο kW φωτοβολταϊκής παραγωγής και σε 79,49€ ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά. Στην παρακάτω γραφική παράσταση παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα επιπλέον οφέλη που προσδίδουν όλα τα σενάρια μελέτης στην αρχική αξία των φωτοβολταϊκών όταν αυτά βρίσκονται σε περιοχές εξυπηρέτησης του Υ/Σ Χανίων. Το σενάριο μελέτης της αποθήκευσης δεν επιφέρει αλλαγή στην αξία των φωτοβολταϊκών.

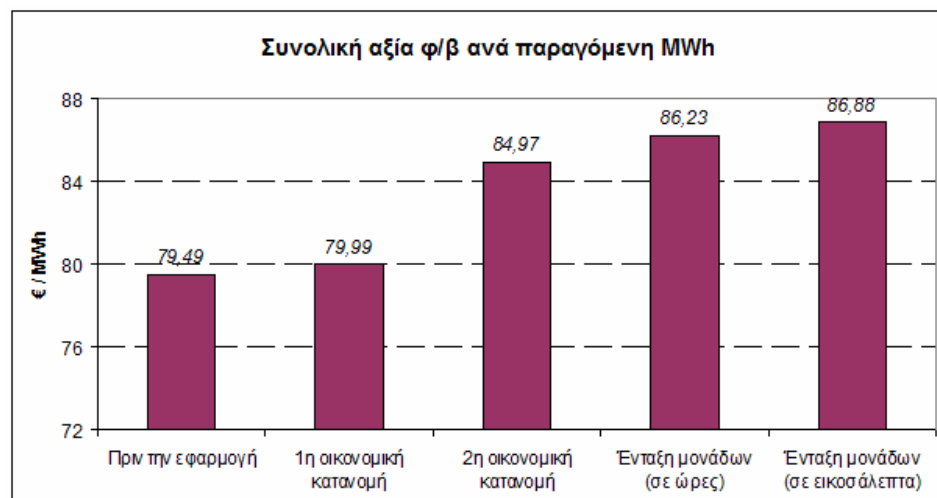


Εικόνα 7.1 – Επιπλέον οφέλη σε σχέση με την αρχική πιθανοτική αξία φ/β για όλα τα σενάρια μελέτης στα Χανιά

Τελικά, η ετήσια αξία των φωτοβολταϊκών πριν την εφαρμογή αλλά και έτσι όπως διαμορφώνεται μετά από κάθε σενάριο μελέτης παρουσιάζεται στα παρακάτω γραφήματα. Το σενάριο με το μεγαλύτερο συμφέρον για το σύστημα είναι, όπως φαίνεται, αυτό της αποφυγής της ένταξης μονάδων.



Εικόνα 7.2 – Συνολική αξία φ/β ανά kWφ πριν και μετά την εφαρμογή στα Χανιά



Εικόνα 7.3 – Συνολική αξία φ/β ανά MWh πριν και μετά την εφαρμογή στα Χανιά

7.3.2 Εφαρμογή σε περιοχές κοντά στα Χανιά

7.3.2.1 Πρώτη οικονομική κατανομή

Παρακάτω παρουσιάζεται η συνολική αξία σε Ευρώ των φωτοβολταϊκών που προκύπτει από την πρώτη οικονομική κατανομή αν τα φωτοβολταϊκά είναι τοποθετημένα σε περιοχές εκτός του Υ/Σ Χανίων.

Πίνακας 7.12 – Συνολική μηνιαία αξία φ/β (€) πριν και μετά την εφαρμογή, εκτός Χανίων, 1^η οικονομική κατανομή

	Γενική πιθανοτική αξία	Πιθανοτική αξία χωρίς Αερ1Χαν	Όφελος λόγω Αερ1Χαν	Συνολική αξία φ/β
Ιανουάριος	46098,87	46098,87	0,00	46098,87
Φεβρουάριος	49681,82	49681,82	0,00	49681,82
Μάρτιος	64633,25	64633,25	0,00	64633,25
Απρίλιος	68427,68	68427,68	0,00	68427,68
Μάιος	69495,61	69495,61	0,00	69495,61
Ιούνιος	82402,21	82402,21	0,00	82402,21
Ιούλιος	96064,26	79024,01	19716,50	98740,51
Αύγουστος	98467,96	67139,70	35944,20	103083,90
Σεπτέμβριος	114202,67	106311,52	7691,94	114003,46
Οκτώβριος	118392,47	114767,70	3245,71	118013,41
Νοέμβριος	116017,71	113435,26	1140,01	114575,27
Δεκέμβριος	84633,05	71883,06	10864,90	82747,96
Ετησίως	1008517,57	933300,66	78603,26	1011903,92

Η συνολική αξία των φωτοβολταϊκών σε περιοχές κοντά στα Χανιά για όλο το 2001 φαίνεται πως αυξάνεται κατά 3.400€ περίπου με την συμμετοχή των φωτοβολταϊκών και την εφαρμογή της πρώτης οικονομικής κατανομής. Αυτό αντιστοιχεί σε 0,3€ ανά εγκατεστημένο kW φωτοβολταϊκών ετησίως.

Παρακάτω φαίνεται η μηνιαία αξία ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά πριν και μετά την εφαρμογή. Η επιπλέον αξία που προσδίδει η πρώτη οικονομική κατανομή ανέρχεται ετησίως σε 0,3 €/MWh.

Πίνακας 7.13 – Μηνιαία αξία φ/β ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά πριν και μετά την εφαρμογή, Εκτός Χανίων, 1^η οικονομική κατανομή

	Αξία ανά MWh πριν	Αξία ανά MWh μετά
Ιανουάριος	70,79	70,79
Φεβρουάριος	67,46	67,46
Μάρτιος	73,63	73,63
Απρίλιος	71,11	71,11
Μάιος	59,36	59,36
Ιούνιος	68,68	68,68
Ιούλιος	75,21	77,30
Αύγουστος	83,00	86,89
Σεπτέμβριος	98,33	98,16
Οκτώβριος	91,97	91,67
Νοέμβριος	98,79	97,56
Δεκέμβριος	84,45	82,57
Ετησίως	79,49	79,76

7.3.2.2 Δεύτερη οικονομική κατανομή

Παρακάτω παρουσιάζεται η συνολική αξία σε Ευρώ των φωτοβολταϊκών που προκύπτει από τη δεύτερη οικονομική κατανομή αν τα φωτοβολταϊκά είναι τοποθετημένα σε περιοχές εκτός του Υ/Σ Χανίων.

Πίνακας 7.14 – Συνολική μηνιαία αξία φ/β (€) πριν και μετά την εφαρμογή, εκτός Χανίων, 2^η οικονομική κατανομή

	Γενική πιθανοτική αξία	Πιθανοτική αξία χωρίς Αερ1Χαν	Όφελος λόγω Αερ1Χαν	Συνολική αξία φ/β
Ιανουάριος	46098,87	46098,87	0,00	46098,87
Φεβρουάριος	49681,82	49681,82	0,00	49681,82
Μάρτιος	64633,25	64633,25	0,00	64633,25
Απρίλιος	68427,68	68427,68	0,00	68427,68
Μάιος	69495,61	69495,61	0,00	69495,61
Ιούνιος	82402,21	82402,21	0,00	82402,21
Ιούλιος	96064,26	79024,01	19784,30	98808,31
Αύγουστος	98467,96	67139,70	36960,60	104100,30
Σεπτέμβριος	114202,67	106311,52	8832,01	115143,53
Οκτώβριος	118392,47	114767,70	4377,01	119144,71
Νοέμβριος	116017,71	113435,26	2215,66	115650,92
Δεκέμβριος	84633,05	71883,06	24921,80	96804,86
Ετησίως	1008517,57	933300,66	97091,38	1030392,04

Η συνολική αξία των φωτοβολταϊκών σε περιοχές κοντά στα Χανιά για όλο το 2001 φαίνεται πως αυξάνεται κατά 21.900€ περίπου με την συμμετοχή των φωτοβολταϊκών και την εφαρμογή της δεύτερης οικονομικής κατανομής. Αυτό αντιστοιχεί σχεδόν σε 2€ ανά εγκατεστημένο kW φωτοβολταϊκών ετησίως.

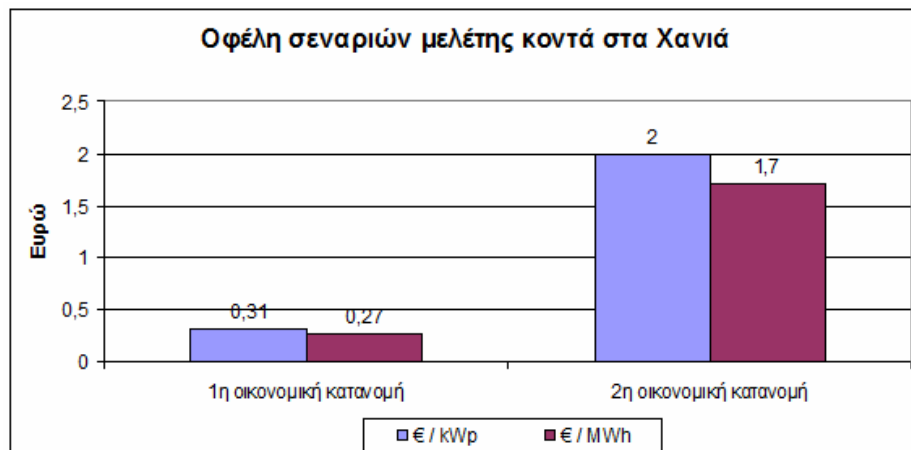
Παρακάτω φαίνεται η μηνιαία αξία ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά πριν και μετά την εφαρμογή. Η επιπλέον αξία που προσδίδει η δεύτερη οικονομική κατανομή ανέρχεται ετησίως σε 1,7 €/MWh.

Πίνακας 7.15 – Μηνιαία αξία φ/β ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά πριν και μετά την εφαρμογή, Εκτός Χανίων, 2^η οικονομική κατανομή

	Αξία ανά MWh πριν	Αξία ανά MWh μετά
Ιανουάριος	70,79	70,79
Φεβρουάριος	67,46	67,46
Μάρτιος	73,63	73,63
Απρίλιος	71,11	71,11
Μάιος	59,36	59,36
Ιούνιος	68,68	68,68
Ιούλιος	75,21	77,35
Αύγουστος	83,00	87,74
Σεπτέμβριος	98,33	99,14
Οκτώβριος	91,97	92,55
Νοέμβριος	98,79	98,48
Δεκέμβριος	84,45	96,60
Ετησίως	79,49	81,21

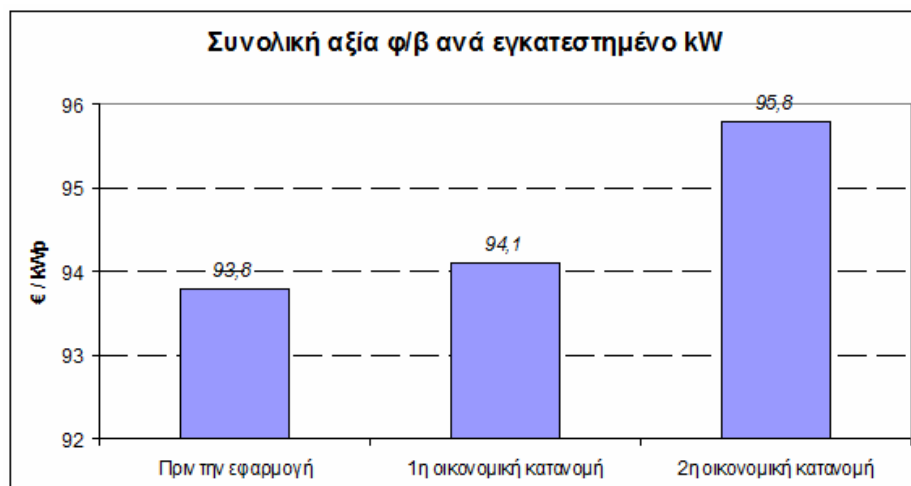
7.3.2.3 Σύγκριση όλων των σεναρίων μελέτης

Πριν την εφαρμογή, η ετήσια αξία των φωτοβολταϊκών ανερχόταν σε 93,8€ ανά εγκατεστημένο kW φωτοβολταϊκής παραγωγής και σε 79,49€ ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά. Στην παρακάτω γραφική παράσταση παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα επιπλέον οφέλη που προσδίδουν όλα τα σενάρια μελέτης στην αρχική αξία των φωτοβολταϊκών όταν αυτά βρίσκονται σε περιοχές κοντινές των Χανίων αλλά εκτός εξυπηρέτησης του Υ/Σ. Το σενάριο μελέτης της αποθήκευσης, εξακολουθεί να μην επηρεάζει την αξία των φωτοβολταϊκών. Τα οφέλη που προσδίδει ανταποκρίνονται μόνο στην εγκατάσταση αποθηκευτικής διάταξης.

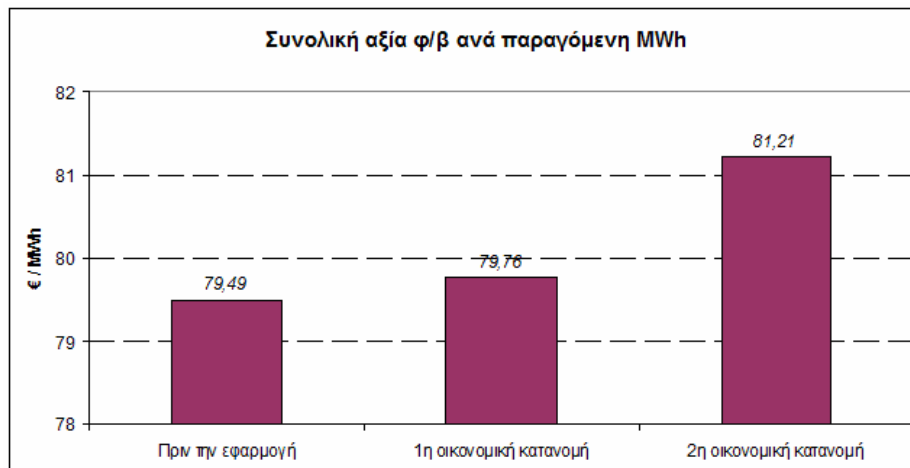


Εικόνα 7.4 - Επιπλέον οφέλη σε σχέση με την αρχική πιθανοτική αξία φ/β για όλα τα σενάρια μελέτης σε περιοχές κοντά στα Χανιά

Τελικά, η ετήσια αξία των φωτοβολταϊκών πριν την εφαρμογή αλλά και έτσι όπως διαμορφώνεται μετά από κάθε σενάριο μελέτης παρουσιάζεται στα παρακάτω γραφήματα.



Εικόνα 7.5 – Συνολική αξία φ/β ανά kWp πριν και μετά την εφαρμογή σε περιοχές κοντά στα Χανιά



Εικόνα 7.6 – Συνολική αξία φ/β ανά MWh πριν και μετά την εφαρμογή σε περιοχές κοντά στα Χανιά

7.3.3 Εφαρμογή σε περιοχές της Ιεράπετρας

7.3.3.1 Πρώτη οικονομική κατανομή

Παρακάτω παρουσιάζεται η συνολική αξία σε Ευρώ των φωτοβολταϊκών που προκύπτει από την πρώτη οικονομική κατανομή αν τα φωτοβολταϊκά είναι τοποθετημένα σε περιοχές της Ιεράπετρας με καλύτερες συνθήκες ηλιοφάνειας.

Πίνακας 7.16 – Συνολική μηνιαία αξία φ/β (€) πριν και μετά την εφαρμογή, Ιεράπετρα, 1η οικονομική κατανομή

	Γενική πιθανοτική αξία	Πιθανοτική αξία χωρίς Αερ1Χαν	Όφελος λόγω Αερ1Χαν	Συνολική αξία φ/β
Ιανουάριος	55392,40	55392,40	0,00	55392,40
Φεβρουάριος	56065,60	56065,60	0,00	56065,60
Μάρτιος	71431,81	71431,81	0,00	71431,81
Απρίλιος	74209,75	74209,75	0,00	74209,75
Μάιος	71934,90	71934,90	0,00	71934,90
Ιούνιος	81190,90	81190,90	0,00	81190,90
Ιούλιος	95195,74	78371,89	19468,40	97840,29
Αύγουστος	97534,81	66560,55	35539,50	102100,05
Σεπτέμβριος	112771,80	104804,10	7766,29	112570,39
Οκτώβριος	117054,64	112950,67	3671,09	116621,76
Νοέμβριος	116851,10	113890,06	1305,38	115195,44
Δεκέμβριος	91421,03	75927,24	13174,20	89101,44
Ετησίως	1041054,49	962729,88	80924,86	1043654,74

Η συνολική αξία των φωτοβολταϊκών σε περιοχές της Ιεράπετρας για όλο το 2001 φαίνεται πως αυξάνεται κατά 2.600€ περίπου με την συμμετοχή των φωτοβολταϊκών αν εφαρμοστεί η πρώτη οικονομική κατανομή. Αυτό αντιστοιχεί σε 0,24€ ανά εγκατεστημένο kW φωτοβολταϊκών.

Παρακάτω φαίνεται η μηνιαία αξία ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά πριν και μετά την εφαρμογή. Η επιπλέον αξία που προσδίδει η πρώτη οικονομική κατανομή ανέρχεται ετησίως σε 0,2 €/MWh.

Πίνακας 7.17 – Μηνιαία αξία φ/β ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά πριν και μετά την εφαρμογή, Ιεράπετρα, 1^η οικονομική κατανομή

	Αξία ανά MWh πριν	Αξία ανά MWh μετά
Ιανουάριος	70,79	70,79
Φεβρουάριος	67,46	67,46
Μάρτιος	73,63	73,63
Απρίλιος	71,11	71,11
Μάιος	59,36	59,36
Ιούνιος	68,68	68,68
Ιούλιος	75,21	77,30
Αύγουστος	83,00	86,88
Σεπτέμβριος	98,33	98,15
Οκτώβριος	91,97	91,63
Νοέμβριος	98,79	97,39
Δεκέμβριος	84,48	82,33
Ετησίως	79,19	79,38

7.3.3.2 Δεύτερη οικονομική κατανομή

Παρακάτω παρουσιάζεται η συνολική αξία σε Ευρώ των φωτοβολταϊκών που προκύπτει από τη δεύτερη οικονομική κατανομή αν τα φωτοβολταϊκά είναι τοποθετημένα στην Ιεράπετρα.

Πίνακας 7.18 – Συνολική μηνιαία αξία φ/β (€) πριν και μετά την εφαρμογή, Ιεράπετρα, 2^η οικονομική κατανομή

	Γενική πιθανοτική αξία	Πιθανοτική αξία χωρίς Αερ1Χαν	Όφελος λόγω Αερ1Χαν	Συνολική αξία φ/β
Ιανουάριος	55392,40	55392,40	0,00	55392,40
Φεβρουάριος	56065,60	56065,60	0,00	56065,60
Μάρτιος	71431,81	71431,81	0,00	71431,81
Απρίλιος	74209,75	74209,75	0,00	74209,75
Μάιος	71934,90	71934,90	0,00	71934,90
Ιούνιος	81190,90	81190,90	0,00	81190,90
Ιούλιος	95195,74	78371,89	19675,20	98047,09
Αύγουστος	97534,81	66560,55	36772,90	103333,45
Σεπτέμβριος	112771,80	104804,10	8864,39	113668,49
Οκτώβριος	117054,64	112950,67	4647,20	117597,87
Νοέμβριος	116851,10	113890,06	2300,51	116190,57
Δεκέμβριος	91421,03	75927,24	26022,80	101950,04
Ετησίως	1041054,49	962729,88	98283,00	1061012,88

Η συνολική αξία των φωτοβολταϊκών σε περιοχές της Ιεράπετρας για όλο το 2001 φαίνεται πως αυξάνεται κατά 20.000€ περίπου με τη συμμετοχή των φωτοβολταϊκών αν εφαρμοστεί η δεύτερη οικονομική κατανομή. Αυτό αντιστοιχεί σχεδόν σε 1,86€ ανά εγκατεστημένο kW φωτοβολταϊκών.

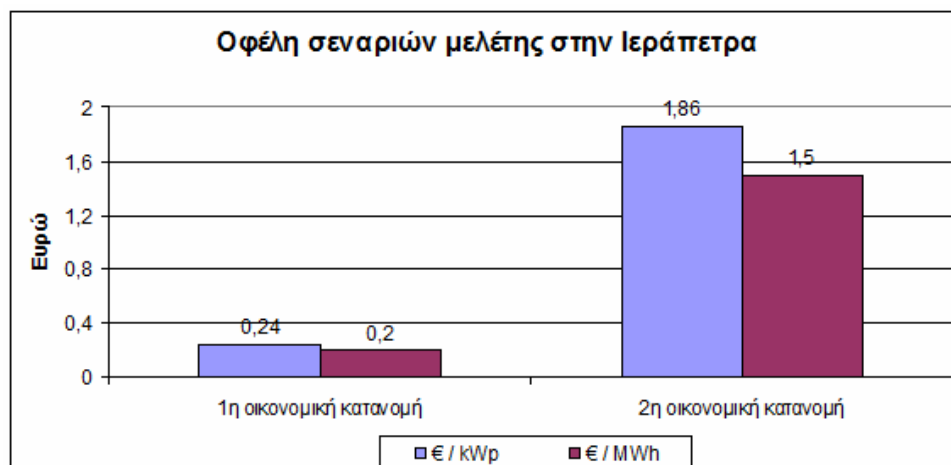
Παρακάτω φαίνεται η μηνιαία αξία ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά πριν και μετά την εφαρμογή. Η επιπλέον αξία που προσδίδει η δεύτερη οικονομική κατανομή ανέρχεται ετησίως σε 1,5 €/MWh.

Πίνακας 7.19 – Μηνιαία αξία φ/β ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά πριν και μετά την εφαρμογή, Ιεράπετρα, 2^η οικονομική κατανομή

	Αξία ανά MWh πριν	Αξία ανά MWh μετά
Ιανουάριος	70,79	70,79
Φεβρουάριος	67,46	67,46
Μάρτιος	73,63	73,63
Απρίλιος	71,11	71,11
Μάιος	59,36	59,36
Ιούνιος	68,68	68,68
Ιούλιος	75,21	77,46
Αύγουστος	83,00	87,93
Σεπτέμβριος	98,33	99,11
Οκτώβριος	91,97	92,39
Νοέμβριος	98,79	98,23
Δεκέμβριος	84,48	94,21
Ετησίως	79,19	80,70

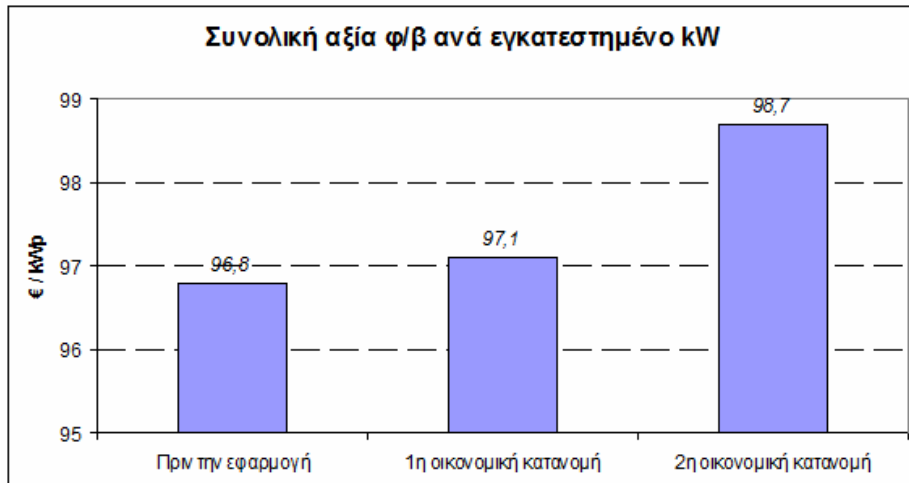
7.3.3.3 Σύγκριση όλων των σεναρίων μελέτης

Πριν την εφαρμογή, η ετήσια αξία των φωτοβολταϊκών αν αυτά ήταν τοποθετημένα σε περιοχές της Ιεράπετρας ανερχόταν σε 96,8€ ανά εγκατεστημένο kW φωτοβολταϊκών και σε 79,19€ ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά. Η μειωμένη αξία ανά MWh οφείλεται στην επιπλέον παραγωγή των φωτοβολταϊκών της Ιεράπετρας έναντι των Χανίων σε ετήσιο επίπεδο. Παρακάτω φαίνεται σε γραφική παράσταση το επιπλέον όφελος που δίνει κάθε σενάριο εφαρμογής στην αξία των φωτοβολταϊκών όταν αυτά είναι εγκατεστημένα στην Ιεράπετρα.

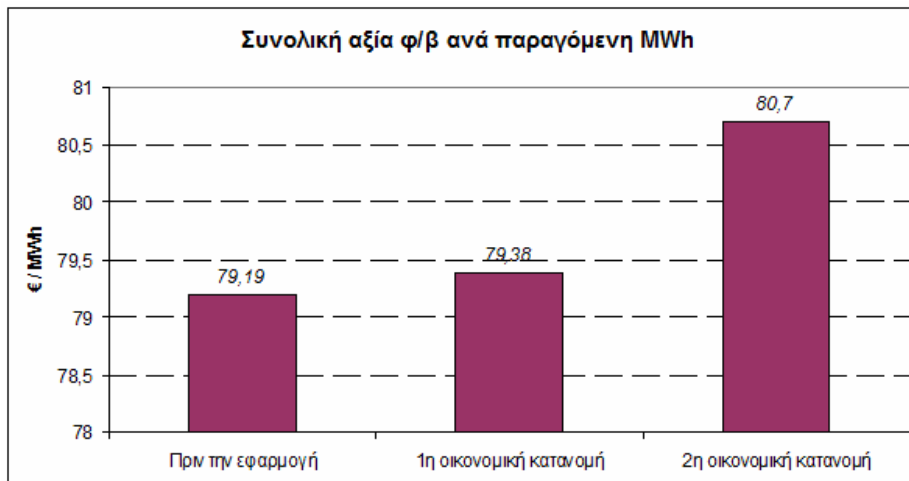


Εικόνα 7.7 - Επιπλέον οφέλη σε σχέση με την αρχική πιθανοτική αξία φ/β για όλα τα σενάρια μελέτης στην Ιεράπετρα

Η συνολική αξία των φωτοβολταϊκών πριν και μετά την εφαρμογή, έτσι όπως διαμορφώνεται, παρουσιάζεται στα παρακάτω γραφήματα.



Εικόνα 7.8 – Συνολική αξία φ/β ανά kWp πριν και μετά την εφαρμογή στην Ιεράπετρα



Εικόνα 7.9 – Συνολική αξία φ/β ανά MWh πριν και μετά την εφαρμογή στην Ιεράπετρα

7.4 Όφελος τοποθέτησης φωτοβολταϊκών στα Χανιά έναντι άλλων περιοχών

Όπως έχει γίνει σαφές παραπάνω, σύμφωνα με τα συμπεράσματα της αξίας των φωτοβολταϊκών στην ενότητα 7.3.1, η καλύτερη επιλογή χωροθέτησης του συνόλου της φωτοβολταϊκής ισχύος είναι η περιοχή εξυπηρέτησης του Υ/Σ Χανίων. Αυτό είναι το πιο προσοδοφόρο σενάριο για το διαχειριστή του συστήματος, γιατί μόνο όταν τα φωτοβολταϊκά είναι σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων μπορεί να πραγματοποιηθεί μια αλλαγή στο πρόγραμμα της ένταξης των μονάδων με έμφαση στην μείωση της λειτουργίας του Αερ1Χαν και συνεπώς τη μείωση του κόστους. Παρ' όλα αυτά, σε περίπτωση που τα φωτοβολταϊκά δεν έχουν κατασκευαστεί ακόμα και στην άδειά τους έχουν σαν χώρο εγκατάστασης περιοχές εκτός του Υ/Σ Χανίων, είτε εντός του νομού είτε εκτός π.χ. στην Ιεράπετρα, θα δοθούν παρακάτω τα οφέλη της μετακίνησης. Θα παρουσιαστεί δηλαδή μια επιπλέον αμοιβή που μπορεί να δώσει ο διαχειριστής του συστήματος σε κάθε ιδιοκτήτη φωτοβολταϊκού, προερχόμενη από τα οφέλη της εφαρμογής, με σκοπό να μετακινήσει την άδειά του φωτοβολταϊκού του πάρκου σε περιοχές των Χανίων.

Στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα φαίνεται η αξία που έχουν τα υπό μελέτη φωτοβολταϊκά ανά περιοχή εγκατάστασης τους και ανά σενάριο μελέτης. Η αξία που παρουσιάζεται είναι σε χρηματικές μονάδες και σε ετήσια βάση. Σύμφωνα με αυτά τα ποσά γίνονται οι παρακάτω συγκρίσεις ανάμεσα στα σενάρια μελέτης και τις πιθανές χωροθετήσεις των φωτοβολταϊκών.

Πίνακας 7.20 – Ετήσια αξία φωτοβολταϊκών (€) ανά σενάριο μελέτης και περιοχή εγκατάστασης

Σενάριο Περιοχή	Αρχική	Μετά την 1η οικονομική κατανομή	Μετά τη 2η οικονομική κατανομή	Μετά την αλλαγή της ένταξης μονάδων	
				ώρες	εικοσάλεπτα
Χανιά	1.008.517,57	1.014.859,57	1.078.028,25	1.094.017,36	1.102.279,36
Κοντά στα Χανιά	1.008.517,57	1.011.903,92	1.030.392,04	-	-
Ιεράπετρα	1.041.054,49	1.043.654,74	1.061.012,88	-	-

7.4.1 Όφελος τοποθέτησης φωτοβολταϊκών στα Χανιά έναντι περιοχών κοντά στα Χανιά

Παραπάνω στην ενότητα 7.3.2 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξίας των φωτοβολταϊκών όταν η τοποθέτησή τους γίνεται σε περιοχές κοντινές των Χανίων αλλά εκτός εξυπηρέτησης του Υ/Σ. Η πρώτη οικονομική κατανομή προσδίδει όφελος 3.400€ και η δεύτερη 21.900€ στην αρχική αξία των φωτοβολταϊκών.

Σε γενικές γραμμές, στην περίπτωση που τα φωτοβολταϊκά είναι διασκορπισμένα σε περιοχές του νομού Χανίων και εκτός επιρροής του Υ/Σ, αξίζει, όπως φαίνεται στα αποτελέσματα της ενότητας 7.3.1, να δοθεί από τη ΔΕΗ επιπλέον οικονομικό κίνητρο στους ιδιοκτήτες για τη μετακίνηση τους σε περιοχές εντός του Υ/Σ αφού ακολουθήσει μια διαφορετική πολιτική ένταξης των μονάδων μέχρι και σε επίπεδα εικοσαλέπτων. Παίρνοντας ένα μικρό ρίσκο για την αποφυγή εκκίνησης μονάδας σε επίπεδα εικοσαλέπτων το όφελος ανέρχεται στα 7,4 €/MWh. Πιο αναλυτικά οι διαφορές του κέρδους των υπόλοιπων σεναρίων ακολουθούν παρακάτω.

Με συνθήκες πρώτης οικονομικής κατανομής, η αξία της μετακίνησης των φωτοβολταϊκών από περιοχές εκτός σε περιοχές εντός του Υ/Σ ανέρχεται σε 2.900€ ή 0,23 €/MWh ή 0,27 €/kWp ετησίως.

Με συνθήκες δεύτερης οικονομικής κατανομής, η αξία της ανάλογης μετακίνησης των φωτοβολταϊκών ανέρχεται σε 3,76 €/MWh ή 4,4 €/kWp ή αλλιώς σε 47.700€ ετησίως. Αυτό είναι το ποσό που μπορεί να διαθέσει ο διαχειριστής σε αυτή την περίπτωση για επιπλέον οικονομικό κίνητρο μετακίνησης, πάντα σύμφωνα με αυτές τις συνθήκες.

Η διαφορά της ένταξης των μονάδων στα Χανιά με τη δεύτερη οικονομική κατανομή σε περιοχές εκτός Χανίων ανέρχεται ετησίως σε 5 €/MWh ή 5,9 €/kWp ή αλλιώς 63.700€. Αυτό είναι και το ετήσιο όφελος της μετακίνησης των φωτοβολταϊκών σε αυτή την περίπτωση. Η σύγκριση του σεναρίου της ένταξης στα Χανιά γίνεται με αυτό της δεύτερης οικονομικής κατανομής για περιοχές κοντά στα Χανιά, διότι το πρόγραμμα της ένταξης μονάδων μπορεί να μεταβληθεί μόνο στην περίπτωση που τα φωτοβολταϊκά βρίσκονται σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων. Αν

προσμετρηθούν και τα οφέλη του ρίσκου της αποφυγής εκκίνησης μονάδας σε επίπεδα εικοσαλέπτων το ετήσιο όφελος της επικείμενης μετακίνησης των φωτοβολταϊκών αυξάνεται σε 71.900€ ή 5,67 €/MWh ή αλλιώς 6,7 €/kWp.

7.4.2 Όφελος τοποθέτησης φωτοβολταϊκών στα Χανιά έναντι περιοχών της Ιεράπετρας

Η προσομοίωση της εφαρμογής σε συνθήκες Ιεράπετρας έγινε για να επιβεβαιώσει τις αρχικές εκτιμήσεις πως η αξία των φωτοβολταϊκών είναι μεγαλύτερη στα Χανιά παρ' ότι έχουν λιγότερη ηλιοφάνεια και άρα λιγότερη παραγωγή από φωτοβολταϊκά. Είναι λοιπόν πιο συμφέρον να παράγουν τα φωτοβολταϊκά στα Χανιά, στοχευμένα για την ελάφρυνση του υποσταθμού, παρά να βρίσκονται στην Ιεράπετρα που θα μπορούσαν να παράγουν περισσότερο ετησίως.

Με συνθήκες πρώτης οικονομικής κατανομής, η ετήσια αξία των φωτοβολταϊκών όταν αυτά είναι εγκατεστημένα στην Ιεράπετρα παραμένει μεγαλύτερη από αυτή των Χανίων κατά 28.800€ περίπου. Παρ' όλα αυτά η ετήσια αξία ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά είναι μεγαλύτερη στα Χανιά κατά 0,61€. Η χαμηλή αξία της μετακίνησης των φωτοβολταϊκών σε περιοχές των Χανίων μπορεί να τη χαρακτηρίσει άσκοπη σε αυτή την περίπτωση. Η διατήρηση της υπεροχής της αξίας των φωτοβολταϊκών στην Ιεράπετρα μετά την πρώτη οικονομική κατανομή οφείλεται στη φύση της συγκεκριμένης επίλυσης. Η πρώτη οικονομική κατανομή, όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 4, υπολογίζει τη βέλτιστη μείωση των μονάδων λόγω της προσφοράς παραγωγής από τα φωτοβολταϊκά. Στα παρακάτω στάδια φαίνεται ότι τα φωτοβολταϊκά είναι προτιμότερο να μετακινηθούν σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων.

Με συνθήκες δεύτερης οικονομικής κατανομής, η ετήσια αξία της μετακίνησης των φωτοβολταϊκών από περιοχές της Ιεράπετρας σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων ανεβαίνει στα 4,27 €/MWh ή 1,6 €/kWp ή συνολικά 17.000€ περίπου. Τόσο είναι και το επιπλέον οικονομικό κίνητρο που πρέπει να διαθέσει η ΔΕΗ σε αυτή την περίπτωση σε κάθε ιδιοκτήτη φωτοβολταϊκού για τη μετακίνηση της άδειάς του σε περιοχές των Χανίων.

Με την εφαρμογή της αλλαγής στο πρόγραμμα ένταξης μονάδων στα Χανιά φαίνεται περισσότερο η ανάγκη μετακίνησης των φωτοβολταϊκών. Η σύγκριση γίνεται με τα αποτελέσματα της δεύτερης οικονομικής κατανομής στην Ιεράπετρα, αφού η αλλαγή της ένταξης μονάδων, με έμφαση στη μείωση του Αερ1Χαν, μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο για περιοχές του Υ/Σ Χανίων. Η αξία της μετακίνησης σε αυτή την περίπτωση ανέρχεται ετησίως σε 33.000€ ή 5,53 €/MWh. Αν προσμετρηθούν δε και τα οφέλη του ρίσκου αποφυγής ένταξης μονάδων σε επίπεδα εικοσαλέπτων, τα οφέλη της μετακίνησης αυξάνονται ετησίως σε περίπου 41.300€ ή 6,18 €/MWh. Αυτό είναι το επιπλέον οικονομικό κίνητρο που πρέπει να δώσει η ΔΕΗ στους ιδιώτες για τη συγκεκριμένη μετακίνηση των αδειών τους σε αυτή την περίπτωση.

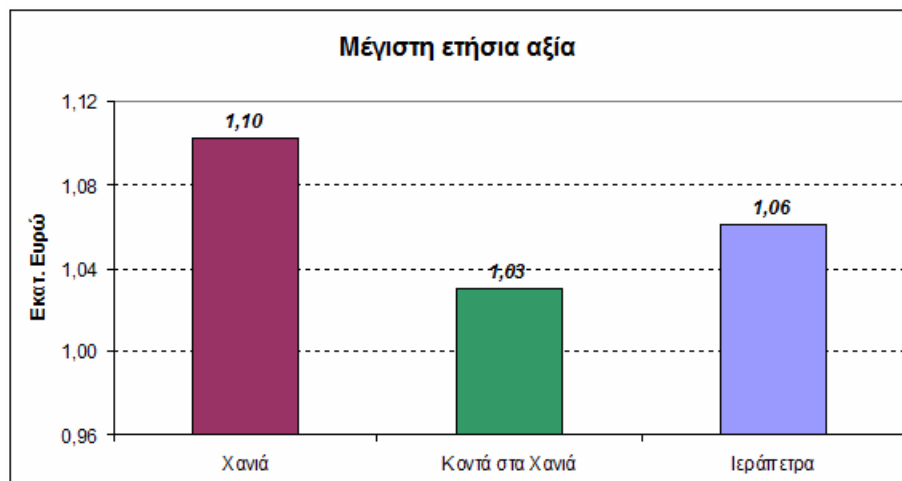
7.4.3 Μέγιστο όφελος μετακίνησης φωτοβολταϊκών - Μέγιστη επιδότηση

Τα οφέλη που προσδίδει η εφαρμογή σε κάθε σενάριο μελέτης για κάθε χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών είναι διαφορετικά. Παρακάτω παρουσιάζονται τα

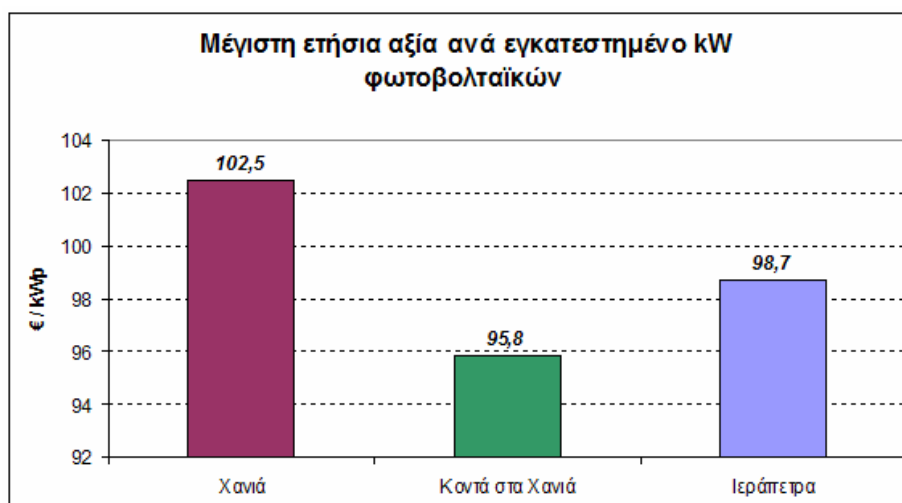
μέγιστα ετήσια επίπεδα που ανέρχεται η αξία των φωτοβολταϊκών μετά από την εφαρμογή για τις τρεις διαφορετικές χωροθετήσεις των φωτοβολταϊκών, στα Χανιά, σε περιοχές κοντά στα Χανιά και στην Ιεράπετρα. Αυτό γίνεται για να πραγματοποιηθεί η σύγκριση μεταξύ των καλύτερων σεναρίων μελέτης σε κάθε περιοχή. Οι διαφορές ανάμεσα στα οφέλη αποτελούν την τελική ετήσια αξία που παρουσιάζει μια μετακίνηση των υπό μελέτη φωτοβολταϊκών από μια περιοχή σε κάποια άλλη. Τα οφέλη αυτής της μετακίνησης προτείνεται να χρησιμοποιηθούν σαν κίνητρο στους ιδιοκτήτες φωτοβολταϊκών για την επικείμενη μετακίνηση.

Πίνακας 7.21 – Μέγιστη ετήσια αξία φωτοβολταϊκών μετά την εφαρμογή για κάθε περιοχή χωροθέτησης των φωτοβολταϊκών

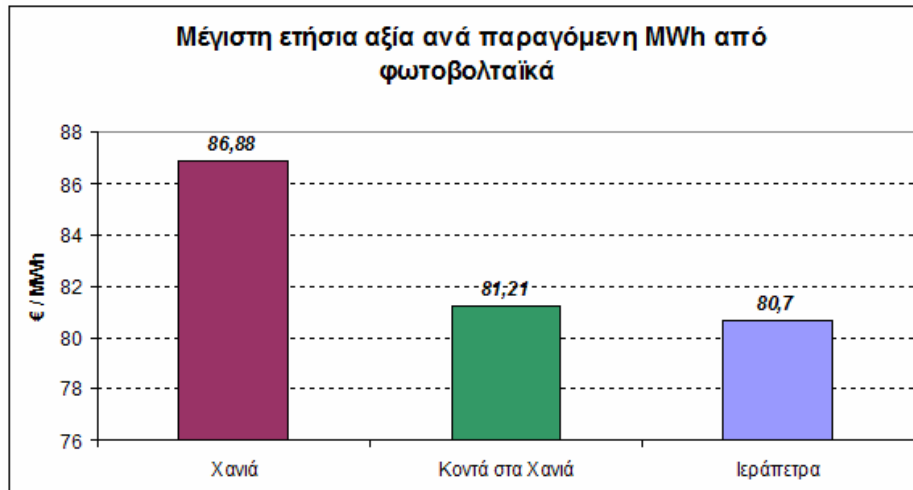
	Μέγιστη ετήσια αξία		
	€	€/kWp	€/MWh
Χανιά	1.102.279,36	102,5	86,88
Κοντά στα Χανιά	1.030.392,04	95,8	81,21
Ιεράπετρα	1.061.012,88	98,7	80,70



Εικόνα 7.10 – Μέγιστη ετήσια αξία μετά την εφαρμογή για κάθε περιοχή χωροθέτησης των φωτοβολταϊκών



Εικόνα 7.11 – Μέγιστη ετήσια αξία ανά εγκατεστημένο kW φωτοβολταϊκών μετά την εφαρμογή για κάθε περιοχή χωροθέτησης των φωτοβολταϊκών



Εικόνα 7.12– Μέγιστη ετήσια αξία ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά μετά την εφαρμογή για κάθε περιοχή χωροθέτησης των φωτοβολταϊκών

Τα συμπεράσματα που αφορούν στην αξία της μετακίνησης των φωτοβολταϊκών προς περιοχές του Υ/Σ Χανίων, υπολογίζοντας τη μέγιστη ετήσια αξία που παρουσιάζουν σε κάθε σενάριο, έχουν ως εξής:

- Η αξία της μετακίνησης των φωτοβολταϊκών από περιοχές κοντά στα Χανιά, εκτός επιρροής του Υ/Σ, προς περιοχές των Χανίων που εξυπηρετεί ο Υ/Σ μπορεί να ανέλθει σε 71.900€ ετησίως ή 6,7 €/kWp ή 5,7 €/MWh.
- Η αξία της μετακίνησης από περιοχές της Ιεράπετρας προς περιοχές του Υ/Σ Χανίων μπορεί να ανέλθει σε 41.300€ ετησίως ή 3,8 €/kWp. Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών στις δύο περιπτώσεις είναι διαφορετική οπότε η αξία της μετακίνησης δεν μπορεί να εκφραστεί ασφαλώς ανά MWh.

Οι παραπάνω τιμές δείχνουν την τελική ετήσια επιδότηση που μπορεί, αν είναι διατεθειμένη, να προσφέρει η ΔΕΗ στους ιδιώτες για τις συγκεκριμένες μετακινήσεις φωτοβολταϊκής ισχύος. Η μεγαλύτερη επιδότηση που εμφανίζεται είναι αυτή που αφορά στη μετακίνηση των φωτοβολταϊκών από μια διεσπαρμένη χωροθέτηση στο νομό Χανίων σε μια πιο συγκεντρωμένη σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων. Σε γενικές γραμμές, η συγκεκριμένη ετήσια επιδότηση είναι στα επίπεδα του 1% του κόστους κατασκευής του πάρκου. Η διαφορά χρημάτων είναι και η ετήσια αξία αν η ΔΕΗ αποφασίσει να επενδύσει μόνη της. Το εύρος της τελικής επιδότησης προς τους ιδιώτες εξαρτάται τελικά από το πιο σενάριο λειτουργίας θα θεωρήσει η ΔΕΗ ότι επιτυγχάνει.

7.5 Ανάλυση ευαισθησίας τιμής καυσίμων

Η ανάλυση ευαισθησίας των κερδών της εφαρμογής, για την υπό μελέτη περίοδο του δεύτερου εξαμήνου του 2001, σε μια πιθανή αύξηση των τιμών του καυσίμου παρουσιάζεται στα κεφάλαια 5 και 6 αντίστοιχα. Οι νέες τιμές καυσίμων με τις οποίες γίνεται η σύγκριση είναι οι ισχύουσες το 2008. Παρατηρήθηκε ότι η τιμή του diesel το 2008 αυξήθηκε κατά 101% σε σχέση με την τιμή του 2001 και η τιμή του μαζούτ κατά 113% αντίστοιχα. Λαμβάνοντας και τα δύο ποσοστά υπόψη, μπορούμε να πούμε με ασφάλεια ότι αφού διπλασιάστηκε η τιμή του καυσίμου, τουλάχιστον

διπλασιάστηκε η αξία που κατέχουν τα φωτοβολταϊκά σύμφωνα με την πιθανοτική μεθοδολογία. Αντίστοιχα με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε παραπάνω στο κεφάλαιο αυτό, θα υπολογιστεί εκ νέου η τελική αξία που θα είχαν τα φωτοβολταϊκά μετά την εφαρμογή κάθε σεναρίου μελέτης για κάθε πιθανή χωροθέτησή τους, αν οι ισχύουσες τιμές καυσίμου ήταν αυτές του 2008.

Η τελική αξία των φωτοβολταϊκών μετά από την εφαρμογή σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων για όλα τα σενάρια μελέτης με τιμές καυσίμων 2008 διαμορφώνεται όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε €/MWh και οι πίνακες που τους αντιστοιχούν με τις τιμές καυσίμων του 2001 είναι αυτοί της ενότητας 7.3.1. Είναι άξιο παρατήρησης πως με την εφαρμογή αυτού του σεναρίου η αξία των φωτοβολταϊκών στα Χανιά το μήνα Δεκέμβριο μπορεί να ανέλθει έως και 236 €/MWh.

Πίνακας 7.22 – Μηνιαία αξία φ/β ανά MWh πριν και μετά την εφαρμογή στα Χανιά με τιμές καυσίμων 2008

	Πριν την εφαρμογή	1 ^η οικονομική κατανομή	2 ^η οικονομική κατανομή	Ένταξη Μονάδων
Ιανουάριος	141,58	141,58	141,58	141,58
Φεβρουάριος	134,92	134,92	134,92	134,92
Μάρτιος	147,27	147,27	147,27	147,27
Απρίλιος	142,21	142,21	142,21	142,21
Μάιος	118,73	118,73	118,73	118,73
Ιούνιος	137,36	137,36	137,36	137,36
Ιούλιος	150,41	154,85	169,38	170,88
Αύγουστος	165,99	174,60	196,46	198,33
Σεπτέμβριος	196,66	196,89	205,11	205,88
Οκτώβριος	183,93	183,23	187,33	187,57
Νοέμβριος	197,58	195,17	197,68	197,70
Δεκέμβριος	168,91	169,91	234,20	236,03
Ετησίως	158,98	160,04	170,02	170,59

Η συνολική ετήσια αξία των φωτοβολταϊκών στην περιοχή των Χανίων μεγιστοποιείται αν εφαρμοστεί το σενάριο αλλαγής της ένταξης μονάδων. Αν ληφθεί και το ρίσκο αποφυγής εκκίνησης μονάδων σε επίπεδα εικοσαλέπτων παρατηρείται η μέγιστη ετήσια αξία των φωτοβολταϊκών που μπορεί να ανέλθει σε 171,24 €/MWh.

Η τελική αξία των φωτοβολταϊκών με τιμές καυσίμων 2008 αν η χωροθέτησή τους γίνεται σε περιοχές κοντά στα Χανιά αλλά εκτός επιρροής του Υ/Σ διαμορφώνεται όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Η αντίστοιχη αξία των φωτοβολταϊκών με τιμές καυσίμου 2001 φαίνεται στην ενότητα 7.3.2.

Πίνακας 7.23 – Μηνιαία αξία φ/β ανά MWh πριν και μετά την εφαρμογή κοντά στα Χανιά με τιμές καυσίμων 2008

	Πριν την εφαρμογή	1 ^η οικονομική κατανομή	2 ^η οικονομική κατανομή
Ιανουάριος	141,58	141,58	141,58
Φεβρουάριος	134,92	134,92	134,92
Μάρτιος	147,27	147,27	147,27
Απρίλιος	142,21	142,21	142,21
Μάιος	118,73	118,73	118,73
Ιούνιος	137,36	137,36	137,36
Ιούλιος	150,41	153,48	153,29
Αύγουστος	165,99	173,15	174,44
Σεπτέμβριος	196,66	196,51	198,39
Οκτώβριος	183,93	183,23	184,91
Νοέμβριος	197,58	195,18	196,86

Δεκέμβριος	168,91	167,93	197,99
Ετησίως	158,98	159,58	162,55

Η τελική αξία των φωτοβολταϊκών με τιμές καυσίμων 2008 όταν αυτά βρίσκονται στην Ιεράπετρα παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα. Η αντίστοιχη αξία με τιμές 2001 υπάρχει στην ενότητα 7.3.3.

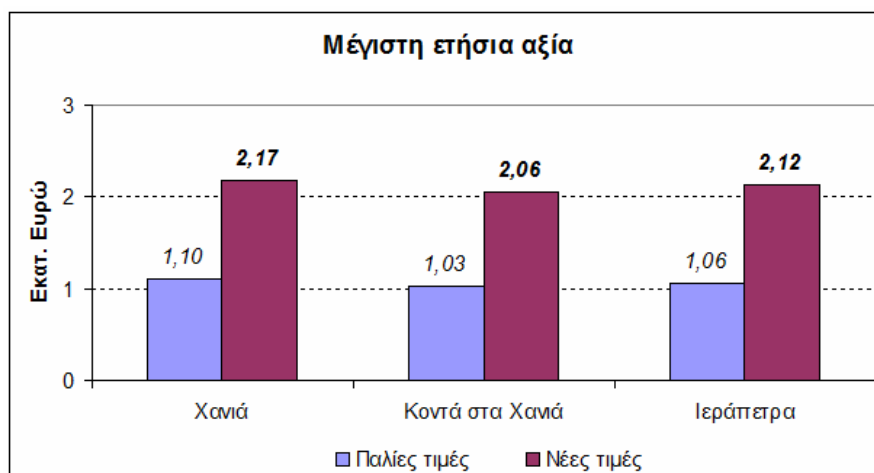
Πίνακας 7.24 – Μηνιαία αξία φ/β ανά MWh πριν και μετά την εφαρμογή στην Ιεράπετρα με τιμές καυσίμων 2008

	Πριν την εφαρμογή	1^η οικονομική κατανομή	2^η οικονομική κατανομή
Ιανουάριος	141,58	141,58	141,58
Φεβρουάριος	134,91	134,91	134,91
Μάρτιος	147,27	147,27	147,27
Απρίλιος	142,22	142,22	142,22
Μάιος	118,73	118,72	118,72
Ιούνιος	137,36	137,36	137,36
Ιούλιος	150,41	153,48	153,47
Αύγουστος	165,99	173,15	174,80
Σεπτέμβριος	196,66	196,51	198,33
Οκτώβριος	183,93	183,12	184,59
Νοέμβριος	197,58	194,85	196,39
Δεκέμβριος	168,96	167,75	193,20
Ετησίως	158,37	158,87	161,55

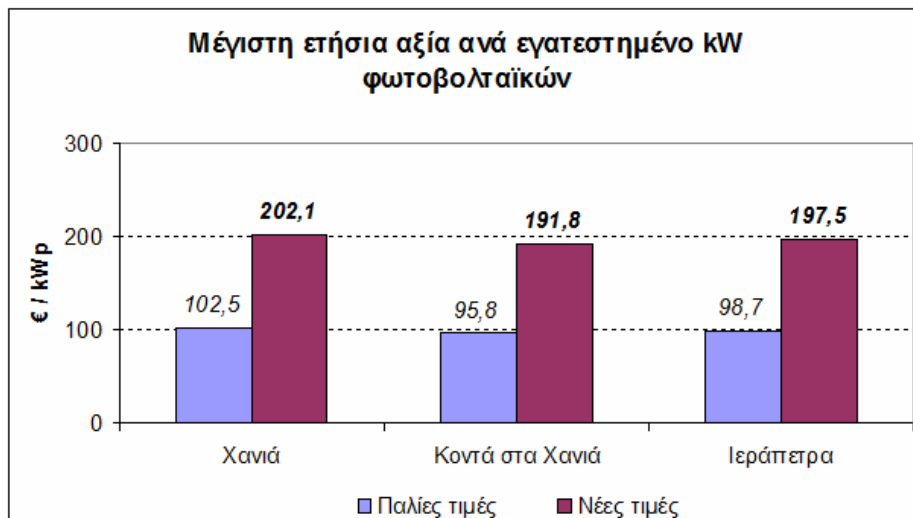
Παρακάτω, αντίστοιχα με την ενότητα 7.4.3, παρουσιάζεται σε πίνακα και γραφήματα η μέγιστη αξία που κατέχουν τα φωτοβολταϊκά, σύμφωνα με το πιο προσοδοφόρο σενάριο μελέτης, για κάθε περίπτωση χωροθέτησής τους, όταν η εφαρμογή πραγματοποιηθεί με τις τιμές καυσίμων του 2008.

Πίνακας 7.25 – Μέγιστη ετήσια αξία φωτοβολταϊκών μετά την εφαρμογή με τιμές καυσίμων 2008 για κάθε περιοχή χωροθέτησης των φωτοβολταϊκών

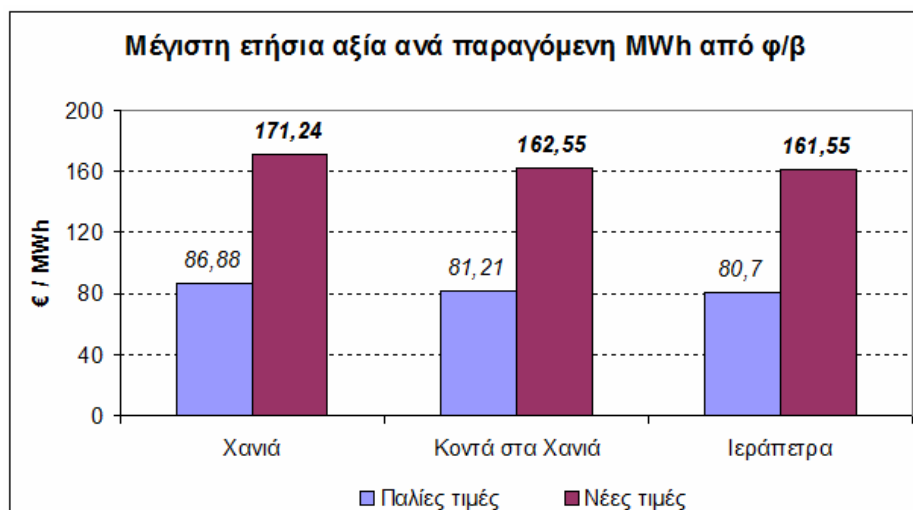
	Μέγιστη ετήσια αξία		
	€	€ / kWp	€ / MWh
Χανιά	2.172.610	202,1	171,24
Κοντά στα Χανιά	2.062.293	191,8	162,55
Ιεράπετρα	2.123.906	197,5	161,55



Εικόνα 7.13 – Αντιπαραβολή μέγιστης ετήσιας αξίας φ/β, σύμφωνα με την εφαρμογή, με τιμές 2001 και 2008



Εικόνα 7.14 - Αντιπαραβολή μέγιστης ετήσιας αξίας φ/β ανά kWp, σύμφωνα με την εφαρμογή, με τιμές 2001 και 2008



Εικόνα 7.15 - Αντιπαραβολή μέγιστης ετήσιας αξίας φ/β ανά MWh, σύμφωνα με την εφαρμογή, με τιμές 2001 και 2008

Όπως είναι αναμενόμενο τα οφέλη μιας πιθανής μετακίνησης των φωτοβολταϊκών προς περιοχές που εξυπηρετεί ο Υ/Σ Χανίων αυξάνονται επίσης. Παρακάτω φαίνονται η τελικές επιδοτήσεις που μπορεί να δώσει, αν είναι διατεθειμένη, η ΔΕΗ στους ιδιοκτήτες φωτοβολταϊκών για αυτή τη μετακίνηση, αν η εφαρμογή πραγματοποιούνταν σε συνθήκες κόστους καυσίμων όπως αυτές του 2008.

- Η αξία της μετακίνησης των φωτοβολταϊκών από περιοχές κοντά στα Χανιά, εκτός επιρροής του Υ/Σ, προς περιοχές των Χανίων που εξυπηρετεί ο Υ/Σ μπορεί να ανέλθει σε 110.300€ ετησίως ή 10,3 €/kWp ή 8,7 €/MWh. Αυτό αντιστοιχεί σε 53,5% αύξηση σε σχέση με την αξία μετακίνησης που προέκυπτε με τις παλιές τιμές.
- Η αξία της μετακίνησης από περιοχές της Ιεράπετρας προς περιοχές του Υ/Σ Χανίων μπορεί να ανέλθει σε 48.700€ ετησίως ή 4,6 €/kWp. Αυτό αντιστοιχεί σε 18% σε σχέση με την αξία μετακίνησης που προέκυπτε με τις παλιές τιμές. Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών στις δύο περιπτώσεις είναι διαφορετική οπότε η αξία της μετακίνησης δεν μπορεί να εκφραστεί ασφαλώς ανά MWh.

Υπενθυμίζεται πως η εφαρμογή επιδρά στις ώρες λειτουργίας του Αερ1Χαν στο δεύτερο εξάμηνο του 2001, οπότε και βρέθηκαν ικανοποιητικά στοιχεία. Η εκτίμηση της πιθανοτικής αξίας για το πρώτο εξάμηνο ενδέχεται να είναι διαφορετική εξαιτίας της έλλειψης γνώσης για τη μεταβολή κατανάλωσης καυσίμου οπότε, χρησιμοποιήθηκαν συντηρητικές εκτιμήσεις.

8 Συγκεντρωτικά συμπεράσματα

8.1 Σύνοψη

Μετά από την αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής στα κεφάλαια 5 και 6 και την ανάλυση της βελτίωσης της αξίας των φωτοβολταϊκών στο κεφάλαιο 7, ακολουθεί μια περίληψη των κυριότερων συμπερασμάτων της εργασίας. Παρουσιάζονται τα πιο συμφέροντα για το σύστημα σενάρια χωροθέτησης των υπό μελέτη φωτοβολταϊκών συνολικής ισχύος $10.752,4kW$. Υπενθυμίζεται πως η παραγωγή των φωτοβολταϊκών φτάνει τις $12.687,3MWh$ αν βρίσκονται στα Χανιά και τις $13.146,9MWh$ αν είναι στην Ιεράπετρα. Γίνεται αναφορά στη μέγιστη ετήσια αξία που αντιστοιχεί στα φωτοβολταϊκά σε αυτές τις περιπτώσεις. Από τα παραπάνω προκύπτουν τα οφέλη που έχει η ΔΕΗ αν επιλέξει μια επενδυτική πολιτική ή οι επιδοτήσεις που έχει τη δυνατότητα να δώσει στους ιδιοκτήτες πάρκων για τη μετακίνησή τους σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων, αν ακολουθηθεί η διαδικασία της παρούσας εφαρμογής. Παρουσιάζεται επίσης η βοήθεια που προσφέρει η εγκατάσταση μιας αποθηκευτικής διάταξης ισχύος 1MW στον Υ/Σ Χανίων μεταφρασμένη σε οικονομικά μεγέθη.

♦ Στην περίπτωση που τα φωτοβολταϊκά είναι τοποθετημένα σε περιοχές που εξυπηρετεί ο Υ/Σ Χανίων προκύπτουν τα μεγαλύτερα οφέλη για το σύστημα. Με αυτή τη χωροθέτηση και μόνο υπάρχει δυνατότητα να γίνει αλλαγή του προγράμματος ένταξης μονάδων με στόχο τη μείωση της λειτουργίας του Αερ1Χαν και τα φωτοβολταϊκά να δράσουν βοηθητικά για την αποφυγή υπερφόρτισης του μετασχηματιστή. Στην περίπτωση που ληφθεί και το ρίσκο αποφυγής εκκίνησης μονάδας σε επίπεδα εικοσαλέπτου, το κέρδος μεγιστοποιείται φτάνοντας τα επίπεδα που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8.1 – Μέγιστη ετήσια αξία φ/β στα Χανιά

Αξία φωτοβολταϊκών		
€	€/kWp	€/MWh
1.102.279	102,5	86,88

♦ Αν τα φωτοβολταϊκά είναι τοποθετημένα σε περιοχές των Χανίων αλλά εκτός ευθύνης του Υ/Σ, η μέγιστη ετήσια αξία που μπορούν να επιτύχουν είναι αυτή που προκύπτει αν εφαρμοστεί η δεύτερη οικονομική κατανομή. Σε αυτή την περίπτωση, εκτός του ότι η παραγωγή των μονάδων μειώνεται λόγω των φωτοβολταϊκών, υπάρχει η δυνατότητα αυξομείωσης της παραγωγής των μονάδων, όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 4. Η αλλαγή στο πρόγραμμα της ένταξης δεν μπορεί να επηρεαστεί αν τα φωτοβολταϊκά δεν βρίσκονται σε περιοχές εντός του Υ/Σ.

Πίνακας 8.2 – Μέγιστη ετήσια αξία φ/β σε περιοχές κοντά στα Χανιά

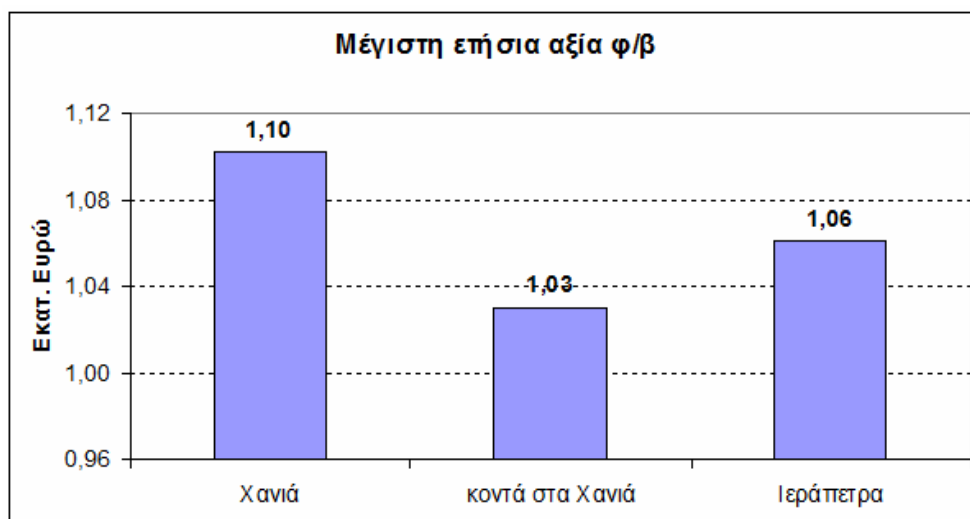
Αξία φωτοβολταϊκών		
€	€/kWp	€/MWh
1.030.392	95,8	81,21

- ♦ Αν τα φωτοβολταϊκά είναι τοποθετημένα σε περιοχές της Ιεράπετρας, όπου υπάρχει μεγαλύτερη ηλιοφάνεια σε ετήσια κλίμακα, η μέγιστη ετήσια αξία που κατέχουν είναι αυτή που προκύπτει αν εφαρμοστεί η δεύτερη οικονομική κατανομή, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

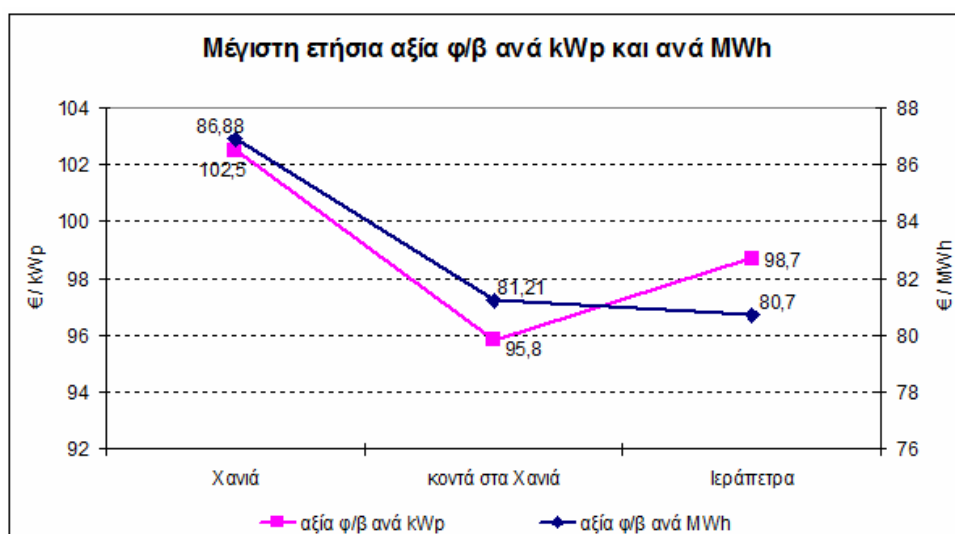
Πίνακας 8.3 – Μέγιστη ετήσια αξία φ/β στην Ιεράπετρα

Αξία φωτοβολταϊκών		
€	€/kWp	€/MWh
1.061.012	98,7	80,70

- ♦ Η μέγιστη ετήσια αξία των φωτοβολταϊκών, έτσι όπως διαμορφώνεται μετά την εφαρμογή για κάθε περίπτωση χωροθέτησης των φωτοβολταϊκών παρουσιάζεται συγκεντρωτικά στα παρακάτω γραφήματα. Η μεγαλύτερη αξία ανέρχεται σε 1,1 εκατ. Ευρώ και παρατηρείται όταν τα φωτοβολταϊκά βρίσκονται σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων.



Εικόνα 8.1 – Μέγιστη ετήσια αξία φ/β μετά την εφαρμογή



Εικόνα 8.2 – Μέγιστη ετήσια αξία φ/β ανά kWp και ανά MWh μετά την εφαρμογή

Φαίνεται ξεκάθαρα ότι το πιο προσοδοφόρο σενάριο για το σύστημα είναι αυτό της τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων. Η μέγιστη αξία των φωτοβολταϊκών ανά εγκατεστημένο kW είναι μεγαλύτερη στην Ιεράπετρα από

ότι σε περιοχές κοντά στα Χανιά, λόγω καλύτερων συνθηκών ηλιοφάνειας και μεγαλύτερης παραγωγής των φωτοβολταϊκών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους εκεί. Η αξία των φωτοβολταϊκών ανά παραγόμενη MWh από φωτοβολταϊκά, όμως, για την περιοχή της Ιεράπετρας είναι μικρότερη. Αυτό συμβαίνει πάλι λόγω της μεγαλύτερης ετήσιας παραγωγής των φωτοβολταϊκών εκεί.

♦ Από τα παραπάνω προκύπτει το όφελος που έχει ο διαχειριστής από μια πιθανή μετακίνηση της φωτοβολταϊκής ισχύος σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων. Με αυτό το ποσό μπορεί να ακολουθήσει μια επενδυτική πολιτική, π.χ. να δανειστεί για την κατασκευή φωτοβολταϊκού πάρκου, που θα βοηθήσει στην ανακούφιση του Υ/Σ Χανίων. Έχει όμως και τη δυνατότητα να πριμοδοτήσει τους ιδιοκτήτες φωτοβολταϊκών πάρκων που δεν έχουν κατασκευαστεί ακόμα να μεταφέρουν τις άδειές τους στις περιοχές του Υ/Σ Χανίων. Παρακάτω φαίνονται οι μέγιστες ετήσιες επιδοτήσεις που έχει τη δυνατότητα να δώσει η ΔΕΗ στους ιδιώτες σαν επιπλέον οικονομικό κίνητρο για την επικείμενη μετακίνηση των αδειών τους.

Πίνακας 8.4 – Μέγιστη ετήσια επιδότηση για τη μετακίνηση φ/β από περιοχές κοντά στα Χανιά προς τα Χανιά

Επιδότηση	
€	€ / kWp
71.900	6,7

Πίνακας 8.5 – Μέγιστη ετήσια επιδότηση για τη μετακίνηση φ/β από περιοχές της Ιεράπετρας προς τα Χανιά

Επιδότηση	
€	€ / kWp
41.300	3,8

Το σύνολο της επιδότησης που μπορεί να δοθεί από τη ΔΕΗ για τη μετακίνηση των φωτοβολταϊκών από την Ιεράπετρα σε περιοχές των Χανίων δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 41.300 €/έτος. Είναι σαφές όμως, πως από την πλευρά του διαχειριστή αξίζει να φύγουν τα φωτοβολταϊκά από μια περιοχή σαν την Ιεράπετρα, όπου μπορούν να παράγουν τα μέγιστα, και να μετακινηθούν στην περιοχή των Χανίων, όπου θα παράγουν λιγότερο αλλά στοχευμένα για την ανακούφιση του Υ/Σ. Παρόμοια, συμφέρον είναι να μετακινηθούν τα φωτοβολταϊκά από ευρύτερες περιοχές κοντινές των Χανίων προς τα Χανιά. Για τη μετακίνηση αυτή συνολικά η ΔΕΗ έχει τη δυνατότητα να προσφέρει έως 71.900 €/έτος. Αυτό αντιστοιχεί σε ετήσια επιδότηση προς ιδιοκτήτες φωτοβολταϊκών που ξεπερνάει το 1% του κόστους κατασκευής του πάρκου τους. Συνολικά, αν η ΔΕΗ θέλει να πριμοδοτήσει την παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας, οι τιμές που θα πρέπει να προσφέρει είναι σημαντικά μεγαλύτερες στα Χανιά, όπως φαίνονται και στους πίνακες 8.1 και 8.2. Οι τιμές αυτές κυμαίνονται σε 86,88 €/MWh για περιοχές των Χανίων εντός του Υ/Σ και 81,21 €/MWh για περιοχές των Χανίων εκτός του Υ/Σ.

♦ Αν στον Υ/Σ Χανίων υπάρχει εγκατεστημένη αποθηκευτική διάταξη ισχύος 1MW τα οικονομικά οφέλη του συστήματος αυξάνονται. Παραδείγματος χάρη, για την περίπτωση που εφαρμόζεται η δεύτερη οικονομική κατανομή στις περιοχές εντός και εκτός Χανίων, φαίνεται παρακάτω πόσο μπορεί να βοηθήσει μια αποθηκευτική διάταξη, αυξάνοντας παράλληλα τα κέρδη. Σε αυτή την περίπτωση

δεν είναι δυνατό να γίνει αναγωγή σε ετήσια αξία με την πιθανοτική μέθοδο γιατί τα οφέλη προέρχονται από φωτοβολταϊκά και αποθηκευτική διάταξη σε συνδυασμό.

Πίνακας 8.6 – Κέρδος εφαρμογής με αποθήκευση στα Χανιά, 2^ο εξάμηνο 2001

Φ/Β στα Χανιά	Φ/Β κοντά στα Χανιά
150.640	108.947

Οι διαφορές που παρουσιάζει η προσομοίωση της αποθήκευσης με αυτή της δεύτερης οικονομικής κατανομής θα δείξουν το όφελος της αποθήκευσης. Αυτό το όφελος είναι και το μέγιστο ποσό που μπορεί να διατεθεί υπό αυτές τις συνθήκες για την εγκατάσταση αποθηκευτικής διάταξης.

Πίνακας 8.7 – Όφελος αποθήκευσης στα Χανιά σε σχέση με τη 2^η οικονομική κατανομή, 2^ο εξάμηνο 2001

Φ/Β στα Χανιά	Φ/Β κοντά στα Χανιά
5.913	11.856

Αν λοιπόν τα φωτοβολταϊκά είναι εγκατεστημένα σε περιοχές των Χανίων, η ΔΕΗ μπορεί να δώσει επιπλέον οικονομικό κίνητρο για την εγκατάσταση αποθηκευτικής διάταξης έως και 5,9 €/kW. Αν τα φωτοβολταϊκά είναι εγκατεστημένα σε περιοχές εκτός Χανίων η επιδότηση για αποθήκευση ανέρχεται στα 11,8 €/kW. Η μεγαλύτερη τιμή για περιοχές εκτός Χανίων οφείλεται στα λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα της δεύτερης οικονομικής κατανομής σε σχέση με περιοχές εντός των Χανίων. Το πιο συμφέρον για το σύστημα εξακολουθεί να είναι το σενάριο τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στα Χανιά, αφού η αποθηκευτική διάταξη ενισχύει την αξία των φωτοβολταϊκών.

♦ Μετά την εφαρμογή της ένταξης μονάδων στα Χανιά, παίρνοντας το ρίσκο αποφυγής εκκίνησης σε επίπεδα εικοσαλέπτων, παρατηρείται μείωση της παραγωγής του Αερ1Χαν κατά 63,4% για το δεύτερο εξάμηνο του 2001. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως το σύνολο των παραγόμενων MWh του Αερ1Χαν μειώθηκε από τις 2546MWh στις 942MWh για την εξεταζόμενη περίοδο.

♦ Μετά την εφαρμογή της ένταξης μονάδων επηρεάστηκε, όπως ήταν αναμενόμενο η λειτουργία του Υ/Σ Χανίων. Η συνολική φόρτιση του Μ/Σ-2 αυξήθηκε λίγο αλλά μειώθηκε η μέγιστη ζήτηση που παρατηρείται στον Υ/Σ κατά 1,5%, από 41,4MW σε 40,8MW. Αυτό συντέλεσε στη βελτίωση του συντελεστή φορτίου των Χανίων, περιορίζοντας τη συχνότητα υπερφόρτισης.

♦ Από τη σκοπιά της συνολικής παραγωγής των δύο σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που υπήρχαν τότε, μετά την εφαρμογή της ένταξης μονάδων, παρατηρείται μείωση της παραγωγής του σταθμού Χανίων κατά 3% ή αλλιώς 1961MWh και αύξηση παραγωγής του σταθμού των Λινοπεραμάτων κατά 2% για την εξεταζόμενη περίοδο του δεύτερου εξαμήνου του 2001.

♦ Από περιβαλλοντικής σκοπιάς, παρατηρείται μείωση της εκπομπής βλαβερών σωματιδίων, λόγω της μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου από τις θερμικές μονάδες και αντικατάστασής τους από μονάδες που παράγουν ενέργεια φιλική προς

το περιβάλλον. Ειδικότερα, παρατηρείται μεγάλη μείωση στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, που παράγεται από μονάδες αιχμής. Πιο συγκεκριμένα, στη μελέτη ένταξης μονάδων με το ρίσκο της αποφυγής εκκίνησης, αποφεύγονται οι εκπομπές 696 τόνων διοξειδίου του άνθρακα για την υπό μελέτη περίοδο του δεύτερου εξαμήνου του 2001. Οι εκπομπές των υπόλοιπων τοπικών ρύπων (οξειδίων του αζώτου και λοιπών σωματιδίων) επίσης μειώνονται κατά 570kg. Επομένως, το περιβαλλοντικό όφελος για την περιοχή των Χανίων είναι αυξημένο, αφού εκεί υπάρχουν κυρίως μονάδες αιχμής.

♦ Τα αποτελέσματα της εργασίας είναι πολύ πιο ελπιδοφόρα σε μια πιθανή αύξηση της τιμής του καυσίμου. Με μια σύγκριση που έγινε με τιμές καυσίμων του 2008, που κυμαίνονταν περίπου σε διπλάσια επίπεδα, φάνηκε πως τα οφέλη της εφαρμογής πολλαπλασιάστηκαν σημαντικά. Πιο συγκεκριμένα, στον παρακάτω πίνακα 8.8 φαίνεται η αξία που έχουν τα φωτοβολταϊκά για κάθε σενάριο μελέτης και χωροθέτησής τους με τιμές καυσίμων που ανταποκρίνονται στο 2008.

Πίνακας 8.8 – Μέγιστη ετήσια αξία φωτοβολταϊκών με τιμές καυσίμων 2008

	Μέγιστη ετήσια αξία		
	€	€/kWp	€/MWh
Χανιά	2.172.610	202,1	171,24
Κοντά στα Χανιά	2.062.293	191,8	162,55
Ιεράπετρα	2.123.906	197,5	161,55

Σε σχέση με τη μέγιστη αξία που παρουσίαζαν τα φωτοβολταϊκά με τιμές καυσίμων του 2001, όπως παρουσιάστηκε στους πίνακες 8.1 - 8.3, η ποσοστιαία αύξηση της αξίας, λόγω της αύξησης της τιμής των καυσίμων, είναι:

- 97,11% για τα Χανιά.
- 100,15% για περιοχές κοντά στα Χανιά.
- 100,18% για την Ιεράπετρα.

8.2 Προτάσεις

Σαν αποτέλεσμα αυτής της εργασίας, εξάγονται κάποια συμπεράσματα που είναι ωφέλιμα για το σύστημα της Κρήτης ή ακόμα και για τους ιδιώτες-παραγωγούς φωτοβολταϊκών πάρκων. Η ΔΕΗ, που είναι ο διαχειριστής του ΣΗΕ Κρήτης, έχει την ελευθερία να δράσει διαφορετικά από την πολιτική της παρούσας εφαρμογής. Παρ' όλα αυτά, σε περίπτωση που ακολουθηθεί αυτή η πολιτική της χρήσης της φωτοβολταϊκής ενέργειας για την ανακούφιση του Υ/Σ Χανίων σε ώρες αιχμής φορτίου, πρέπει να δοθούν κάποιες κατευθυντήριες γραμμές.

Σε περίπτωση που τα φωτοβολταϊκά στα Χανιά προορίζονται πλέον για το συγκεκριμένο σκοπό, μια πρόταση θα ήταν η κλίση τους να προσαρμοζόταν έτσι ώστε να έχουν μεγαλύτερη παραγωγή το καλοκαίρι και τα πλαίσια να στρεφόταν λίγο προς τα δυτικά, έτσι ώστε να αυξηθεί η απογευματινή παραγωγή. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσε να επιτευχθεί ένας υψηλότερος ταυτοχρονισμός παραγωγής φωτοβολταϊκών και ζήτησης Αερ1Χαν, δηλαδή αιχμής φορτίου.

Παρακάτω προτείνονται κάποιες κινήσεις που σύμφωνα με αυτή την εφαρμογή προσφέρουν κέρδος. Η παρουσίαση γίνεται ανά φορέα.

♦ Τη ΔΕΗ τη συμφέρει να μεταφερθούν οι νέες άδειες φωτοβολταϊκών σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων, ούτως ώστε να επωφελείται από τη βοήθεια που μπορούν να προσφέρουν, ειδικά αν συνδυαστούν και με αποθηκευτική διάταξη, στην μείωση της αιχμής. Σαν συνέπεια, θα προστατευτούν οι εξοπλισμοί του σταθμού παραγωγής των Χανίων, θα μειωθεί η παραγωγή της «ακριβής» μονάδας του Αερ1Χαν και θα βελτιωθεί ο συντελεστής φορτίου στα Χανιά. Επίσης, θα μειωθούν οι τοπικοί ρύποι που εκπέμπονται και ιδιαίτερα σημαντική μείωση θα έχει η εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα.

Για την επίτευξη της συγκεκριμένης μετακίνησης των φωτοβολταϊκών η ΔΕΗ μπορεί να προσφέρει επιπλέον οικονομικό κίνητρο στους ιδιοκτήτες πάρκων προκειμένου να τα εγκαταστήσουν στα Χανιά. Οι επιδοτήσεις που θα προσφέρει πρέπει να προέρχονται από τα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή.

Υπάρχει πάντα και η δυνατότητα μιας επενδυτικής πολιτικής από την πλευρά της ΔΕΗ, όπως λόγου χάρη ο δανεισμός για την κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, το οποίο θα τοποθετήσει σε περιοχές του Υ/Σ Χανίων. Με την εξοικονόμηση της ενέργειας που θα επιτύχει και με τα οφέλη που θα προκύψουν από την εφαρμογή θα επιταχυνθεί αρκετά η αποπληρωμή του δανείου.

Βασικές προϋποθέσεις για τους παραπάνω τρόπους δράσης αποτελούν οι συνθήκες δανεισμού και το κόστος γης στα Χανιά. Το δάνειο που θα πάρει η ΔΕΗ για μια τέτοια κίνηση πρέπει να προσφέρει ευνοϊκότερους όρους από τους συνηθισμένους λόγω της φύσης του δανειζόμενου και του προβλήματος που προσπαθεί να επιλύσει. Το κόστος γης, είτε πρόκειται να κατασκευάσει η ΔΕΗ πάρκο είτε να δαλεάσει άλλους ιδιώτες, πρέπει να βρίσκεται σε ίδια ή χαμηλότερα επίπεδα από τις «ανταγωνίστριες» περιοχές προκειμένου να αποκτηθεί τελικά το όφελος που προκύπτει από την παρούσα εφαρμογή. Σημαντική παράμετρο για τη ΔΕΗ αποτελεί επίσης και το κόστος του καυσίμου. Όπως έδειξε η ανάλυση ευαισθησίας της εφαρμογής στην τιμή του καυσίμου, τα οφέλη και η τιμή του καυσίμου είναι έντονα συσχετισμένα ποσά.

♦ Όσον αφορά τους παραγωγούς-ιδιοκτήτες φωτοβολταϊκών πάρκων η μετακίνηση προς περιοχές του Υ/Σ Χανίων μπορεί να γίνει υπό προϋποθέσεις. Η τιμή πώλησης της παραγόμενης MWh από φωτοβολταϊκά σε μη διασυνδεδεμένα νησιά το 2001 ήταν σε χαμηλότερα επίπεδα από σήμερα της τάξης των 70,9€. Η μέγιστη επιδότηση που μπορεί να δοθεί από τη ΔΕΗ για τη συγκεκριμένη μετακίνηση, ώστε τα οικονομικά της οφέλη να παραμείνουν τα ίδια με τις αρχικές εκτιμήσεις της αξίας των φωτοβολταϊκών, είναι περίπου 6 €/MWh που αντιστοιχεί σε 8,5% αύξηση της ισχύουσας τιμής πώλησης. Αυτή η επιδότηση μπορεί να δοθεί μόνο εφ' όσον υπάρχει φωτοβολταϊκή ισχύς στα Χανιά τουλάχιστον όσο αυτή που μελετάται στην παρούσα εργασία. Οπότε ο παραγωγός μπορεί να κάνει αυτή τη μετακίνηση μόνο αν υπάρχει δυνατότητα η επιπλέον επιδότηση να του απορροφήσει τυχόν επιπλέον έξοδα λόγω της μετακίνησης, όπως αυξημένο κόστος αγοράς γης, έξοδα μετακινήσεων, κτλ. Σε περίπτωση που η ΔΕΗ, ως διαχειριστής, είναι διατεθειμένη να μειώσει το όφελος της προκειμένου να γίνει η επίμαχη μετακίνηση, αυξάνονται τα οφέλη των ιδιωτών. Προσφέροντας τελική τιμή έως 86,88 €/MWh, υπάρχει οικονομικό όφελος για τη ΔΕΗ, μικρότερο βέβαια, και τα οφέλη της μετακίνησης για τους ιδιώτες γίνονται ελκυστικότερα. Με τα σημερινά όμως δεδομένα, η τιμή αποζημίωσης του ιδιώτη παραγωγού για κάθε MWh είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη αξία των

φωτοβολταϊκών. Η τιμή αποζημίωσης σήμερα κυμαίνεται στα 450 €/MWh ενώ η αξία των φωτοβολταϊκών για τη ΔΕΗ, ακόμα και με τις τιμές καυσίμων του 2008 μπορεί να ανέλθει έως και 171,24 €/MWh.

♦ Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, η οποία καθορίζει τους οικονομικούς όρους της αγοράς στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θα μπορούσε παρακινούμενη από τα αποτελέσματα της παρούσας εφαρμογής να χαράξει ξεχωριστή πολιτική αντιμετώπισης φωτοβολταϊκών ανάλογα με τη βοήθεια που προσφέρουν στο σύστημα. Πρακτικά, θα μπορούσε να θεσμοθετήσει διαφορετικές τιμές πώλησης παραγόμενης ενέργειας από φωτοβολταϊκά όταν αυτά βρίσκονται σε περιοχές κορεσμένων Υ/Σ, όπως αυτός των Χανίων, πριμοδοτώντας τους ενδιαφερόμενους μελλοντικούς κατασκευαστές φωτοβολταϊκών. Επίσης, θα μπορούσε να επισπεύσει την αδειοδότηση των εγκαταστάσεων φωτοβολταϊκών πάρκων όταν πρόκειται για τέτοιες περιοχές κατά προτεραιότητα.

9 Βιβλιογραφία

- [1] Σταυρακάκης Γεώργιος. “Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Ηλιακή Ενέργεια - Σημειώσεις”.
- [2] Σταυρακάκης Γεώργιος. “Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Φωτοβολταϊκά Συστήματα - Σημειώσεις”.
- [3] Ι. Ε. Φραγκιαδάκης. “Φωτοβολταϊκά Συστήματα”, 2^η έκδοση, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2006.
- [4] A. Tsikalakis, I. Tassiou, N. Xatziargyriou. “*Impact of Energy Storage in the Secure and Economic Operation of Small Islands*”, Proc. of MedPower04, MED04/CH33 Lemessos, Nov 2004.
- [5] Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας. <http://www.desmie.gr>
- [6] Διαχειριστής Μη Διασυνδεδεμένων Νήσων. <http://www.dei.gr>
- [7] A.G.Tsikalakis, N.L.Soultanis, N.P.Hatziargyriou. “*On-line Storage Management to Avoid Voltage Limit Violations*” In Proc of the 9th PMAPS Conference, Stockholm, 11-15th June 2006.
- [8] Bo. Lu., Mohammad Shahidehpour. “*Short-term Scheduling of Battery in a Grid-Connected PV/Battery System*” IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 20, NO. 2, MAY 2005.
- [9] Αντώνιος Γ. Τσικαλάκης. “*Συμβολή στον προγραμματισμό λειτουργίας δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με μεγάλη διείσδυση διεσπαρμένης και ανανεώσιμης παραγωγής και συσκευών*”, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ, Αθήνα, Ιούλιος 2008.
- [10] Dr. Antonis Tsikalakis, Ms Thomai Tomtsi, Prof. Nikos Hatziargyriou. “*Methodology for Evaluating PV Operation in a Power System from the Economic and Operational Point of View*”, <http://www.distres.eu>, 2009.
- [11] Reinhard Haas. “*The value of photovoltaic electricity for society*” Solar Energy, Vol. 54, No. 1. pp. 25-31, 1995.
- [12] Νικόλαος Λαποκωνσταντάκης. “*Επίδραση Σημαντικής Εγκατεστημένης Ισχύος Φωτοβολταϊκών σε Υποσταθμό Υψηλής/Μέσης Τάσης*”, Διπλωματική Εργασία,

Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2011.

- [13] Ιστοσελίδα εταιρίας μελέτης και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων, <http://www.selasenergy.gr>.
- [14] Ιστοσελίδα κατασκευάστριας εταιρίας αντιστροφέων, <http://www.sma.com>.
- [15] Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010.
- [16] Ετήσια Έκθεση ΔΕΗ για το ΣΗΕ Κρήτης, 2001.
- [17] Αντώνιος Γ. Τσικαλάκης, *“Μέθοδοι Οικονομικής Αποτίμησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας Σε Νησιωτικά Δίκτυα, Εφαρμογή στο Δίκτυο της Κρήτης το έτος 2000”*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ, Ιούλιος 2002.
- [18] Hatziargyriou N., Tsikalakis A.G., Dimeas A., Georgiadis D., Gigantidou A., Stefanakis J., Thalassinakis E. “Security and Economic Impacts of High Wind Power Penetration in Island Systems”, Proc of Cigre Conference, Paris, France, Aug. 2004.
- [19] Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, <https://analysis.nrel.gov/homer>.
- [20] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος - Τμήμα Ανατολικής Κρήτης (ΤΕΕ-TAK). “Διερεύνηση Βραχυπρόθεσμων & Μακροπρόθεσμων Ωφελειών και Επιπτώσεων Ευρείας Συμμετοχής ΑΠΕ στο ΣΗΕ Κρήτης”.
- [21] Αλέξανδρος Α. Κουρκούτας. *“Αποτίμηση Αξίας Παραγωγής από Φωτοβολταϊκά Πάρκα. Εφαρμογή στο Νησί της Κύθνου”*, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ, 2009.
- [22] Antonios G. Tsikalakis, Nikolaos D. Hatziargyriou, Emmanuel Karapidakis and Emmanuel Kymakis. *“Economic Evaluation of Low Photovoltaics (PV) Penetration in Island Power Systems, application to Crete”*, The Deregulated Electricity Market issues in South-Eastern Europe (DEMSEE) Conference, Sitia, 23-24 September 2010.
- [23] Andreas Poulikkas, Antonios Tsikalakis, Nikos D. Hatziargyriou. *“Economic Evaluation of Low Photovoltaics (PV) Penetration in Island Power Systems, application to Cyprus”*, DISTRES Conference (Conference on the promotion of Distributed Renewable Energy Sources in the Mediterranean region), Cyprus, 11-12 December 2009, paper no 108.

