



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΑΝΗΓΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ – ΙΣΟΤΙΜΙΑ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΓΡΗΓΟΡΙΟΥ

ΧΑΝΙΑ, 2014

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

**Αναπλ. Καθηγητής ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ
(ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)**

**Αναπλ. Καθηγήτρια ΕΥΠΡΑΞΙΑ ΜΑΡΙΑ
Καθηγητής ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΑΛΑΪΤΖΑΚΗΣ**



“Copyright © Γρηγόρης Παπαθανασίου, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Ερωτήματα που αφορούν την χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.”

Ειδικές ευχαριστίες προς:

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κύριο Τσούτσο Θεοχάρη, διευθυντή του Εργαστήριου Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων, για την τιμή που μου έκανε να συνεργαστούμε και την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ στο θέμα αυτό καθώς και την άριστη συνεργασία που είχαμε για την ποιότητα και το αποτέλεσμα της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης την κα Αντιόπη Γιγαντίδου, Τομεάρχη Λειτουργίας Κέντρου Ελέγχου Συστήματος Μεταφοράς Κρήτης/Διεύθυνση Διαχείρισης Νησιών/ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ για την πολύτιμη βοήθειά της κατά τη διάρκεια διπλωματικής.

Ευχαριστώ θερμά τους φίλους μου για τις όμορφες στιγμές και την στήριξη.

Τέλος το μεγαλύτερο ευχαριστώ ανήκει στην μητέρα μου για την τεράστια προσπάθεια που κατέβαλε ηθική οικονομική και όχι μόνο, σε εμένα και στον αδερφό μου, για να μπορέσω να αποκτήσω το δίπλωμα του Μηχανικού Περιβάλλοντος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά τα προσεχή έτη, η εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών (ΦΒ) αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω μέσω των συστημάτων ενεργειακού συμψηφισμού (net metering). Εν τούτοις, συχνά εγείρονται ερωτηματικά σε σχέση με την ανταγωνιστικότητα της φωτοβολταϊκής ηλεκτροπαραγωγής σε σχέση με το υπάρχον σύστημα (κυρίως από συμβατικές πηγές ενέργειας).

Στόχος της συγκεκριμένης ερευνητικής εργασίας είναι η ανάλυση και η αξιολόγηση των ΦΒ μονάδων ηλεκτροπαραγωγής στην Κρήτη με στόχο τη βιώσιμη ανάπτυξη του τομέα των ΦΒ, λαμβάνοντας υπόψη και την επίδραση στο υπάρχον δίκτυο από τη λειτουργία των ΦΒ πάνω σε αυτό.

Η αξιολόγηση αυτή γίνεται αξιοποιώντας τη μέθοδο υπολογισμού του ανηγμένου κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας – AKHE - (Levelized Cost Of Electricity). Στην έρευνα αυτή αναλύονται διάφορες οικονομικές παράμετροι καθώς και σχετιζόμενες με το δίκτυο μεταφοράς και διανομής. Σκοπός, με τη βοήθεια της ανάλυσης είναι ο ποσοτικός προσδιορισμός της ισοτιμίας στο δίκτυο καθώς και ο υπολογισμός της ωφέλειας από τις επενδύσεις στον τομέα των ΦΒ στην Κρήτη.

Με τον όρο "ισοτιμία" προσδιορίζεται η ανταγωνιστικότητα των ΦΒ συστημάτων παραγωγής σε σχέση με άλλες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να διασφαλιστεί η εύρυθμη ανάπτυξη του κλάδου μέσω της δημιουργίας πλαισίου ανάπτυξης προσδιοριζόμενου από την αμφίδρομη ωφέλεια που προκύπτει (Παραγωγοί-Δίκτυο).

Στο τέλος της έρευνας δημιουργούνται σενάρια που θα αξιολογούν τα ΦΒ συστήματα σε διαφορετικές περιπτώσεις πάνω στο δίκτυο καθώς και εναλλακτικές πολιτικές που μπορούν να χαραχθούν για τη βιώσιμη ανάπτυξή τους.

ABSTRACT

Over the coming years, the installed capacity of photovoltaic (PV) systems is expected to increase further through the net metering systems. However, questions are raised in relation to the competitiveness of PV power compared to the existing system (mainly from conventional sources).

The aim of this research project is the analysis and evaluation of PV power plants in Crete for the sustainable development of the PV sector, taking into account the impact of the existing grid of the PV operation on it.

The evaluation is done by utilizing the method of the Levelized cost of electricity (LCOE). In this research various economic parameters and parameters related to the transmission and distribution are analyzed. The purpose, with the help of the analysis, is to quantify the so called 'Grid parity', as well as the benefit from the investments in PV sector in Crete.

By the term 'parity' the competitiveness of PV systems output compared to other sources of electricity is defined, in order to ensure the orderly development of the sector, by developing frameworks determined by the bidirectional benefits resulting (Producers- Electrical grid)

At the end of this research various scenarios are generated to assess systems in different situation on the grid as well as alternative policies that can be developed for their sustainable development.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	8
2. Η αγορά της Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα	10
2.1 Η Οριακή τιμή Συστήματος (ΟΤΣ).....	11
2.2 Τα υποδείγματα αποζημίωσης της ΦΒ ενέργειας	13
2.2.1 Το υπόδειγμα των εγγυημένων τιμών	15
2.2.2 Το υπόδειγμα του ενεργειακού συμψηφισμού	19
2.3 Το ΜΔ δίκτυο της Κρήτης	22
3. Διεθνής επιστημονική εμπειρία	24
3.1 Μέθοδος υπολογισμού ΑΚΗΕ	24
3.2 Μεθοδολογία για την έννοια της Ισοτιμίας.....	27
4. Μεθοδολογία.....	28
4.1 Ανασκόπηση κόστους Ηλεκτρικής Ενέργειας και ΑΚΗΕ	29
4.2 Μεθοδολογία υπολογισμού ανηγμένου κόστους	31
4.2.1 Επιλογή μεταβλητών της μεθοδολογίας.	32
4.2.2 Επιλογή τύπου ΑΚΗΕ	37
4.2.3 Εξέλιξη της τιμής του ΑΚΗΕ	39
4.3 Μεθοδολογία υπολογισμού Ισοτιμίας	40
4.4 Μεθοδολογία υπολογισμού ωφέλειας.....	42
4.4.1 Υπολογισμοί ωφέλειας παραγωγού φωτοβολταϊκής ενέργειας	43
4.5 Ανάλυση υπολογιστικού μοντέλου που χρησιμοποιείται.....	44
4.6 Εισαγωγή μεταβλητών υπολογισμού ανηγμένου κόστους.....	48
4.6.1 Εισαγωγή μεταβλητών συστήματος	48
4.6.2 Σενάρια Υπολογισμών.....	50
5. Αποτελέσματα.....	53
5.1 Αποτελέσματα υπολογισμών ανηγμένου κόστους.....	53
5.2 Αποτελέσματα υπολογισμών για την εξέλιξη του ανηγμένου κόστους.....	56
5.3 Αποτελέσματα υπολογισμού ισοτιμίας δικτύου	58
5.4 Αποτελέσματα υπολογισμού ωφέλειας.....	64
5.4.1 Αποτελέσματα ωφέλειας παραγωγού με βάση τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης (EBA- IRR)	64
5.5 Αποτελέσματα σεναρίων	69
6. Συμπεράσματα	72

7. Βιβλιογραφία.....	76
Παραρτήματα	77

Κατάλογος Συντομογραφιών:

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΦΒ: Φωτοβολταϊκά

ΑΚΗΕ: Ανηγμένο Κόστος Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΜΔ: Μη Διασυνδεδεμένο

ΔΕΗ: Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού

ΔΕΔΔΗΕ: Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΟΤΣ: Οριακή Τιμή Συστήματος

ΑΔΜΗΕ: Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΜΤΠ: Μη Τιμολογούμενες Προσφορές

ΣΥΘΗΑ: Σταθμούς Συμπαγωγής Ηλεκτρικής ενέργειας & και Θερμότητας

Υψηλής Απόδοσης

ΕΒΑ: Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης

1. Εισαγωγή

Σήμερα είναι αδιαμφισβήτητος ο ρόλος των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), για την παραγωγή ενέργειας φιλικής προς το περιβάλλον. Πλέον είναι τεχνικά εφικτό, βάσει συγκεκριμένων στόχων, τεχνολογίες των ΑΠΕ να υποκαταστήσουν εν μέρει ή ακόμη εξ ολοκλήρου τις υπάρχουσες υποδομές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από καύσιμα. Ωστόσο, οι οικονομικοί φραγμοί παραμένουν τα κύρια εμπόδια που θα οδηγήσουν σε μία 'κοινωνία βιώσιμης ενέργειας'.

Η ηλιακή φωτοβολταϊκή (ΦΒ) τεχνολογία, η οποία μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, είναι μία από τις πιο γρήγορα αναπτυσσόμενες ΑΠΕ. Θεωρείται ως καθαρή, βιώσιμη, ανανεώσιμη τεχνολογία μετατροπής ενέργειας που μπορεί να βοηθήσει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του αυξανόμενου πληθυσμού του πλανήτη, μειώνοντας παράλληλα τις αρνητικές ανθρωπογενείς επιπτώσεις από τη χρήση ορυκτών καυσίμων.

Στην Ελλάδα έχοντας ήδη ολοκληρωθεί ένας κύκλος έντονης ανάπτυξης των ΦΒ, προκύπτουν ήδη ερωτήματα για την βιωσιμότητα του τομέα, και συνεπώς η ανάγκη για την διαμόρφωση μίας νέας σύνθετης πολιτικής η οποία θα καταστήσει βιώσιμη την παράλληλη ανάπτυξη του τομέα των ΑΠΕ καθώς και την ανάγκη του δικτύου για ωφέλιμη διοχέτευση ενέργειας από ΑΠΕ σε αυτό.

Η οικονομική σκοπιά ενός σχεδίου παραγωγής ενέργειας μπορεί να αξιολογηθεί χρησιμοποιώντας διάφορες μετρήσεις, καθώς και διάφορους οικονομικούς δείκτες αξιολόγησης, όπως το Ανηγμένο Κόστος παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΚΗΕ). Το ΑΚΗΕ, είναι συχνά χρησιμοποιούμενος οικονομικός συντελεστής για

τη σύγκριση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από διαφορετικές τεχνολογίες παραγωγής ή για την εξέταση της ισοτιμίας δικτύου για τις αναδυόμενες τεχνολογίες όπως αυτή των ΦΒ συστημάτων παραγωγής. Δυστυχώς η μέθοδος ανάλυσης μέσω του Ανηγμένου Κόστους παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΚΗΕ), υποθάλλει διάφορους κινδύνους καθώς πρόκειται για μία απλή μέθοδο ανάλυσης. Τα σενάρια που δημιουργούνται καθώς και οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται κρίνουν το βάθος και το μέγεθος της ανάλυσης. Η ιδέα της Ισοτιμίας δικτύου για την ΦΒ ενέργεια αντιπροσωπεύει μια σύνθετη σχέση μεταξύ των τιμών της συμβατικής ηλεκτρικής ενέργειας και την τιμή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος, η οποία εξαρτάται από το μέγεθος, τον προμηθευτή τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά καθώς και πληθώρα διαφόρων μεταβλητών που αφορούν το σύστημα, ανάλογα με την ανάλυση που ακολουθείται.

Τα διαφορετικά επίπεδα ενσωμάτωσης του κόστους και η πληθώρα υποθέσεων σε διάφορες τεχνολογίες οδηγούν σε διαφορετικά έξοδα. Επιπλέον, η τάση για εξάλειψη περιττών επιβαρύνσεων για τους καταναλωτές καθώς και οι επιβαρύνσεις του πελάτη μπορεί να συγκαλύψουν το πραγματικό κόστος των συμβατικών τεχνολογιών σε σχέση με αυτό των ΑΠΕ.

Η υποβολή εκθέσεων λανθασμένων τιμών ΑΚΗΕ για τις τεχνολογίες μπορεί να οδηγήσει όχι μόνο σε μη βέλτιστες αποφάσεις για ένα συγκεκριμένο έργο, αλλά μπορεί επίσης να δημιουργήσει παραπλανητικές πολιτικές πρωτοβουλίες σε τοπικό αλλά και παγκόσμιο επίπεδο. Στην ηλιακή περίπτωση, για παράδειγμα, εξακολουθεί να είναι μια κοινή παρερμηνεία ότι η ηλιακή τεχνολογία έχει μια σύντομη διάρκεια ζωής και είναι συνεπώς εξαιρετικά ακριβή. Ωστόσο, ανάλογα με την τοποθεσία, το κόστος της ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας έχει ήδη πέσει

κάτω από αυτό των συμβατικών πηγών, όπως παρατηρείται και στην συγκεκριμένη έρευνα για την Κρήτη. (επίτευξη ισοτιμίας δικτύου)

Σκοπός της συγκεκριμένης ερευνητικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός της ανταγωνιστικότητας της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας σε σχέση με αυτή της συμβατικής, μέσω της ανάλυσης και προσδιορισμού της λεγόμενης Ισοτιμίας δικτύου με την σύγκριση των υπολογισμών μεταξύ ΑΚΗΕ και της τιμολόγησης της συμβατικής ενέργειας ή την σύγκριση μεταξύ ΑΚΗΕ και κόστους καυσίμου της συμβατικής, καθώς και η ανάλυση του πλαισίου επενδύσεων στο οποίο αυτή την στιγμή βρίσκεται η ΦΒ τεχνολογία.

Στόχος της εργασίας είναι να απαντηθούν τα εξής ερωτήματα.

- ποιο είναι το κόστος παραγωγής της φωτοβολταϊκής ενέργειας στην Κρήτη ;
- είναι ανταγωνιστική η φωτοβολταϊκή ενέργεια ;
- πότε θα είναι ;
- ποια θα είναι η αμφίδρομη ωφέλεια παραγωγού- δικτύου από την παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας ;
- Τι χρειάζεται για την χάραξη μίας “πράσινης” πολιτικής για την ενίσχυση του τομέα στην Κρήτη ;

2. Η αγορά της Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα

Η αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας (Η-Ε) στην Ελλάδα συμπεριφέρεται ως εξής:

- Οι παραγωγοί και εισαγωγείς πωλούν ηλεκτρική ενέργεια στον ΑΔΜΗΕ.
(ανεξάρτητος διαχειριστής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας)

- Ο ΑΔΜΗΕ με τη σειρά του πωλεί ηλεκτρική ενέργεια στους προμηθευτές (ΔΕΗ κ.α.)
- Οι προμηθευτές με την σειρά τους πωλούν στους πελάτες ενώ η ΔΕΗ με τη διανομή της διοχετεύει ενέργεια στους δεσμευμένους, μικρούς καταναλωτές.
- Οι προμηθευτές διαπραγματεύονται συμβόλαια πώλησης της ενέργειας με τους εκάστοτε πελάτες.
- Οι Εισάγοντες στο δίκτυο Ηλεκτρική Ενέργεια (Παραγωγοί και Εισαγωγείς) υποβάλλουν στο Διαχειριστή για κάθε ώρα προσφορές, οι οποίες αντιστοιχούν σε ένα ζεύγος ποσότητας και τιμής. Οι προσφορές αυτές κατατάσσονται κατά αύξουσα σειρά σχηματίζοντας την συνολική καμπύλη των προσφορών.
- Από την άλλη, οι Εξάγοντες Ηλεκτρική Ενέργεια (Προμηθευτές, Εξαγωγείς) αγοράζουν την ενέργεια στην οριακή τιμή συστήματος (ΟΤΣ), την τελευταία προσφορά των εισαγόντων, και ανταγωνίζονται μεταξύ τους (στην Λιανεμπορική αγορά) επιδιώκοντας να προσελκύσουν τελικούς καταναλωτές με την προσφορά προς αυτούς ελκυστικών τιμολογίων

2.1 Η Οριακή τιμή Συστήματος (ΟΤΣ)

Η τιμή εκκαθάρισης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζεται Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ) και είναι εκείνη η τιμή στην οποία εισπράττουν αυτοί που προμηθεύουν στο σύστημα ενέργεια αλλά παράλληλα και αυτοί οι οποίοι ζητούν ενέργεια από αυτό. Πιο συγκεκριμένα, η ΟΤΣ διαμορφώνεται από την αύξουσα κατάταξη των προσφορών οι οποίες εντάσσονται στο σύστημα και αποτελεί την

τελευταία τιμή που εντάσσεται πριν το κλείσιμο της διαδικασίας. Ουσιαστικά αντιπροσωπεύει την υψηλότερη προσφορά που καλύπτει τις ανάγκες ζήτησης του δικτύου.

Ο υπολογισμός για την ΟΤΣ έχει ως εξής:

- Ο διαχειριστής αθροίζει την ισχύ των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και στην συνέχεια τις κατατάσσει ανάλογα με την προσφορά τους σε αύξουσα σειρά, αρχίζοντας από αυτή με την χαμηλότερη τιμή.
- Στο σημείο κατά το οποίο οι ποσότητες ενέργειας των μονάδων παραγωγής εξυπηρετούν το φορτίο ζήτησης, σταματάει η διαδικασία και η τιμή της τελευταίας μονάδας παραγωγής που έχει εισαχθεί στο δίκτυο είναι η λεγόμενη ΟΤΣ

Οι μονάδες παραγωγής ΑΠΕ εισάγονται πρώτες στην κατάταξη και ο λόγος είναι ότι ο διαχειριστής απαιτεί άμεσα την απορρόφηση της ενέργειας αυτής ανεξαρτήτως της τιμής που προσφέρεται .

Για λόγους διαμόρφωσης υγιούς ανταγωνισμού αλλά παράλληλα και για την προστασία των καταναλωτών, έχει τεθεί σαν ανώτερο όριο της ΟΤΣ τα 150 €/MWh καθώς και σαν κατώτατο αυτό του ανηγμένου κόστους παραγωγής της κάθε μονάδας, έτσι ώστε οι παραγωγοί να μην ζημιώνονται από την παραγωγή ενέργειας.

Η ΟΤΣ αποτελεί την τιμή κατά την οποία αμείβονται οι παραγωγοί και πληρώνουν οι προμηθευτές ενέργειας ή αλλιώς η τιμή κατά την οποία βρίσκεται σε ισορροπία η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (προσφορά- ζήτηση). Βάσει του υπολογισμού της ΟΤΣ οι παραγωγοί καταθέτουν τις προσφορές τους και σε περίπτωση που η προσφορά τους είναι μεγαλύτερη του κόστους παραγωγής τους καρπώνονται την

διαφορά μεταξύ προσφοράς και ΟΤΣ που είναι πρακτικά το κέρδος από την παραγωγή ενέργειας.

Άξιο αναφοράς είναι ότι ορισμένες ποσότητες που εισάγονται στο σύστημα προσφέρονται δίχως αντίτιμο έτσι ώστε να είναι σίγουρο ότι θα ενταχθούν στο σύστημα (Μη Τιμολογούμενες Προσφορές – ΜΤΠ). Αυτές συνήθως είναι ποσότητες από ΑΠΕ, Υδροηλεκτρικά αλλά και διαφόρους εισαγωγείς.

Βασική αρχή για την λειτουργία μίας πραγματικά απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι η τιμή στην οποία διατίθεται η ηλεκτρική ενέργεια προς τους προμηθευτές να είναι συμβατή με το κόστος παραγωγής, έτσι ώστε η ίδια η αγορά να μπορέσει να αναπτυχθεί σε ένα βιώσιμο περιβάλλον. Στο κόστος παραγωγής θα πρέπει ανάλογα με την μονάδα παραγωγής να υπολογίζονται και οι διάφοροι οικονομικοί παράγοντες, οι οποίοι προκύπτουν κατά την παραγωγή όπως το κόστος CO₂ κ.α.. Με βάση τα παραπάνω είναι προφανής μία αύξηση της τιμής της ΟΤΣ στο άμεσο μέλλον. (ΡΑΕ, 2014)

2.2 Τα υποδείγματα αποζημίωσης της ΦΒ ενέργειας

Η ιδέα της εκμετάλλευσης του ανανεώσιμου ενεργειακού δυναμικού της χώρας είναι υπόθεση η οποία απασχολεί το έθνος εδώ και τουλάχιστον 2 δεκαετίες με την αρχή να γίνεται από την δεκαετία του 90.

Σύμφωνα με τον νόμο ν.2244/94 με τίτλο «Ρύθμιση θεμάτων Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» ξεκινά να καθορίζεται ουσιαστικά το θεσμικό πλαίσιο ανάπτυξης από ΑΠΕ στην Ελλάδα. Ο σκοπός του συγκεκριμένου νόμου ήταν η προώθηση και η δημιουργία ισχυρών οικονομικών κινήτρων για την ανάπτυξη των ΑΠΕ με ταυτόχρονη προσέλκυση ιδιωτικών κεφαλαίων.

Η κατεύθυνση του νόμου είναι η εναρμόνιση με τα μέτρα και τις διατάξεις που ισχύουν σε όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ με σκοπό την αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο.

Τα κύρια σημεία του ν. 2244/94 μπορούν να συνοψισθούν στα παρακάτω:

- Επιτρέπεται η παραγωγή και διάθεση ηλεκτρικής ενέργειας από ανεξάρτητους παραγωγούς (ΑΠ) εφ' όσον χρησιμοποιούνται ΑΠΕ.
- Επιβάλλεται στη ΔΕΗ η υποχρέωση να αγοράζει την ενέργεια που παράγεται από ανεξάρτητους παραγωγούς.
- Προσφέρονται ιδιαίτερα ελκυστικές και σχετικά σταθερές τιμές στους ΑΠ από ΑΠΕ που συνδέονται με τα τιμολόγια των καταναλωτών.
- Παρέχεται σταθερό επιχειρησιακό περιβάλλον με τη σύναψη μακροχρόνιων (10ετών) συμβολαίων αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Σύμφωνα με τον νόμο ν.2773/99 με τίτλο «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας- ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις», καθορίζει το βασικό πλαίσιο ρύθμισης της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που θα αρχίσει να ισχύει από τον Φεβρουάριο του 2001 σύμφωνα με την Οδηγία 96/92 της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Ο νόμος αυτός προβλέπει:

- Τη σύσταση της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) ως ανεξάρτητης και αυτοτελούς διοικητικής αρχής που εποπτεύεται από τον Υπουργό Ανάπτυξης και τις αρμοδιότητές της.
- Τη σύσταση του Διαχειριστή του Ηλεκτρικού Συστήματος που θα εποπτεύεται από την ΡΑΕ

- Την απελευθέρωση της παραγωγής και εκμετάλλευσης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ, Συμπαγωγή αλλά και από συμβατικά καύσιμα
- Την μετατροπή της ΔΕΗ σε Ανώνυμη Εταιρεία.

(ΡΑΕ, 2014)

2.2.1 Το υπόδειγμα των εγγυημένων τιμών

Το πρώτο χρονολογικά υπόδειγμα αποζημίωσης της παραγόμενης ΦΒ ενέργειας που εισήλθε στην χώρα είναι αυτό των εγγυημένων τιμών. Οι εγγυημένες τιμές αποτελούν μία κρατική επιδότηση της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας, και αποσκοπούν στην ταχύτερη ανάπτυξη του κλάδου της φωτοβολταϊκής ηλεκτροπαραγωγής. Το μοντέλο αυτό πρωτοεμφανίστηκε στις αρχές του 2000 στην Γερμανία και αποτέλεσε το αποτελεσματικότερο εργαλείο για την ανάπτυξη του κλάδου διεθνώς μέχρι και σήμερα κάτι που επιβεβαιώνει την επιτυχία του σαν μέτρο: η παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά επιδοτείται μέχρι το σημείο στο οποίο η τεχνολογία θεωρείται ανταγωνιστική και αρκετά ώριμη. Το σημείο αυτό αποτελεί τον απώτερο στόχο της τεχνολογίας, την λεγόμενη Ισοτιμία δικτύου (grid parity), κατά τον οποίο η παραγωγή από φωτοβολταϊκά θα είναι ανταγωνιστική σε σχέση με την παραγωγή από οποιαδήποτε άλλη συμβατική. Η αγορά στο σημείο αυτό θα είναι αρκετά ώριμη και πλήρως ανεξάρτητη από οποιαδήποτε επιδότηση και έτσι η φωτοβολταϊκή τεχνολογία θα αποτελεί από μόνη της έναν ρυθμιστή της αγοράς λόγω της μεγάλης εκκαθάρισης ενέργειας. (heleco, 2012)

Στην Ελλάδα πρωτοεμφανίζεται με τον νόμο ν.2244/1994 όπου το ύψος της εγγυημένης τιμής ήταν ενιαίο για όλες τις τεχνολογίες και οριζόταν για το μεν Διασυνδεδεμένο σύστημα ως το 90% του τιμολογίου γενικής χρήσης στη Μέση Τάση και για τα Μη Διασυνδεδεμένα ως το 90% του τιμολογίου χρήσης στη Χαμηλή Τάση.

Σύμφωνα με τον νόμο ν.3468/2006 «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις» εισέρχεται στο Ελληνικό κράτος η τιμολόγηση μέσω των εγγυημένων τιμών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ για κάθε τεχνολογία ξεχωριστά όπως και για την ΦΒ(κεφάλαιο Δ' άρθρο13). Σκοπός όπως αναφέρεται και στον νόμο είναι «προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας» και αφ' ετέρου προωθείται, κατά προτεραιότητα, στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, με κανόνες και αρχές, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και μονάδες Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης(ΣΥΘΗΑ).» καθώς και η προστασία του κλίματος μέσω της προώθησης μονάδων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ.

Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με το άρθρο 14 του ν3468/2006 ορίζεται η παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας από αυτόνομους παραγωγούς αλλά και από αυτοπαραγωγούς σύμφωνα με το άρθρο 14Α ' το οποίο προστέθηκε με το άρθρο 6 παρ.2 του νόμου ν.4203/2013. Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΦΒ σταθμούς πλην αυτών της περίπτωσης (γ) του πίνακα της παρ. 1 του άρθρ. 13 του ν. 3468/2006, όπως ισχύει, καθορίστηκε από το άρθρ. 1 της υπ' αριθμ. Υ.Α.Π.Ε./Φ1/οικ.2262/31.1.2012 (ΦΕΚ 97/Β'/31.1.2012), στη

συνέχεια αντικαταστάθηκε με το άρθρ. 1 της υπ'αριθμ.Υ.Α.Π.Ε./Φ1/2301/οικ.16933 (ΦΕΚ 2317/Β'/10.08.2012)και αντικαταστάθηκε εκ νέου με το άρθρ. 1 της υπ' αριθμ. Υ.Α.Π.Ε./Φ1/1288/9011 (ΦΕΚ 1103/Β'/2.5.2013)με ημερομηνία έναρξης ισχύος την 1^η Ιουνίου 2013 και γίνεται με βάση τα στοιχεία του ακόλουθου πίνακα σε €/MWh: (πίνακας 1)

	Διασυνδεδεμένο Δίκτυο		Μη Διασυνδεδεμένο
	Α	Β	Γ (ανεξαρτήτως ισχύος)
	>100kW	≤100kW	
2013 Φεβρουάριος	95,00	120,00	100,00
2013 Αύγουστος	95,00	120,00	100,00
2014 Φεβρουάριος	90,00	115,00	95,00
2014Αύγουστος	90,00	115,00	95,00
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά	1,1χμΟΤΣ _{ν-1}	1,2 χμΟΤΣ _{ν-1}	1,1 χμΟΤΣ _{ν-1}

Πίνακας 1: Αποζημίωση ΦΒ ενέργειας σύμφωνα με το υπόδειγμα εγγυημένων τιμών

Όπου :χμΟΤΣ_{ν-1}: Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος ν-1.

Κατά το έτος 2009 τέθηκε σε εφαρμογή το πρόγραμμα ανάπτυξης ΦΒ σταθμών σε στέγες και κτηριακές εγκαταστάσεις το οποίο αφορούσε συστήματα ισχύος μέχρι 10kW. Τέθηκε σε ισχύ με την ΚΥΑ 12323/ΓΓ175/4.6.2009 (ΦΕΚ 1079/Β'/4.6.2009)

συμπληρώθηκε με την υπ' αριθμ. Α.Υ./Φ1/οικ.18513 (ΦΕΚ 1557/Β'/22.9.2010) και τροποποιήθηκε με τις υπ' αριθμ. Υ.Α.Π.Ε./Φ1/οικ.2266 (ΦΕΚ 97/Β'/31.12.2012) και Υ.Α.Π.Ε./Φ1/2302/16934 ΦΕΚ 2317/Β'/10.8.2012, καθορίζοντας και την τιμή της παραγόμενης από το φωτοβολταϊκό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που εγχέεται στο δίκτυο. Σύμφωνα με την τελευταία τροποποίηση της υπ' αριθμ. Υ.Α.Π.Ε./Φ1/1288/9011 (ΦΕΚ 1103/Β'/2.5.2013) για νεοεισελθόντες στο πρόγραμμα σταθμούς παραγωγής με έναρξη την 1^η Ιουνίου του 2013 εμπίπτει η εξής τιμολόγηση: (Πίνακας 2)

Μήνας / Έτος	Τιμή (€)
Φεβρουάριος 2013	125
Αύγουστος 2013	125
Φεβρουάριος 2014	120
Αύγουστος 2014	120
Φεβρουάριος 2015	115
Αύγουστος 2015	115
Φεβρουάριος 2016	110
Αύγουστος 2016	110
Φεβρουάριος 2017	105
Αύγουστος 2017	100
Φεβρουάριος 2018	95
Αύγουστος 2018	90
Φεβρουάριος 2019	85

Αύγουστος 2019	80
----------------	----

Πίνακας 2: Αποζημίωση ΦΒ ενέργειας σύμφωνα με το πρόγραμμα ανάπτυξης σε στέγες

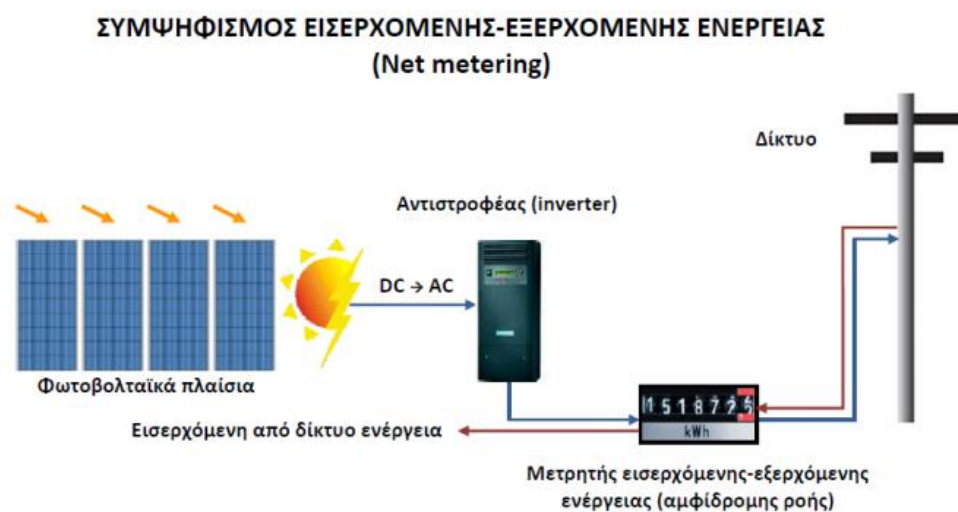
(helapco, 2014)

2.2.2 Το υπόδειγμα του ενεργειακού συμψηφισμού

Σύμφωνα με τον νόμο ν.4203/2013 και με τις τροποποιήσεις του ν.4254/2014 θεσμοθετήθηκε για πρώτη φορά η δυνατότητα των παραγωγών να κάνουν χρήση του ενεργειακού συμψηφισμού (net-metering).

Ο συμψηφισμός παραγόμενης-καταναλισκόμενης ενέργειας αποτελεί ένα από τα εργαλεία προώθησης της αυτοπαραγωγής-ιδιοκατανάλωσης με ΑΠΕ και εφαρμόζεται σε διάφορες χώρες, κυρίως για εγκαταστάσεις ΦΒ. Το net-metering επιτρέπει στον καταναλωτή να καλύψει ένα μέρος ή και το σύνολο της καταναλισκόμενης ενέργειας του και παράλληλα να χρησιμοποιεί το δίκτυο σαν μέσο αποθήκευσης. Η τιμολόγηση της ενέργειας γίνεται κατανοητή από τον όρο “net” ο οποίος αναφέρεται στο καθαρό ισοζύγιο μεταξύ παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας στο οποίο γίνεται με το τέλος της περιόδου μέτρησης η χρέωση. Σε περιπτώσεις περίσσειας έγχυσης ως προς το δίκτυο σύμφωνα με τον νόμο δεν υπάρχει υποχρέωση αποζημίωσης της ενέργειας. Όταν η περίσσεια τιμολογείται έναντι κάποιου τιμήματος υπάρχει σε κάποιες περιπτώσεις και κάποιο κόστος χρήσης δικτύου για τον καταναλωτή για την χρήση έμμεσης αποθήκευσης που προσφέρει το δίκτυο. Στον αντίποδα διάφορες χώρες όπως οι ΗΠΑ, για λόγους προώθησης των ΑΠΕ, δεν επιτρέπουν στους Διαχειριστές να επιβάλλουν τέτοια τέλη στους χρήστες του ενεργειακού συμψηφισμού. Δεδομένου ότι δεν απαιτούνται περιττά έξοδα στον παραγωγό (βλ. χρήση ενός αμφίδρομου μετρητή) καθιστά το net-metering ένα νέο ταχέως αναπτυσσόμενο μοντέλο παραγωγής

ενέργειας. Το μόνο μέχρι τώρα ερωτηματικό για την ανάπτυξη του μοντέλου είναι ποια θα είναι η αναφορά τιμολόγησης της καταναλισκόμενης από το δίκτυο ενέργειας (απλή τιμή κιλοβατώρας/ ρυθμιζόμενες χρεώσεις) καθώς και ποια θα είναι η χρηματοδότηση η οποία θα προσφέρεται στον παραγωγό. Στην συνέχεια της εργασίας θα απαντηθούν με βάσει σενάρια τα οποία θα δημιουργηθούν για το μοντέλο ενεργειακού συμψηφισμού.



εικόνα 1 : Σχηματοποίηση συστήματος ενεργειακού συμψηφισμού Πηγή:

pvnetmetering.eu

Όπως παρατηρείται (εικόνα 1) η τελική τιμολογήσιμη ενέργεια προκύπτει από την διαφορά εισερχόμενης – εξερχόμενης από το δίκτυο ενέργειας. Σε αυτή την διαφορά ενέργειας βασίζεται το κέρδος του παραγωγού αλλά και του ίδιου του δικτύου. (pvnetmetering, 2014)

Από τις 30/7/2014 έχει τεθεί σε δημόσια διαβούλευση από την ΡΑΕ το νομοσχέδιο για την εισαγωγή του μοντέλου του ενεργειακού συμψηφισμού στην Ελληνική

αγορά ενέργειας. Ο σκοπός των ρυθμίσεων του νομοσχεδίου αυτού, όπως αυτός αναφέρεται και στην αιτιολογική έκθεση που το συνοδεύει, είναι η αποσαφήνιση της χορήγησης παράτασης αδειών εγκατάστασης και η δυνατότητα εγκατάστασης σε κορεσμένα δίκτυα μικρών σταθμών ΦΒ και ανεμογεννητριών με στόχο την αυτοπαραγωγή με σκοπό την αποφυγή υπεραποζημιώσεων στην παραγόμενη από ΑΠΕ ενέργειας και συνεπώς την αποφυγή αναίτιας επιβάρυνσης του καταναλωτή. Όπως αναφέρει χαρακτηριστικά άρθρο 1 παρ.1 «Καταρτίζεται Ειδικό Πρόγραμμα εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων ισχύος μέχρι 10 kWp, από αυτοπαραγωγούς κατά την έννοια της παραγράφου 6 του άρθρου 2 του ν.3468/2006, εφεξής πρόγραμμα, για την κάλυψη ιδίων αναγκών τους με την εφαρμογή του ενεργειακού συμψηφισμού» Σχετικά με την διενέργεια ενεργειακού συμψηφισμού αναφέρεται άρθρο 2 παρ. 1 «Ο ενεργειακός συμψηφισμός διενεργείται στους εκκαθαριστικούς λογαριασμούς κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που εκδίδει ο Προμηθευτής με τον οποίο έχει συμβληθεί ο αυτοπαραγωγός για την προμήθεια ηλεκτρικού ρεύματος στην εγκατάσταση κατανάλωσης του, βάσει πραγματικών δεδομένων καταμέτρησης που παρέχονται από τον Διαχειριστή του Δικτύου.» και άρθρο 2 παρ.5 «Οι χρεώσεις για τις Υπηρεσίες κοινής Ωφέλειας καθώς και οι χρεώσεις του Ειδικού τέλους Μείωσης Εκπομπών Αερίων Ρύπων υπολογίζονται επί της συνολικής πραγματικής κατανάλωσης της εγκατάστασης»... « Οι λοιπές ρυθμιζόμενες μονοπωλιακές χρεώσεις υπολογίζονται βάσει της απορροφηθείσας από το δίκτυο ενέργειας κατά την περίοδο καταμέτρησης. Οι λοιπές χρεώσεις (ΕΦΚ, Ειδικό τέλος, ΦΠΑ) υπολογίζονται όπως κάθε φορά ορίζεται από τις κείμενες διατάξεις.» (hellenicparliament, 2014)

2.3 Το ΜΔ δίκτυο της Κρήτης

Η Κρήτη είναι σε έκταση το 4^ο μεγαλύτερο νησί της Μεσογείου και χαρακτηρίζεται από την εντονότατη τουριστική δραστηριότητα του νησιού, συνεπάγοντας την ιδιαίτερη αύξηση της ενεργειακής ζήτησης. Ενεργειακά πρόκειται για αυτόνομο σύστημα, όπου κατά το μεγαλύτερο ποσοστό της η ηλεκτροπαραγωγή στηρίζεται σε ένα συμβατικό δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα (ντίζελ, μαζούτ). Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τα στοιχεία της εταιρίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΗ ΑΕ) περιλαμβάνει: 3 θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ισχύος 817 MW, 39 αιολικά πάρκα ισχύος 186 MW, ΦΒ σταθμούς ισχύος 78 MW και 2 ΥΗΣ ισχύος 0,6 MW (ΔΕΔΔΗΕ, 2014). Ενδεικτικά η κατανομή ισχύος και το πλήθος των αυτόνομων μονάδων παραγωγής ΦΒ ενέργειας στην Κρήτη ανά νομό παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες(Πίνακες 3-4)

	ΙΣΧΥΣ Φ/Β (kWp)			
Ν.ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	Ν.ΛΑΣΙΘΙΟΥ	Ν.ΧΑΝΙΩΝ	Ν.ΡΕΘΥΜΝΗΣ	ΣΥΝΟΛΟ
32.364,98	19.574,45	11.246,4	14.822,69	78.008,52

Πίνακας 3: Κατανομή ισχύος ΦΒ συστημάτων ανά νομό Πηγή: ΔΕΔΔΗΕ,2014

	ΠΛΗΘΟΣ Φ/Β			
Ν.ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	Ν.ΛΑΣΙΘΙΟΥ	Ν.ΧΑΝΙΩΝ	Ν.ΡΕΘΥΜΝΗΣ	ΣΥΝΟΛΟ
444	259	147	194	1044

Πίνακας 4: Κατανομή πλήθους ΦΒ συστημάτων ανά νομό Πηγή: ΔΕΔΔΗΕ,2014

Εξαιτίας του τουριστικού χαρακτήρα του νησιού, ακόμα και την περίοδο της οικονομικής ύφεσης της Ελλάδας(2009), όταν στο διασυνδεδεμένο σύστημα παρατηρείται μείωση της ζήτησης στο ΜΔ δίκτυο Κρήτης παρατηρήθηκε αύξηση 0.5%. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι η ενίσχυση του αυτόνομου δικτύου της Κρήτης και η εύρεση βέλτιστων λύσεων για την παραγωγή. (ΔΕΔΔΗΕ, 2014)

Γενικά στο αυτόνομο σύστημα της Κρήτης η παραγόμενη ενέργεια θα πρέπει να καλύπτει κάθε στιγμή την αυξανόμενη ζήτηση. Τα μεγαλύτερα προβλήματα του ΜΔ δικτύου Κρήτης είναι :

- Η μεγάλη ενεργειακή εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα
- Οι υψηλοί ρυθμοί αύξησης της ενεργειακής ζήτησης λόγω της οικονομικής ανάπτυξης του νησιού
- Το υψηλό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που ολοένα θα αυξάνεται στο μέλλον λόγω της εξάρτησης στα ορυκτά καύσιμα αλλά και στην υπερλειτουργία των συμβατικών μονάδων παραγωγής

Σημαντικό ρόλο στα προβλήματα που αναπτύσσονται στο δίκτυο καλούνται να παίξουν οι μονάδες παραγωγής ΑΠΕ και συγκεκριμένα οι μονάδες φωτοβολταϊκής ηλεκτροπαραγωγής λόγω της υψηλής παραγωγής στις περιόδους υψηλής ζήτησης του δικτύου (καλοκαιρινής περιόδου). Οι μονάδες παραγωγής μπορούν να συμβάλλουν στην αυξανόμενη ζήτηση, στην εξοικονόμηση μεγάλου μέρους της κατανάλωσης καθώς και στην μείωση του υψηλού κόστους λειτουργίας των υφιστάμενων μονάδων παραγωγής.

Λόγω του πλούσιου δυναμικού ΑΠΕ του νησιού αλλά και του υψηλού κόστους παραγωγής από συμβατικές μονάδες, η Κρήτη καθίσταται ως ένα ιδανικό σύστημα μελέτης. Στα πλαίσια της ερευνητικής αυτής εργασίας, εξετάζεται η βιωσιμότητα της φωτοβολταϊκής ενέργειας στο νησί καθώς και η έρευνα για την ανταγωνιστικότητα αυτής σε σχέση με την συμβατική.

3. Διεθνής επιστημονική εμπειρία

Η διεθνής επιστημονική βιβλιογραφία αναζητήθηκε σε ηλεκτρονικούς επιστημονικούς οίκους στους οποίους παρέχεται πρόσβαση από το Πολυτεχνείο Κρήτης πάνω σε διεθνείς δημοσιεύσεις που αφορούν στο θέμα της συγκεκριμένης έρευνας. Η αναζήτηση πραγματοποιήθηκε με βάση δύο (2) πυλώνες για την προσέγγιση της ανταγωνιστικότητας των ΦΒ. Α) τη μεθοδολογία εύρεσης του ΑΚΗΕ και Β) την μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την προσέγγιση της έννοιας της Ισοτιμίας.

3.1 Μέθοδος υπολογισμού ΑΚΗΕ

Οι [Hernandes et al., 2013] κάνουν μία πιο λεπτομερή ανάλυση ως προς την μέθοδο υπολογισμού του ΑΚΗΕ. Περιλαμβάνονται πρόσθετες μεταβλητές που αφορούν παράλληλα και την Καθαρή Παρούσα Αξία(Κ.Π.Α.) του κόστους του έργου αλλά και την Κ.Π.Α. της παραγόμενης ενέργειας. Σαν κύρια εξίσωση υπολογισμού του ΑΚΗΕ παρουσιάζεται η εξής:

$$LCOE = (C + L + \sum_{n=1}^N \frac{(OPEX + I) \times C}{(1 + r)^n}) / \sum_{n=1}^N \frac{S \times TF \times \eta \times (1 - d)^n}{(1 + r)^n}$$

Όπου:

C: Κόστος συστήματος ($\frac{\text{€}}{\text{W}}$)

L: Κόστος αγοράς γης ($\frac{\text{€}}{\text{W}}$)

OPEX: Λειτουργικά έξοδα επένδυσης (%)

I: ετήσιος ρυθμός ασφάλισης (%)

S: Ηλιακό δυναμικό ($\text{kWh/m}^2/\text{year}$)

TF: (αδιάστατη)

n: συντελεστής απόδοσης

d: συντελεστής αποδόμησης

r: προεξοφλητικό επιτόκιο

Στη συνέχεια της εργασίας αυτής υπεισέρχονται περισσότερες μεταβλητές που αφορούν την εξέλιξη του ΑΚΗΕ κατά την διάρκεια ζωής ενός συστήματος μέσω μίας ανάλυσης ευαισθησίας του μοντέλου που χρησιμοποιείται. Μεταβλητές που χρησιμοποιούνται είναι αυτές που συνδέονται άμεσα με την εξέλιξη της αγοράς στον τομέα των ΦΒ όπως η εγκατεστημένη ισχύς καθώς και η ζήτηση του δικτύου.

[Hernandes et al., 2013]

Οι [Talavera et al., 2014] στο υπόδειγμα που δημιουργούν εισάγουν νέες οικονομικές παραμέτρους, όπως το πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο που ορίζεται από την τιμή του ετήσιου ποσοστού πληθωρισμού, ο συντελεστής WACC δηλαδή το μέσο σταθμισμένο κόστος κεφαλαίων και ο ετήσιος ρυθμός κλιμάκωσης των λειτουργικών εξόδων.

Γενικά το μοντέλο που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς του ΑΚΗΕ, ακολουθεί μια πιο οικονομοτεχνική πλευρά λαμβάνοντας υπόψη περισσότερους

οικονομικούς συντελεστές ώστε να δοθεί ένα αναλυτικότερο οικονομικό αποτέλεσμα.

[Talavera et al., 2014]

Οι [Ameli et al., 2014] το υπόδειγμα που χρησιμοποιούν είναι ίδιο με αυτό του PnParity με μόνη διαφορά στο τέλος της ανάλυσης παρουσιάζεται ο συντελεστής FiT (Feed-in Tariff), η τιμή δηλαδή που δίδεται στους παραγωγούς που υπάρχει σε ορισμένες χώρες για την ενίσχυση της ανάπτυξης στον τομέα των ΦΒ, και πώς αυτός με την σειρά του μπορεί να επηρεάσει την ισοτιμία στο δίκτυο.

[Ameli et al., 2014]

Γενικότερα αυτό που διαπιστώνεται και από τη διεθνή επιστημονική εμπειρία αλλά και από την παγκόσμια βιβλιογραφία πάνω στο θέμα είναι το εξής: Όπως γνωρίζουμε το ΑΚΗΕ είναι ένας οικονομικός δείκτης. Στους όρους της οικονομίας οι δείκτες οι οποίοι χρησιμοποιούνται μπορούν να αλλάξουν ανάλογα με τον στόχο που εξυπηρετούν. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι ανάλογα με τον στόχο του εκάστοτε συγγραφέα και ανάλογα με το βάθος της ανάλυσης που παρουσιάζονται σε κάθε εργασία, χρησιμοποιούνται και διαφορετικές μεταβλητές για τον προσδιορισμό του δείκτη.

Για το λόγο αυτό σαν κανόνας για τον υπολογισμό του δείκτη του ΑΚΗΕ είναι η σχέση:

$$AKHE = \frac{\text{Κεφαλαιακές Δαπάνες} + \text{Κ.Π.Α. Λειτουργικών εξόδων}}{\text{Κ.Π.Α. Ενέργειας}}$$

Ο στόχος που θα θέσει ο εκάστοτε αναλυτής για την ανάλυση του, θα ορίσει τις μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο που θα δημιουργηθεί.

3.2 Μεθοδολογία για την έννοια της Ισοτιμίας

Συνήθεις μέθοδοι υπολογισμού της Ισοτιμίας είναι οι ακόλουθες τρεις (3):

1. Δυναμική Ισοτιμία με ενσωματωμένα τα χαρακτηριστικά δικτύου
2. Δυναμική ανταγωνιστικότητα σε τιμές χονδρικής
3. Ισοτιμία καυσίμου (Σε περίπτωση νήσων)

Η Δυναμική Ισοτιμία δικτύου αφορά εγκαταστάσεις οι οποίες μπορούν μερικώς η ολικώς να αντισταθμίσουν την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος. Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα ανταγωνίζεται την τιμή ηλεκτρικού ρεύματος του καταναλωτή. Οι "οδηγοί" της ανταγωνιστικότητας ουσιαστικά είναι οι λογαριασμοί της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και η τιμή πώλησης της όποιας περίσσειας ενέργειας παράγεται. Συνήθως αφορά ΦΒ μικρής κλίμακας εγκατεστημένα πάνω σε στέγες.

Η δυναμική ανταγωνιστικότητα σε τιμές χονδρικής αφορά εγκαταστάσεις οι οποίες αντισταθμίζουν μικρές η καθόλου καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα ανταγωνίζεται τις τιμές χονδρικής πώλησης της αγοράς.

Αφορά αυστηρά μεγάλα βιομηχανικά συστήματα με χαμηλή τοπική κατανάλωση ή ελεύθερα μεγάλα συστήματα τοποθετημένα στο έδαφος.

Η ισοτιμία καυσίμου (νήσων) αφορά εγκαταστάσεις οι οποίες ανταγωνίζονται με μία μόνο πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά δεν μπορούν να την αντικαταστήσουν.(π.χ. παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από καύσιμο, χωρίς σύνδεση με κάποιο άλλο δίκτυο). Αφορούν περιοχές στις οποίες γεννήτριες καυσίμων παρέχουν το μεγαλύτερο μέρος ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα απομονωμένο σύστημα. Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα ανταγωνίζεται το ΑΚΗΕ του δικτύου συμβατικής παραγωγής.

(pnrparity, 2013)

4. Μεθοδολογία

Στην παρούσα ερευνητική εργασία η μεθοδολογία για τον προσδιορισμό της ανταγωνιστικότητας των φωτοβολταϊκών βασίζεται σε 3 κύριους πυλώνες:

- Στη μεθοδολογία υπολογισμού του ΑΚΗΕ των φωτοβολταϊκών συστημάτων της Κρήτης
- Στον υπολογισμό της Ισοτιμίας μεταξύ συστήματος παραγωγής και Φ/Β συστήματος και τέλος
- Στον υπολογισμό ωφέλειας που προκύπτει αμφίδρομα μεταξύ παραγωγών της ΦΒ ηλεκτρικής ενέργειας και δικτύου διανομής.

Στην συγκεκριμένη Διπλωματική εργασία στόχος είναι η αξιολόγηση και η αποσαφήνιση της ορθής μεθόδου υπολογισμού του ανηγμένου κόστους για την

μελέτη στο αυτόνομο δίκτυο της Κρήτης, όπου ελάχιστες έως μηδαμινές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι στιγμής.

4.1 Ανασκόπηση κόστους Ηλεκτρικής Ενέργειας και ΑΚΗΕ

Μία σαφής κατανόηση του σχετικού κόστους, αποτελεσματικότητας, και σκοπιμότητας της ανάπτυξης των διαφόρων ενεργειακών τεχνολογιών είναι υψίστης σημασίας για τον καθορισμό και την δημιουργία πολιτικών διαχείρισης και κατανάλωσης ενέργειας σε κάθε έθνος.

Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από το οριακό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από συγκεκριμένες μονάδες παραγωγής και παράλληλα κατά κανόνα, με βάση την αγορά ενέργειας αλλά και διάφορα κανονιστικά μέτρα. Όσον αφορά την Ελληνική διαχείριση ενέργειας η τιμή καθορίζεται κατά βάση από την Οριακή τιμή του Συστήματος (ΟΤΣ), τις διαμορφώσεις της αγοράς μέσω της παραγωγής και της ζήτησης, αλλά παράλληλα και από τα όρια τα οποία μπαίνουν στην παραγωγή από τρίτους (βλ. ΦΒ), δηλαδή οι εγγυημένες τιμές (ταρίφες) οι οποίες έχουν δημιουργηθεί από το υπάρχον πλαίσιο που έχει εφαρμοστεί ή το πλαίσιο ενεργειακού συμψηφισμού που πλέον αρχίζει να εισχωρεί σαν υπόδειγμα στην αγορά φωτοβολταϊκής ενέργειας.

Διαφορετικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανταγωνίζονται τις προσφορές ηλεκτρικής ενέργειας, όπως και η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας από τους προμηθευτές ποικίλλει ανάλογα με την αποδεκτή προσφορά και με την τεχνολογία. Η αστάθεια αυτή που δημιουργείται στην αγορά ενέργειας, δημιουργεί την διαφορά μεταξύ κόστους παραγωγής και τελικής τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος.

Για την οικονομική ανάλυση διαφόρων επενδύσεων χρησιμοποιούνται διάφοροι οικονομικοί δείκτες με τους πιο συνηθισμένους να είναι: η καθαρή παρούσα αξία

(ΚΠΑ), ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (ΕΒΑ), η έντοκη περίοδος αποπληρωμής (ΕΠΑ) και το ανηγμένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (ΑΚΗΕ).

Η μεθοδολογία του ΑΚΗΕ χρησιμοποιείται σαν εργαλείο συγκριτικής αξιολόγησης ή στην ανάλυση-σύγκριση για την εκτίμηση της σχέσης κόστους – αποτελεσματικότητας διαφορετικών τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας. Ο δείκτης του ανηγμένου κόστους ενέργειας ουσιαστικά ορίζει την τιμή που θα πρέπει να αποζημιωθεί η παραγόμενη ενέργεια, ώστε να αποπληρώσει τον επενδυτή για το συνολικό του κόστος και υπολογίζεται ως το πηλίκο του κόστους καθ' όλη την οικονομική διάρκεια ζωής της επένδυσης (total lifetime expenses) προς τη παραγωγή ενέργειας της μονάδας, εκφρασμένα σε όρους παρούσας αξίας.

Για τον υπολογισμό του ΑΚΗΕ χρησιμοποιούνται διάφοροι παράμετροι όπως, το κόστος εγκατάστασης, τα λειτουργικά έξοδα, το προεξοφλητικό επιτόκιο ή επιτόκιο αναγωγής που χρησιμοποιείται εφόσον η αξιολόγηση γίνεται ως προς το σύνολο της επένδυσης του συστήματος, τον ρυθμό υποβάθμισης του συστήματος του ΦΒ, η διάρκεια ζωής του συστήματος, τα τοκοχρεολύσια.

Αναλόγως με το μέγεθος και το στόχο της ανάλυσης χρησιμοποιούνται και άλλες παράμετροι όπως, φόρος εισοδήματος, φόρος επένδυσης, υπολειμματική αξία επένδυσης κ.α.

Η συγκεκριμένη μέθοδος συνήθως δεν περιλαμβάνει κινδύνους που έγκεινται στις διαφορετικές μεθόδους χρηματοδότησης που είναι διαθέσιμες για τις διαφορετικές τεχνολογίες. Για παράδειγμα τις ταρίφες που έχουν δημιουργηθεί για την εξασφάλιση της τιμής που πρέπει να καταβληθεί για την παραγόμενη ενέργεια. Σε όλες τις τεχνολογίες θα πρέπει να πραγματοποιείται η ίδια οικονομική ανάλυση με

τις μόνες διαφορές να είναι το κόστος, την διάρκεια ζωής και την παραγόμενη ενέργεια.

Αναγνωρίζοντας ότι το ΑΚΗΕ είναι εργαλείο συγκριτικής αξιολόγησης, υπάρχει μεγάλη ευαισθησία στις παραδοχές που γίνονται, ειδικά όταν δημιουργείται πρόβλεψη για πολλά χρόνια στο μέλλον. Έτσι, εάν χρησιμοποιείται για να εξετάζει τις πρωτοβουλίες πολιτικής, οι υποθέσεις θα πρέπει να γίνονται ακριβείς όσο το δυνατόν, με τις αντίστοιχες αναλύσεις ευαισθησίας και αιτιολογήσεις. Συνήθως, το ΑΚΗΕ είναι ένα στατικό μέτρο που μοιάζει με ένα στιγμιότυπο κατά τον υπολογισμό της τιμής ανά παραγόμενη ενέργεια, ενώ οι πραγματικές τιμές της αγοράς είναι δυναμικές.

Βελτιώσεις στο ΑΚΗΕ για την φωτοβολταϊκή ενέργεια μπορούν να γίνουν όταν λαμβάνονται υπόψη ρεαλιστικές υποθέσεις, πραγματικές τιμές χρηματοδότησης, καθώς και σωστή εξέταση των τεχνολογιών παραγωγής. Κατανοώντας το πραγματικό κόστος του συστήματος και τις ενεργειακές προδιαγραφές θα βελτιώνεται η μέθοδος του ανηγμένου κόστους ηλεκτρικής ενέργειας.

4.2 Μεθοδολογία υπολογισμού ανηγμένου κόστους

Ο υπολογισμός του ανηγμένου κόστους πρέπει να λαμβάνει υπόψη το κόστος του συστήματος παραγωγής ενέργειας και την ενέργεια που παράγεται κατά την διάρκεια ζωής του συστήματος και παράσχει τιμή κόστους εκφρασμένη σε $(\frac{\text{€}}{\text{kWh-MWh}})$. Οι μεταβλητές και τα δεδομένα για τον υπολογισμό του ανηγμένου κόστους αναλύονται με την βοήθεια του προγράμματος υπολογιστικών φύλλων Microsoft Office Excel και τελικά εξάγονται τα συμπεράσματα όσον αφορά την Ισοτιμία μεταξύ παραγωγής και δικτύου.

Γενικά η μέθοδος υπολογισμού του ανηγμένου κόστους έχει παρατηρηθεί ότι είναι άρρηκτα συνδεδεμένη και η ευστοχία της ανάλυσης βασίζεται στις μεταβλητές και την πληθώρα των μεταβλητών εισόδου.

Η γενική μέθοδος υπολογισμού λοιπόν μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$LCOE = \frac{CAPEX + OPEX}{EP} \quad (1)$$

Όπου CAPEX: Οι κεφαλαιακές δαπάνες για την ανάπτυξη του συστήματος

OPEX: Οι λειτουργικές δαπάνες του συστήματος

EP: Η παραγόμενη ενέργεια του κύκλου ζωής του συστήματος.

Όταν η μέθοδος του ανηγμένου κόστους χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της Ισοτιμίας μεταξύ συστήματος – δικτύου, και ως εκ τούτου να γίνεται σύγκριση με τις τιμές του δικτύου, είναι αναγκαίο να ληφθούν όσο είναι δυνατόν υπόψη όλες οι μεταβλητές που συνδέονται με τα οποιοδήποτε κόστη που μπορεί να προκύψουν κατά την διάρκεια ζωής ενός συστήματος. (PvParity, 2013)

4.2.1 Επιλογή μεταβλητών της μεθοδολογίας.

Η επιλογή των παραμέτρων στην μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την προσέγγιση του ανηγμένου κόστους παραγωγής έχει ως στόχο τη βαθύτερη ανάλυση αλλά και την μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται ανήκουν στις εξής κατηγορίες:

- Μεταβλητές σχετικές με το κόστος αγοράς του συστήματος
- Μεταβλητές σχετικές με το κόστος λειτουργίας του συστήματος
- Οικονομικές παράμετροι που αφορούν τον κύκλο ζωής μίας επένδυσης
- Μεταβλητές σχετικές με την παραγωγή ενέργειας του συστήματος

Οι κύριες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ΑΚΗΕ είναι η επιλογή του προεξοφλητικού επιτοκίου(%), η μέση τιμή αγοράς του συστήματος($\frac{\epsilon}{W}$), η διάρκεια ζωής του συστήματος(Έτη) και η υποβάθμιση της παραγωγής ενέργειας κατά την διάρκεια ζωής του συστήματος(%).

Το προεξοφλητικό επιτόκιο είναι το επιτόκιο που χρεώνεται στα δάνεια από την Κεντρική Τράπεζα προς τις εμπορικές τράπεζες και άλλα ιδρύματα καταθέσεων και ουσιαστικά είναι το επιτόκιο αυτό που εξυπηρετεί το κόστος ιδίων κεφαλαίων της επένδυσης. Η επιλογή της τιμής του προεξοφλητικού επιτοκίου είναι δύσκολη διότι η τιμή αυτή ποικίλλει ανάλογα με την περίπτωση την θέση και την εξεταζόμενη χρονική περίοδο. Επιπλέον ορισμένοι επενδυτές επιλέγουν διαφορετικό προεξοφλητικό επιτόκιο ανάλογα με την εκάστοτε επένδυση ώστε να αντιμετωπίζει τους χρηματοοικονομικούς κινδύνους κατά τον κύκλο ζωής της . Η επιλογή του προεξοφλητικού επιτοκίου μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό της ενεργειακές τεχνολογίες που είναι σχετικά πιο ανταγωνιστικές.

Η μέση τιμή αγοράς του συστήματος είναι μία κυμαινόμενη τιμή για την αγορά του συστήματος. Ακολουθεί τους κανόνες της αγοράς και αναφέρεται ως κόστος ανά W.

Η διάρκεια ζωής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος παραγωγής είναι η μέση τιμή ζωής μίας φωτοβολταϊκής συστοιχίας.

Η υποβάθμιση της παραγόμενης ενέργειας είναι η τιμή που προκύπτει κατά κύριο λόγο από τον εκάστοτε κατασκευαστή ενός φωτοβολταϊκού πάνελ και αναφέρεται στην μεταβολή της παραγόμενης ενέργειας ενός συστήματος σε σχέση με τον χρόνο.

Η τελική εξίσωση που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του ανηγμένου κόστους ηλεκτρισμού, η οποία βασίζεται στην εξίσωση (1), θα είναι η εξής: (εξίσωση 2)

$$AKHE = \frac{\text{Κόστος Συστήματος} + \sum_{n=1}^N \frac{\text{Ετησια Λειτουργικά Εξοδα}}{(1 + \pi\epsilon)^n} - \frac{YA}{(1 + \pi\epsilon)^n}}{\sum_{n=1}^N \frac{\text{Ετησια παραγωγή Η. Ε.} * (1 - \sigma\alpha)^n}{(1 + \pi\epsilon)^n}}$$

Εξίσωση 1: Εξίσωση Υπολογισμών AKHE

Όπου: YA: Υπολειμματική αξία επένδυσης

ΠΕ: Προεξοφλητικό επιτόκιο

ΣΑ: Συντελεστής αποδόμησης του ΦΒ.

- Το κόστος συστήματος υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Κόστος} = \text{Κόστος ανά } W * \text{μέγεθος συστήματος}$$

- Τα ετήσια λειτουργικά έξοδα επειδή είναι αρκετά δύσκολο να δοθούν ακριβώς για μία επένδυση με μεγάλη διάρκεια ζωής αντιστοιχούν σε ένα ποσοστό επί του συνολικού κόστους του συστήματος (τυπικές τιμές βιβλιογραφίας 1-2%).
- Η υπολειμματική αξία μίας επένδυσης χαρακτηρίζει το υπόλοιπο της αξίας ενός αγαθού. Ουσιαστικά πρόκειται για απομείωση της αρχικής αξίας στο πέρασμα του χρόνου που μπορεί να οφείλεται σε διάφορα είδη φθοράς, και που μπορεί να είναι φυσικά ή έκτακτα, η αξία δηλαδή του συστήματος στο τέλος της επένδυσης. Στην συγκεκριμένη έρευνα επειδή η

διάρκεια ζωής του συστήματος είναι μεγάλη μπορεί να θεωρηθεί πλησίον του μηδενός.

- Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει από την εξίσωση

$$Ετήσια Π.Ε. = \frac{Συντελεστής απόδοσης * 365 * 24 * Μέγεθος συστήματος}{1000}$$

,όμως για την παραγωγή ενέργειας που αφορά τα χαρακτηριστικά της νήσου Κρήτης έχουν χρησιμοποιηθεί στοιχεία τα οποία έχουν συλλεχθεί από πραγματικές πειραματικές μετρήσεις του Εργαστηρίου Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων. (Ζαβός, 2013)

- Ο συντελεστής αποδόμησης προκύπτει από τις κατασκευαστικές προδιαγραφές ενός φωτοβολταϊκού (τυπικές τιμές: 0,35-0,7%)

Το σύνολο των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στο υπολογιστικό μοντέλο παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5).

Μεταβλητές συστήματος	Μονάδες	Τιμή
Μέγεθος συστήματος	W	
Ηλιακή Ακτινοβολία	kWh/m ² /ημέρα	
Συντελεστής Απόδοσης	%	
Συντελεστής Αποδόμησης	%	
Χρόνος ζωής ΦΒ	Έτη	
Παραγόμενη Ενέργεια	kWh/Έτος	
Κόστος ανά παραγόμενο W(€/W)	€/W	
Ολικό κόστος εγκατάστασης (€)	€	
Λειτουργικά έξοδα (€)	€	
Προεξοφλητικό επιτόκιο (%)	%	

Πίνακας 5: Μεταβλητές Συστήματος

Αναλόγως με τον τύπο επένδυσης οφείλεται να προστεθεί και η χρηματοδότηση της εκάστοτε επένδυσης. Στην συγκεκριμένη έρευνα δίδεται μέσω του υπολογιστικού προγράμματος η επιλογή χρηματοδότησης η μη όσο αφορά επενδύσεις που γίνονται για εγκαταστάσεις μονάδων άνω των 10kW οι οποίες κατά το πλείστον αφορούν επαγγελματικές εγκαταστάσεις (Πίνακας 6)

Μεταβλητές χρηματοδότησης	Μονάδες	Τιμή
Επιτόκιο δανείου (%)	%	
Περίοδος Δανείου (Έτη)	Έτη	
Κρατική χρηματοδότηση (%)	%	
Κεφάλαιο δανείου (€)	€	
Ετήσια δόση δανείου (€)	€	

Πίνακας 6: Μεταβλητές Χρηματοδότησης Επένδυσης

Μέσω των μεταβλητών περιόδου δανείου, επιτόκιο δανείου και κεφάλαιο δανείου γίνεται ο υπολογισμός της ετήσιας δόσης δανείου από την ακόλουθη εντολή του υπολογιστικού προγράμματος Microsoft Office Excel.

Ετήσια δόση δανείου= PMT(rate, nper, pv, [fv], [type])

- Όπου: rate: Το επιτόκιο του δανείου
- nper: Ο αριθμός πληρωμών δόσεων του δανείου
- pv: Το κεφάλαιο του δανείου
- fv: Η μελλοντική αξία του δανείου μετά την πληρωμή της τελευταίας δόσης. (Συνήθως παίρνει την τιμή 0)
- type: Παίρνει τις τιμές 0 ή 1 ανάλογα για το αν οι πληρωμές γίνονται εντός προθεσμιών δανείου.

4.2.2 Επιλογή τύπου ΑΚΗΕ

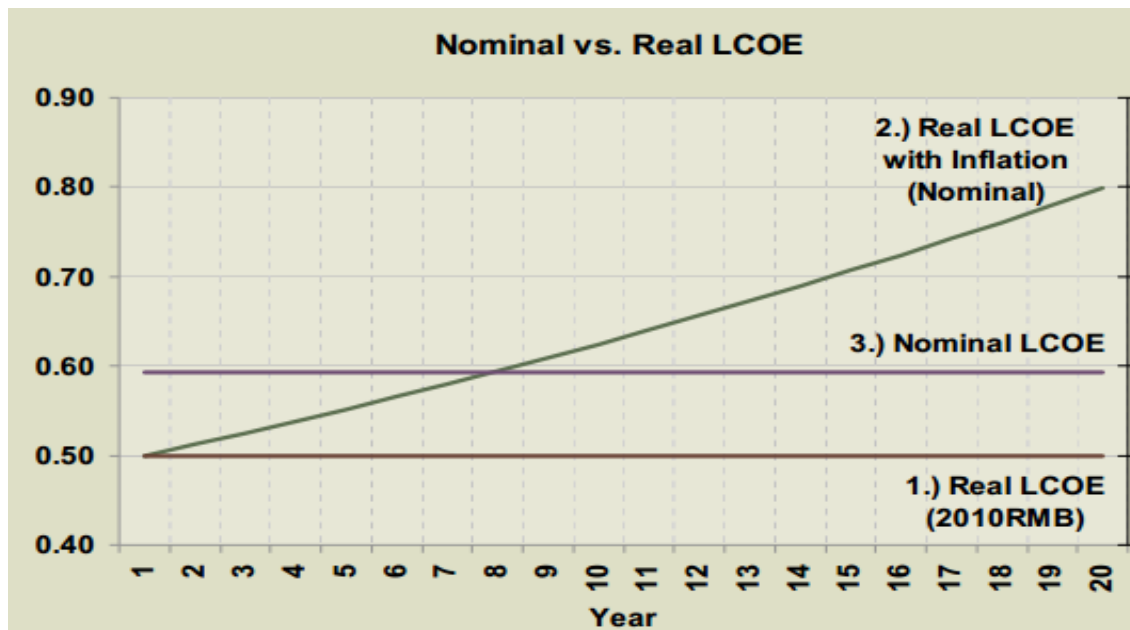
Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία υπάρχουν τρία είδη ανηγμένου κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία αναφέρονται στον τρόπο τον οποίο γίνεται η προσέγγιση των μεταβλητών για τους υπολογισμούς:

- Το ονομαστικό ανηγμένο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Το πραγματικό ανηγμένο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Το πραγματικό πληθωριστικό ανηγμένο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (εικόνα 2)

Στο ονομαστικό ανηγμένο κόστος, για τον υπολογισμό, του χρησιμοποιούνται ονομαστικές τιμές όσο αφορά τα κόστη που έγκεινται κατά την εγκατάσταση

Στο πραγματικό ανηγμένο κόστος, για τον υπολογισμό του, χρησιμοποιούνται πραγματικές τιμές(δυναμικές) οι οποίες αναφέρονται σε τιμές του σήμερα και συνήθως πριν την χρησιμοποίησή τους έχει προέλθει μία ανάλυση ευαισθησίας.

Στο πραγματικό πληθωριστικό ανηγμένο κόστος χρησιμοποιείται παράλληλα τιμές πληθωρισμού οι οποίες αναφέρονται στην αγορά, έτσι ώστε να υπάρχει μία παρατήρηση όσο αφορά την εξέλιξη των τιμών και την μελλοντική αξία του κεφαλαίου κατά τα χρόνια μελέτης.



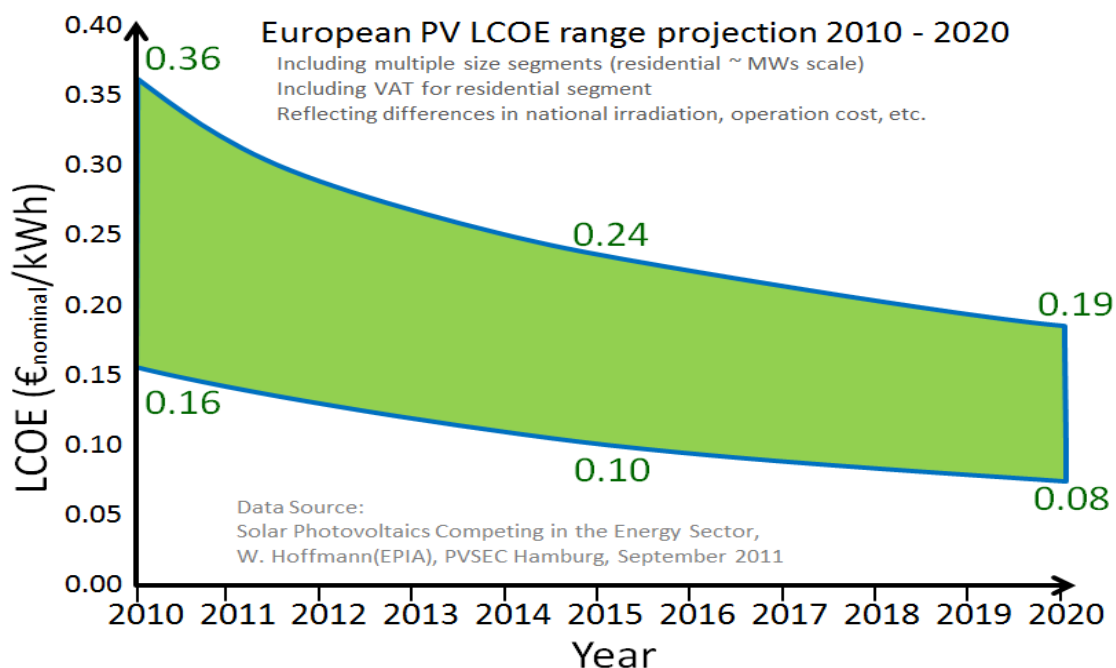
Εικόνα 2: Τύποι ανηγμένου κόστους Πηγή: <http://csep.efchina.org/>

Η χρήση μεταξύ ονομαστικού και πραγματικού ανηγμένου κόστους ποικίλλει ανάλογα με τον στόχο της κάθε μελέτης. Γενικά το πραγματικό ανηγμένο κόστος προτιμάται κυρίως από κυβερνήσεις – κατασκευαστές πολιτικών, ενώ το ονομαστικό προτιμάται κυρίως από επενδυτές .

Οι παραπάνω υπολογισμοί οδηγούν σε μία πραγματική τιμή για το ΑΚΗΕ η οποία είναι σταθερή για το σύνολο του χρόνου ζωής της επένδυσης και για τους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται πραγματικές τιμές οι οποίες αναφέρονται στο έτος 2014. Παράλληλα γίνεται και ο υπολογισμός για την πραγματική πληθωριστική τιμή του ανηγμένου κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας τα ευρωπαϊκά στοιχεία για τον πληθωρισμό.

4.2.3 Εξέλιξη της τιμής του ΑΚΗΕ

Όπως είναι ήδη γνωστό το ΑΚΗΕ είναι ένας οικονομικός δείκτης που χρησιμοποιείται για την ανάλυση επενδύσεων, ο οποίος προσδίδει μία στατική τιμή που αφορά το σύνολο της επένδυσης χρονικά (total lifetime expenses). Ο οικονομικός αυτός δείκτης όπως παρατηρείτε εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το κόστος του συστήματος, το οποίο είναι κυμαινόμενη τιμή η οποία μεταβάλλεται σε συνθήκες ελεύθερης αγοράς. Επομένως λοιπόν για να γίνει πλήρης κατανόηση της εξέλιξης του ΑΚΗΕ πρέπει να γίνεται παράλληλα και μία ανάλυση σχετικά με την μεταβολή της τιμής αγοράς του συστήματος (δυναμική μεταβλητή). Η ανάλυση αυτή γίνεται με την παρακολούθηση των τιμών σε προηγούμενα χρόνια και με την χρήση γραμμικής παλινδρόμησης να δοθεί η ικανότητα πρόβλεψης όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Εξέλιξη ΑΚΗΕ Πηγή: [www.epia.org]

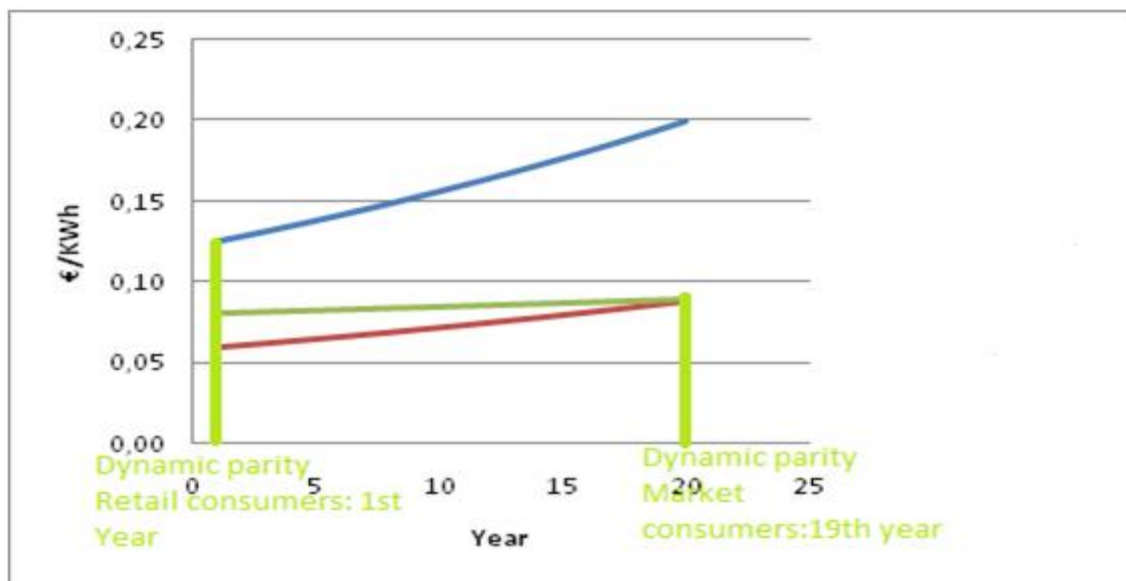
4.3 Μεθοδολογία υπολογισμού Ισοτιμίας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ισοτιμία δικτύου θεωρείται κρίσιμο σημείο για την αποτελεσματικότητα του κόστους της ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας σε σχέση με την παραγόμενη από συμβατικά μέσα ενέργειας του δικτύου. Ουσιαστικά πρόκειται για την χάραξη της πολιτικής που ακολουθείται για την ανταγωνιστικότητα της φωτοβολταϊκής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των μειώσεων κόστους και την συνολική 'πράσινη' πολιτική που χρειάζεται να ακολουθηθεί στον τομέα των ΑΠΕ γενικότερα.

Για την Ισοτιμία θα εξεταστούν 2 μέθοδοι Ισοτιμίας:

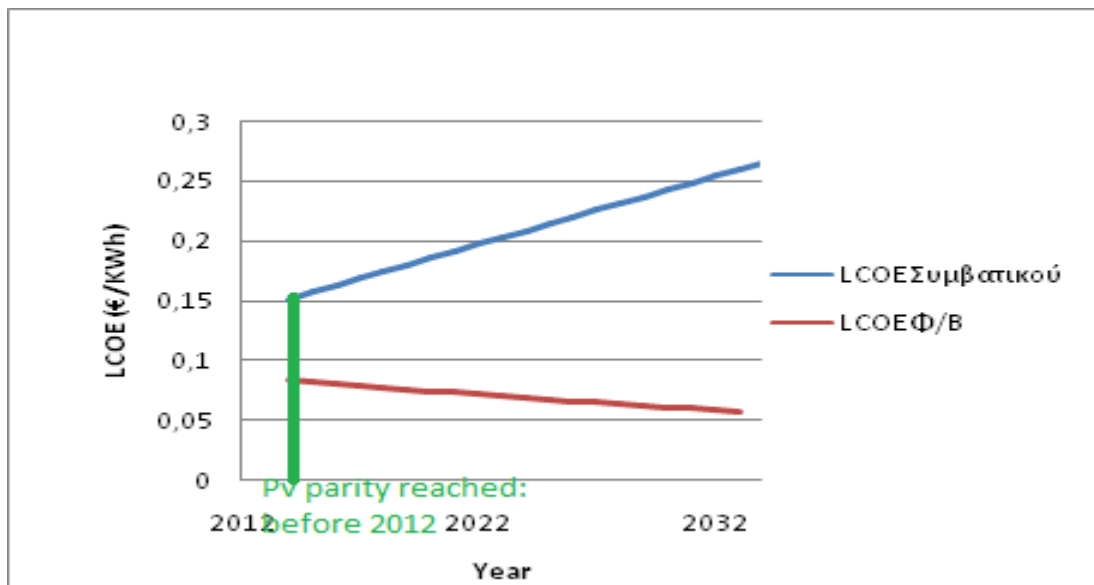
- Δυναμική Ισοτιμία με ενσωματωμένα χαρακτηριστικά του δικτύου (Οικιακής-Εμπορικής Κατανάλωσης)
- Ισοτιμία καυσίμου

Για τους υπολογισμούς της Δυναμικής Ισοτιμίας γίνεται σύγκριση μεταξύ του ανηγμένου κόστους παραγωγής φωτοβολταϊκής ενέργειας και των τιμών οικιακής και εμπορικής χρήσης του δικτύου. Η σύγκριση αυτή αλλάζει ανάλογα με τον παραγωγό της φωτοβολταϊκής ενέργειας και την θέση την οποία βρίσκεται ως προς την κατανάλωση του (εικόνα 4). (λογαριασμός ηλεκτρικής κατανάλωσης)



Εικόνα 4: Παράδειγμα Δυναμικής Ισοτιμίας δικτύου

Για τους υπολογισμούς της Ισοτιμίας καυσίμου γίνεται η σύγκριση μεταξύ του ανηγμένου κόστους παραγωγής φωτοβολταϊκής ενέργειας και του ανηγμένου κόστους παραγωγής της συμβατικής ενέργειας του δικτύου. Λόγω των ελλιπών δεδομένων που υπάρχουν για το ανηγμένο κόστος της συμβατικής ενέργειας μόνο μία ποιοτική σύγκριση μπορεί να γίνει μεταξύ των δύο αυτών πηγών. Θα χρησιμοποιηθούν στοιχεία τιμών του κόστους καυσίμου των συμβατικών πηγών και παράλληλα με μία ανάλυση να δοθεί μία ποιοτική πρόβλεψη ώστε να υπάρξει μία εμπειριστατωμένη εξήγηση για την Ισοτιμία καυσίμου. (εικόνα 5)



Εικόνα 5: Παράδειγμα Ισοτιμίας καυσίμου

4.4 Μεθοδολογία υπολογισμού ωφέλειας

Για τον υπολογισμό της ωφέλειας χρησιμοποιείται η μέτρηση του EBA για την εκάστοτε επένδυση για την επόμενη 20ετία σύμφωνα με τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί που αφορούν κόστος παραγωγής φωτοβολταϊκής και συμβατικής ενέργειας αλλά και παράλληλα την τιμολόγηση της φωτοβολταϊκής ενέργειας.

Παράλληλα δίδεται και η δυνατότητα δημιουργώντας διάφορα οικονομικά σενάρια επάνω στο υπολογιστικό μοντέλο και με την παράλληλη βοήθεια του ισχύοντος θεσμικού πλαισίου επάνω στον τομέα της φωτοβολταϊκής ηλεκτροπαραγωγής, να μπορούν να εξαχθούν επιστημονικά συμπεράσματα που θα αφορούν την ενεργοποίηση διαφόρων πολιτικών επάνω στο ζήτημα των ΑΠΕ και ειδικότερα των φωτοβολταϊκών συστημάτων επάνω στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά και την Κρήτη ειδικότερα, βασιζόμενα στις αρχές δημιουργίας ενός κοινωνικού εμπορικού ανταγωνιστικού θεσμικού πλαισίου επάνω στον τομέα των Φωτοβολταϊκών συστημάτων.

4.4.1 Υπολογισμοί ωφέλειας παραγωγού φωτοβολταϊκής ενέργειας

Για την αξιολόγηση των επενδύσεων από την πλευρά του παραγωγού στον τομέα των ΦΒ συστημάτων χρησιμοποιείται ο δείκτης του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (EBA- IRR) ο οποίος δείχνει το κατά πόσο συμφέρουσα είναι μία επένδυση επάνω στον τομέα των φωτοβολταϊκών με τα χαρακτηριστικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας στο σύστημα της Κρήτης. Με βάση τα υπολογιστικά φύλλα excel έχει δημιουργηθεί ένα μοντέλο υπολογισμού που σύμφωνα με τα στοιχεία που εισάγονται για τους υπολογισμούς του ανηγμένου κόστους και με την βοήθεια των τιμολογήσεων των δύο μοντέλων έγχυσης της ενέργειας στο δίκτυο (μοντέλο εγγυημένων τιμών – μοντέλο ενεργειακού συμψηφισμού) αναπτύσσει τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης για την επένδυση. Για το μοντέλο εγγυημένων τιμών λαμβάνονται υπόψη οι τιμές όπως αυτές αναφέρονται στο νόμο ν.3581/2010 και για το μοντέλο ενεργειακού συμψηφισμού λαμβάνονται υπόψη οι νόμοι ν.4203/2013 και ν.4254/2014. Λόγω της μικρής αποσαφήνισης των νόμων για τις τιμολογήσεις, βάσει του εσωτερικού βαθμού απόδοσης δίνεται η ικανότητα στην έρευνα την οποία πραγματοποιούμε να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε σενάρια τέτοια ώστε να καταστεί δυνατόν η δημιουργία μίας σωστής πολιτικής επάνω στην τεχνολογία, με βάση τα στοιχεία που διαθέτουμε για την Κρήτη (δίκτυο-παραγωγής φ/β ενέργειας).

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι μία μέθοδος αξιολόγησης μίας επένδυσης κεφαλαίου. Η μέθοδος αυτή ορίζει το προεξοφλητικό επιτόκιο στο οποίο η ΚΠΑ μηδενίζεται .

$$\text{Δηλαδή: } NPV = CF_0 + \sum_{n=0}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0$$

Η αξιολόγηση της επένδυσης γίνεται με βάση το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο έχει οριστεί για την επένδυση στους αρχικούς υπολογισμούς για το ανηγμένο κόστος παραγωγής.

- Αν $IRR > ΠΕ$ τότε η επένδυση αξίζει να χρηματοδοτηθεί
- Αν $IRR = ΠΕ$ τότε η επένδυση αξίζει να χρηματοδοτηθεί οριακά
- Και αν $IRR < ΠΕ$ τότε η επένδυση καθίσταται ασύμφορη και μη αξίας χρηματοδότησης

Ο αναλυτικός υπολογισμός γίνεται μέσω του συστήματος εξισώσεων του λογισμικού Microsoft Office Excel έχοντας σαν βάση: το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης και τα ετήσια έσοδα που προκύπτουν της παραγόμενης ενέργειας και της τιμολόγησης αυτής. (ΕΜΠ, 2008)

4.5 Ανάλυση υπολογιστικού μοντέλου που χρησιμοποιείται

Για την ανάλυση της ανταγωνιστικότητας της ΦΒ τεχνολογίας δημιουργήθηκε σε φύλλα υπολογισμών excel ένα υπολογιστικό μοντέλο το οποίο αποτελεί την βάση δεδομένων της συγκεκριμένης εργασίας. Η δημιουργία του υποδείγματος αυτού βασίστηκε στον στόχο της ερευνητικής αυτής εργασίας, δηλαδή:

1. Στον υπολογισμό του ΑΚΗΕ με βάση τις πραγματικές τιμές
2. Στην εύρεση της Ισοτιμίας βάσει των 2 μεθόδων Ισοτιμίας που έχουν αναφερθεί και
3. Στον υπολογισμό της ωφέλειας που προκύπτει κατά την παραγωγή με την μέτρηση του ΕΒΑ, βασιζόμενη στα 2 μοντέλα τιμολογήσεων της Ελληνικής αγοράς (FIT-net metering)

Στόχος του υποδείγματος αυτού είναι ο υπολογισμός του ΑΚΗΕ και ΕΒΑ μέσω των αυτοπονημένων εντολών του excel και η βοήθεια που αυτό προσδίδει στον υπολογισμό καθώς και στην χρήση για διαφορετικές περιοχές και διαφορετικές σε μέγεθος μονάδες παραγωγής, ανάλογα με τις μεταβλητές που εισάγονται σύμφωνα με τον χρήστη.

Αρχικά στο υπόδειγμα που έχει δημιουργηθεί ο χρήστης εισάγει τις μεταβλητές που αφορούν το σύστημα το οποίο έχει επιλεγεί για την μελέτη όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 6).

Μεταβλητές Συστήματος	Μονάδες	Τιμές
Σχετικές με το σύστημα		
Μέγεθος Συστήματος	W	1000
Ηλιακή Ακτινοβολία	(kWh/m ² /day)	4,3
Συντελεστής απόδοσης	%	17,9%
Συντελεστής αποδόμησης	%	0,5%
Χρόνος ζωής ΦΒ	years	20
Παραγώμενη Ενέργεια	kWh/year	1569,5
Κόστη Συστήματος		
Κόστος ανα παραγόμενο W	€/W	1
Ολικό κόστος εγκατάστασης	€	1000
Λειτουργικά έξοδα εγκατάστασης (1% του ολικού κόστους)	€	10
Χρηματοδότηση		
Προεξοφλιτικό επιτόκιο	%	2,50%
Επιτόκιο δανείου	%	7,0%
Περίοδος δανείου	Χρόνια	15
Κρατική χρηματοδότηση	%	0%
Κεφάλαιο δανείου	€	0,00
Ετήσιο ποσό δανείου	€	0,00 €

Εικόνα 6: Εισαγωγή μεταβλητών του συστήματος

Εν συνεχεία στο επόμενο φύλλο βρίσκεται η περιοχή υπολογισμών όπου σύμφωνα με την εξίσωση υπολογισμών (εξίσωση 2) υπολογίζεται το ΑΚΗΕ ως η ΚΠΑ του κόστους προς την ΚΠΑ ενέργειας του συστήματος. (εικόνα 7)

Χρονιά	Αρχικό Κόστος (€)	Λειτουργικά Έξοδα	Υπολογισμός δανείων	ΚΠΑ κόστους	Παραγόμενη Ενέργεια(KWh/Year)	ΚΠΑ Ενέργειας	Πραγματικό ΑΚΗΕ
0	1.000,00 €	10,00 €	0,00	10,00 €	1569,50	1569,50	0,0536 €
1		10,00 €	0,00	9,62 €	1561,65	1501,59	0,0536 €
2		10,00 €	0,00	9,25 €	1553,84	1436,62	0,0536 €
3		10,00 €	0,00	8,89 €	1546,08	1374,46	0,0536 €
4		10,00 €	0,00	8,55 €	1538,34	1314,98	0,0536 €
5		10,00 €	0,00	8,22 €	1530,65	1258,09	0,0536 €
6		10,00 €	0,00	7,90 €	1523,00	1203,65	0,0536 €
7		10,00 €	0,00	7,60 €	1515,38	1151,57	0,0536 €
8		10,00 €	0,00	7,31 €	1507,81	1101,74	0,0536 €
9		10,00 €	0,00	7,03 €	1500,27	1054,07	0,0536 €
10		10,00 €	0,00	6,76 €	1492,77	1008,46	0,0536 €
11		10,00 €	0,00	6,50 €	1485,30	964,82	0,0536 €
12		10,00 €	0,00	6,25 €	1477,88	923,08	0,0536 €
13		10,00 €	0,00	6,01 €	1470,49	883,14	0,0536 €
14		10,00 €	0,00	5,77 €	1463,14	844,92	0,0536 €
15		10,00 €	0,00	5,55 €	1455,82	808,36	0,0536 €
16		10,00 €	0,00	5,34 €	1448,54	773,39	0,0536 €
17		10,00 €	0,00	5,13 €	1441,30	739,92	0,0536 €
18		10,00 €	0,00	4,94 €	1434,09	707,91	0,0536 €
19		10,00 €	0,00	4,75 €	1426,92	677,28	0,0536 €

Εικόνα 7: Υπολογισμοί ΑΚΗΕ υπολογιστικού μοντέλου

Για τον υπολογισμό της Ισοτιμίας στο επόμενο φύλλο ζητείται η εισαγωγή των τιμών οικιακής και εμπορικής πώλησης της ενέργειας του δικτύου καθώς και η ετήσια μεταβολή αυτής, όπως επίσης η μεταβολή του κόστους συστήματος και το ετήσιο ποσοστό πληθωρισμού. (εικόνα 8)

Year	Οικιακή	Εμπορική	Ετήσια Αύξηση Ο.Τ.	Ετήσια Αύξηση Ε.Τ.	Σενάρια	Μεταβολή κόστους συστήματος	Πληθωρισμός	Πραγματικό Πληθωριστικό ΑΚΗΕ	Εξέλιξη ΑΚΗΕ	Κόστος ΚΑ
1	0,1250	0,0600	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0536	0,0536	2014 0,1399
2	0,1281	0,0612	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0544	0,0531	2015 0,1449
3	0,1313	0,0624	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0552	0,0525	2016 0,1500
4	0,1346	0,0637	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0560	0,0520	2017 0,1550
5	0,1380	0,0649	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0569	0,0515	2018 0,1601
6	0,1414	0,0662	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0577	0,0510	2019 0,1651
7	0,1450	0,0676	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0586	0,0505	2020 0,1702
8	0,1486	0,0689	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0595	0,0499	2021 0,1752
9	0,1523	0,0703	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0604	0,0495	2022 0,1803
10	0,1561	0,0717	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0613	0,0490	2023 0,1853
11	0,1600	0,0731	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0622	0,0485	2024 0,1904
12	0,1640	0,0746	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0631	0,0480	2025 0,1955
13	0,1681	0,0761	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0641	0,0475	2026 0,2005
14	0,1723	0,0776	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0650	0,0470	2027 0,2056
15	0,1766	0,0792	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0660	0,0466	2028 0,2106
16	0,1810	0,0808	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0670	0,0461	2029 0,2157
17	0,1856	0,0824	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0680	0,0456	2030 0,2207
18	0,1902	0,0840	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0690	0,0452	2031 0,2258
19	0,1950	0,0857	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0701	0,0447	2032 0,2308
20	0,1998	0,0874	2,50%	2,00%		-1%	1,5%	0,0711	0,0443	2033 0,2359

Εικόνα 8: Μεταβλητές για υπολογισμό Ισοτιμίας

Για τον υπολογισμό της ωφέλειας ως προς την παραγωγή ΦΒ ενέργειας μέσω της μέτρησης του EBA έχουν δημιουργηθεί 2 υπολογιστικά φύλλα excel στα οποία μέσω του αρχικού κεφαλαίου, του υπολογισμού του κέρδους μέσω της διαφοράς τιμής πώλησης (μέσω του συστήματος εγγυημένων τιμών) ή και της τιμής συμψηφισμού της ενέργειας (σύστημα ενεργειακού συμψηφισμού) και της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας υπολογίζεται ο EBA και παρουσιάζεται στα διαγράμματα όπως έχουν αναφερθεί. (εικόνα 9)

											Πρόβλεψη					IRR					
											2014	2015	2016	2017	2018		2014	2015	2016	2017	2018
Παραγόμενη ενέργεια(KWh)	FIT 2014	FIT 2015	FIT 2016	FIT 2017	FIT 2018	LCOE 2014	LCOE 2015	LCOE 2016	LCOE 2017	LCOE 2018	-1000	-980	-960,4	-941,192	-922,368		7,84%	7,09%	6,47%	5,84%	5,21%
1569,50	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	104,2302	96,59598	90,23408	84,15163	78,33722						
1561,65	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	103,709	96,113	89,78291	83,73088	77,94553						
1553,84	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	103,1905	95,63243	89,33399	83,31222	77,5558						
1546,08	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	102,6745	95,15427	88,88732	82,89566	77,16803						
1538,34	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	102,1612	94,6785	88,44289	82,48118	76,78218						
1530,65	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	101,6504	94,20511	88,00067	82,06878	76,39827						
1523,00	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	101,1421	93,73408	87,56067	81,65843	76,01628						
1515,38	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	100,6364	93,26541	87,12286	81,25014	75,6362						
1507,81	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	100,1332	92,79908	86,68725	80,84389	75,25802						
1500,27	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	99,63254	92,33509	86,25381	80,43967	74,88173						
1492,77	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	99,13438	91,87341	85,82255	80,03747	74,50732						
1485,30	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	98,63871	91,41405	85,39343	79,63728	74,13478						
1477,88	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	98,14551	90,95698	84,96647	79,2391	73,76411						
1470,49	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	97,65479	90,50219	84,54163	78,8429	73,39529						
1463,14	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	97,16651	90,04968	84,11892	78,44869	73,02831						
1455,82	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	96,68068	89,59943	83,69833	78,05644	72,66317						
1448,54	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	96,19728	89,15143	83,27984	77,66616	72,29986						
1441,30	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	95,71629	88,70568	82,86344	77,27783	71,93836						
1434,09	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	95,23771	88,26215	82,44912	76,89144	71,57867						
1426,92	0,1200	0,1146	0,1100	0,1056	0,1014	0,0536	0,0531	0,0525	0,0520	0,0515	94,76152	87,82084	82,03688	76,50698	71,22077						

Ομοίως γίνονται οι υπολογισμοί για τον ΕΒΑ στο μοντέλο ενεργειακού συμψηφισμού (net-metering) με την μόνη διαφορά να είναι αντί της εγγυημένης τιμής να βρίσκεται η τιμή οικιακής κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου και η μεταβολή αυτής όπως έχει οριστεί από τον χρήστη.

Τονίζεται ότι για τους παραπάνω υπολογισμούς το υπολογιστικό μοντέλο λαμβάνει σαν εισαγόμενες μεταβλητές τις μεταβλητές αρχικού κόστους καθώς και εξέλιξης τιμών κόστους ανά W από τον αρχικό πίνακα εισαγωγής μεταβλητών.

4.6 Εισαγωγή μεταβλητών υπολογισμού ανηγμένου κόστους

Τα δεδομένα για την εισαγωγή των μεταβλητών συλλέχθηκαν από τρεις κύριες πηγές: 1) βιβλιογραφικά δεδομένα 2) Πειραματικά δεδομένα 3) Δεδομένα αγοράς.

4.6.1 Εισαγωγή μεταβλητών συστήματος

Στη συγκεκριμένη έρευνα γίνεται μελέτη για μία μονάδα φωτοβολταϊκής ηλεκτροπαραγωγής με τυπική ισχύ 1kW . Ο κύκλος ζωής της μονάδας και παράλληλα ο χρόνος μελέτης ανέρχεται στα 20 χρόνια , οι βιβλιογραφικές τιμές για μία μονάδα φωτοβολταϊκής ηλεκτροπαραγωγής ανέρχεται σε 20-30 έτη. Από πειραματικές μελέτες του Εργαστηρίου Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος ένα φωτοβολταϊκό πάνελ έχει συντελεστή μετατροπής ηλιακής ακτινοβολίας ίσο με 4.3 kWh/m²/day, συνεπώς προκύπτει ένας συντελεστής απόδοσης της τάξης του 17,9%.

Το κόστος ανά παραγόμενο W προκύπτει από τρέχοντα δεδομένα αγοράς και για το έτος 2014 προκύπτει μία μέση τιμή του $1 \frac{\text{€}}{\text{W}}$. Ο συντελεστής αποδόμησης

προκύπτει και αυτός από βιβλιογραφικά δεδομένα από παλαιότερες εμπειρίες κατασκευαστών και η τιμή που επιλέγεται ανέρχεται σε 0,5%/έτος. Για τα ετήσια λειτουργικά έξοδα του συστήματος επιλέγεται η τιμή που ανέρχεται στο 1% του συνολικού κόστους εγκατάστασης.

Η αρχική μελέτη υπολογισμού θα γίνει για εγκατάσταση η οποία αναφέρεται σε οικιακή χρήση.

Από τις εξισώσεις οι οποίες έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** προκύπτουν οι εξής πίνακες για χρήση στο μαθηματικό μοντέλο. (πίνακες 7-8)

Μεταβλητές Συστήματος	Μονάδες	Τιμές
Σχετικές με το σύστημα		
Μέγεθος Συστήματος	W	1.000
Ηλιακή Ακτινοβολία	(kWh/m ² /ημέρα)	4,3
Συντελεστής απόδοσης	%	17,9%
Συντελεστής αποδόμησης	%	0,5%
Χρόνος ζωής ΦΒ	έτη	20
Παραγόμενη Ενέργεια	kWh/έτος	1.569,5
Κόστη Συστήματος		
Κόστος ανά παραγόμενο W	€/W	1
Ολικό κόστος εγκατάστασης	€	1.000
Λειτουργικά έξοδα εγκατάστασης (1% του ολικού κόστους)	€	10

Πίνακας 7: Εισαγόμενες μεταβλητές συστήματος για το υπολογιστικό μοντέλο

Χρηματοδότηση		
Προεξοφλητικό επιτόκιο	%	4%
Επιτόκιο δανείου	%	-
Περίοδος δανείου	Χρόνια	-
Κρατική χρηματοδότηση	%	-
Κεφάλαιο δανείου	€	-
Ετήσιο ποσό δανείου	€	-

Πίνακας 8: Εισαγόμενες μεταβλητές χρηματοδότησης για το υπολογιστικό μοντέλο

4.6.2 Σενάρια Υπολογισμών

Για την πληρέστερη κατανόηση και εκβάθυνση στον έλεγχο της ανταγωνιστικότητας της τεχνολογίας και της ισοτιμίας για την Κρήτη δημιουργούνται διάφορα σενάρια κατά τα οποία μελετάται η συμπεριφορά της τιμής του ΑΚΗΕ αλλά και παράλληλα μελετάται και η ωφέλεια σε παραγωγούς για την χρήση της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Τα σενάρια αυτά βασίζονται κυρίως σε 2 πυλώνες:

- 1) Τη μεταβολή της τιμής του ΑΚΗΕ σε περίπτωση χρήσης ξένων κεφαλαίων και
- 2) Τη μεταβολή του ΕΒΑ σε περίπτωση μεταβολής της τιμής χρέωσης της kWh

Τα σενάρια που δημιουργούνται είναι τα εξής:

- **Σενάριο 1^ο:** Δάνειο σε ποσοστό 30% και περίοδο αποπληρωμής 15 έτη
- **Σενάριο 2^ο:** Ποσοστό δανείου 30% και κρατική επιδότηση 20% (σενάριο επιδότησης σε ενεργειακό συμψηφισμό)
- **Σενάριο 3^ο** (σενάριο ωφέλειας): Σενάριο μεταβολής τιμών πώλησης ενέργειας δικτύου 3%

- **Σενάριο 4^ο** :(σενάριο ωφέλειας): Σενάριο συμψηφισμού σε ποσοστό 40% επί της διαφοράς της τελικής τιμής κιλοβατώρας στον καταναλωτή, 2,5% αύξηση κατά έτος στην οικιακή και 2% στην εμπορική τιμή (τιμή κιλοβατώρας συμπεριλαμβανομένων ρυθμιζόμενων χρεώσεων δικτύου: 0,185 €/kWh.)
- **Σενάριο 5^ο** :(σενάριο ωφέλειας): Εφαρμογή εμπορίας δικαιωμάτων αερίων εκπομπών (CO₂) .

Συγκεντρωτικά οι μεταβλητές υπολογισμών των ανωτέρω σεναρίων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα: (Πίνακας 9)

Μεταβλητές συστήματος	Αρχικό σενάριο	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5
Μέγεθος συστήματος (W)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Ηλιακή Ακτινοβολία (kWh/m2/ημέρα)	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
Συντελεστής Απόδοσης (%)	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9
Συντελεστής Αποδόμησης (%)	0,5	0,5	0,5%	0,5%	0,5	0,5
Χρόνος ζωής ΦΒ (Έτη)	20	20	20	20	20	20
Παραγόμενη Ενέργεια (kWh/ Έτος)	1.569,5	1.569,5	1.569,5	1.569,5	1.569,5	1.569,5
Κόστος ανά παραγόμενο watt (€/W)	1	1	1	1	1	1
Κόστος εγκατάστασης (€)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	752
Λειτουργικά έξοδα (€)	10	10	10	10	10	7,52
Προεξοφλητικό επιτόκιο (%)	4	4	4	4	4	4
Επιτόκιο δανείου (%)	-	7,0	7,0	-	-	-
Περίοδος Δανείου (Έτη)	-	15	15	-	-	-
Κρατική χρηματοδότηση (%)	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0
Κεφάλαιο δανείου (€)	0	540	540	0	0	0
Ετήσια δόση δανείου (€)	0	68	68	0	0	0

Πίνακας 9: Πίνακας μεταβλητών σεναρίων

Συγκεντρωτικά οι τιμές οικιακής τιμολόγησης της ενέργειας και η μεταβολή τους σύμφωνα με τα παραπάνω σενάρια: (Πίνακας 10)

Έτος	Αρχικό σενάριο	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5
0	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1490	0,1250
1	0,1281	0,1281	0,1281	0,1288	0,1527	0,1281
2	0,1313	0,1313	0,1313	0,1326	0,1565	0,1313
3	0,1346	0,1346	0,1346	0,1366	0,1605	0,1346
4	0,1380	0,1380	0,1380	0,1407	0,1645	0,1380
5	0,1414	0,1414	0,1414	0,1449	0,1686	0,1414
6	0,1450	0,1450	0,1450	0,1493	0,1728	0,1450
7	0,1486	0,1486	0,1486	0,1537	0,1771	0,1486
8	0,1523	0,1523	0,1523	0,1583	0,1815	0,1523
9	0,1561	0,1561	0,1561	0,1631	0,1861	0,1561
10	0,1600	0,1600	0,1600	0,1680	0,1907	0,1600
11	0,1640	0,1640	0,1640	0,1730	0,1955	0,1640
12	0,1681	0,1681	0,1681	0,1782	0,2004	0,1681
13	0,1723	0,1723	0,1723	0,1836	0,2054	0,1723
14	0,1766	0,1766	0,1766	0,1891	0,2105	0,1766
15	0,1810	0,1810	0,1810	0,1947	0,2158	0,1810
16	0,1856	0,1856	0,1856	0,2006	0,2212	0,1856
17	0,1902	0,1902	0,1902	0,2066	0,2267	0,1902
18	0,1950	0,1950	0,1950	0,2128	0,2324	0,1950
19	0,1998	0,1998	0,1998	0,2192	0,2382	0,1998

Πίνακας 10: Πίνακας οικιακής τιμολόγησης σεναρίων

Όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο αποτελεσμάτων για την Δυναμική Ισοτιμία Δικτύου χρησιμοποιούνται οι τιμές οικιακής και εμπορικής της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και οι πραγματικές τιμές του ΑΚΗΕ.

Για τον υπολογισμό ωφέλειας από την εμπορία δικαιωμάτων αερίων εκπομπών χρησιμοποιείται η τρέχουσα τιμή εμπορίας CO₂ ($\frac{\text{€}}{\text{ton}}$), η μέση εκπομπή μονάδων

καύσης υγρών καυσίμων ντίζελ-μαζούτ ($\frac{kg}{kWh}$), καθώς και η πρόβλεψη μεταβολής τιμών της αγοράς δικαιωμάτων αερίων εκπομπών 5%/έτος.

5. Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά το μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού που έχει δημιουργηθεί με την βοήθεια των λογιστικών φύλλων Excel καθώς και τα πλήρη διαγράμματα-αποτελέσματα που δημιουργούνται κατά την εκτέλεση αυτού.

5.1 Αποτελέσματα υπολογισμών ανηγμένου κόστους

Στο υποκεφάλαιο αυτό γίνεται η ανάλυση των υπολογισμών για το ανηγμένο κόστος φωτοβολταϊκής ηλεκτροπαραγωγής σύμφωνα με τα δεδομένα εισόδου που υπάρχουν στο υποκεφάλαιο 3.4.1. και τους πίνακες (3) , (4) .

Σύμφωνα με την εξίσωση υπολογισμών (2), το ανηγμένο κόστος εκφράζεται ως η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) του κόστους προς την ΚΠΑ της παραγόμενης ενέργειας του συστήματος.

Η ΚΠΑ κόστους της εγκατάστασης εκφράζεται με τον όρο

$\sum_{n=1}^N \frac{\text{Ετήσια Λειτουργικ. ά Έξοδα}}{(1+\pi.\epsilon.)^n}$ και βάση των υπολογισμών με τις τιμές λειτουργικών

εξόδων που έχει οριστεί προκύπτει ο εξής πίνακας ΚΠΑ κόστους (πίνακας 11) έχοντας ενσωματώσει και το κόστος συστήματος τμηματικά για την επένδυση.

Έτος	Αρχικό Κόστος	Λειτουργικά Έξοδα	Παρούσα αξία κόστους
1	1.000,00 €	10,00 €	10,00 €
2		10,00 €	9,62 €
3		10,00 €	9,25 €
4		10,00 €	8,89 €

5		10,00 €	8,55 €
6		10,00 €	8,22 €
7		10,00 €	7,90 €
8		10,00 €	7,60 €
9		10,00 €	7,31 €
10		10,00 €	7,03 €
11		10,00 €	6,76 €
12		10,00 €	6,50 €
13		10,00 €	6,25 €
14		10,00 €	6,01 €
15		10,00 €	5,77 €
16		10,00 €	5,55 €
17		10,00 €	5,34 €
18		10,00 €	5,13 €
19		10,00 €	4,94 €
20		10,00 €	4,75 €

Πίνακας 11: Υπολογισμός ΚΠΑ κόστους ανά έτος.

Η ΚΠΑ της παραγόμενης ενέργειας εκφράζεται από τον εξής όρο της εξίσωσης:

$$\sum_{n=1}^N \frac{\text{Ετήσια παραγωγή ή } H.E. * (1 - \sigma.\alpha)^n}{(1 + \pi.\epsilon.)^n} \text{ Όπου } \Sigma\text{Α ο συντελεστής αποδόμησης ο οποίος}$$

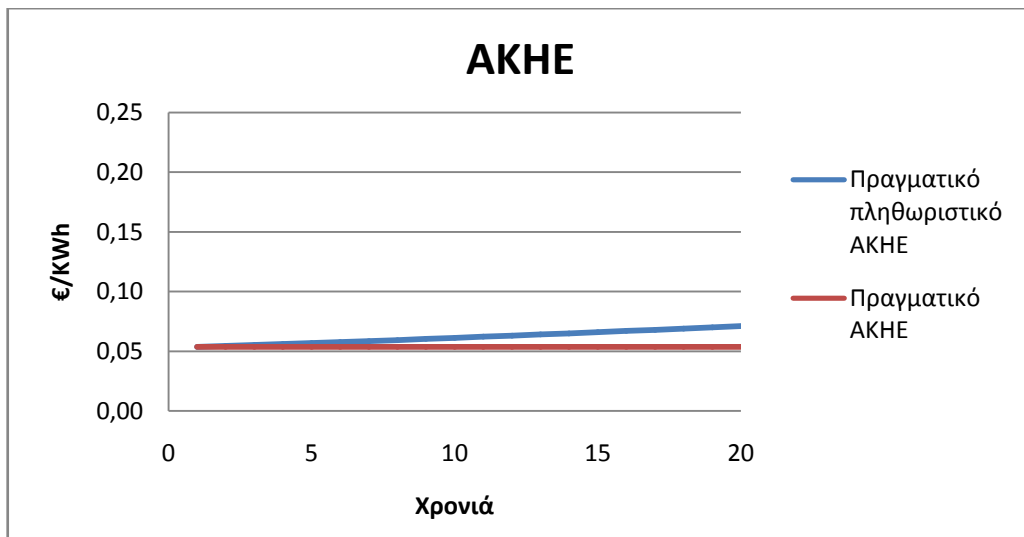
είναι ίσος με 0.5% κατά έτος και ΠΕ το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο είναι ίσο με 4% . Σύμφωνα με τα δεδομένα που εισάγονται στο υπολογιστικό μοντέλο προκύπτει ο εξής πίνακας (πίνακας 12) για την ΚΠΑ ενέργειας.

Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια(kWh/Έτος)	ΚΠΑ Ενέργειας(kWh/Έτος)
1	1.569,5	1.569,50
2	1.561,7	1.501,59

3	1.553,8	1.436,62
4	1.546,1	1.374,46
5	1.538,3	1.314,98
6	1.530,7	1.258,09
7	1.523,0	1.203,65
8	1.515,4	1.151,57
9	1.507,8	1.101,74
10	1.500,3	1.054,07
11	1.492,8	1.008,46
12	1.485,3	964,82
13	1.477,9	923,08
14	1.470,5	883,14
15	1.463,1	844,92
16	1.455,8	808,36
17	1.448,5	773,39
18	1.441,3	739,92
19	1.434,1	707,91
20	1.426,9	677,28

Πίνακας 12: ΚΠΑ Παραγόμενης Ενέργειας ανά έτος

Σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες και την εξίσωση υπολογισμών (εξίσωση 1) προκύπτει η τιμή του ανηγμένου κόστους φωτοβολταϊκής ηλεκτροπαραγωγής για το σύνολο της επένδυσης ίση με 0,0536€/kWh. Όπως όμως έχει αναφερθεί αυτή η τιμή όντας στατική μας δίνει ένα κόστος για το σύνολο της επένδυσης δίχως αυτό να είναι μεταβλητό. Σύμφωνα με τα στοιχεία πληθωρισμού του οργανισμού παρατήρησης πληθωρισμού για την ευρωπαϊκή ένωση ο πληθωρισμός στο έτος 2014 κυμαίνεται στο 1,5%. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει το εξής διάγραμμα για το ΑΚΗΕ.(Διάγραμμα 1)



Διάγραμμα 1: ΑΚΗΕ

5.2 Αποτελέσματα υπολογισμών για την εξέλιξη του ανηγμένου κόστους

Όπως παρατηρείται το ανηγμένο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από 2 μεταβλητές. Τα κόστη που υπάρχουν για την παραγωγή κατά την διάρκεια της επένδυσης και την παραγόμενη ενέργεια στο διάστημα αυτό.

Από τις δύο αυτές μεταβλητές μόνο στο κόστος μπορεί να υπάρξουν σημαντικές αλλαγές κατά την διάρκεια της επένδυσης καθώς η αξία ενός αγαθού αλλάζει σε σχέση με το χρόνο βάση όρων αγοράς ενώ η παραγόμενη ενέργεια είναι σταθερή σε σχέση με τις προδιαγραφές του συστήματος όπως έχουν αναφερθεί. Για τον λόγο αυτό οφείλεται να γίνει μία ανάλυση μεταβολής του κόστους στην περίοδο έρευνας.

Για την εξέλιξη της αξίας ενός φωτοβολταϊκού έχουν συλλεχθεί στοιχεία όσον αφορά το κόστος ανά παραγόμενο W κατά το παρελθόν και με μία ανάλυση να καταστεί δυνατόν η πρόβλεψη για την περίοδο μελέτης.

Μελέτες έχουν δείξει πώς η τιμή κόστους ανά παραγόμενο W την τελευταία δετία λόγω της αναδυόμενης ανάπτυξης στον τομέα έχουν μειωθεί σημαντικά. Το 2014 το κόστος ανά παραγόμενο W βρίσκεται κάτω από την τιμή του 1 €/W και οι μελέτες δείχνουν ότι μέσα στην επόμενη 10ετία το κόστος αυτό θα μειωθεί ακόμη σημαντικά φτάνοντας και στην τιμή του 0,5€/W.

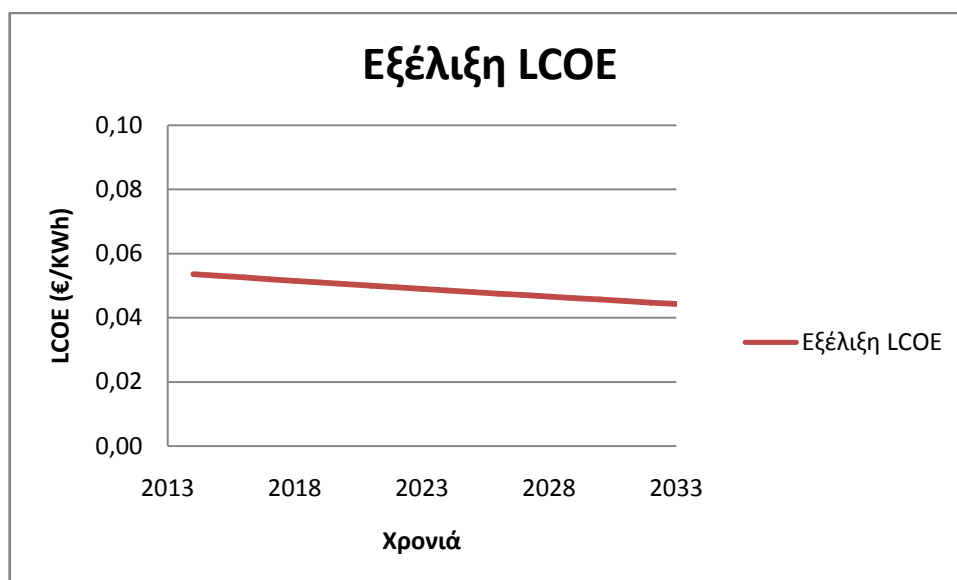
Βάση αυτών των στοιχείων προκύπτει μία ετήσια πτώση της τάξης του 1% κατ'έτος για τον στόχο αυτό. Η εξέλιξη του ανηγμένου κόστους φωτοβολταϊκής ηλεκτροπαραγωγής προκύπτει από την εξής πίνακα(πίνακας 13) με μεταβολή κόστους στα συντηρητικά επίπεδα του -1% κατά έτος.

Χρονιά	Ετήσια μεταβολή κόστους	LCOE EVOLUTION
2014	-1%	0,0536
2015	-1%	0,0531
2016	-1%	0,0525
2017	-1%	0,0520
2018	-1%	0,0515
2019	-1%	0,0510
2020	-1%	0,0505
2021	-1%	0,0499
2022	-1%	0,0495
2023	-1%	0,0490
2024	-1%	0,0485
2025	-1%	0,0480
2026	-1%	0,0475
2027	-1%	0,0470

2028	-1%	0,0466
2029	-1%	0,0461
2030	-1%	0,0456
2031	-1%	0,0452
2032	-1%	0,0447
2033	-1%	0,0443

*Πίνακας 13: Εξέλιξη ανηγμένου κόστους φωτοβολταϊκής
ηλεκτροπαραγωγής*

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει το εξής διάγραμμα της εξέλιξης του ανηγμένου κόστους: (διάγραμμα 2)



*Διάγραμμα 2: Εξέλιξη ανηγμένου κόστους φωτοβολταϊκής
ηλεκτροπαραγωγής*

5.3 Αποτελέσματα υπολογισμού ισοτιμίας δικτύου

Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 3 για τον υπολογισμό της Ισοτιμίας δικτύου θα χρησιμοποιηθούν 2 μέθοδοι:

- Δυναμική Ισοτιμία με ενσωματωμένα χαρακτηριστικά του δικτύου
- Ισοτιμία καυσίμου

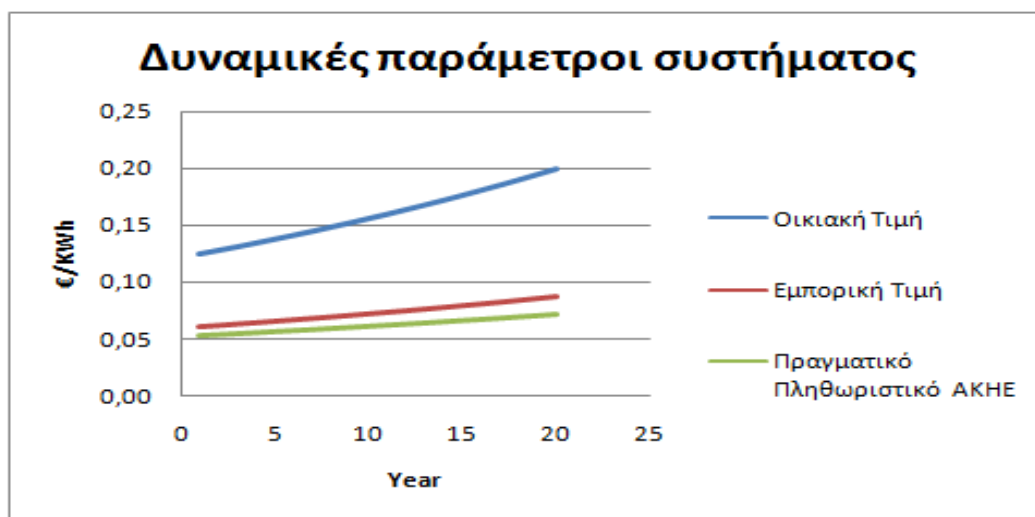
Στην 1^η μέθοδο, της δυναμικής ισοτιμίας με ενσωματωμένα χαρακτηριστικά δικτύου, εξετάζεται ουσιαστικά το σημείο στο οποίο ο παραγωγός ωφελείται σε σχέση με την τιμολόγηση της ενέργειας που καταναλώνει από το δίκτυο διανομής. Πρόκειται για σύγκριση των τιμών της φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε σχέση με την τιμή της συμβατικής ενέργειας του δικτύου. Τα δεδομένα για τις τιμές οικιακής και εμπορικής τιμολόγησης του δικτύου συλλέχθηκαν από τις τρέχουσες τιμολογήσεις της ΔΕΗ ΑΕ και παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα(Πίνακας 14)

Έτος	Τιμή Οικιακής	Τιμή Εμπορικής
1	0,1250	0,0600
2	0,1281	0,0612
3	0,1313	0,0624
4	0,1346	0,0637
5	0,1380	0,0649
6	0,1414	0,0662
7	0,1450	0,0676
8	0,1486	0,0689
9	0,1523	0,0703
10	0,1561	0,0717
11	0,1600	0,0731
12	0,1640	0,0746
13	0,1681	0,0761
14	0,1723	0,0776
15	0,1766	0,0792
16	0,1810	0,0808
17	0,1856	0,0824
18	0,1902	0,0840

19	0,1950	0,0857
20	0,1998	0,0874

Πίνακας 14: Μεταβολή οικιακής και εμπορικής τιμολόγησης ενέργειας δικτύου.

Ο συνδυασμός του παραπάνω πίνακα μαζί με τον πίνακα εξέλιξης του ανηγμένου κόστους φωτοβολταϊκής ηλεκτροπαραγωγής δίνει το εξής διάγραμμα των δυναμικών παραμέτρων του συστήματος. Με τον όρο δυναμικές παράμετροι συστήματος εννοούμε τις οικιακής και εμπορικής τιμολόγησης και ανηγμένου κόστους οι οποίες θα τεθούν υπό σύγκριση για να προκύψει το σημείο Ισοτιμίας. (Διάγραμμα 3)



Διάγραμμα 3: διάγραμμα δυναμικών παραμέτρων συστήματος.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι για ένα οικιακό σύστημα η Ισοτιμία μεταξύ παραγωγών και δικτύου επιτυγχάνεται από το 1^ο έτος εγκατάστασης. Για παραγωγό ενέργειας με εμπορική κατανάλωση επίσης παρατηρείται ισοτιμία κατά το 1^ο έτος σύμφωνα με τα δεδομένα υπολογισμών που έχουν χρησιμοποιηθεί.

Κατά την 2^η μέθοδο, της Ισοτιμίας Καυσίμου, για την εύρεση της Ισοτιμίας η σύγκριση γίνεται μεταξύ ανηγμένου κόστους φωτοβολταϊκής ηλεκτροπαραγωγής

και ανηγμένου κόστους καυσίμου από την συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στο σημείο που το κόστος φωτοβολταϊκής ηλεκτροπαραγωγής είναι χαμηλότερο από αυτό του κόστους καυσίμου της συμβατικής παραγωγής τότε κρίνεται ότι έχει επιτευχθεί ισοτιμία και το σύστημα είναι ανταγωνιστικό σε σχέση με την συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

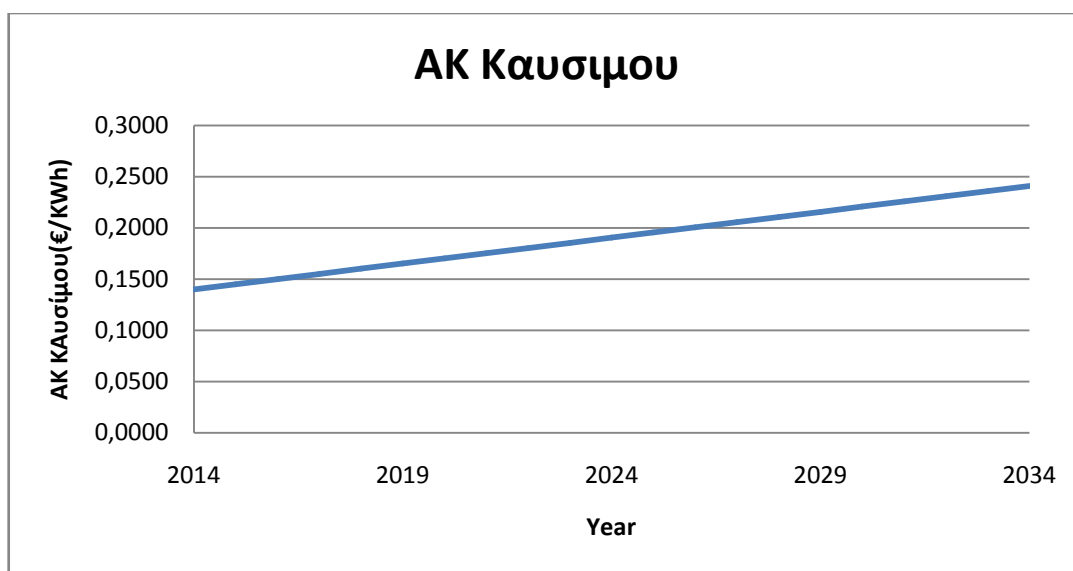
Για τα δεδομένα του ανηγμένου κόστους καυσίμου της συμβατικής παραγωγής χρησιμοποιήθηκαν ιστορικά στοιχεία παραγωγής από την ΔΕΔΔΗΕ και μέσω της βοήθειας στατιστικού υπολογισμού των φύλλων excel δημιουργήθηκε η καμπύλη ανηγμένου κόστους καυσίμου. (Πίνακας 15)

Χρονιά	Τιμή LCOE	Πρόβλεψη
2004	0,0805	0,0893
2005	0,0901	0,0944
2006	0,1077	0,0994
2007	0,1119	0,1045
2008	0,1203	0,1095
2009	0,0932	0,1146
2010	0,1214	0,1196
2011		0,1247
2012		0,1297
2013		0,1348
2014		0,1399
2015		0,1449
2016		0,1500
2017		0,1550
2018		0,1601
2019		0,1651
2020		0,1702
2021		0,1752
2022		0,1803
2023		0,1853
2024		0,1904
2025		0,1955
2026		0,2005
2027		0,2056
2028		0,2106
2029		0,2157

2030		0,2207
2031		0,2258
2032		0,2308
2033		0,2359

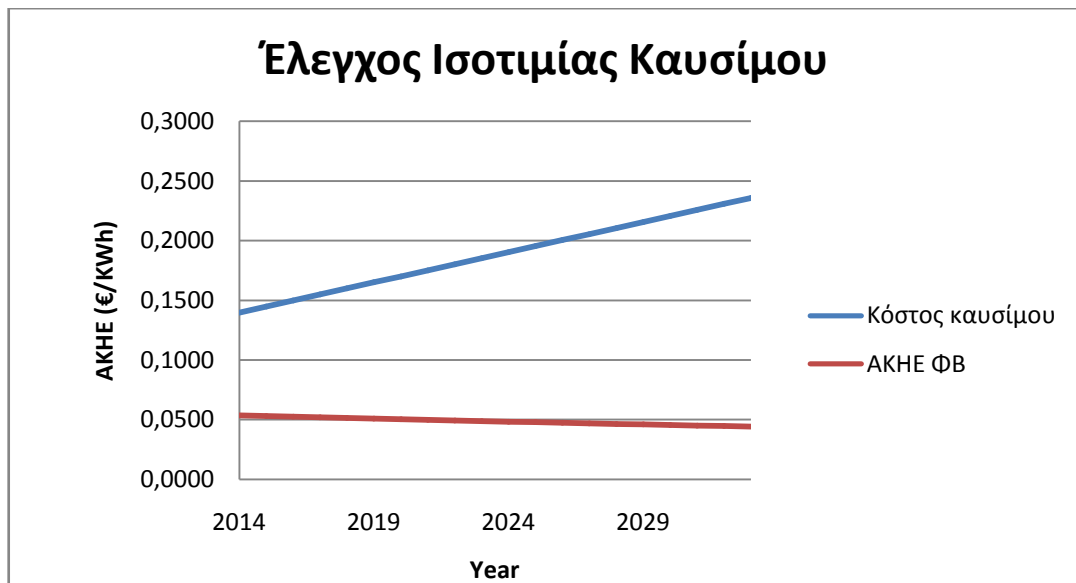
Πίνακας 15: Πρόβλεψη ανηγμένου κόστους καυσίμου συμβατικής παραγωγής

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα δημιουργείται η καμπύλη του ανηγμένου κόστους καυσίμου. (Διάγραμμα 4)



Διάγραμμα 4: ανηγμένο κόστος συμβατικής παραγωγής

Με βάση τα ανηγμένα κόστη καυσίμου συμβατικής και φωτοβολταϊκής ηλεκτροπαραγωγής δημιουργείται το διάγραμμα των δύο και εξετάζεται η επίτευξη ή όχι της ισοτιμίας για παραγωγό και δίκτυο. (διάγραμμα 5)



Διάγραμμα 5: Έλεγχος Ισοτιμίας Καυσίμου

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι η επίτευξη ισοτιμίας ξεκινάει πολύ πριν την περίοδο μελέτης, πράγμα που σημαίνει πώς η φωτοβολταϊκή τεχνολογία για την νήσο Κρήτη είναι εξαιρετικά ανταγωνιστική σε σχέση με την συμβατική παραγωγή από ορυκτά καύσιμα του μη διασυνδεδεμένου δικτύου Κρήτης. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι το ΑΚ καυσίμου βρίσκεται σε υπερδιπλάσια τιμή από το ΑΚΗΕ της μονάδας ΦΒ ηλεκτροπαραγωγής, πράγμα που σημαίνει ότι η επένδυση στην ΦΒ ενέργεια για την νήσο Κρήτη κρίνεται εξαιρετικά κρίσιμη τόσο για την κάλυψη της ζήτησης του δικτύου όσο και για την ωφέλεια που προκύπτει για το δίκτυο από την μείωση του συμβατικού κόστους παραγωγής.

5.4 Αποτελέσματα υπολογισμού ωφέλειας

5.4.1 Αποτελέσματα ωφέλειας παραγωγού με βάση τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης (EBA- IRR)

Στον υπολογισμό ωφέλειας ως προς τον παραγωγό, χρησιμοποιούνται τα στοιχεία που υπάρχουν για τα 2 μοντέλα τιμολόγησης φωτοβολταϊκής ενέργειας που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα: α) το σύστημα εγγυημένων τιμών και β) το αναδυόμενο σύστημα του ενεργειακού συμψηφισμού.

Στο μοντέλο εγγυημένων τιμών χρησιμοποιούνται οι τιμές που αναφέρονται σύμφωνα με τον νόμο ν.3581/2010 και τις τελευταίες τροποποιήσεις του για τα φωτοβολταϊκά στις στέγες. Παράλληλα με βάση το ανηγμένο κόστος παραγωγής της μονάδας δημιουργείται η διαφορά τιμής (εγγυημένη τιμή – ανηγμένο κόστος) και πολλαπλασιάζεται με την ετήσια παραγωγή ενέργειας και προκύπτει έτσι η λεγόμενη ταμειακή ροή της επένδυσης (cash flow).

Παραγόμεν	FIT 2014	LCOE	Ωφέλεια (€)
1.569,50	0,1200	0,0536	108,5327
1.561,65	0,1200	0,0536	107,99
1.553,84	0,1200	0,0536	107,4501
1.546,08	0,1200	0,0536	106,9128
1.538,34	0,1200	0,0536	106,3783
1.530,65	0,1200	0,0536	105,8464
1.523,00	0,1200	0,0536	105,3172
1.515,38	0,1200	0,0536	104,7906
1.507,81	0,1200	0,0536	104,2666
1.500,27	0,1200	0,0536	103,7453
1.492,77	0,1200	0,0536	103,2266
1.485,30	0,1200	0,0536	102,7104
1.477,88	0,1200	0,0536	102,1969
1.470,49	0,1200	0,0536	101,6859
1.463,14	0,1200	0,0536	101,1775
1.455,82	0,1200	0,0536	100,6716
1.448,54	0,1200	0,0536	100,1682
1.441,30	0,1200	0,0536	99,66737

1434,09	0,1200	0,0536	99,16903
1426,92	0,1200	0,0536	98,67319

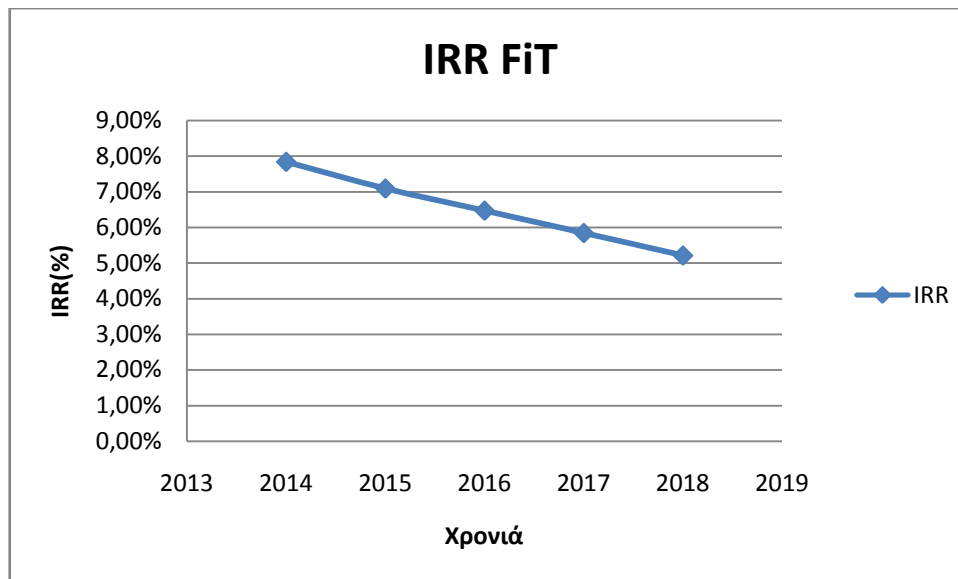
Πίνακας 16: Υπολογισμός ωφέλειας με βάση το σύστημα FiT

Με βάση την υπολογιζόμενη ωφέλεια αλλά και το αρχικό κόστος επένδυσης γίνεται ο υπολογισμός του EBA μέσω της λογιστικής εξίσωσης των φύλλων excel. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται μέχρι το έτος 2018 για το σύστημα εγγυημένων τιμών και αυτό γίνεται διότι μέχρι το συγκεκριμένο έτος υπάρχουν στοιχεία από την τιμολόγηση βάσει της ισχύουσας νομοθεσίας (μείωση τιμής 4.5% κατ' έτος). Η τιμολόγηση των εγγυημένων τιμών γίνεται με βάση τον παρακάτω πίνακα (πίνακας 17)

FiT 2014(€/kWh)	0,1200
FiT 2015(€/kWh)	0,1150
FiT 2016(€/kWh)	0,1000
FiT 2017(€/kWh)	0,1050
FiT 2018(€/kWh)	0,1000

Πίνακας 17: Τιμολόγηση συστήματος FiT

Σύμφωνα με το υπολογιστικό μοντέλο που δημιουργήθηκε προκύπτει το εξής διάγραμμα εσωτερικού βαθμού απόδοσης για το σύστημα εγγυημένων τιμών . (διάγραμμα 6)



Διάγραμμα 6: Εσωτερικός βαθμός απόδοσης με βάση το σύστημα FiT

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης για τις επενδύσεις στην φωτοβολταϊκή τεχνολογία σε στέγες στην Κρήτη με βάση το σύστημα εγγυημένων τιμών μέχρι το έτος 2018 κυμαίνεται από 7,84 έως 5,2%. Το προεξοφλητικό επιτόκιο που έχει επιλεγεί για την επένδυση έχει την τιμή του 4%. Αυτό σημαίνει για τον κλάδο ότι προσφέρεται ως άξιο επενδυτικό περιβάλλον η φωτοβολταϊκή τεχνολογία με βάση το συγκεκριμένο σύστημα τιμολόγησης της παραγόμενης ενέργειας και αυτό διότι όπως παρατηρείται από τα αποτελέσματα ένας επενδυτής με βάση την συγκεκριμένη τιμολόγηση αποσβήνει το κεφάλαιό του από 9-10 χρόνια βασιζόμενο σε σημερινές τιμές αγοράς.

Με βάση τον νόμο ν.4203/2013 και τον νόμο ν.4254/2014 εισάγεται στην Ελλάδα το σύστημα ενεργειακού συμψηφισμού. Στο μοντέλο αυτό ο παραγωγός ουσιαστικά καλύπτει τις ενεργειακές του ανάγκες και ουσιαστικά η ωφέλεια που προκύπτει σε αυτόν γίνεται με βάση την τιμολόγηση της καταναλισκόμενης ενέργειας που συμψηφίζεται από το δίκτυο. Το σενάριο υπολογισμών περιλαμβάνει τις εξής παραδοχές:

α) ο παραγωγός καλύπτει πλήρως τις ενεργειακές του ανάγκες (γίνεται χρήση της παραγωγής ενέργειας του τελευταίου έτους, η περίσσεια δεν αποζημιώνεται)

β) ο συμψηφισμός γίνεται βάση της τιμής ενέργειας χωρίς τις όποιες ρυθμιζόμενες χρεώσεις του λογαριασμού της ΔΕΗ (ΥΚΟ-ΕΤΜΕΑΡ) και

γ) Οι χρεώσεις κιλοβατώρας είναι ίδιες με αυτές των υπολογισμών για την ισοτιμία που αναφέρονται στο κεφάλαιο **4.3**

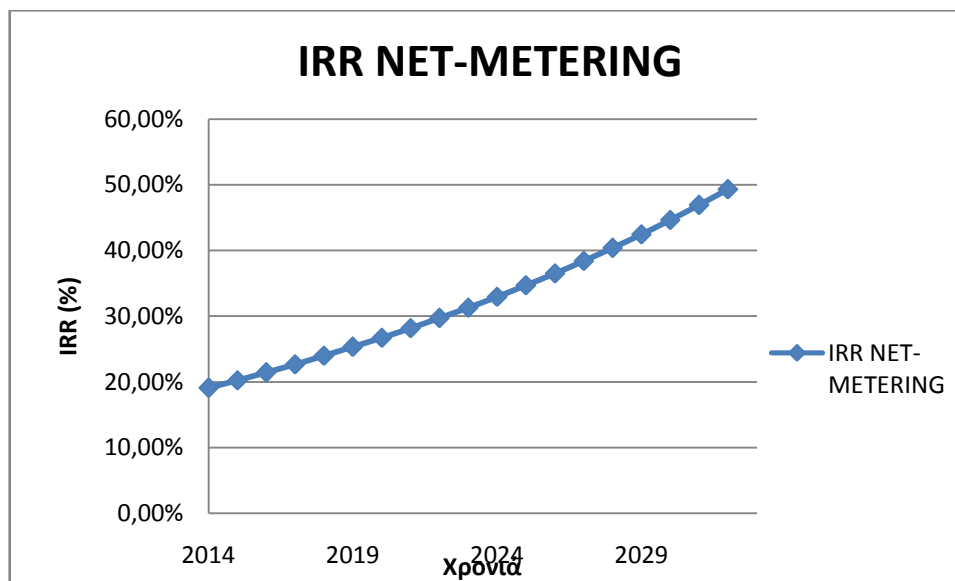
Σύμφωνα με τις παραδοχές του αρχικού σεναρίου προκύπτει ο εξής πίνακας υπολογισμού ωφέλειας (πίνακας 18):

Παραγόμεν	Χρέωση	LCOE	Ωφέλεια(€)
1426,92	0,1250	0,0536	101,9
1426,92	0,1281	0,0536	106,4
1426,92	0,1313	0,0536	110,9
1426,92	0,1346	0,0536	115,6
1426,92	0,1380	0,0536	120,4
1426,92	0,1414	0,0536	125,3
1426,92	0,1450	0,0536	130,4
1426,92	0,1486	0,0536	135,6
1426,92	0,1523	0,0536	140,9
1426,92	0,1561	0,0536	146,3
1426,92	0,1600	0,0536	151,9
1426,92	0,1640	0,0536	157,6
1426,92	0,1681	0,0536	163,4
1426,92	0,1723	0,0536	169,4
1426,92	0,1766	0,0536	175,6
1426,92	0,1810	0,0536	181,9
1426,92	0,1856	0,0536	188,3
1426,92	0,1902	0,0536	194,9
1426,92	0,1950	0,0536	201,7
1426,92	0,1998	0,0536	208,7

*Πίνακας 18: Υπολογισμός ωφέλειας στο μοντέλο ενεργειακού
συμψηφισμού*

Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το αρχικό κόστος κεφαλαίου προκύπτει εσωτερικός βαθμός απόδοσης για μία επένδυση που ξεκινά το 2014 $EBA=11,8\%$ που για τον επενδυτή είναι άκρως συμφέρουσα τιμή συγκρίνοντας την με το

προεξοφλητικό επιτόκιο που έχει οριστεί αλλά και βάση του χρόνου απόσβεσης του αρχικού κεφαλαίου που είναι περίπου στα 8 χρόνια αν η επένδυση ξεκινήσει κατά το έτος 2014. Βάσει του αρχικού σεναρίου και την εξέλιξη σε ανηγμένο κόστος παραγωγής και τιμής ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει το εξής διάγραμμα Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης για διάρκεια 20 ετών.



Διάγραμμα 7: Διάγραμμα εσωτερικού βαθμού απόδοσης στο μοντέλο ενεργειακού συμψηφισμού

Βάσει του παραπάνω διαγράμματος προκύπτει ότι με το αρχικό σενάριο μία επένδυση στην φωτοβολταϊκή τεχνολογία με το μοντέλο του ενεργειακού συμψηφισμού είναι φιλική ακόμη και αν ξεκινήσει με τις σημερινές τιμές αγοράς και αυτό εάν η τιμολόγηση ενέργειας από το δίκτυο και το κόστος αγοράς των ΦΒ συστημάτων ακολουθεί τις μελέτες της αγοράς που στην συγκεκριμένη έρευνα έχουν άκρως συντηρητικές τιμές.

Στην συνέχεια της ερευνητικής αυτής εργασίας δημιουργούνται διάφορα σενάρια επάνω στα οποία θα εξεταστούν και η Ισοτιμία αλλά και η ωφέλεια που προκύπτει στον παραγωγό όπως και στο ίδιο το δίκτυο .

5.5 Αποτελέσματα σεναρίων

Βάσει του υπολογιστικού μοντέλου που έχει χρησιμοποιηθεί παρουσιάζονται τα διαγράμματα υπολογισμών για το ΑΚΗΕ τα οποία εξετάζουν τις 2 μεθόδους Ισοτιμίας .

Για την μέθοδο Δυναμικής Ισοτιμίας εξετάζονται οι τιμές του ΑΚΗΕ καθώς και οι τιμές σε οικιακή και εμπορική κατανάλωση όπως αυτές παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4.

Σύμφωνα με την εξίσωση 2 παρουσιάζονται τα εξής αποτελέσματα πραγματικού πληθωριστικού ΑΚΗΕ στον παρακάτω πίνακα: (Πίνακας 19)

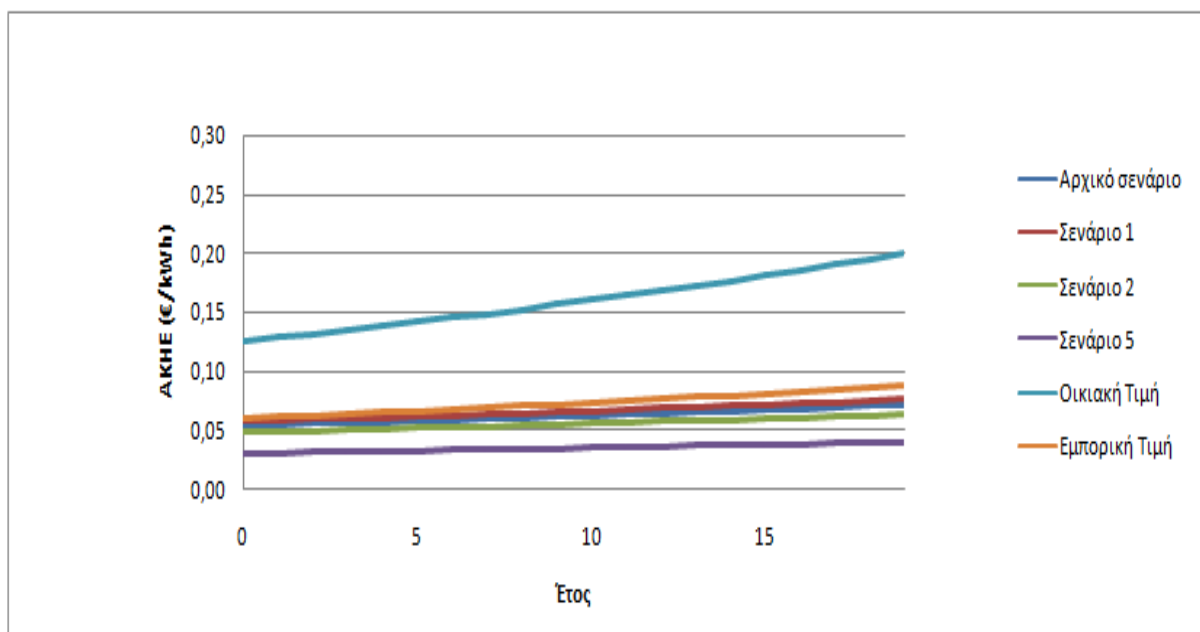
Έτος Επένδυσης	Αρχικό σενάριο ΑΚΗΕ	Σενάριο 1 ΑΚΗΕ	Σενάριο 2 ΑΚΗΕ	Σενάριο 5 ΑΚΗΕ
0	0,0536	0,0571	0,0477	0,0301
1	0,0544	0,0579	0,0484	0,0306
2	0,0552	0,0588	0,0491	0,0310
3	0,0560	0,0597	0,0499	0,0315
4	0,0569	0,0606	0,0506	0,0320
5	0,0577	0,0615	0,0514	0,0324
6	0,0586	0,0624	0,0521	0,0329
7	0,0595	0,0633	0,0529	0,0334
8	0,0604	0,0643	0,0537	0,0339
9	0,0613	0,0653	0,0545	0,0344
10	0,0622	0,0662	0,0553	0,0349
11	0,0631	0,0672	0,0562	0,0355
12	0,0641	0,0682	0,0570	0,0360

13	0,0650	0,0693	0,0579	0,0365
14	0,0660	0,0703	0,0587	0,0371
15	0,0670	0,0714	0,0596	0,0376
16	0,0680	0,0724	0,0605	0,0382
17	0,0690	0,0735	0,0614	0,0388
18	0,0701	0,0746	0,0623	0,0394
19	0,0711	0,0757	0,0633	0,0399

Πίνακας 19: Πίνακας υπολογισμών σεναρίων πραγματικού πληθωριστικού

ΑΚΗΕ

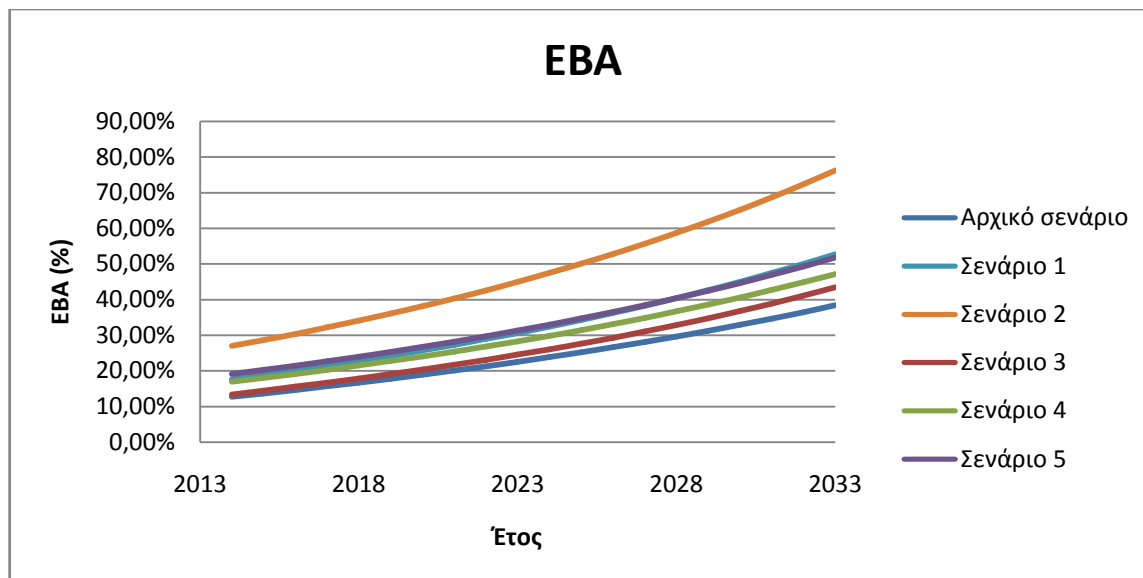
Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει το εξής διάγραμμα (διάγραμμα 8) για την εξέταση της Δυναμικής Ισοτιμίας Δικτύου.



Διάγραμμα 8: Διάγραμμα μεταβολής ΑΚΗΕ σεναρίων

Αυτό το οποίο παρατηρείται είναι ότι σε όλες τις περιπτώσεις η Ισοτιμία της ΦΒ τεχνολογίας έχει επιτευχθεί και ως προς οικιακή κατανάλωση ενέργειας αλλά παράλληλα και ως προς την εμπορική.

Σύμφωνα με τον πίνακα 0 και παράλληλα με τις μεταβολές των τιμών οικιακής κατανάλωσης όπως αυτές αναφέρονται στα παραπάνω σενάρια υπολογισμών προκύπτει το εξής διάγραμμα (διάγραμμα 9) Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης.



Διάγραμμα 9: Διάγραμμα μεταβολής σεναρίων

Αυτό το οποίο παρατηρείται κατά την ανάλυση του EBA για τα παραπάνω σενάρια είναι για όλα τα σενάρια υπολογισμών ο συντελεστής EBA είναι αρκετά πάνω από την τιμή του προεξοφλητικού επιτοκίου που έχει επιλεγεί. Για τα σενάρια που έχουν δημιουργηθεί το επενδυτικό πλαίσιο κρίνεται απαραίτητως επιλέξιμο, EBA τουλάχιστον 11,8% και αυτό παρατηρείται και από την περίοδο αποπληρωμής του αρχικού κεφαλαίου το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 6-8 ετών. Με βάση λοιπόν τα παραπάνω σενάρια είναι αποδεκτό ότι για το μοντέλο του ενεργειακού συμψηφισμού το θεσμικό πλαίσιο πρέπει να δημιουργήσει τις απαραίτητες ευκαιρίες ώστε να ανθίσει αυτό το μοντέλο.

Σύμφωνα με τον νομοσχέδιο το οποίο έχει θέσει σε δημόσια διαβούλευση η ΡΑΕ, όπως αναφέρεται χαρακτηριστικά, οι ρυθμιζόμενες μονοπωλιακές χρεώσεις υπολογίζονται βάσει της απορροφηθείσας από το δίκτυο ενέργειας κατά την

περίοδο καταμέτρησης. Με βάση το σύνολο των χρεώσεων το σενάριο 4 είναι αυτό στο οποίο δημιουργείται η μεγαλύτερη ταύτιση με το νομοσχέδιο. Στο σενάριο αυτό ο ΕΒΑ παίρνει την τιμή 14,68% που κρίνει μία επένδυση στην τεχνολογία με τα χαρακτηριστικά της Κρήτης άκρως επιλέξιμη.

Στα σενάρια αυτά έχοντας σαν βάση τις παραδοχές που έχουν αναφερθεί ενδέχεται να αλλάξει ο ΕΒΑ αναλόγως τις όποιες διαφορές μπορεί να προκύψουν είτε στις περιόδους συμψηφισμού είτε στην τελική τιμή στην οποία θα συμψηφίζεται η ενέργεια του δικτύου.

6. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της παρούσας Ερευνητικής Διπλωματικής Εργασίας είναι σαφή όσον αφορά την αξιολόγηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Κρήτη. Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση των μονάδων ΦΒ ηλεκτροπαραγωγής και η ανάλυση της ανταγωνιστικότητας της τεχνολογίας σε σχέση με την συμβατική παραγωγή του δικτύου Κρήτης καθώς και από την πλευρά του εκάστοτε επενδυτή πώς αξιολογείται μία επένδυση στην ΦΒ τεχνολογία με βάση τα χαρακτηριστικά της νήσου Κρήτης.

Η αξιολόγηση της ανταγωνιστικότητας της τεχνολογίας γίνεται με βάση το ΑΚΗΕ. Εξετάζεται λοιπόν το σημείο στο οποίο η τιμές του ΑΚΗΕ είναι μικρότερες από αυτές των τιμών πώλησης της συμβατικής ενέργειας ή και μικρότερες από το κόστος καυσίμου της συμβατικής παραγωγής. Όπως παρατηρείται από την ανάλυση του ΑΚΗΕ για τα διάφορα σενάρια καθώς και για το αρχικό σενάριο που έχει δημιουργηθεί προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Το μειωμένο κόστος αγοράς των ΦΒ μονάδων πλέον έχει επιφέρει σημαντικές αλλαγές στις τιμές του ΑΚΗΕ που τείνουν να είναι ολοένα και χαμηλότερες από τις τιμές οικιακής και εμπορικής κατανάλωσης της ενέργειας της συμβατικής ηλεκτροπαραγωγής.
- Για το ΜΔ σύστημα της Κρήτης προκύπτει ότι η ΦΒ ενέργεια βρίσκεται σε πλήρη Ισοτιμία σε σχέση με την συμβατική παραγωγή πολύ πριν την εξεταζόμενη περίοδο, αυτό παρατηρείται και στις 2 εξεταζόμενες μεθόδους (Δυναμική Ισοτιμία με χαρακτηριστικά του Δικτύου – Ισοτιμία καυσίμου), πράγμα που σημαίνει ότι ήδη η ΦΒ ενέργεια είναι εξαιρετικά ανταγωνιστική με την συμβατική.
- Η συνεχόμενη μείωση στις τιμές αγοράς των ΦΒ συστημάτων θα επιφέρει σημαντικές αλλαγές στην τεχνολογία. Πλέον αυτό το οποίο παρατηρείται και από τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία είναι ότι πλέον η ΦΒ ηλεκτροπαραγωγή μπορεί να αποτελέσει από μόνη της ένα ρυθμιστή της αγοράς ενέργειας και αυτό διότι καταφέρνει, σύμφωνα με τις σημερινές τιμές αγοράς, να ανταγωνίζεται όχι μόνο τιμές οικιακής αλλά παράλληλα και τις τιμές εμπορικής κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό το οποίο διαπιστώνεται είναι ότι η τεχνολογία θα μπορέσει κάλλιστα να ανταγωνιστεί στα επόμενα χρόνια στην ελεύθερη αγορά ενέργειας λόγω του χαμηλού κόστους παραγωγής.

Για την κρισιμότητα των επενδύσεων στην ΦΒ τεχνολογία χρησιμοποιήθηκε η μέτρηση του EBA, ο συντελεστής ο οποίος βοηθά τον εκάστοτε επενδυτή να αξιολογεί την επένδυση σύμφωνα με το κόστος κεφαλαίου που έχει χρησιμοποιηθεί και τις ταμειακές ροές που προκύπτουν από την λειτουργία της

μονάδας παραγωγής. Τα συμπεράσματα που εξάγονται με βάση τον ΕΒΑ είναι τα εξής:

- Για τα συστήματα τα οποία αποζημιώνονται σύμφωνα με το υπόδειγμα των εγγυημένων τιμών για μονάδες οι οποίες εντάσσονται στο υπόδειγμα ΦΒ παραγωγής σε στέγες, ο ΕΒΑ παίρνει τιμές από 5-8 % τιμές οι οποίες, είναι μεν υψηλότερες από το προεξοφλητικό επιτόκιο και κρίνουν οριακά άξια μία επένδυση η οποία εντάσσεται σε αυτό το υπόδειγμα αποζημίωσης. Για τις αυτόνομες μονάδες παραγωγής που αποζημιώνονται σύμφωνα με το υπόδειγμα αυτό ο ΕΒΑ εξαιτίας της ρυθμιζόμενης αποζημίωσης η οποία θα βασίζεται στην ΟΤΣ αλλά και της φορολόγησης των εσόδων από την παραγωγή ο ΕΒΑ θα παίρνει τιμές χαμηλότερες από αυτές του προγράμματος στεγών, τιμές που θα κρίνουν οριακά επιλέξιμη ή μη επιλέξιμη μία επένδυση που εντάσσεται στο συγκεκριμένο υπόδειγμα.
- Για το υπόδειγμα ενεργειακού συμψηφισμού οι τιμές που παίρνει ο ΕΒΑ είναι αρκετά υψηλές όπως αυτό παρατηρείται και κατά τα σενάρια που έχουν δημιουργηθεί. Βρισκόμαστε δηλαδή σε ένα περιβάλλον το οποίο είναι άξιο επένδυσης. Το συγκεκριμένο υπόδειγμα δεν έχει σαν στόχο την πώληση της παραγόμενης ενέργειας αλλά την παραγωγή για την ιδιοκατανάλωση. Και αυτό διότι και ο στόχος του κάθε παραγωγού είναι να καλύψει την κατανάλωση ενέργειας με παραγωγή ΦΒ ενέργειας η οποία σε αυτή την περίπτωση για ένα σύστημα που αφορά την Κρήτη είναι παράλληλα φτηνή για την παραγωγή αλλά και περιβαλλοντικά ωφέλιμη σε σχέση με την συμβατική παραγωγή από καύσιμα όντας 'πράσινη ενέργεια'.

Σύμφωνα με τα παραπάνω παρατηρείται μία νέα διέξοδος για την ΦΒ παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αυτή δημιουργείται, μέσω του υποδείγματος του

ενεργειακού συμψηφισμού, ένα υπόδειγμα το οποίο στρέφει τον καταναλωτή στην αυτοπαραγωγή μίας καθαρής και φθηνής ενέργειας.

Η ανάγκη ρύθμισης των αδειοδοτήσεων για αυτοπαραγωγή οφείλει μέσω του θεσμικού πλαισίου να ρυθμιστεί, και αυτό διότι σύμφωνα με την δημόσια διαβούλευση του νομοσχεδίου είναι αδύνατο σε περιπτώσεις που υπάρχει πάνω από ένας μετρητής κατανάλωσης να υπάρχουν παραπάνω από έναν αυτοπαραγωγοί. Παράλληλα κρίνεται αναγκαίο, για την άνθιση του συγκεκριμένου υποδείγματος, η ετήσια εκκαθάριση ενέργειας και όχι η εκκαθάριση σε κάθε περίοδο τιμολόγησης (2-3 μηνών), και αυτό διότι ελλοχεύει ο κίνδυνος μία εγκατάσταση να συμπεριφέρεται ενεργειακά διαφορετικά ανάλογα με τις περιόδους μετρήσεων με αποτέλεσμα την εγκατάσταση συστήματος μεγαλύτερου από την πραγματική ετήσια ενεργειακή ανάγκη το οποίο θα αποφέρει μεγαλύτερο κόστος παραγωγής για την αυτοπαραγωγή που σημαίνει παράλληλα χαμηλότερο EBA και λιγότερα κίνητρα επένδυσης επάνω στο υπόδειγμα.

Πλέον αυτό που είναι σίγουρο είναι ότι η ΦΒ ενέργεια είναι πλήρως ανταγωνιστική στο σύνολό της σε σχέση με την συμβατική και ότι ο τομέας της φωτοβολταϊκής ενέργειας είναι ένας ήδη ώριμος τομέας άξιος επενδύσεων. Η ηλιακή ενέργεια τείνει να μεταβληθεί από ‘εναλλακτική πηγή’ σε πραγματικά ανταγωνιστική μορφή ενέργειας, αρκεί να χρησιμοποιηθούν διάφορα κανονιστικά μέτρα ως προς την περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας με γνώμονα την ρύθμιση **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** της ζήτησης αλλά και την δημιουργία ενός πλαισίου το οποίο θα δημιουργεί με την σειρά του περαιτέρω κίνητρα για επενδύσεις επάνω στην τεχνολογία.

7. Βιβλιογραφία

- [1] PAE (2014), 'Οριακή Τιμή Συστήματος',
http://www.rae.gr/site/categories_new/electricity/market/wholesale/price.csp
(7/8/2014)
- [2] PAE (2014) 'Νομοθετικό πλαίσιο παραγωγής από ΑΠΕ και Συμπαράγωγή',
http://www.rae.gr/old/SUB2/2_4.htm#N.2773/99 (8/9/2014)
- [3] heleco (2012) 'Το feed in tariff στα φωτοβολταϊκά τελειώνει, μπαίνουμε στο grid parity' <http://www.heleco.gr/index.php/heleco-articles/heleco-articles-about-renewables/44-feed-in-tariff-grid-parity> (7/6/2014)
- [4] helapco (2014) 'Κεφάλαιο Δ' Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας',
http://www.helapco.gr/ims/file/Hyperlinks/KEFALAIO_D.docx (10/9/2014)
- [5] pvnetmetering (2014) 'Προτάσεις για την βέλτιστη εφαρμογή του net-metering',
http://www.pvnetmetering.eu/wp-content/uploads/2014/01/4.GR_Workshop_PV-NET_%CE%A0%CF%81%CE%BF%CF%84%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B7-%CE%B2%CE%AD%CE%BB%CF%84%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B7-%CE%B5%CF%86%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%AE-%CF%84%CE%BF%CF%85-net-metering.pdf (11/8/2014)
- [6] Hellenic parliament (2014), 'Αιτιολογική έκθεση για τον νόμο «Ρυθμίσεις θεμάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και άλλες διατάξεις»',
<http://www.hellenicparliament.gr/UserFiles/2f026f42-950c-4efc-b950-340c4fb76a24/r-anane-eis.pdf> (19/9/2014)
- [7] PVParity (2013), 'Grid parity definition'
http://www.pvparity.eu/index.php?elD=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/PVPA

[RITY_docs/D2.5_Grid_parity_definition.pdf&t=1413283324&hash=93d988a8c55cbe53b96094d94c9d1915b4848630](http://www.pvparity.eu/index.php?elD=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/PVPARITY_docs/D2.5_Grid_parity_definition.pdf&t=1413283324&hash=93d988a8c55cbe53b96094d94c9d1915b4848630) (4/4/2014)

[8] PVParity (2013), 'Parameters to be considered for grid parity- LCOE'

http://www.pvparity.eu/index.php?elD=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/PVPARITY_docs/documents/D.2.3_PARAMETERS_FOR_GRID_PARITY_DEFINITION_FINAL.pdf&t=1413283324&hash=f93ea16aece1c7a8d6cbbfa9be1d139b9a52bb5b (4/4/2014)

[9] efchina (2011), 'Methodology and sensitivity – LCOE'

http://csep.efchina.org/report/20112844913435.70772110666485.pdf/Levelized%20Cost%20of%20Energy%20Calculation_BV_EN.pdf (13/5/2014)

[10] ΕΜΠ (2008), 'Οικονομικά του Περιβάλλοντος'

http://mycourses.ntua.gr/courses/PSTGR1094/document/Investment_analysis_notes.pdf (21/4/2014)

Παραρτήματα

Νομοθεσία τιμολόγησης ΦΒ παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας:

www.helapco.gr/ims/file/Hyperlinks/KEFALAIO_D.docx

Στοιχεία δικτύου συμβατικής παραγωγής: ΔΕΔΔΗΕ, 2014

Μεταβλητές συστήματος ΦΒ ηλεκτροπαραγωγής: Ζαβός, 2014

<http://poseidon.library.tuc.gr/artemis/DT2014-0059/DT2014-0059.pdf>

Ανάλυση ωφέλειας εμπορίας δικαιωμάτων CO₂:

Τιμή CO2 2014 =		Εκπομπή ανά kWh=				
6,5		0,78				
Παραγόμενη Ενέργεια(KWh/Year)	Ετήσιος ρυθμός αύξησης τιμής CO2	Τιμή CO2 (€/ton)	Ετήσια ωφέλεια εμπορίας δικαιωμάτων(€/year)		Συνολική ωφέλεια επένδυσης =	247,7
1561,65	5%	6,5	7,917578175			
1553,84	5%	6,83	8,271889798		Ωφέλεια ανά W=	0,248
1546,08	5%	7,17	8,642056867			
1538,34	5%	7,52	9,028788912			
1530,65	5%	7,90	9,432827215			
1523,00	5%	8,30	9,854946233			
1515,38	5%	8,71	10,29595508			
1507,81	5%	9,15	10,75669907			
1500,27	5%	9,60	11,23806135			
1492,77	5%	10,08	11,7409646			
1485,30	5%	10,59	12,26637276			
1477,88	5%	11,12	12,81529294			
1470,49	5%	11,67	13,3887773			
1463,14	5%	12,26	13,98792509			
1455,82	5%	12,87	14,61388473			
1448,54	5%	13,51	15,26785608			
1441,30	5%	14,19	15,95109263			
1434,09	5%	14,90	16,66490403			
1426,92	5%	15,64	17,41065849			
1419,79	5%	16,43	18,18978545			

Πηγή στοιχείων: www.epa.gov, www.pointacarbon.com