

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: “ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ  
ΓΙΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ  
ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΝΗΣΙΩΤΙΚΩΝ  
ΔΙΚΤΥΩΝ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ ΠΕΛΑΓΟΥΣ ΣΕ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ – ΠΡΑΣΙΝΑ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ”**

Σπουδαστής : ΜΠΑΛΟΥΖΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ      ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Επιβλέπων : ΖΑΦΕΙΡΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ



ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ Η.Μ.Ε & ΠΡΟ.ΠΕ.

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: “ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ  
ΓΙΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ  
ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΝΗΣΙΩΤΙΚΩΝ  
ΔΙΚΤΥΩΝ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ ΠΕΛΑΓΟΥΣ ΣΕ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ – ΠΡΑΣΙΝΑ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ”**

Σπουδαστής : ΜΠΑΛΟΥΖΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Επιβλέπων : ΖΑΦΕΙΡΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ


ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2013

## Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία διερευνάται η πιθανότητα δημιουργίας αυτόνομων ενεργειακών δικτύων σε μη διασυνδεδεμένα νησιά. Η τροποποίηση προτείνεται λόγω της μειωμένης ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού των υφιστάμενων δικτύων τροφοδοσίας, τα οποία αποτελούνται από αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν πετρέλαιο, κατά την θερινή περίοδο η ζήτηση αυξάνεται δραματικά. Όμως το υψηλής ποιότητας αιολικό και ηλιακό δυναμικό των περιοχών αυτών υπαγορεύει τη δημιουργία υβριδικών συστημάτων ηλεκτροδότησης που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Επίσης, διερευνάται η αξιοποίηση των υφιστάμενων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ως εφεδρικές πηγές ενέργειας, έτσι ώστε να δημιουργούνται δυο σενάρια. Το σενάριο της πλήρους αυτονομίας βασίζεται μόνο στις ανανεώσιμες πηγές ενεργειακού δυναμικού, ενώ το σενάριο της μειωμένης εξάρτησης από πετρέλαιο προσθέτει τις υφιστάμενες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής οι οποίες λειτουργούν στο ελάχιστο. Τέλος, τα δύο σενάρια συγκρίνονται ως την οικονομοτεχνική τους πλευρά για να καθοριστεί το πλέον κατάλληλο. Η έρευνα διεξάγεται για τα τρία μη διασυνδεδεμένα ελληνικά νησιά της Κύθνου, Σκύρου και της Καρπάθου, επιλεγμένα έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν διαφορετικά μεγέθη κοινοτήτων. Έτσι προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα για το κατάλληλο σύστημα που προτείνεται για τις διαφορετικές περιοχές του Αιγαίου.

## Abstract

The research investigates the possibility of establishment of self sufficient power networks in non-interconnected Greek islands. The modification is suggested due to reduced energy supply security of the current power network, which is comprised by autonomous power stations utilising oil, occurring by extreme increase of demand mainly during the summer period. On the other hand the high wind and solar potential of these regions dictates the creation of hybrid electrification systems based on renewable energy sources and energy storage systems. Also the exploitation of the existing power stations as backup power sources are investigated, thus creating two investigation scenarios; the full autonomy scenario based only on renewable energy sources potential and the reduced oil dependency scenario which is based on the previous choice plus the existing power plants considered to operate at a minimum level. Finally the two scenarios are compared on economic basis to determine the most appropriate. The research is conducted for three non-interconnected Greek islands, Kythnos, Skyros and Karpathos selected to belong to different positions on the Aegean Archipelago region, all representing different community sizes. In this way useful conclusions arise for the appropriate system suggested for different regions and community sizes of the Aegean region.

## **Περιεχόμενα**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

- 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ
- 1.2 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ
- 1.3 ΑΙΤΙΟΛΟΓΙΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ (ΣΥΜΠΕΡΙΒΑΛΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΣΤΟΧΩΝ)
- 1.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ
- 1.5 ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ
- 1.6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ
- 1.7 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ**

- 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ
- 2.2 ΤΟ ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ
- 2.3 ΤΟ ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ
- 2.4 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ
- 2.5 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

- 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ
- 3.2 ΠΛΑΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ
- 3.3 ΗΘΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ
- 3.4 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

- 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ
- 4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ - ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ
- 4.3 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**



## ΣΧΗΜΑΤΑ

**Σχήμα 1:** Υβριδικό σύστημα ΑΠΕ & Γεννήτριας με αποθήκευση της ενέργειας σε συσσωρευτές (Πηγή: [www.wind-turbine-generator.com](http://www.wind-turbine-generator.com), n.d)

**Σχήμα 2:** Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ στην Ελλάδα (Πηγή: ΔΕΗ, 2012)

**Σχήμα 3:** Αιολικό και ηλιακό δυναμικό στην Ελλάδα (Πηγή: Καλδέλλης et al 2010)

**Σχήμα 4:** Τα υπό εξέταση νησιά στο έδαφος του Αιγαίου (Πηγή: Google Earth)

**Σχήμα 5:** Κάρπαθος (Πηγή: Κάρπαθος, 2012)

**Σχήμα 6:** Σκύρος (Πηγή: Πήγασος, 2007)

**Σχήμα 7:** Κύθνος (Πηγή: Τουρισμός στις Κυκλάδες, n.d)

**Σχήμα 8:** Διαδικασία υπολογισμού του HOMER (Πηγή: HOMER Energy, 2012)

**Σχήμα 9:** Επιφάνεια εργασίας του HOMER (Πηγή: HOMER Energy, 2012).

**Σχήμα 10:** Καθημερινό προφίλ φορτίου στο HOMER (Πηγή: HOMER Energy, 2012).

**Σχήμα 11:** Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας (Πηγή: Καλδέλλης et al 2009)

**Σχήμα 12:** Κόστος των διαφόρων ΣΑΕ για μεσαίου μεγέθους νησιά με 50% άμεση συμμετοχή του ΣΑΕ για τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (Πηγή: Καλδέλλης et al 2009)

**Σχήμα 13:** Η συμβολή ΣΑΕ  $\epsilon$  (%) σε σχέση με ονομαστική ισχύ της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης (Πηγή: Καλδέλλης et al 2010)

**Σχήμα 14:** Κόστος Κεφαλαίου υβριδικού Φ/Β – Συσσωρευτή/H<sub>2</sub> (Πηγή: Ευθυμιάδης, 2011)

**Σχήμα 15:** ΕΕ-27 συνολική τελική κατανάλωση ανά καύσιμο κατά τη διάρκεια του 2009 (Πηγή: Ενεργειακή Πύλη της Ευρώπης, 2012)

**Σχήμα 16:** Συνολική τελική κατανάλωση στην Ελλάδα ανά καύσιμο (Πηγή: Ενεργειακή Πύλη της Ευρώπης, 2012)

**Σχήμα 17:** Λειτουργία του υβριδικού ΑΠΕ-Η συστήματος (Πηγή: Lahmeyer International, 2011).

**Σχήμα 18:** Αδιάστατη καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας (Πηγή: Ο συγγραφέας).

**Σχήμα 19:** Καμπύλη ρεύματος-τάσης I-V φωτοβολταϊκού πλαισίου (Πηγή: ο συγγραφέας).

**Σχήμα 20:** Η διαδικασία υπολογισμού του αλγόριθμου για το υβριδικό σύστημα που αποτελείται από Α/Γ, Φ/Β & συσσωρευτή (Πηγή: Ζαφειράκης et al 2010)

**Σχήμα 21:** Η διαδικασία υπολογισμού του αλγόριθμου για το υβριδικό σύστημα που αποτελείται από Α/Γ, Φ/Β, συσσωρευτή και ΑΕΣ (Πηγή: Ζαφειράκης et al 2010)

**Σχήμα 22:** Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των υπό έρευνας νησιών (Πηγή: ΔΕΗ, 2008).

**Σχήμα 23:** Υβριδικό σύστημα WT - PV - Συσσωρευτή (μολύβδου - οξέος) για την Κύθνο (Πηγή: Ο συγγραφέας)

**Σχήμα 24:** Υβριδικό σύστημα WT - PV - Συσσωρευτή (Na-S) για την Κύθνο (Πηγή: Ο συγγραφέας).

**Σχήμα 25:** Υβριδικό σύστημα WT - PV - Συσσωρευτή (μολύβδου - οξέος) για την Σκύρο (Πηγή: Ο συγγραφέας).

**Σχήμα 26:** Υβριδικό σύστημα WT - PV - Συσσωρευτή (Na-S) για την Σκύρο (Πηγή: Ο συγγραφέας).

**Σχήμα 27:** Υβριδικό σύστημα WT - PV - Συσσωρευτή (μολύβδου - οξέος) για την Κάρπαθο (Πηγή: Ο συγγραφέας).

**Σχήμα 28:** Υβριδικό σύστημα WT - PV - Συσσωρευτή (Na-S) για την Κάρπαθο (Πηγή: Ο συγγραφέας).

**Σχήμα 29:** Κόστος κεφαλαίου του υβριδικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής Α/Γ - Φ/Β - ΣΥΣ (μολύβδου - οξέος) της Κύθνου (Πηγή: Η συγγραφέας).

**Σχήμα 30:** Κόστος κεφαλαίου των υβριδικών Α/Γ - Φ/Β - ΣΥΣ (Na-S) του συστήματος ισχύος της Κύθνου (Πηγή: Ο συγγραφέας).

**Σχήμα 31:** Κόστος κεφαλαίου του υβριδικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής Α/Γ - Φ/Β - ΣΥΣ (μολύβδου - οξέος) του συστήματος ισχύος στο νησί της Σκύρου (Πηγή: Ο συγγραφέας).

**Σχήμα 32:** Κόστος κεφαλαίου των υβριδικών Α/Γ - Φ/Β - ΣΥΣ (Na-S) του συστήματος ισχύος της Κύθνου (Πηγή: Η συγγραφέας).

**Σχήμα 33:** Κόστος Κεφαλαίου του υβριδικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής Α/Γ - Φ/Β - ΣΥΣ (μολύβδου - οξέος) του συστήματος ισχύος της Καρπάθου (Πηγή: Ο συγγραφέας).

**Σχήμα 34:** Κόστος κεφαλαίου των υβριδικών Α/Γ - Φ/Β - ΣΥΣ (Na-S) του συστήματος ισχύος της Καρπάθου (Πηγή: Ο συγγραφέας).

#### Πίνακες

**Πίνακας 1:** Παράμετροι εισόδου στον αλγόριθμο WT-PV (Πηγή: Ο συγγραφέας).

**Πίνακας 2:** Ειδικό κόστος για τα στοιχεία των υβριδικών ΑΠΕ-Η (Πηγή: Ο συγγραφέας).

#### Γλωσσάριο

ΠΝ	Πράσινο/α Νησί/α
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΣΑΕ	Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας
Α/Γ	Ανεμογεννήτρια
Φ/Β	Φωτοβολταϊκό
ΑΕΣ	Αυτόνομος Ενεργειακά Σταθμός
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
LF	Συντελεστής Φορτίου
ΜΔΝ	Μη Διασυνδεδεμένη Νήσος/νησιά
ΑΘ	Αέρια Θερμοκηπίου
ΑΠΕ-Η ΑΠΕ	Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Ο όρος "πράσινη" όταν χρησιμοποιείται ως ορισμός για παραγωγή ενέργειας περιγράφει ένα φιλικό προς το περιβάλλον σύστημα. Έτσι, χρησιμοποιώντας τον όρο "πράσινο νησί" λέξη περιγράφεται ένα νησί που χρησιμοποιεί φιλικούς προς το περιβάλλον τρόπους για την παραγωγή ενέργειας και την κάλυψη των τοπικών αναγκών ενεργειακά.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή με τις συνηθισμένες χαμηλής ρυπογόνες πηγές ενέργειας (π.χ. αντικατάσταση του πετρελαίου με φυσικό αέριο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας), ή ακόμη και να συνδυάζονται τα παραπάνω.

Ο όρος «πράσινο νησί» (ΠΝ) μπορεί και να αποδοθεί σε νησί με μηδενική κατανάλωση ενέργειας (Praeneetal., 2012), όταν το 100% του συνόλου των ενεργειακών αναγκών, όπως η ηλεκτρική ενέργεια, θέρμανση, ψύξη, οι μεταφορές κλπ. καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Επίσης υπάρχει η περίπτωση της μείωσης της ενεργειακής εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα. Στην περίπτωση αυτή το ΠΝ χρησιμοποιεί ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έτσι ώστε καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών του, και ένα μικρό τμήμα καλύπτεται από ορυκτά καύσιμα. Η εναλλακτική αυτή λύση μπορεί να μειώσει το κόστος της εγκατάστασης νέων μονάδων ΑΠΕ (καθώς το μέγεθος τους θα είναι μικρότερο σε αυτή την περίπτωση).

Τα απομακρυσμένα νησιά είναι κατάλληλα για τη αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας λόγω του υψηλών ταχυτήτων ανέμου και το υψηλής ποιότητας ηλιακό δυναμικό. Μέχρι τώρα μπορούμε να βρούμε ΠΝ σε διάφορα μέρη σε όλο τον κόσμο. Η επαναστατική - αρχική ιδέα έρχεται από τη Δανία το 1997 στο νησί Samsø το οποίο είναι αυτόνομο, με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να καλύπτουν τις ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας και θέρμανσης. Οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια καλύπτονται από την αιολική ενέργεια, ενώ ανάγκες θέρμανσης από ηλιακό θερμοσίφωνα, βιομάζα, ενώ βιοκαύσιμα παράγονται σε τοπικές εγκαταστάσεις ή αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από την αιολική ενέργεια. Καθώς η βενζίνη και το πετρέλαιο εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται στις μεταφορές, πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση υπεράκτιων ανεμογεννητριών ούτως ώστε να αντισταθμιστεί η κατανάλωση ενέργειας στον τομέα (TheSamsøEnergyAcademy).

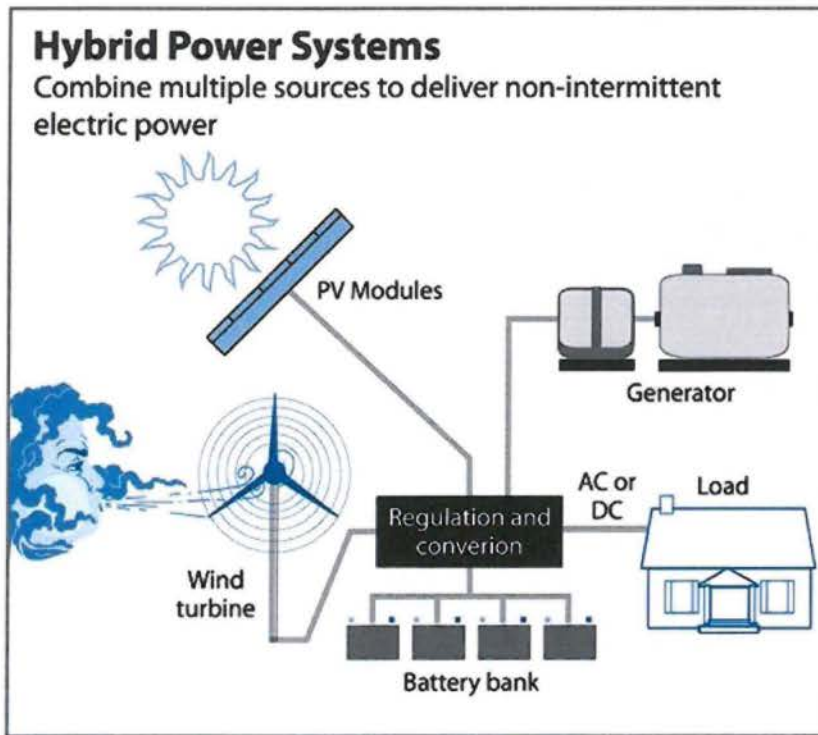
Το μοντέλο του Samsø υιοθετήθηκε από άλλες ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Γερμανία στο νησί Pellworm όπου κάλυψε τις ανάγκες του από ηλιακό και αιολικό δυναμικό, η Ιρλανδία με το RathlinIsland (όπου καλύπτει το 75% των ενεργειακών αναγκών της από την αιολική ενέργεια) και η Γαλλία με το νησί Reunion (55% των αναγκών από κυματική ενέργεια και βιομάζα) (Liaggou, 2009).

Σε άλλες περιοχές του κόσμου, ΠΝ Συναντάμε στο KingIsland της Αυστραλίας, στο νησί Utsira της Νορβηγίας και στο El-Hierro των Κανάριων Νήσων της Ισπανίας. Στην Ελλάδα, το πρώτο ΠΝ έχει προγραμματιστεί να δημιουργηθεί στον Άγιο Ευστράτιο, όπως αποφασίστηκε κατά το έτος 2009 ακολουθώντας την τάση παγκοσμίως.

Για το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ενός ΠΝ η βασική ιδέα περιλαμβάνει μια εγκατάσταση ΑΠΕ και ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (ΣΑΕ). Στην ουσία έχουμε ένα υβριδικό ενεργειακό σύστημα. Το ΣΑΕ είναι αναγκαίο για την αντιμετώπιση της διαλείπουσας των ΑΠΕ και για να εξασφαλιστεί ο εφοδιασμός της κατανάλωσης λόγω του μεταβαλλόμενου προφίλ της ζήτησης. Το ΣΑΕ αποθηκεύει την περίσσεια της ενέργειας που



παράγεται από την εγκατάσταση των ΑΠΕ κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης και αποδίδει την ενέργεια για κατανάλωση σε περιπτώσεις υψηλής ζήτησης και χαμηλής παραγωγής ενέργειας από την εγκατάσταση ΑΠΕ.



**Σχήμα 1:** Υβριδικό σύστημα ΑΠΕ & Γεννήτριας με αποθήκευση της ενέργειας σε συσσωρευτές (Πηγή: [www.wind-turbine-generator.com](http://www.wind-turbine-generator.com), nd)

Η παρούσα έρευνα, εξετάζει την δυνατότητα μετατροπή σε "πράσινο", το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των νησιών σε διαφορετικά νησιά στην Ελλάδα. Για το σκοπό αυτό, διαφορετικά, μη-διασυνδεδεμένα νησιά (ΜΔΝ) του Αρχιπελάγους του Αιγαίου, με το εθνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, εξετάζονται με διάφορα εναλλακτικά σενάρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα νησιά που διερευνώνται είναι:

- I. Κάρπαθος
- II. Σκύρος
- III. Κύθνος

Για το σκοπό αυτό εξετάζονται τα παρακάτω εναλλακτικά σενάρια ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας:

- Το 100% της παραγομένης ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από τις ΑΠΕ (σε συνδυασμό με κατάλληλο ΣΑΕ) και
- Χαμηλή ενεργειακή εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα στην παραγωγή ηλεκτρισμού.

Σύμφωνα με το δεύτερο σενάριο οι υπάρχουσες θερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής καθορίζονται να αποκρίνονται στην περιοχή της ελάχιστης κατανάλωσης καυσίμου (μέγιστη απόδοση) ενώ η ενεργειακή περίσσεια θα διατηρείται σε κατάσταση αναμονής για εφεδρική χρήση τις περιόδους υψηλής κατανάλωσης, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Καλδέλλης 2009).

Τα σενάρια αυτά θα συγκριθούν όσον αφορά την αυτονομία και το κόστος, και το πιο κατάλληλο, σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια, θα προταθεί.

## 1.2 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η εργασία εξετάζει την προοπτική δημιουργίας ενός ΠΝ στην Ελλάδα. Για το σκοπό αυτό, μελετάται η δυνατότητα να μετατραπούν σε "πράσινα" τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των μη-διασυνδεδεμένων νήσων με την ηπειρωτική χώρα. Στο πλαίσιο αυτό, χρειάζεται να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός των εγκαταστάσεων ΑΠΕ και ΣΑΕ, προκειμένου να καλυφθεί το σύνολο των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης αξιολογείται η δυνατότητα μείωσης της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα (την κύρια πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα) με βάση την "πράσινη ιδέα". Έτσι, η έρευνα θα επικεντρωθεί σε δύο σενάρια:

- I. Το σενάριο της 100% υβριδικής (ΑΠΕ & ΣΑΕ) παραγωγής ηλεκτρισμού.
- II. Το σενάριο της χρήσης των υφιστάμενων θερμικών σταθμών που θα λειτουργούν σε ένα ελάχιστο επίπεδο και ως εφεδρικές μονάδες σε περιόδους υψηλής ζήτησης, σε συνεργασία με την παραγωγή του υβριδικού σταθμού ΑΠΕ και ΣΑΕ, ο οποίος θα παρέχει το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης.

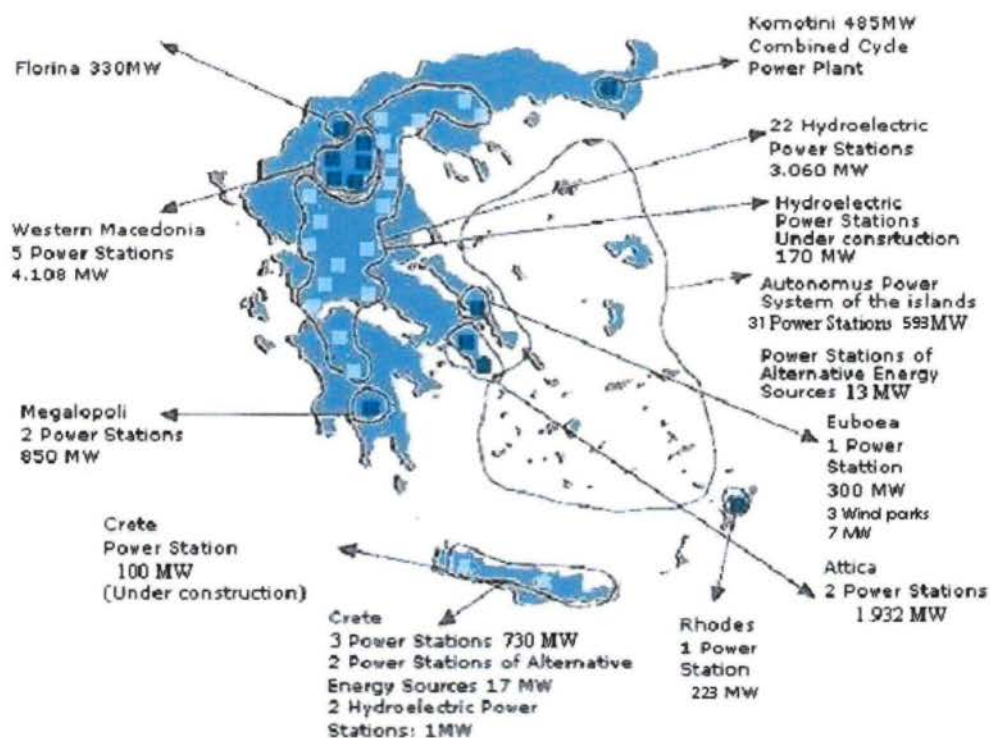
Τα επιλεγμένα νησιά ήδη υποστηρίζονται από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς για τις ηλεκτρικές ανάγκες τους, πράγμα όμως που οδηγεί σε εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Το επίπεδο της εξάρτησης σκοπίμως θα πρέπει να διατηρηθεί σε χαμηλά επίπεδα, προκειμένου να ικανοποιήσει την έννοια του ΠΝ.

Από κάθε σενάριο προκύπτουν εναλλακτικά υπό-σενάρια προς μελέτη, που δημιουργούν οι απαιτούμενοι συνδυασμοί ανεμογεννητριών (Α/Γ) και φωτοβολταϊκών (Φ/Β), το επίπεδο εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα (για το δεύτερο σενάριο), όπως και η επιλογή κατάλληλου ΣΑΕ. Τέλος, τα διαφορετικά αυτά σενάρια συγκρίνονται για να προκύψει η βέλτιστη λύση με κριτήρια την ενεργειακή αυτονομία και το κόστος.

Σήμερα, τα μη-διασυνδεδεμένα νησιά στην Ελλάδα καλύπτονται ενεργειακά από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Στη συνέχεια αναλύονται οι λόγοι που επιβάλλουν την διερεύνηση της ιδέας του ΠΝ στην Ελλάδα.

Τα διάσπαρτα μη συνδεδεμένα νησιά του Αιγαίου και μερικών του Ιονίου υφίστανται προβλήματα ασφάλειας στο ενεργειακό τους δίκτυο που χρήζουν λύσης. Τα νησιά αυτά εξυπηρετούνται από 32 αυτόνομους ενεργειακά σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ΑΕΣ) ονομαστικής ισχύος 959MW και από σταθμούς ΑΠΕ των 127.5MW (ΔΕΗ 2011). Αυτοί οι σταθμοί (ΑΕΣ) ανήκουν στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) ενώ οι ΑΠΕ σταθμοί ανήκουν στην ΔΕΗ Ανανεώσιμες (θυγατρική της ΔΕΗ) και σε ιδιωτικούς επενδυτές. Οι ΑΕΣ αποτελούνται από περίπου 220 μονάδες θερμικής ενέργειας που χρησιμοποιούν πετρέλαιο και λιγνίτη για την παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας. Οι λόγοι που σχεδιάζεται η ενεργειακή αυτονομία των νησιών αυτών είναι τεχνικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί και περιβαλλοντικοί.



**Σχήμα 2:** Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ στην Ελλάδα (Πηγή: ΔΕΗ, 2012)

### Τεχνικοί λόγοι:

- Οι περισσότερες από τις θερμικές μονάδες παραγωγής ενέργειας στο αρχιπέλαγος του Αιγαίου είναι ξεπερασμένες και ηλικίας πάνω από 25 χρόνων (μερικές ακόμη ξεπερνούν και τα 35 χρόνια). Τα αποτελέσματα αυτής της κατάστασης είναι:
  - I. Πολλές από αυτές της μονάδες παραμένουν εκτός λειτουργίας για μεγάλα χρονικά διαστήματα λόγω σοβαρών προβλημάτων (χαμηλή τεχνική διαθεσιμότητα).
  - II. Εξ' αιτίας της παλαιότητας τους, τις μέρες του καλοκαιριού έχουμε 15% μικρότερη παραγωγή ενέργειας από την ονομαστική.
- Χαμηλή ενεργειακή ασφάλεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εγκαταστάσεις δεν μπορούν να εγγυηθούν την ασφαλή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας ιδιαίτερα κατά τις περιόδους υψηλής κατανάλωσης (ως επί το πλείστον κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού). Οι ακραίες διακυμάνσεις της ζήτησης που λαμβάνονται σε ετήσια βάση και καθημερινά (το φορτίο αιχμής το καλοκαίρι μπορεί να είναι ακόμα και πέντε φορές το ελάχιστο φορτίο του χειμώνα - την ίδια μέρα εμφανίζεται



διακύμανση 60% σε σύγκριση με το μέσο όρο της ημέρας) εμφανίζονται κυρίως με τη μαζική άφιξη τουριστών (Καλδέλλης et al. 2007).

- Ο συντελεστής φορτίου (LF), ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικής παραγωγής ενέργειας προς την θεωρητική παραγωγή χρησιμοποιώντας την ονομαστική ισχύ της μονάδας των θερμικών σταθμών παραγωγής όπου φθάνει το 30% (σύμφωνα με δημοσιεύσεις της ΔΕΗ). Αυτό είναι αποτέλεσμα της χαμηλής ζήτησης κατά τη διάρκεια όλου του έτους, εκτός από το καλοκαίρι και την χαμηλή τεχνική διαθεσιμότητα των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.

#### Οικονομικοί λόγοι:

- Σύμφωνα με προηγούμενη ανάλυση (Καλδέλλης et al. 2007) το λειτουργικό κόστος των ΑΕΣ στην περιοχή του Αιγαίου (που χρησιμοποιούν ντίζελ και μαζούτ) ανέρχεται στα 200€/MWh όπου περιλαμβάνει την αρχική εγκατάσταση, το κόστος συντήρησης και λειτουργίας (σταθερό και μεταβλητό κόστος συντήρησης) και το κόστος των καυσίμων. Υπάρχουν πιο αποτελεσματικές ΑΕΣ όπως αυτήν της Πάρου, της οποίας το λειτουργικό κόστος είναι περίπου 80€/MWh, ενώ στα πολύ μικρά νησιά μπορεί να εμφανιστεί κόστος ακόμη και γύρω από το εξαιρετικά υψηλό επίπεδο των 1000€/MWh. Αν προσθέσουμε τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας, τότε η οικονομική ζημία της ΔΕΗ ανέρχεται περίπου 200,000,000€/έτος.

#### Κοινωνικοί λόγοι:

- Το υψηλό επίπεδο ανεργίας στην εξεταζόμενη περιοχή υπερβαίνει το 20%. Η ανάπτυξη των ΑΠΕ με βάση υβριδικά συστήματα για την ηλεκτροδότηση της περιοχής εκτιμάται ότι θα δημιουργήσει νέες ευκαιρίες απασχόλησης. Πιο συγκεκριμένα 15,1 θέσεις εργασίας σε ετήσια βάση εκτιμάται ότι θα προσφέρονται ανά εγκατεστημένο MW Α/Γ, και 15,6 θέσεις εργασίας ετησίως ανά εγκατεστημένο MW γεωθερμικής (Κασσελούρη et al. 2011).

#### Περιβάλλοντος:

- Τα περιβαλλοντικά ζητήματα που προκύπτουν λόγω της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα είναι προφανείς. Το γεγονός ότι οι περισσότεροι ΑΕΣ των μη διασυνδεδεμένων νησιών χρησιμοποιούν πετρέλαιο (ντίζελ και μαζούτ) για τη λειτουργία τους, έχει αρνητικές συνέπειες για τα οικοσυστήματα και τους πολίτες των περιοχών αυτών. Η συνολική εξάρτηση από εισαγόμενο πετρέλαιο υπολογίζεται στο 90% (Κασσελούρη et al. 2011).

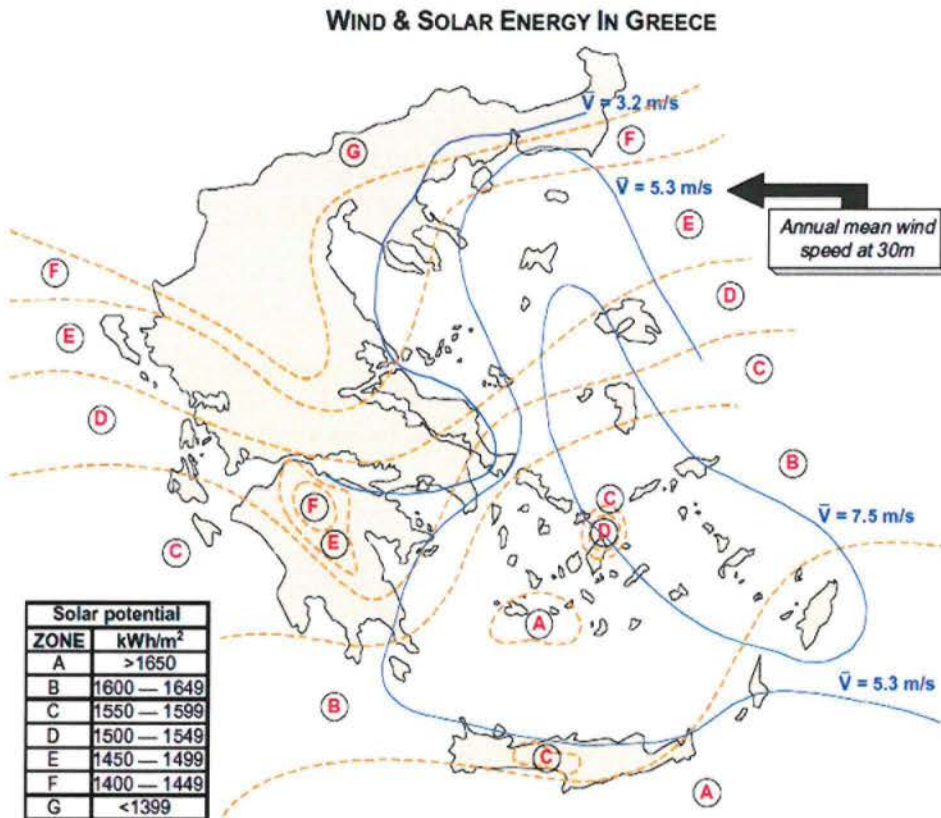
### **1.3 ΑΙΤΙΟΛΟΓΙΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ (ΣΥΜΠΕΡΙΒΑΛΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΣΤΟΧΩΝ)**

Όπως προαναφέρθηκε, τα μη διασυνδεδεμένα νησιά στην Ελλάδα (εξαιρουμένης της Κρήτης) εξυπηρετούνται από 959MW μέσω θερμοηλεκτρικών σταθμών και 127.5 MW μέσω εγκαταστάσεων ΑΠΕ. Αυτό αντιπροσωπεύει το 6.80% της εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (1086.51MW από τα



15,007.27MW που είναι εγκατεστημένα σε ολόκληρη τη χώρα). Η περιοχή το 2011 αντιπροσώπευε το 4.80% της εθνικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με την εταιρία ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής ελληνικού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας), μηνιαίες δημοσιεύσεις της ΔΕΗ και σύμφωνα με Καμπεζίδης et al. (2011) το ποσό αυτό συμπεριλαμβανομένης της Κρήτης φτάνει το 9% της εθνικής ζήτησης (μέσος όρος της τελευταίας δεκαετίας).

Η περιοχή έχει υψηλό ηλιακό και αιολικό δυναμικό με μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου 5.3 m/s ή υψηλότερη, και  $> 1450 \text{ kWh/m}^2/\text{year}$  ηλιακό δυναμικό, κατάλληλη για την αξιοποίηση των ΑΠΕ (Καλδέλλης et al. 2010).



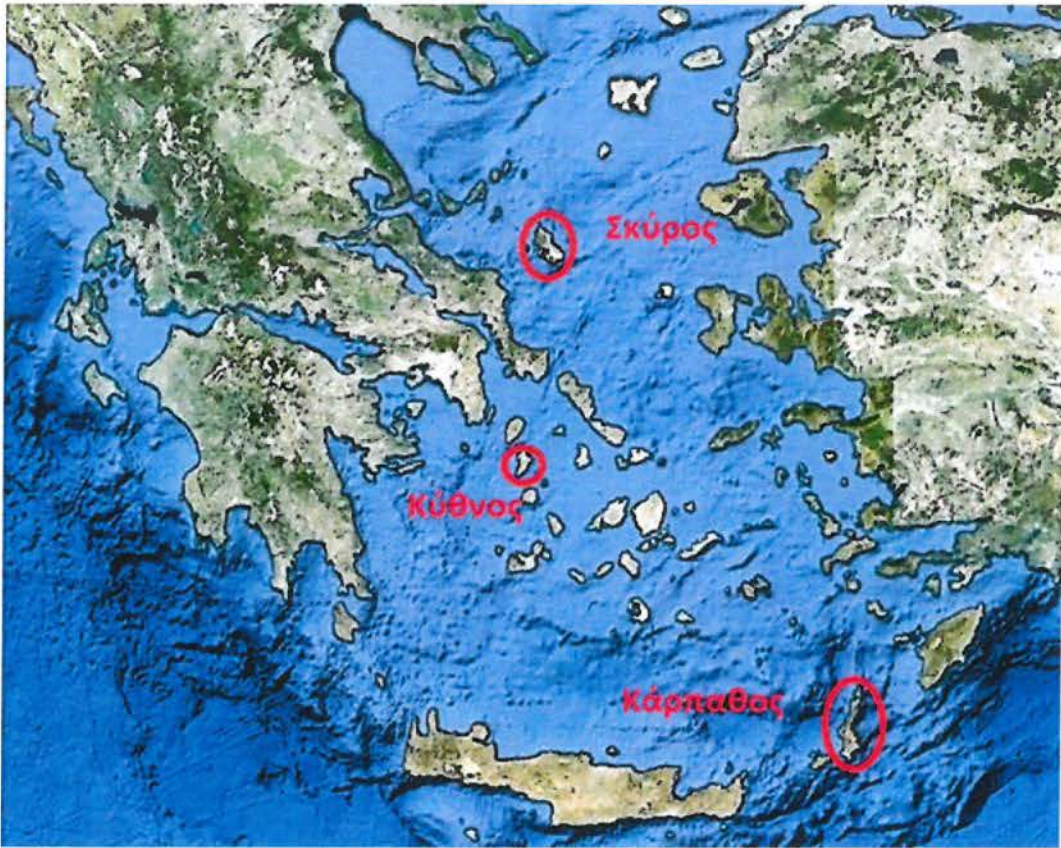
**Σχήμα 3:** Αιολικό και ηλιακό δυναμικό στην Ελλάδα (Πηγή: Καλδέλλης et al 2010)

Η πρώτη προσπάθεια της ελληνικής κυβέρνησης να δημιουργήσει ένα ΠΙΝ βασισμένη σε μοντέλο ΠΙΝ εξωτερικού καταγράφηκε στον Άγιο Ευστράτιο το 2009. Ο προϋπολογισμός του έργου είναι 8.9 εκατ. € (Παραλίκας, 2011) και τα έργα αναμένεται να αρχίσουν στο 2012 με το μεγαλύτερο μέρος των έργων να είναι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του ίδιου έτους (Σπυριδάκης, 2011).

Σύμφωνα με την περιβαλλοντική μελέτη που έχει διεξαχθεί για το έργο, η ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται το νησί θα πρέπει να πληρείται από ανεμογεννήτριες των 500-800KW, φωτοβολταϊκά πάνελ των 100-125KW, μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας 4000-6000 KWh, εργοστάσιο ηλεκτρόλυσης 100KW και δεξαμενή αποθήκευσης υδρογόνου χωρητικότητας 200kg. Επίσης, εφαρμογές για μεταφορά, εγχώριες ανάγκες και την επεξεργασία των αποβλήτων θα εγκατασταθούν (Αργυρόπουλος, 2011).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες γενικές πληροφορίες για τα υπό έρευνα νησιά





Σχήμα 4: Τα υπό εξέταση νησιά στο έδαφος του Αιγαίου (Πηγή: GoogleEarth)

Κάρπαθος



Σχήμα 5: Κάρπαθος (Πηγή: Κάρπαθος, 2012)



Η Κάρπαθος είναι το δεύτερο σε έκταση νησί του ελληνικού συμπλέγματος της Δωδεκανήσου (μετά τη Ρόδο). Έχει έκταση  $300.152\text{Km}^2$ ,  $160\text{Km}$  μήκος ακτών και συνολικό πληθυσμό 6,511 κατοίκους. Αποτελεί πλούσιο βιότοπο και για αυτόν τον λόγο διαθέτει προστατευμένες περιοχές, όπου επιζούν πληθυσμοί προς εξαφάνιση. Στην περιοχή υπάρχουν έντονοι άνεμοι ειδικά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Βρίσκεται στην μέση του Καρπάθιου πελάγους μεταξύ Ρόδου και Κρήτης και έχει πρωτεύουσα τα Πηγάδια ή Κάρπαθος (2,180 κάτοικοι). Η Κάρπαθος διαθέτει διεθνή αερολιμένα με έναν από τους μεγαλύτερους διαδρόμους στα Βαλκάνια και κτιριακές εγκαταστάσεις  $12,500\text{m}^2$ . Ακτοπλοϊκά συνδέεται με τον Πειραιά, την Κρήτη, την Κάσο, τη Ρόδο, τη Χάλκη και άλλα νησιά των Δωδεκανήσων και των Κυκλάδων. Η περιοχή του νησιού έχει υψηλό ηλιακό δυναμικό της τάξης των  $> 1650\text{KWh/m}^2$  και με μέσο ετήσιο αιολικό δυναμικό  $5.3\text{m/s}$ . Σύμφωνα όμως με Katsaprakakis et Al. (2011) η ετήσια ταχύτητα ανέμου υπερβαίνει τα  $11.5\text{m/s}$ . Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού αποτελείται από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς ισχύος  $16,252\text{KW}$  (συμπεριλαμβανομένων των φορητών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής αεριοστρόβιλου ισχύος  $1,400\text{KW}$  για την περίοδο υψηλής ζήτησης: το καλοκαίρι) και  $1,790\text{KW}$  εγκαταστάσεις ΑΠΕ (Α/Γ,Φ/Β).

### Σκύρος

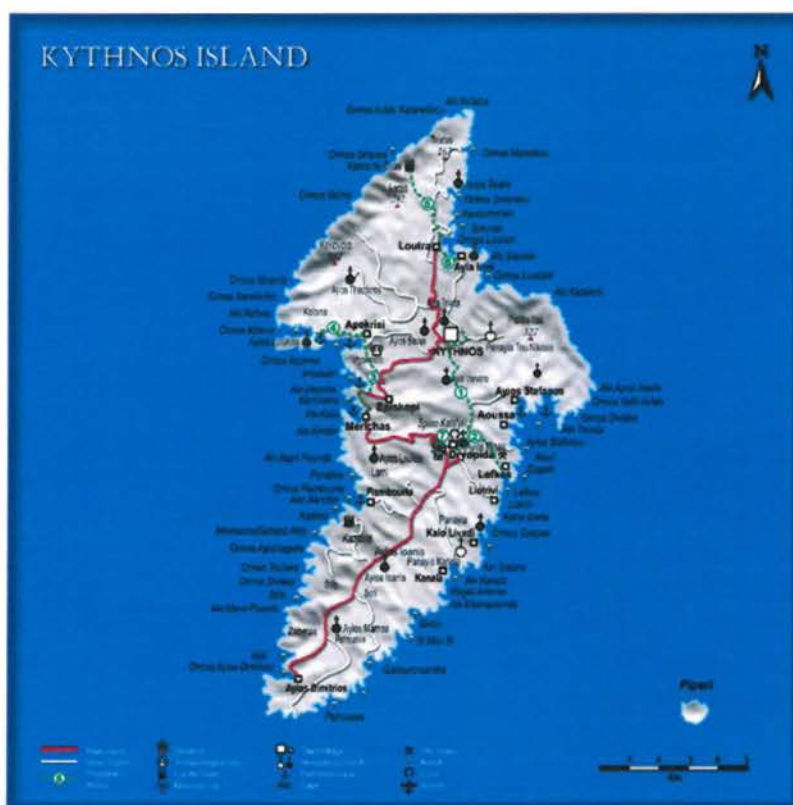


**Σχήμα 6:** Σκύρος (Πηγή: Πήγασος, 2007)

Η Σκύρος είναι το νοτιότερο νησί των Βορείων Σποράδων. Βρίσκεται ανατολικά της Εύβοιας, από την οποία απέχει γύρω στα  $35\text{Km}$  και είναι το μεγαλύτερο σε έκταση νησί των Σποράδων ( $210\text{Km}^2$ ) με πληθυσμό 2,602 κατοίκων. Η Σκύρος είναι στο μεγαλύτερο τμήμα της ορεινή, με δύο διακριτούς ορεινούς όγκους στο βόρειο και το νότιο τμήμα. Ανάμεσά τους υπάρχει μία ημιπεδινή και ημιλοφώδης έκταση, η οποία έχει διεύθυνση βορρά νότου, ανάμεσα στις βόρειες ανατολικές και τις νότιες ακτές του νησιού. Το βόρειο τμήμα καλύπτεται από πυκνό πευκοδάσος, ενώ στα διαδοχικά υψώματα και βουνά δεσπόζει η κορυφή Όλυμπος. Στο νότιο τμήμα κυριαρχεί ο ορεινός όγκος του Κόχυλα ( $792\text{m}$ ), ενώ τα βουνά είναι χέρσα και βραχώδη. Κατά μία έννοια, το βόρειο κομμάτι συγγενεύει με τα φυσικά τοπία που συναντά κανείς στις Σποράδες και τη βόρεια Εύβοια, ενώ το νότιο με τα τοπία της νότιας Εύβοιας αλλά ακόμα και των Κυκλάδων. Το κλίμα της Σκύρου είναι

μεσογειακό, όπως στα περισσότερα νησιά του Αιγαίου, και χαρακτηρίζεται από δροσερά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες. Η επικράτηση των βορινών ανέμων στο νησί καθ' όλη τη διάρκεια τη χρόνο, χαρακτηρίζουν χαμηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με την ηπειρωτική χώρα, αλλά και αυξημένες τιμές υγρασίας λόγω της θάλασσας. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 17<sup>o</sup>C. Πρωτεύουσα του νησιού είναι η Σκύρος (ή Χώρα), που βρίσκεται στην ανατολική ακτή. Συνδέεται με τη Λιναριά με ασφαλτοστρωμένο δρόμο μήκους 11Km. Το ηλιακό δυναμικό της περιοχής είναι μεταξύ 1450 και 1500 KWh/m<sup>2</sup> και η μέση ετήσια ταχύτητα πλησιάζει τα 5.3m/ s. Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού αποτελείται από 5,240KW θερμοηλεκτρικούς σταθμούς και εγκαταστάσεις αμελητέα ΑΠΕ (κυρίως φωτοβολταϊκά) της ονομαστικής ισχύος 33.7 KW.

## Κύθνος



**Σχήμα 5:** Κύθνος (Πηγή: Τουρισμός στις Κυκλάδες, n.d.)

Η Κύθνος είναι νησί των Δυτικών Κυκλάδων ανάμεσα σε Κέα και Σέριφο, και απέχει 56 ναυτικά μίλια από το λιμάνι του Πειραιά. Έχει έκταση 99,432Km<sup>2</sup>. και μήκος ακτογραμμών περίπου 104Km. Διαθέτει 92 όρμους, ορμίσκους και παραλίες, οι περισσότερες από τις οποίες είναι προσιτές οδικά. Τα βουνά της νήσου δεν είναι μεγάλα, η υψηλότερη κορυφή είναι ο "Προφήτης Ηλίας" στο όρος Πέτρα με υψόμετρο 336m ενώ στο ίδιο περίπου ύψος είναι και οι κορυφές του Αγίου Μηνά και των Αγίων Θεοδώρων. Στο νησί υπάρχουν δύο μεσόγεια χωριά, η Χώρα η Μεσαριά με 806 κατοίκους και η Δρυοπίδα με 797 κατοίκους (απογραφή 2001). Επιπλέον υπάρχουν τρεις κύριοι παραθαλάσσιοι οικισμοί: το κύριο λιμάνι Μέριχας με 250 κατοίκους περίπου, τα Λουτρά με τις ιαματικές πηγές και η Παναγία Κανάλα με την ομώνυμη εκκλησία. Εκτός από αυτούς υπάρχουν και αρκετοί μικρότεροι οικισμοί όπως: Αγ. Δημήτριος, Επισκοπή, Αγ. Στέφανος, Φλαμπούρια, Καλό Λιβάδι, Αγ. Ειρήνη και Απόκρουση. Έχει καθημερινή συγκοινωνία με τον Πειραιά, το λιμάνι του Λαυρίου και την πρωτεύουσα των Κυκλάδων Ερμούπολη (Σύρος) καθώς και με άλλα νησιά



των δυτικών Κυκλάδων, με συμβατικά και ταχύπλοα πλοία. Το ηλιακό δυναμικό της περιοχής είναι μεταξύ 1600 και 1650 KWh/m<sup>2</sup> και η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου είναι 5.3m/s. Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού αποτελείται από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς ισχύος 5,375KW και 670KW εγκαταστάσεις ΑΠΕ (Α/Γ).

Όπως παρουσιάζεται τα εξεταζόμενα νησιά έχουν υψηλό ηλιακό και αιολικό δυναμικό κατάλληλο για εφαρμογές ΑΠΕ.

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να προσδιοριστεί η βέλτιστη και οικονομικά βιώσιμη λύση για την αυτονομημένη ηλεκτροδότηση του νησιών βασισμένη στην έννοια του πράσινου νησιού.

Για το σκοπό αυτό εξετάζονται οι παρακάτω στόχοι:

- Προσδιορισμός των διαφόρων πιθανών λύσεων για αυτάρκεια στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το σενάριο της συνολική παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ (συνδυασμό με τα κατάλληλα ΣΑΕ).
- Προσδιορισμός των διαφόρων πιθανών λύσεων για αυτάρκεια στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βάσει τις ΑΠΕ (& ΣΑΕ) και τοπικών ΑΕΣ διατηρώντας χαμηλή την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.
- Οικονομική αξιολόγηση και σύγκριση των διαφόρων σεναρίων
- Προσδιορισμός του πιο βιώσιμου σεναρίου.

#### 1.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

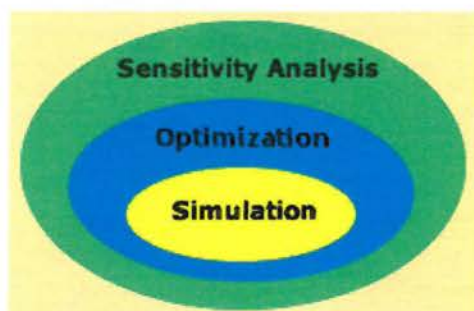
Η έρευνα χρησιμοποιεί μεθοδολογία επιστημονικής προσέγγισης και σύμφωνα με Σκιττίδη et al. (2006) μπορεί να ταξινομηθεί ως εμπειρική. Πιο συγκεκριμένα η έρευνα χρησιμοποιεί γενικές παραδοχές και επιστημονικούς νόμους για να ελεγχθεί η εφαρμογή τους, υπό ορισμένες συνθήκες και για το λόγο αυτό θεωρείται ως παραγωγική.

Ο τρόπος διεξαγωγής της εμπειρικής αυτής έρευνας θα γίνει με περιπτώσιολογική μελέτη. Οι φυσικοί νόμοι που διέπουν την αξιοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και την αποθήκευση αυτής, θα πρέπει να εξετάζονται σύμφωνα με τις προϋποθέσεις του τοπικού δυναμικό ΑΠΕ, τη ζήτηση και την ενεργειακή αυτονομία των εξεταζόμενων νησιών. Τέλος, η τεχνική που χρησιμοποιείται είναι η μοντελοποίηση και προσομοίωση, η οποία βασίζεται στην παρατήρηση του τοπικού δυναμικού και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας τα περασμένα έτη.

Το εργαλείο μοντελοποίησης είναι το λογισμικό WIND-PV, που αναπτύχθηκε στο ΤΕΙ Πειραιά το οποίο μπορεί να υπολογίσει λύσεις που προσφέρουν την επιθυμητή ενεργειακή αυτονομία, με βάση το προφίλ της ζήτησης και το δυναμικό των ΑΠΕ, ανάμεσα σε διάφορους συνδυασμούς των ΑΠΕ, συμβατικών μορφών ενεργειας και τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας. Στη συνέχεια η οικονομική βιωσιμότητα της κάθε πιθανής λύσης θα εξεταστεί με τη χρήση χρηματοοικονομικών αλγορίθμων που αναπτύχθηκαν για τις υπό εξέταση τεχνολογίες.

Εναλλακτική μέθοδος για τα παραπάνω είναι το λογισμικό HOMER που και αυτό προσφέρει τη δυνατότητα εξέτασης της βιωσιμότητας των τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τόσο στο επίπεδο των τοπικών καταναλωτών, όσο και στο κοινοτικό επίπεδο.

Το Homer αρχικά σχεδιάστηκε στο Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας των ΗΠΑ, είναι ένα υπολογιστικό μοντέλο που επιτρέπει το σχεδιασμό των υβριδικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας για συνδεδεμένους και μη καταναλωτές στο δίκτυο. Επιτρέπει την τεχνική εφικτότητα και την οικονομική αξιολόγηση ενός μεγάλου αριθμού τεχνολογικών επιλογών. (HOMERENERGY, 2012).



**Σχήμα 6:** Διαδικασία υπολογισμού του HOMER (Πηγή: HOMEREnergy, 2012)

Το πρόγραμμα παρέχει προσομοίωση, βελτιστοποίηση και ανάλυση ευαισθησίας των εξεταζόμενων σεναρίων και είναι κατάλληλο για μια ευρεία ποικιλία των σχεδίων για απομακρυσμένους καταναλωτές από μικρής έως και μεγάλης κλίμακας δίκτυο. Προσφέρει επίσης τη δυνατότητα της μοντελοποίησης και των τεχνικών και των οικονομικών παραγόντων που συμμετέχουν στο έργο. Για μεγάλα συστήματα (χωριό, κοινότητα), Το HOMER μπορεί να προσφέρει μόνο μια γενική εικόνα που συγκρίνει το κόστος και την εφικτότητα των διαφόρων συνθέσεων, αλλά στη συνέχεια οι σχεδιαστές πρέπει να χρησιμοποιούν περισσότερο εξειδικευμένο λογισμικό για να μοντελοποιηθεί η τεχνική απόδοση.

Το HOMER μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ένα μεγάλο σύνολο των χρηστών, με ή χωρίς τεχνική εμπειρία. Η χρονολογική προσομοίωση είναι απαραίτητη για την μοντελοποίηση διάφορων πηγών, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια και τη συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, όπου το θερμικό φορτίο είναι μεταβλητό. Η ανάλυση ευαισθησίας βοηθά να προσδιοριστεί ο πιθανός αντίκτυπος των αστάθμητων παραγόντων, όπως οι τιμές των καυσίμων ή η ταχύτητα του ανέμου σε ένα δεδομένο σύστημα, με την πάροδο του χρόνου.

Το πρόγραμμα λειτουργεί σε συνδυασμό συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας χρησιμοποιώντας τα εξής:

#### Πηγές τροφοδοσίας:

- ηλιακών φωτοβολταϊκών (Φ/Β)
- ανεμογεννητριών (Α/Γ)
- υδροηλεκτρική ενέργεια
- ενέργεια από βιομάζα
- γεννήτρια: ντίζελ, βενζίνη, το βιοαέριο, τα εναλλακτικά και συμβατικά καύσιμα

- ηλεκτρικό δίκτυο κοινής ωφελείας
- μικροστρόβιλος
- κυψέλες καυσίμου

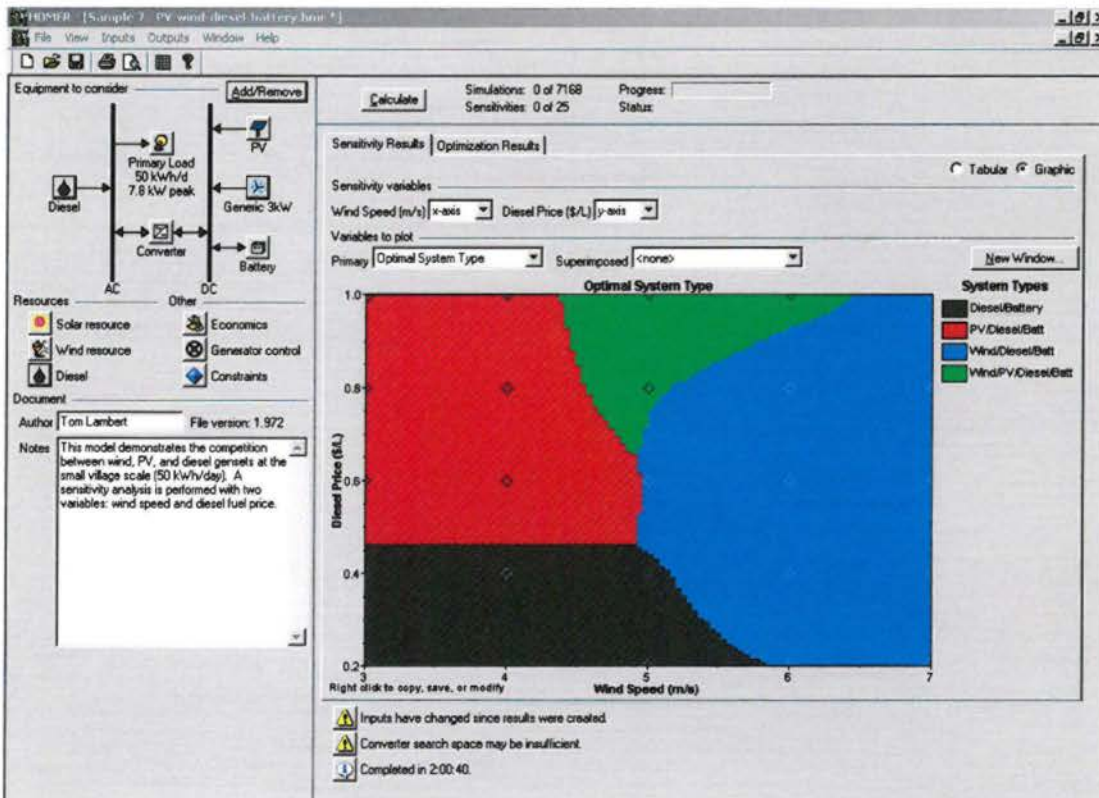
#### Αποθήκευσης:

- σφόνδυλοι
- μπαταρίες
- μπαταρίες ροής
- υδρογόνου

#### Φορτία:

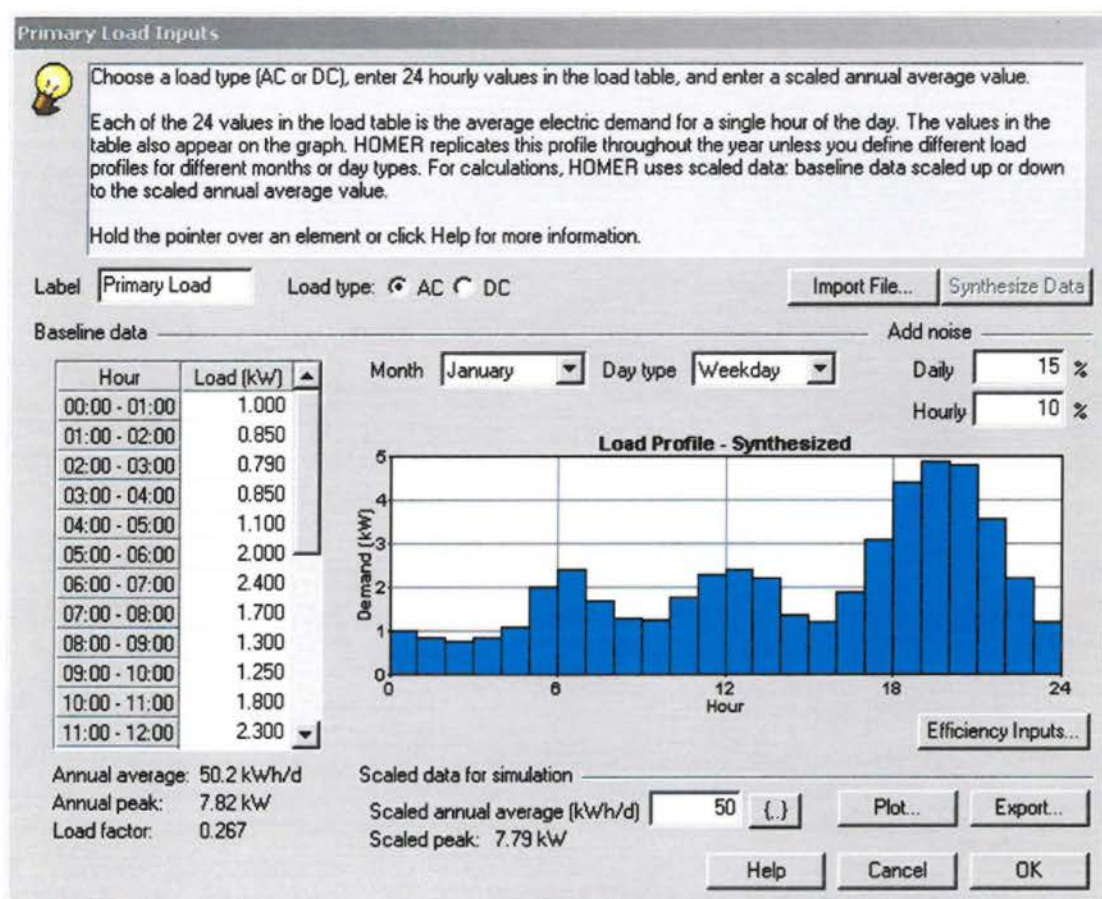
- καθημερινά προφίλ με εποχιακή διακύμανση
- διακύμανσης (άντληση νερού, ψύξη)
- θερμικών (θέρμανση χώρων, ξήρανση των καλλιέργειών)
- μέτρα ενεργειακής απόδοσης

Η επιφάνεια εργασίας του HOMER έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε είναι φιλικό προς το χρήστη και να απλοποιήσει την εισαγωγή δεδομένων, και να προσφέρει την προβολή των αποτελεσμάτων σε διάφορες μορφές.



Σχήμα 9: Επιφάνεια εργασίας του HOMER (Πηγή: HOMER Energy, 2012).





**Σχήμα 10:** Καθημερινό προφίλ φορτίου στο HOMER (Πηγή: HOMER Energy, 2012).

Συνοψίζοντας το HOMER είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την λήψη αποφάσεων, αλλά χρειάζεται ένα περισσότερο εξειδικευμένο εργαλείο υπολογισμού για τον λεπτομερή σχεδιασμό των συστημάτων, ενώ στερείται ευελιξίας που παρέχεται από το προτεινόμενο λογισμικό σε διάφορους συνδυασμούς των τεχνολογιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

## 1.5 ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Το πεδίο εφαρμογής της έρευνας είναι ο προσδιορισμός της πλέον κατάλληλης διαμόρφωσης της παραγωγής ενέργειας, η οποία θα αποτελείται από μονάδες Α.Π.Ε., ΣΑΕ και θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, που βασίζεται στην έννοια του ΠΝ, προκειμένου να ανταποκριθεί στις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια των εξεταζόμενων νησιών. Πιθανούς συνδυασμούς των παραπάνω θα εξετασθούν και τελικά όλοι οι συνδυασμοί θα συγκριθούν με βάση τα οικονομικά κριτήρια.

## 1.6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται η εισαγωγή στην έρευνα. Στο πλαίσιο αυτό παρουσιάζονται βασικοί ορισμοί του «πράσινου νησιού» και του υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι συγγραφείς

δικαιολογούν την ανάγκη για έρευνα στην έννοια του ΠΙΝ των μη-διασυνδεδεμένων νήσων στην Ελλάδα, ενώ αναφέρθηκαν σε προηγούμενες προσπάθειες σε εθνικό και διεθνές επίπεδο. Τέλος, η περιοχή και οι στόχοι της έρευνας ορίζονται μαζί με τη μεθοδολογία που υιοθετείται.

Στο δεύτερο κεφάλαιο οι συγγραφείς ορίζουν το θεωρητικό και το πρακτικό πρόβλημα της έρευνας. Στη συνέχεια αναφέρεται στις δύο διαστάσεις (θεωρητική και πρακτική) που είναι τα ερευνητικά ερωτήματα της έρευνας, προσδιορίζοντας έτσι με ακρίβεια το περιεχόμενο της παρούσας μελέτης. Το πρακτικό πρόβλημα αφορά τον καθορισμό των καταλληλότερων λύσεων για το υβριδικό σύστημα ηλεκτροδότησης των εξεταζόμενων νησιών, ενώ το θεωρητικό πρόβλημα επικεντρώνεται στον προσδιορισμό των κριτηρίων αξιολόγησης στο πλαίσιο της οικονομικής βιωσιμότητας και τεχνικής εφικτότητας.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία της έρευνας παρουσιάζεται αναλυτικά. Αναφέρονται οι τρόποι λειτουργίας του υβριδικού συστήματος ΑΠΕ - ΣΑΕ - ΑΕΣ, ο υπολογιστικός αλγόριθμος σαν εργαλείο και το μοντέλο αποτίμησης του κόστους που χρησιμοποιήθηκαν είναι περιγράφεται αναλυτικά. Τέλος τα σενάρια που εξετάστηκαν παρουσιάζονται με αντίστοιχο ορισμό των παραμέτρων τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα κύρια ευρήματα της έρευνας. Όλες οι λύσεις ενεργειακής αυτονομίας σύμφωνα με τα υπό εξέταση σενάρια παρουσιάζονται μαζί με τις παραμέτρους του υπολογιστικού αλγορίθμου που χρησιμοποιείται. Μετά η οικονομική αξιολόγηση της κάθε λύσης αυτονομίας γίνεται προκειμένου να προσδιοριστεί η χαμηλότερου κόστους λύση για κάθε νησί.

## 1.7 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο κεφάλαιο αυτό, ο ορισμός του «πράσινου νησιού» (ΠΝ) δόθηκε, ως ένα νησί που χρησιμοποιεί φιλικούς προς το περιβάλλον τρόπους για να καλύψει τη ζήτηση ενέργειας. Ο καλύτερος τρόπος για να μετατραπεί ένα νησί σε πράσινο σε ό, τι αφορά το σύστημα ηλεκτροδότησής του είναι η αξιοποίηση των υβριδικών ΑΠΕ - ΣΑΕ συστημάτων. Ως δεύτερη επιλογή, οι ενδεχομένως υπάρχουσες εγκαταστάσεις θερμικής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να μειωθεί το κόστος εγκατάστασης. Στην Ελλάδα, η υψηλή ποιότητα αιολικού και ηλιακού δυναμικού των μη διασυνδεδεμένων νησιών, καθώς και η ανάγκη για αύξηση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού τους, ειδικά την περίοδο του καλοκαιριού επιβάλει το «πρασίνισμα» των συστημάτων ηλεκτροδότησης, με τη δημιουργία υβριδικών ΑΠΕ - ΣΑΕ (ΑΕΣ ως εναλλακτική) συστήματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο ορίζεται το θεωρητικό και το πρακτικό πρόβλημα της έρευνας. Το πρακτικό πρόβλημα που αφορά την έννοια των πράσινων νησιών, την εμφάνιση της ιδέας στην Ελλάδα αλλά και τον προσδιορισμό των κατάλληλων πιθανών λύσεων για τα χαρακτηριστικά των τριών νησιών του Αιγαίου. Το θεωρητικό πρόβλημα αφορά την θέσπιση κριτηρίων αξιολόγησης και διαμόρφωσης των υβριδικών ΑΠΕ & ΣΑΕ υπό το πρίσμα της οικονομικής βιωσιμότητας και της τεχνικής εφικτότητας. Τέλος, τα ερωτήματα που αφορούν την διερεύνηση θέτονται με ακρίβεια στο πλαίσιο της έρευνας.

### 2.2 ΤΟ ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

#### 2.2.1 Το περιβαλλοντολογικό πρόβλημα: Η αυξανόμενη ζήτηση των ΠΝ

Η έννοια του πράσινου νησιού είναι μια νέα παγκόσμια τάση που περιγράφει την ένταση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των απομακρυσμένων νησιών με τη χρήση των δικών τους δυνατοτήτων των ΑΠΕ. Μετά την ίδρυση του πρώτου ΠΝ, του Samsø στη Δανία, πολλές χώρες εντός και εκτός της ΕΕ ακολούθησαν τη νέα τάση μεταξύ των οποίων και η Γερμανία με το Pellworm Island, την Αυστραλία με το King Island, η Νορβηγία με το νησί Utsira και την Ισπανία με το El Hierro (Liagou, 2009).

Στην Ελλάδα το πρώτο ΠΝ αποφασίστηκε το 2009 να δημιουργηθεί στον Άγιο Ευστράτιο και το έργο υποτίθεται ότι είναι υπό κατασκευή με το μεγαλύτερο μέρος των έργων να προορίζεται να υλοποιηθεί κατά τη διάρκεια 2012 (Σπυριδάκη, 2011).

Η εναλλακτική λύση της αξιοποίησης του δυναμικού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, προκειμένου να ικανοποιήσει τις ενεργειακές ανάγκες των απομακρυσμένων νησιών, συμβαδίζει με την προσπάθεια της βιώσιμης ανάπτυξης και της προστασίας του περιβάλλοντος. Την ίδια στιγμή τα οφέλη που έχουν επιτευχθεί είναι οικονομικά και κοινωνικά. Η επιλογή προσφέρει δυνατότητες για την αποτελεσματική μείωση της ανεργίας και το ποσοστό μείωσης του πληθυσμού των περιοχών αυτών (Κασελλούρη et al. 2011) και την αύξηση της τοπικής τουριστικής έλξης από τουρίστες που ενδιαφέρονται για τις ΑΠΕ και την προστασία του περιβάλλοντος (Τσαγκαράκης et al. 2011, Μιχάλενα et al. 2009). Ταυτόχρονα, η μείωση ή ακόμη και εξάλειψη της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα μπορεί να προσφέρει, εκτός από τα προφανή περιβαλλοντικά οφέλη και εξοικονόμηση χρημάτων μέσω της μείωσης των εισαγωγών πετρελαίου.

Γι' αυτούς τους λόγους, η έννοια του ΠΝ αυξάνεται σταθερά δημιουργώντας αυξανόμενη ζήτηση για "πράσινη νησιά".

Οι προδιαγραφές του συστήματος ηλεκτροδότησης παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον κατά το σχεδιασμό ενός ΠΝ. Όλες οι δυνατότητες αξιοποίησης των τοπικών δυνατοτήτων των ΑΠΕ, σε συνδυασμό με ένα κατάλληλο ΣΑΕ πρέπει να εξεταστούν προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες της τοπικής κοινωνίας. Οι διάφορες διαμορφώσεις των εγκαταστάσεων ΑΠΕ μπορούν να βασίζονται σε διάφορες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως Α/Γ και Φ/Β, υδροστροβίλων θαλάσσης, υδροστροβίλων θαλάσσης κλπ, ανάλογα με το δυναμικό των ΑΠΕ της εκάστοτε περιοχής. Το ΣΑΕ πρέπει να επιλέγεται σύμφωνα με τη ζήτηση ενέργειας και του φορτίου αιχμής του εξεταζόμενου νησιού με διάφορους τρόπους αποθήκευσης ενέργειας, όπως σφόνδυλοι, μπαταρίες, οι κυψέλες καυσίμου, συστήματα πεπιεσμένου αέρα, υδραυλική αντλία αποθήκευσης κλπ.



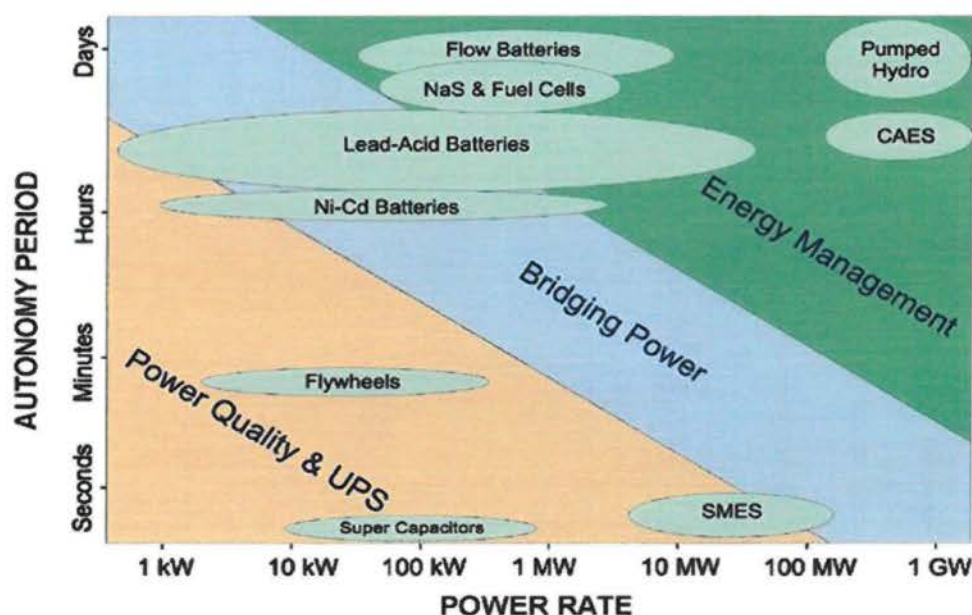
Την ίδια στιγμή η χρησιμοποίηση των υφισταμένων θερμοηλεκτρικών σταθμών όπου υπάρχουν είναι μια επιλογή που μπορεί να εξεταστεί σύμφωνα πάντα με σκοπό την μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και ταυτόχρονα επιτυγχάνοντας ένα λογικό κόστος λειτουργίας. Το επιθυμητό σημείο λειτουργίας για τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς βρίσκεται στην περιοχή της ελάχιστης ειδικής κατανάλωσης καυσίμου, όπου η αποτελεσματικότητα των εγκαταστάσεων μεγιστοποιείται (Καλδέλλης et al. 2009).

Όλες οι παραπάνω παράμετροι θα πρέπει να καθορίζονται κατά το σχεδιασμό ενός ΠΝ. Η σωστή αντιστάθμιση όλων των παραμέτρων θα οδηγήσει σε ένα ισχυρό και αξιόπιστο ηλεκτρικό δίκτυο το οποίο θα έχει την ικανότητα να εγγυηθεί την ηλεκτροδότηση της εξεταζόμενης περιοχής.

### 2.2.2 Το πλαίσιο του προβλήματος: Πιθανές λύσεις για τη μετατροπή σε "πράσινο" το σύστημα ηλεκτροδότησης των τριών νησιών του Αιγαίου, την Κύθνο, τη Σκύρο και την Κάρπαθο.

Οι πιθανές διαμορφώσεις για τη μετατροπή του συστήματος ηλεκτροδότησης των τριών νησιών του Αιγαίου σε «πράσινο» το θα πρέπει να διερευνηθεί. Τα επιλεγμένα νησιά της Κύθνου, της Σκύρου και της Καρπάθου βρίσκονται στο κεντρικό, βορειοδυτικό και νοτιοανατολικό τμήμα του Αιγαίου και αντιπροσωπεύουν τρία διαφορετικά μεγέθη κοινοτήτων. Η Κύθνος έχει ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 8.2GWh και μέγιστη ισχύ 3.00MW και θεωρείται μικρό σε μέγεθος νησί, ενώ η Σκύρος με 16GWh/έτος με μέγιστη ισχύ 4.1MW και την Κάρπαθο με 35 GWh/έτος και μέγιστη ισχύ 8.5 MW, θεωρούνται μεσαίου και μεγάλου μεγέθους νησιά, αντίστοιχα (ΔΕΗ, 2008).

Η επιλογή του κατάλληλου υβριδικού συστήματος ηλεκτροδότησης, θα βασίζεται στις υπάρχουσες δυνατότητες των ερευνώμενων περιοχών. Η μονάδα ΑΠΕ, η οποία είναι το δραστικό συστατικό του υβριδικού συστήματος, θα χρησιμοποιεί αιολική ή ηλιακή ενέργεια, ή και τον συνδυασμό των δύο πηγών ενέργειας, αφού το σύνολο του Αιγαίου είναι περιοχή υψηλού δυναμικού για ΑΠΕ (αιολικού και ηλιακού).



Σχήμα 11: Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας (Πηγή: Καλδέλλης et al 2009)

Η διαμόρφωση του ΣΑΕ του υβριδικού συστήματος μπορεί να βασίζεται σε διάφορες τεχνολογίες, όπως

- Συσσωρευτές (μπαταρίες) μολύβδου οξέος ή Na-S (ζήτησης ισχύος 100KW με 10MW). Οι συσσωρευτές είναι το πιο δημοφιλές σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, και περιλαμβάνει μια ώριμη τεχνολογία με ικανοποιητικά χαρακτηριστικά που έχουν ήδη μερίδιο στην αγορά (Perrin et al. 2005).

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος είναι μια ώριμη τεχνολογία με χαμηλό ρυθμό εκφόρτισης, με αποδεδειγμένη ικανότητα σε κατάσταση αναμονής και χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης. Τα κύρια μειονεκτήματα της τεχνολογίας είναι χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, περιορισμένη περίοδος λειτουργίας, επιτρέπει χαμηλό βάθος εκφόρτισης (60-70%) ενώ προκύπτουν περιβαλλοντικά ζητήματα από την επεξεργασία των υγρών μπαταρίας (Καλδέλλης et al. 2009). Οι συσσωρευτές Na-S εμφανίζουν αυξημένη πυκνότητα ενέργειας σε σύγκριση με τους μολύβδου οξέος, μηδέν φαινόμενο αυτοεκφόρτισης (λόγω της βήτα αλουμίνας που εμφανίζει μηδενική αγωγιμότητα ηλεκτρονίων) υψηλή ενεργειακή απόδοση (μέχρι και 85%), χαμηλό κόστος, ικανοποιητική διάρκεια ζωής, χαμηλές ανάγκες συντήρησης. Το κύριο μειονέκτημα είναι το υψηλό επίπεδο θερμοκρασίας για τη λειτουργία τους που κυμαίνεται στους 320-360°C.

- Κυψέλες καυσίμου (ζήτησης ισχύος 100KW - 10MW)

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία από κυψέλες καυσίμου όπου χρησιμοποιούν διαφορετικά καύσιμα. Ο πιο κοινός τύπος είναι η αλκαλική και οι μεμβράνες ανταλλαγής πρωτονίων που λειτουργούν με καθαρό υδρογόνο.

Μια τυπική κυψέλη καυσίμου υδρογόνου αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια, όπου μεταξύ αυτών βρίσκεται ένας ηλεκτρολύτης. Με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, το υδρογόνο και το οξυγόνο παρέχεται σε κάθε ένα από τα ηλεκτρόδια. Η συσκευή έχει την ικανότητα να παρέχει σε εφαρμογές υψηλής ισχύος ή διαδικασίες απαίτηση ενέργειας για μεγάλη χρονική περίοδο, με μόνο περιορισμό να είναι το μέγεθος της δεξαμενής καυσίμου (που περιέχει υδρογόνο). Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω κυψελών καυσίμου έχει υψηλή απόδοση της τάξης των 70% (Hou et al. 2007).

Βασική προϋπόθεση, προκειμένου να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια με μία κυψέλη καυσίμου, είναι η παραγωγή υδρογόνου η αποθήκευση του. Η πιο συνηθισμένη διαδικασία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου είναι η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης. Η αποθήκευση του υδρογόνου μπορεί να γίνει σε δεξαμενές ως αέριο υπό υψηλή πίεση, σαν ένα υγρό σε χαμηλές θερμοκρασίες (-253°C) ή ακόμη και σαν ένα στερεό υπό χαμηλή πίεση σε υδρίδια (Dufaud et al. 2010). Η αποθήκευση υδρογόνου έχει το πλεονέκτημα του αμελητέου ρυθμού αυτοεκφόρτισης (Chen et al., 2007).

Παρά την υψηλή απόδοση της υποδομής των κυψελών καυσίμου, η συνολική απόδοση της διαδικασίας είναι χαμηλή (30 - 40%) κυρίως λόγω απωλειών που σημειώνονται κατά τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης (Καλδέλλης et al. 2009).

- Συσσωρευτές ροής (ζητούμενη ισχύς 100KW - 10MW)

Η τεχνολογία είναι επίσης γνωστή και ως οξειδοαναγωγική κυψελίδα ροής. Ένας τυπικός συσσωρευτής ροής αποτελείται από μια συστοιχία κυψελών και δύο ηλεκτρολύτες που αποθηκεύονται σε δύο διαφορετικές δεξαμενές. Όταν απαιτείται οι δύο ηλεκτρολύτες επηρεάζονται από την συστοιχία των κυψελών και ο ένας

οξειδώνεται ενώ ο άλλος μειώνεται, με αποτέλεσμα την παραγωγή ρεύματος. Η ενεργειακή χωρητικότητα του συστήματος εξαρτάται από το μέγεθος των δεξαμενών, ενώ η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος εξαρτάται από το μέγεθος των κυψελών (Καλδέλλης et al. 2009).

➤ Συσσωρευτές Li-ion (ζητούμενη ισχύς 100KW - 500KW)

Η συγκεκριμένη τεχνολογία εφαρμόζεται για χαμηλή ζήτηση ενέργειας και έχει αρκετά υψηλό κόστος. Διακρίνεται από την υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και ικανότητα, έχει υψηλή απόδοση (95%), μεγάλη διάρκεια ζωής, υψηλό επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης και χαμηλό ποσοστό αυτοεκφόρτισης.

➤ Αντλιοσταμείωση (ζητούμενη ισχύς 1MW - 100MW)

Το σύστημα αποτελείται από δύο δεξαμενές νερού την άνω και την κάτω. Κατά τις περιόδους αποθήκευσης ενέργειας το νερό αντλείται στην άνω δεξαμενή, κατά τη διάρκεια περιόδων παροχής ενέργειας το νερό πέφτει από την άνω προς την κάτω δεξαμενή διερχόμενο μέσω ενός υδροστροβίλου όπου περιστρέφεται, και αφού είναι συνδεδεμένος με μια γεννήτρια παράγει ηλεκτρισμό που παρέχεται στο δίκτυο. Το όλο σύστημα παρουσιάζει υψηλό ποσοστό ενεργειακής απόδοσης μεταξύ 65-77% (μόνο η απόδοση του υδροστροβίλου μπορεί να φτάσει την ακραία τιμή του 90%) και υψηλό βάθος της εκφόρτισης έως και 95%. Η τεχνολογία είναι κατάλληλη για εφαρμογές υψηλής ζήτησης.

➤ Συστήματα συμπίεσης αέρα (ζητούμενη ισχύς 1MW - 100MW)

Η τεχνολογία αυτή αποτελεί μια παραλλαγή του κύκλου Brayton. Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνολογία το πλεόνασμα της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ή εγκατάσταση χρησιμοποιείται για τη συμπίεση του αέρα σε ένα θάλαμο. Όταν απαιτείται ο πεπιεσμένος αέρας οδηγείται σε ένα θάλαμο καύσης μαζί με το καύσιμο. Τα καυσαέρια οδηγούνται σε μια τουρμπίνα που κινεί μια γεννήτρια παράγοντας έτσι ηλεκτρισμό. Το κύριο μειονέκτημα του συστήματος είναι η ανάγκη του καυσίμου όπου και πάλι είναι πολύ μικρότερο από τις απαιτήσεις του συστήματος ενός τυπικού κύκλου Brayton. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με συμπίεση αέρα είναι κατάλληλο για υψηλές απαιτήσεις, πιο αξιόπιστη επιλογή από την αντλιοσταμείωση.

➤ Σφόνδυλοι (ζητούμενη ισχύς μέχρι 100KW)

Σ' αυτή τη περίπτωση αποθηκεύεται η περίσσεια της ηλεκτρικής ενέργειας ως μετατρέπόμενη σε κινητική ενέργεια με τη βοήθεια ενός περιστρεφόμενου σφονδύλου. Όταν απαιτείται η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και πάλι. Η ικανότητα του συστήματος είναι για χαμηλή ζήτηση ενέργειας, η οποία το καθιστά ακατάλληλο στην περίπτωση της παρούσας έρευνας.

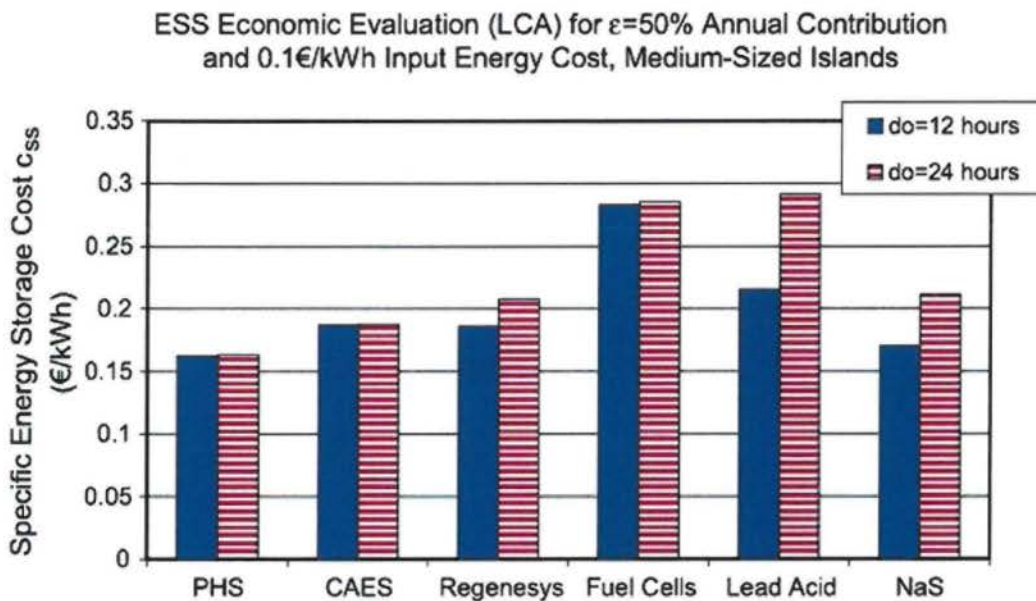
Με την παραπάνω σύντομη περιγραφή μπορεί κανείς να καταλάβει ότι, εκτός από τους σφονδύλους και τους συσσωρευτές Li-ion, υπάρχουν και άλλα συστήματα που είναι κατάλληλα για τα νησιά που εξετάζονται.



**2.2.3 The problem of the interest:** Προσδιορισμός της βέλτιστης διαμόρφωσης υβριδικών ΑΠΕ-ΣΑΕ για κάθε ένα από τα τρία νησιά του Αιγαίου.

Όπως αναφέρθηκε πριν η εγκατάσταση ΑΠΕ των νησιών που εξετάστηκαν πρέπει να βασίζεται σε Α/Γ ή Φ/Β τεχνολογία (ή ακόμα και συνδυασμό τους) αξιοποιώντας έτσι την εξαιρετική ποιότητα του αιολικού και ηλιακού δυναμικού της περιοχής του Αιγαίου. Το αντίστοιχο δυναμικό θα καθορίσει και τη διαμόρφωση κάθε φορά των εγκαταστάσεων ΑΠΕ.

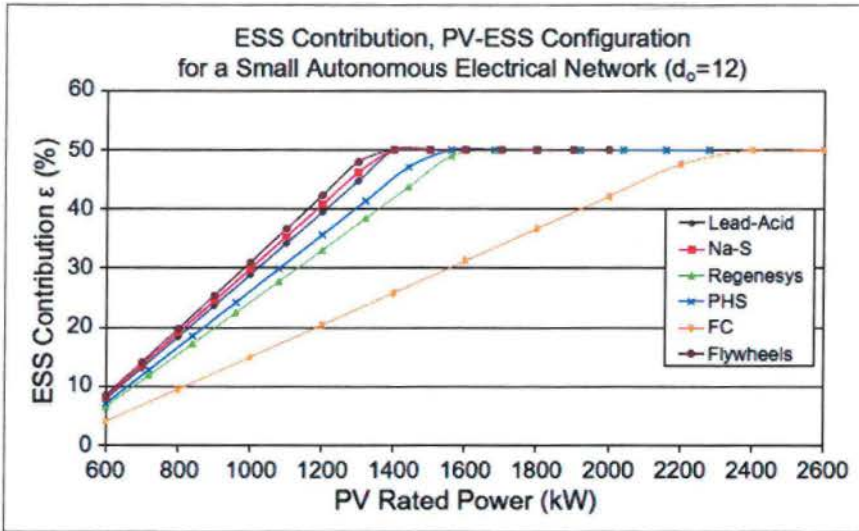
Οι πιο κατάλληλες επιλογές αποθήκευσης ενέργειας για το ΣΑΕ των υπό εξέταση διαφορετικών μεγεθών κοινοτήτων σύμφωνα με προηγούμενη ανάλυση (Καλδέλλης et al. 2009), είναι οι συσσωρευτές μολύβδου-οξέος και Na-S, ή οι κυψέλες καυσίμου, ανάλογα με το επιθυμητό εύρος της αυτονομίας που θα πρέπει να παρέχεται. Από τις παραπάνω τεχνολογίες η χρήση των συσσωρευτών μολύβδου-οξέος και Na-S αποτελούν το αντικείμενο του ενδιαφέροντος της παρούσας έρευνας.



**Σχήμα 12:** Κόστος των διαφόρων ΣΑΕ για μεσαίου μεγέθους νησιά με 50% άμεση συμμετοχή του ΣΑΕ για τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (Πηγή: Καλδέλλης et al 2009)

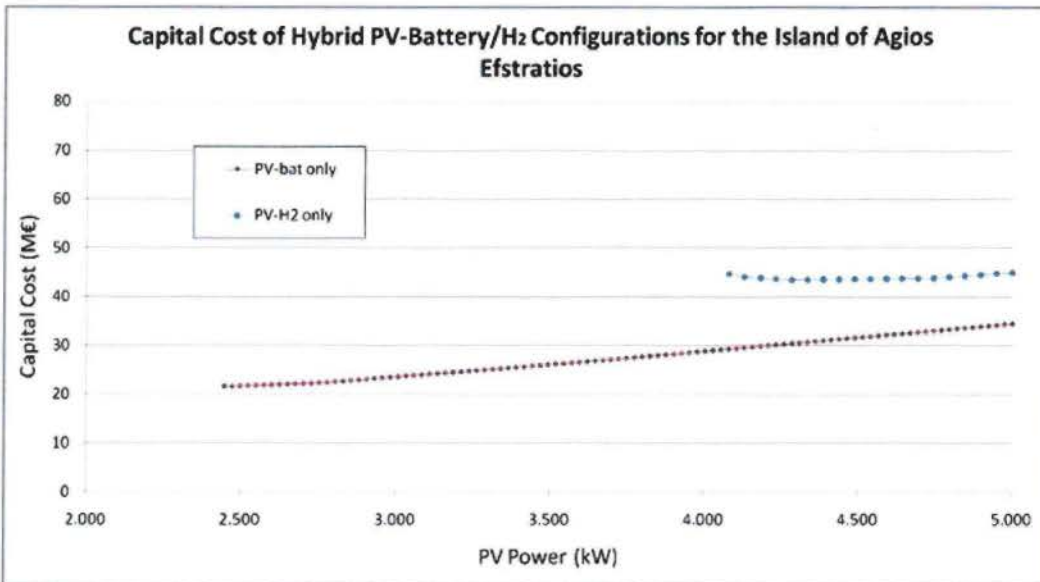
Η επιλογή των κυψελών καυσίμου δεν θα εξεταστεί, δεδομένου ότι οδηγεί σε υπερδιαστασιολόγηση της μονάδα ΑΠΕ, προκειμένου να αντισταθμιστεί η χαμηλή συνολική απόδοση η οποία συμβαίνει λόγω της χαμηλής αποτελεσματικότητας κατά την διαδικασία της ηλεκτρόλυσης.





**Σχήμα 13:** Η συμβολή ΣΑΕ  $\epsilon$  (%) σε σχέση με ονομαστική ισχύ της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης (Πηγή: Καλδέλλης et al 2010)

Είναι σαφές στο παραπάνω σχήμα, ότι με τη χρήση κυψελών καυσίμου (FC), η ονομαστική ισχύς της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης πρέπει να αυξηθεί σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες, προκειμένου να επιτευχθεί η ίδια συνεισφορά του ΣΑΕ στην ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Συν ότι, σύμφωνα με προηγούμενη ανάλυση η μέθοδος έχει αποδειχθεί εξαιρετικά δαπανηρή (Ευθυμιάδης, 2011).



**Σχήμα 14:** Κόστος Κεφαλαίου υβριδικού Φ/Β – Συσσωρευτή/H<sub>2</sub> (Πηγή: Ευθυμιάδης, 2011)

Οι επιλεγμένες τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ταιριάζουν στις ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας των εξεταζόμενων νησιών. Τέλος, η επιλογή της χρήσης των υφιστάμενων ΑΕΣ ως επιβοήθημα εξετάζεται ως δεύτερο σενάριο. Στην περίπτωση αυτή, το κόστος λειτουργίας των θερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής πρέπει να διατηρείται σε ωφέλιμα όρια (Καλδέλλης et al. 2009). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο όταν η λειτουργία του θερμοηλεκτρικού σταθμού ρυθμίζεται ώστε να παραμένουν μέσα στο εύρος της ελάχιστης ειδικής κατανάλωσης καυσίμου.

## 2.3 ΤΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

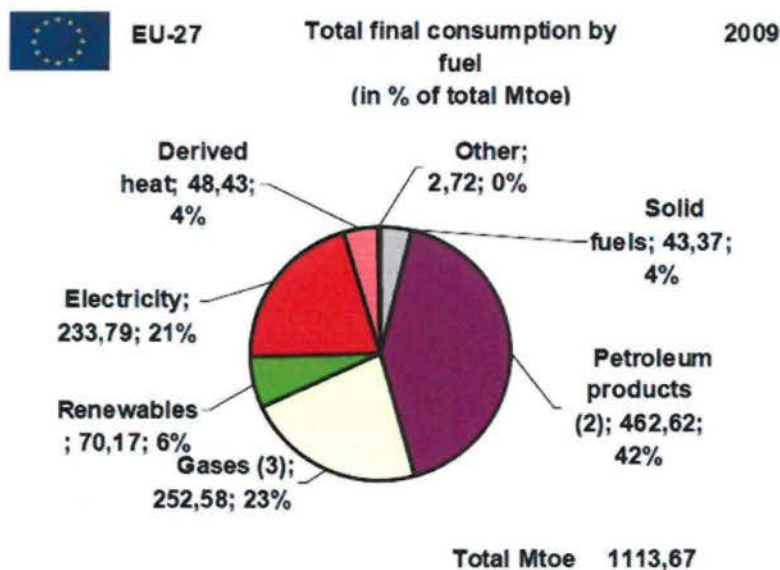
### 2.3.1 Το ζήτημα : *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*

Η συνεισφορά των ΑΠΕ στην προσπάθεια δημιουργίας ενός βιώσιμου μέλλοντος είναι δεν έχει ολοκληρωτικά θεσμοθετηθεί. Η ανθρωπότητα κάνει προσπάθειες εδώ και πολλά χρόνια προς αυτή την κατεύθυνση. Τα πρώτα βήματα αυτής της μακράς διαδρομής έλαβαν μέρος στο Κιότο το 1997, όταν τα Ηνωμένα Έθνη αναγνώρισαν αρχικά την ανάγκη για μείωση των αερίων του θερμοκηπίου (ΑΘ) και συγκεκριμένα των CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub> και των χλωριωμένων υδρογονανθράκων. Αυτή ήταν η πρώτη πράξη μιας παγκόσμιας προσπάθειας για να τεθούν οι βάσεις ενός βιώσιμου μέλλοντος. Παρόλα αυτά ο στόχος δεν είναι εύκολος αφού οι ΗΠΑ δεν έχουν ακόμη αποδεχτεί (UNFCCC, 2012) τους στόχους του πρωτοκόλλου ενώ ο Καναδάς έχει πρόσφατα αποχωρήσει από τη συνθήκη (BBC, 2011).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) προσπαθεί σοβαρά να εφαρμόσει τις υποχρεώσεις που της έχουν ανατεθεί. Οι σαφείς υποδείξεις 2001/77/EC και 2009/28/EC υποχρεώνουν τις χώρες της Ένωσης να επιτύχουν μέχρι το 2020 τις γνωστές και ως επιδιώξεις «20-20-20» οι οποίες περιλαμβάνουν:

- Εξοικονόμηση, σε ποσοστό 20%, της ευρωπαϊκής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας
- Μείωση, κατά 20%, των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και
- Συμμετοχή κατά 20% των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας.

Η ηλεκτρική ενέργεια αντιπροσωπεύει το 21% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας της ΕΕ-27 δηλαδή 234 Μτοε ενέργειας (Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Τιμών Ενέργειας, 2012). Η αρχική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή αυτής της ηλεκτρικής ενέργειας φυσικά είναι ακόμη υψηλότερη. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ συνεισφέρει το 18% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ-27.



**Σχήμα 15:** ΕΕ-27 συνολική τελική κατανάλωση ανά καύσιμο κατά τη διάρκεια του 2009 (Πηγή: Ενεργειακή Πύλη της Ευρώπης, 2012)



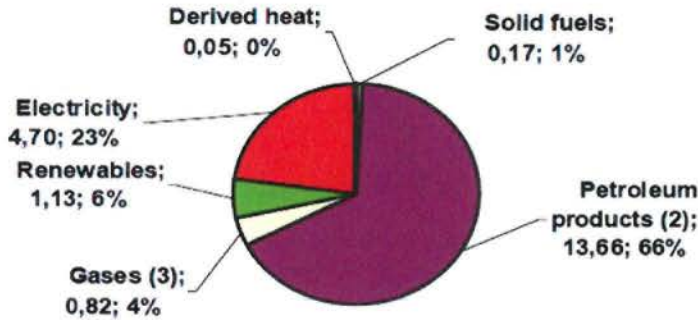
Πιο συγκεκριμένα για την Ελλάδα, τα παραπάνω ποσά είναι 23% (Ενεργειακή Πύλη της Ευρώπης, 2012) ηλεκτρικής ενέργεια στην τελική κατανάλωση ενέργειας και τα 11,5% από ΑΠΕ-Η (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής, 2012) στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Greece

Total final consumption by  
fuel  
(in % of total Mtoe)

2009



Total Mtoe 20,54

**Σχήμα 16:** Συνολική τελική κατανάλωση στην Ελλάδα ανά καύσιμο (Πηγή: Ενεργειακή Πύλη της Ευρώπης, 2012)

Η κυβέρνηση με το νόμο 3851/2010 έχει θέσει ως στόχο το 40% της συνολικής ενεργειακής παραγωγής να αποτελείται από ΑΠΕ-Η μέχρι το 2020.

Αναμφίβολα η εκμετάλλευση των ΑΠΕ μπορούν να συμβάλουν για μια βιώσιμη ανάπτυξη στην χώρα αφού

- Μειώνεται η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα (τα οποία καλύπτουν σήμερα το 77,5% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας)
- Μειώνονται οι εισαγωγές πετρελαίου και φυσικού αερίου
- Μειώνονται τα ΑΘ
- Δημιουργούνται ευκαιρίες για επενδύσεις και ανάπτυξη δημιουργώντας έτσι και θέσεις εργασίας
- Θα παρατηρηθεί αύξηση του τουρισμού της χώρας μας, σύμφωνα με την τελευταία τάση του οικοτουρισμού. Το ενδιαφέρον της κοινωνίας για τις ΑΠΕ και των υβριδικών συστημάτων αυξάνεται συνεχώς. Η δημιουργία αυταρκών νησιών εκτιμάται ότι θα αυξήσει την ελκυστικότητα των τουριστών που ενδιαφέρονται για τα θέματα της ενέργειας (Kelly et al. 2007).

**2.3.2 Η Περιοχή:** *Συστήματα υβριδικών ΑΠΕ για την ηλεκτροδότηση απομακρυσμένων νησιών στην Ελλάδα*

Το πρόβλημα της ηλεκτροδότησης των μη διασυνδεδεμένων νησιών (ΜΔΝ) στην Ελλάδα έχει ήδη παρουσιαστεί. Έτσι, επαναλαμβάνοντας τους λόγους που υπαγορεύουν την ανάπτυξη συστημάτων ΑΠΕ για την ηλεκτροδότηση των νησιών αυτών είναι οι εξής:

#### Τεχνικοί λόγοι:

- Η περιοχή εξυπηρετείται κυρίως από παλιούς ξεπερασμένους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς που περισσότεροι από αυτούς έχουν χαμηλή τεχνική διαθεσιμότητα και μικρή ισχύ.
- Επίσης, η χαμηλή ενεργειακή ασφάλεια της περιοχής κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου οι ακραίες διακυμάνσεις συμβαίνουν λόγω της μαζικής άφιξης τουριστών.
- Χαμηλή αξιοποίηση των θερμικών σταθμών που προκαλεί ένα μέσο ετήσιο συντελεστή φορτίου (LF) της τάξης του 30%.

Οικονομικοί λόγοι: Η υψηλή εξάρτηση από το πετρέλαιο στην περιοχή (υπερβαίνει το 90%) προκαλεί υψηλό λειτουργικό κόστος για τις ΑΕΣ η οποία με τη σειρά της εμφανίζει υψηλή οικονομική ζημία για τη ΔΕΗ.

Κοινωνικοί λόγοι: Το υψηλό επίπεδο ανεργίας της εξεταζόμενης περιοχής που υπερβαίνει το 20%. Η ανάπτυξη εγκαταστάσεων ΑΠΕ-Η εκτιμάται ότι θα δημιουργήσει θέσεις εργασίας και συμβάλει στην ανάπτυξη της περιοχής.

Περιβάλλον: Η υψηλή εξάρτηση από το πετρέλαιο της περιοχής επηρεάζει τις αντίστοιχες περιβαλλοντικές πτυχές.

Η λύση είναι η αξιοποίηση των ΑΠΕ βασίζοντας στο εξαιρετικό δυναμικό που η γεωγραφική θέση των νησιών προσφέρει. Παρά το γεγονός ότι ακόμη και για το σύνολο των αυταρκών ΑΠΕ με βάση την ηλεκτροδότηση της περιοχής, ή για την μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο, η κατασκευή του ΣΑΕ συστημάτων, είναι αναγκαία εξασφαλίζοντας έτσι μέγιστη διείσδυση των ΑΠΕ. Με άλλα λόγια, τα υβριδικά συστήματα ηλεκτροκίνησης με βάση τις ΑΠΕ με αποθήκευση της ενέργειας που παράγουν είναι η κατάλληλη λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

### **2.3.3 Το κενό στη γνώση: Αξιολόγηση υπό το πλαίσιο της τεχνικής σκοπιμότητας και οικονομικής βιωσιμότητας των υβριδικών συστημάτων ΑΠΕ για αυτόνομη ηλεκτροδότηση στα τρία νησιά του Αιγαίου**

Ο σκοπός της έρευνας είναι να καθορίσει τα κριτήρια αξιολόγησης για την αποδοχή τεχνικής και οικονομικής βιωσιμότητας των διαφόρων λύσεων υβριδικών ΑΠΕ. Οι λύσεις που εξετάζονται θα λειτουργούν με παροχή ηλεκτρικού ρεύματος από ΑΠΕ και ΣΑΕ ή ακόμα και από ΑΠΕ-Η, ΣΑΕ και ΑΕΣ. Στην τελευταία επιλογή ο σκοπός είναι να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή μείωση των ΑΕΣ συμβάλλοντας έτσι στην έννοια της δημιουργίας ΠΝ και να μειωθεί η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, ενώ την ίδια στιγμή να επιτευχθεί το ελάχιστο δυνατό κόστος λειτουργίας των ΑΕΣ και του συνόλου της υποδομής.

Οι λύσεις αυτές θα είναι επαρκείς για την ηλεκτροδότηση των τριών νησιών του Αιγαίου, την Κάρπαθο, τη Σκύρο και την Κύθνο. Η επιλογή των περιοχών έγινε με σκοπό να ανήκουν

σε διαφορετικές θέσεις στο Αιγαίο και να αντιπροσωπεύουν τρία διαφορετικά μεγέθη κοινοτήτων. Για το λόγο αυτό η Κάρπαθος θεωρείται μεγάλου μεγέθους, μεσαίου η Σκύρος ενώ η Κύθνος μικρού μεγέθους.

Από την έρευνα θα προκύψουν συμπεράσματα που θα καθορίσουν τα πρότυπα για την αποτελεσματική και οικονομική αξιολόγηση της ανάπτυξης της "Πράσινης έννοιας" των μη διασυνδεδεμένων ελληνικών νησιών. Η σύγκριση των διαφόρων πιθανών σεναρίων ηλεκτροδότησης σε κάθε περιοχή βάσει αυτών των κριτηρίων θα οδηγήσει στην πιο κατάλληλη λύση κάθε φορά.

## 2.4 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Τα ερωτήματα της έρευνας θα πρέπει να γεφυρώσουν το θεωρητικό και το πρακτικό πρόβλημα του θέματος. Έτσι, τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας μελέτης θα είναι:

1. Ποιος είναι ο βέλτιστος συνδυασμός και το μέγεθος των εγκαταστάσεων ΑΠΕ, σε κάθε νησί, υποθέτοντας την πλήρη αυτονομία των κοινοτήτων που βασίζονται μόνο στα υβριδικά συστήματα ΑΠΕ & ΣΑΕ με μηδενική συμβολή των θερμικών μονάδων;
2. Ποιος είναι ο βέλτιστος τύπος και το μέγεθος των ΣΑΕ σε κάθε περίπτωση που αναφέρεται στη μηδενική εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα;
3. Στο σενάριο της μείωσης της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα κρατώντας τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς σε λειτουργία με ελάχιστη συμβολή, ποιο θα είναι το βέλτιστο επίπεδο λειτουργίας της εγκατάστασης προκειμένου να επιτευχθεί ένα αποδοτικό αποτέλεσμα;
4. Αναφερόμενοι στο παραπάνω σενάριο, ποιος είναι ο βέλτιστος συνδυασμός και μέγεθος των εγκαταστάσεων ΑΠΕ;
5. Τέλος, ποίος είναι ο βέλτιστος τύπος και μέγεθος των ΣΑΕ στην περίπτωση της μείωσης εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα;
6. Ποιο από τα δύο σενάρια, με μηδενική ή και μειωμένη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, και τους επικείμενους συνδυασμούς τους είναι το πιο οικονομικά βιώσιμο στην παρούσα περίσταση της οικονομικής κρίσης;

Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος της έρευνας και να οδηγηθούμε σε χρήσιμα συμπεράσματα για την έννοια του πράσινου νησιού στην Ελλάδα θα πρέπει να απαντηθούν όλα τα παραπάνω ερωτήματα.

## 2.5 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο δεύτερο κεφάλαιο το θεωρητικό και πρακτικό πρόβλημα της παρούσας έρευνας αφού παρουσιάστηκαν στη συνέχεια συνδέθηκαν με τις ερωτήσεις της έρευνας. Το θεωρητικό πρόβλημα αφορά την θέσπιση κριτηρίων αξιολόγησης των υβριδικών διαμορφώσεων ΑΠΕ & ΣΑΕ υπό το πρίσμα της οικονομικής βιωσιμότητας, καθώς και της τεχνικής σκοπιμότητας. Το πρακτικό πρόβλημα αφορά τον καθορισμό του πιο κατάλληλου τύπου υβριδικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής για τα εξεταζόμενα νησιά. Με τον τρόπο αυτό ορίστηκαν τα όρια και το πλαίσιο της έρευνας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται η προτεινόμενη μεθοδολογία. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 1, βασίζεται στον αλγόριθμο του WT-PV που αναπτύχθηκε στο ΤΕΙ του Πειραιά. Εδώ παρουσιάζονται όλες οι λεπτομέρειες της λειτουργίας του αλγορίθμου, καθώς και τα απαραίτητα μέτρα που ο ερευνητής πρέπει να ακολουθήσει προκειμένου να ξεκινήσει τους υπολογισμούς. Ακολουθεί η ανάλυση το μοντέλου εκτίμησης του κόστους, το οποίο χρησιμοποιείται προκειμένου να συγκριθούν οι τεχνικά αποδεκτές λύσεις που προκύπτουν από την διαδικασία υπολογισμού. Τέλος, παρουσιάζονται τα βασικά σενάρια που εξετάζονται.

### 3.2 ΠΛΑΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ

Το σχέδιο της ερευνητικής διαδικασίας βασίζεται στα ακόλουθα βήματα,

1. Λεπτομερής εκτίμηση των ηλεκτρικών ενεργειακών αναγκών των εξεταζόμενων νησιών.
2. Προσδιορισμός των εξετασμένων σεναρίων.
3. Εισαγωγή στον αλγόριθμο τις απαραίτητες παραμέτρους για να τρέξει τα επιλεγμένα σενάρια.
4. Εξαγωγή των αποτελεσμάτων και οικονομική αξιολόγηση τους.
5. Σύγκριση όλων των εξαγόμενων και οικονομικά αξιολογημένων λύσεων, και προσδιορισμός της πλέον κατάλληλης σε κάθε περίπτωση λύσης.

Στη συνέχεια αναλύεται το κάθε στάδιο.

#### 3.2.1 Λεπτομερής εκτίμηση των ηλεκτρικών ενεργειακών αναγκών των εξεταζόμενων νησιών

Ο ερευνητής με βάση την ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των υπό εξέταση νησιών (ΔΕΗ, 2008) πρέπει να κάνει τον πρώτο υπολογισμό των απαραίτητων σταθμών Α.Π.Ε.

Αυτό θα βασίζεται,

- για τη μέση ετήσια ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας  $E_{t-h}$  (ίσο με το ωριαίο φορτίο  $N_h$ ), η οποία προκύπτει από την ετήσια κατανάλωση ενέργειας  $E_{t-y}$  διαιρούμενη με τις ώρες του έτους, όπως παρουσιάζεται στην εξίσωση,

$$\frac{E_{t-y}}{\Delta t} = \frac{E_{t-y}}{24 \cdot 366} = \frac{E_{t-y}}{8764} = E_{t-h} \left( \frac{MWh}{h} \right) = N_h (MW)$$

- για τη μέγιστη ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας  $E_{max-h}$  (ίση με το μέγιστο ωριαίο φορτίο "αιχμής"  $N_{max-h}$ ), η οποία προκύπτει από το  $E_{max-m}$  ανώτατο όριο κατανάλωσης μήνα (ο οποίος στην περίπτωσή μας είναι ο Αύγουστος) διαιρούμενο με την διάρκεια της  $\Delta_{im}$ , όπως παρουσιάζεται παρακάτω

$$\frac{E_{max-m}}{\Delta t_m} = \frac{E_{max-m}}{24 \cdot 31} = \frac{E_{max-m}}{744} = E_{max-h} \left( \frac{MWh}{h} \right) = N_{max-h} (MW)$$

### 3.2.2 Προσδιορισμός των εξετασμένων σεναρίων

Τα σενάρια που εξετάζονται για το υβριδικό σύστημα τροφοδοσίας του κάθε ενός από τα τρία νησιά είναι

- A/Γ, 0 MW Φ/B και συσσωρευτή μολύβδου-οξέος
- A/Γ, 1 MW Φ/B και συσσωρευτή μολύβδου-οξέος
- A/Γ, 2 MW Φ/B και συσσωρευτή μολύβδου-οξέος
- A/Γ, 4 MW Φ/B και συσσωρευτή μολύβδου-οξέος
- A/Γ, 8 MW Φ/B και συσσωρευτή μολύβδου-οξέος
- A/Γ, 15 MW Φ/B και συσσωρευτή μολύβδου-οξέος
- A/Γ, 20 MW Φ/B και συσσωρευτή μολύβδου-οξέος
- A/Γ, 0 MW Φ/B και συσσωρευτή Na-S
- A/Γ, 1 MW Φ/B και συσσωρευτή Na-S
- A/Γ, 2 MW Φ/B και συσσωρευτή Na-S
- A/Γ, 4 MW Φ/B και συσσωρευτή Na-S
- A/Γ, 8 MW Φ/B και συσσωρευτή Na-S
- A/Γ, 15 MW Φ/B και συσσωρευτή Na-S
- A/Γ, 20 MW Φ/B και συσσωρευτή Na-S

Κάθε σενάριο θα τρέξει τρεις φορές, μία για κάθε νησί.

Η βέλτιστη από τις ανωτέρω περιπτώσεις από την άποψη της οικονομικής βιωσιμότητας θα συγκριθεί με το εναλλακτικό σενάριο συμπεριλαμβανομένου και του υφιστάμενου ΑΕΣ, προκειμένου να καλύψει το 10%, 20% και 40% των συνολικών αναγκών. Το συνολικό κόστος θα υπολογίζεται για μια περίοδο 25 ετών.

### 3.2.3 Εισαγωγή στον αλγόριθμο των απαραίτητων παραμέτρων για να τρέξει τα επιλεγμένα σενάρια

Πριν από την ανάλυση των απαιτούμενων παραμέτρων που πρέπει να εισαχθούν στον αλγόριθμο είναι αναγκαίο να παρουσιαστούν οι καταστάσεις λειτουργίας του υβριδικού ΑΠΕ - ΣΑΕ, καθώς η λειτουργία του αλγορίθμου βασίζεται στην λειτουργία του συστήματος



### 3.2.3.1 Τρόποι λειτουργίας του υβριδικού συστήματος ΑΠΕ-αποθήκευση Ενέργειας (και ΑΕΣ)

- i. Όταν η ΑΠΕ-Η παραγωγή  $\Sigma E_{RES}$  καλύπτει (ή είναι ίση με) την ηλεκτρική ζήτηση  $E_D$  ( $E_{RES} \geq E_D$ ) η κατανάλωση καλύπτεται άμεσα από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που παράγεται με ένα ποσό  $\Sigma E_{RES}' \leq \Sigma E_{RES}$ . Η περίσσεια της ενέργειας  $\Delta E_{RES} = \Sigma E_{RES} - E_D$  αποθηκεύεται στο ΣΑΕ (μειωμένη κατά το ποσό των απωλειών του ΣΑΕ σύμφωνα με τον βαθμό απόδοσης  $\eta_{\Sigma A E}$  του ΣΑΕ) που περιλαμβάνει ένα ποσό  $E_{\Sigma A E}$ . Αυτά συνοψίζονται στις επόμενες σχέσεις

$$\Sigma E_{RES} \geq E_D$$

$$\Sigma E_{RES}' = E_D$$

$$(\Sigma E_{RES}' \leq \Sigma E_{RES})$$

$$\Delta E_{RES} \cdot \eta_{\Sigma A E} = (\Sigma E_{RES} - E_D) \cdot \eta_{\Sigma A E} = E_{\Sigma A E}$$

- ii. Όταν η ΑΠΕ-Η παραγωγή  $\Sigma E_{RES}$  είναι μικρότερη από τη ζήτηση ηλεκτρικής  $E_D$  ( $\Sigma E_{RES} < E_D$ ) όλη η παραχθείσα από ΑΠΕ-Ε τροφοδοτεί απευθείας τη ζήτηση που καλύπτει ένα μέρος της  $E_D' < E_D$ , ενώ το έλλειμμα  $\Delta E = E_D - \Sigma E_{RES}$  καλύπτεται από την  $E_{\Sigma A E}$  ενέργεια που αποθηκεύεται στην ΣΑΕ. Αυτά μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω εξισώσεις

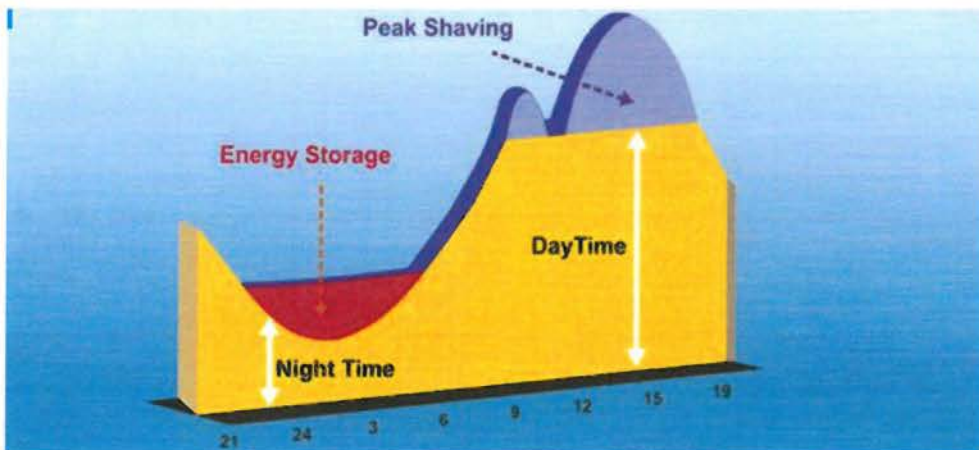
$$\Sigma E_{RES} < E_D$$

$$\Sigma E_{RES} = E_D'$$

$$(E_D' < E_D)$$

$$\Delta E = E_D - \Sigma E_{RES} = E_{\Sigma A E} \cdot \eta_{\Sigma A E}$$

- iii. Εάν το σύστημα περιλαμβάνει ΑΕΣ στην περίπτωση που  $\Sigma E_{RES} < E_D$  και οι συσσωρευτές είναι άδειοι τότε το έλλειμμα  $\Delta E = E_D - \Sigma E_{RES}$  καλύπτεται από τους υφιστάμενους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς που χρησιμοποιούν το διαθέσιμο ποσό καυσίμων  $Mf_{max}$ .



**Σχήμα 17:** Λειτουργία του υβριδικού ΑΠΕ-Η συστήματος (Πηγή: Lahmeyer International, 2011).

### 3.2.3.2 Παρεντιθέμενες Παράμετροι για τον αλγόριθμο WT-PV

Οι τιμές που υπολογίστηκαν παραπάνω (3.2.1) περιλαμβάνουν ένα σημείο αναφοράς για τους υπολογισμούς. Ο ερευνητής μπορεί να διαστασιολογήσει το σύστημα ΑΠΕ ξεκινώντας από αυτά τα ποσά. Για κάθε νησί ο ερευνητής πρέπει να οργανώσει τις ακόλουθες παραμέτρους (εύρος τιμών) για τα συστήματα ΑΠΕ (Φ/Β,Α/Γ), το ΣΑΕ (συσσωρευτές) και το ΑΕΣ (θερμοηλεκτρικούς σταθμούς):

- **Ισχύς αιολικών συστημάτων:** Η ελάχιστη και μέγιστη ονομαστική ισχύς των αιολικών πάρκων,  $N_{in}$ ,  $N_{FIN}$  (Watts), καθώς και το βήμα αύξησης αιολικής ενέργειας  $\delta N$

Στην πραγματικότητα, ο ερευνητής εισάγει τον αριθμό  $x_{min}$ ,  $x_{FIN}$  των τυπικών Α/Γ με ονομαστική ισχύ  $N_W = 50W$  (προεπιλεγμένη ανεμογεννήτρια του αλγορίθμου). Οι αντίστοιχες παράμετροι που προκύπτουν είναι:

$$N_{in} = x_{min} \cdot N_W$$

$$N_{FIN} = x_{FIN} \cdot N_W$$

Το βήμα της αύξησης ισχύος της Α/Γ  $\delta N$  προκύπτει εισάγοντας μια τρίτη παράμετρο, την  $x_{\delta N,w}$  όπως παρακάτω:

$$\delta N = x_{\delta N,w} \cdot N_W$$

- **Φωτοβολταϊκό σύστημα:** Η ελάχιστη και μέγιστη ονομαστική ισχύς Φ/Β  $N_{pvmin}$ ,  $N_{pvFIN}$  (Watt) και το βήμα αύξησης της φωτοβολταϊκής ισχύος  $\delta N_{pv}$ .

Αυτά προκύπτουν από τον καθορισμό του αριθμού  $y_{min}$ ,  $y_{FIN}$  των τυπικών ηλιακών κυψελών της ονομαστικής ισχύος  $N_C=51W$  που ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί, ως εξής

$$N_{pvmin} = y_{min} \cdot N_C$$

$$N_{pvFIN} = y_{min} \cdot N_C$$

$y_{min}$ ,  $y_{FIN}$  τιμές που πρέπει να εισαχθούν στις παραμέτρους του αλγορίθμου.

Το βήμα αύξησης της φωτοβολταϊκής ενέργειας προέρχεται από την παράμετρο  $y_{\delta N,pv}$ , (το οποίο πρέπει να εισαχθεί στον προγραμματισμό του αλγορίθμου), όπως παρακάτω:

$$\delta N_{pv} = y_{\delta N,pv} \cdot N_C$$

Επίσης, για το φωτοβολταϊκό σύστημα εισάγονται και τα επόμενα στον αλγόριθμο

- Αποδοτικότητα  $\eta_{pv}$  του φωτοβολταϊκού συστήματος (%)
- Κλίση γωνίας  $z$  των πάνελ Φ/Β με το οριζόντιο επίπεδο (°)
- Γεωγραφικό πλάτος και μήκος της εξεταζόμενης περιοχής
- Η τάση λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος  $V_{pv}$  (Volts)
- Μέση θερμοκρασιακή διαφορά (°C)
- Θερμοκρασιακή σταθερά

- **Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας:** Για τους συσσωρευτές ο ερευνητής έχει να κανονίσει το εύρος των τιμών μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης χωρητικότητας ενέργειας του συστήματος  $E_{BAT,in}$ ,  $E_{BAT,FIN}$  (WHS), και καθώς το βήμα αύξησης της χωρητικότητας της ενέργειας  $\Delta E_{BAT}$ .

Αυτό θα επιτευχθεί με την εισαγωγή της ελάχιστης και της μέγιστης ηλεκτροχωρητικότητας του συσσωρευτή  $Q_{in}$  και  $Q_{FIN}$  αντίστοιχα (σε Ah), καθώς και το βήμα της αύξησης  $\Delta Q$  χωρητικότητας της μπαταρίας.

Η ενεργειακή χωρητικότητα προκύπτει από την τάση λειτουργίας του συστήματος  $V_{BAT}$  (Volts) όπως παρακάτω:

$$E_{BAT,in} = Q_{in} \cdot V_{BAT}$$

$$E_{BAT,FIN} = Q_{FIN} \cdot V_{BAT}$$

ενώ το βήμα αύξησης της αποθήκευσης ενέργειας του συστήματος δίνεται από την εξίσωση

$$\delta Q = Q_{\delta Q, BAT} \cdot V_{BAT}$$

Επίσης, θα πρέπει να εισαχθούν οι ακόλουθες τιμές:

- Η τάση λειτουργίας του συστήματος  $V_{BAT}$  (Volts)
- Βάθος της εκφόρτισης DOD (%)
- Επιθυμητό βάθος εκφόρτισης  $DOD_{dis}$  (%)
- Αρχικό βάθος εκφόρτισης  $DOD_{in}$  (%)

- **Αυτόνομοι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί:** Τέλος θα πρέπει να εισαχθούν για τους αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τα παρακάτω στοιχεία:

- η ονομαστική ισχύς του συστήματος  $N_{APS}$  (Watts),
- η μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς  $N_{APS,max}$ ,
- ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος  $\eta_{APS}$  (%),
- το συνολικό ποσό πετρελαίου  $Mf_{max}$  (kg) το οποίο θα χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια ολόκληρου του χρόνου καθώς και
- η μέση θερμογόνος δύναμη του καυσίμου  $CV_{fuel}$  (Whs/Kg)

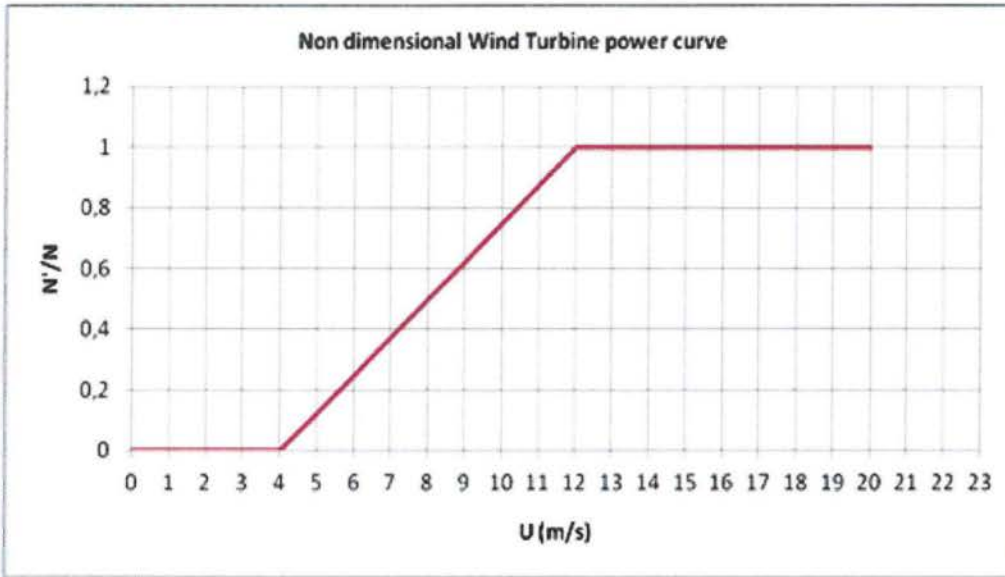
### 3.2.3.3 Υπολογισμός παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ από τον αλγόριθμο WT-PV

Ο τρόπος που υπολογίζεται από τον αλγόριθμο ο παραγόμενος ηλεκτρισμός από ΑΠΕ-Η, από τις ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά πάνελ, είναι ο παρακάτω:



➤ Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ

Η ωριαία παραγωγή ενέργειας ( $\delta t = 1$  ώρα) της ανεμογεννήτριας  $E_{WT-t}$  προκύπτει με τη χρήση της αδιάστατης καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα και την αντίστοιχη ονομαστική ισχύς  $N$  (εισάγεται από το χρήστη).



**Σχήμα 18:** Αδιάστατη καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας (Πηγή: Ο συγγραφέας).

Η ωριαία παραγωγή ενέργειας της Α/Γ είναι

$$E_{WT-t} = \frac{N'_t}{N} \cdot N \cdot \delta t$$

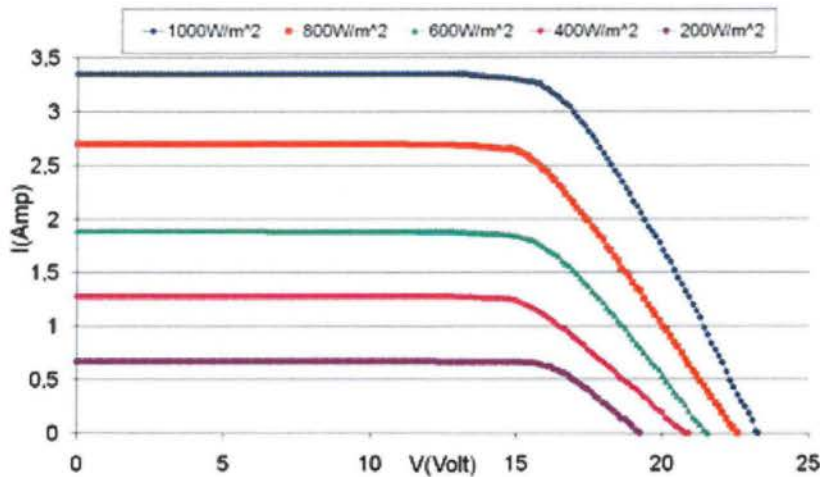
$N$  = η ονομαστική ισχύς του συστήματος όπου εισάγεται από το χρήστη (W)

$N'_t$  = η πραγματική ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας για την ώρα  $t$  ( $0 \leq t \leq 8.784$ ). Η  $N'_t$  εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου.

$\delta t = 1$  ώρα

➤ Παραγωγής ενέργειας από Φ/Β

Η ωριαία παραγωγή ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα  $E_{PV-t}$  προκύπτει από την καμπύλη ρεύματος-τάσης I-V λειτουργίας ενός τυπικού Φ/Β στοιχείου της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.



**Σχήμα 19:** Καμπύλη ρεύματος-τάσης I-V φωτοβολταϊκού πλαισίου (Πηγή: ο συγγραφέας).

Η ωριαία παραγωγή ενέργειας του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι

$$E_{pv-t} = N_{pv,t} \cdot \delta t = A_{pv} \cdot G_t \cdot \eta_{pv} \cdot \delta t = y \cdot A_c \cdot G_t \cdot \eta_{pv} \cdot \delta t$$

$A_c$  = εμβαδόν του Φ/Β στοιχείου ( $m^2$ )

$y$  = ο αριθμός των Φ/Β στοιχείων

$G_t$  = η συνολική ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του Φ/Β στοιχείου την ώρα ( $W/m^2$ )

$\eta_{pv}$  = η απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος

$\delta t$  = 1 ώρα

η απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι

$$\eta_{pv} = \frac{N_{pv}}{A_{pv} \cdot 1000 W/m^2} = \frac{y \cdot N_c}{y \cdot A_c \cdot 1000 W/m^2} = \frac{N_c}{A_c \cdot 1000 W/m^2}$$

$N_{pv}$  = η ονομαστική ισχύς του φωτοβολταϊκού συστήματος (W) που εισάγεται από το χρήστη

$N_c$  = η ονομαστική ισχύς του τυπικού Φ/Β στοιχείου (W)

Τέλος συνδυάζοντας την ανωτέρω εξίσωση προκύπτει

$$E_{pv-t} = y \cdot A_c \cdot G_t \cdot \frac{N_c}{A_c \cdot 1000 W/m^2} \cdot \delta t = \frac{y \cdot G_t \cdot N_c}{1000 W/m^2} \cdot \delta t$$

### 3.2.3.4 Η λειτουργία του αλγόριθμου WT-PV

Όταν όλες οι απαραίτητοι παράμετροι εισαχθούν στο πρόγραμμα, ξεκινά η διαδικασία υπολογισμού. Ο σκοπός του υπολογισμού είναι ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του υβριδικού ΑΠΕ - ΣΑΕ – ΑΕΣ (σε ορισμένες περιπτώσεις), τα οποία σαν αποτέλεσμα μας δίνουν μηδέν ώρες κενού συσσωρευτή. Αυτό σημαίνει ότι το υπό εξέταση υβριδικό σύστημα είναι επαρκές για να καλύψει τη ζήτηση του εξεταζόμενου νησιού. Αυτοί οι συνδυασμοί που δίνουν μηδενικό χρόνο κενού συσσωρευτή θεωρούνται επαρκείς λύσεις.

Η λειτουργία του αλγορίθμου WIND-PV:

- 1) Ο υπολογισμός ξεκινά με τις αρχικές τιμές  $N_{in}$ ,  $N_{pvin}$ ,  $Q_{in}$ ,  $Mf_{max}$  για Α/Γ,Φ/Β, συσσωρευτές και σύστημα θερμοηλεκτρικών κινητήρων αντίστοιχα.

Ο αλγόριθμος σύμφωνα με τις χρονοσειρές της ζήτησης, του αιολικού και του ηλιακού δυναμικού υπολογίζει για όλο το έτος  $\Delta t$  (ξεκινώντας από την πρώτη ώρα του έτους  $t = 1$  έως ότου την τελική ώρα  $t = 8784$ ) τα  $\Sigma E_{RES}$ ,  $E_D$  και το  $E_{ESS}$  που προκύπτουν. Η διαχείριση αυτών των ποσοτήτων ενέργειας γίνεται σύμφωνα με τους τρόπους λειτουργίας του υβριδικού συστήματος, όπως παρουσιάζεται παραπάνω. Αποθηκεύονται πιθανές επαρκείς λύσεις για τις αρχικές τιμές ( $N_{in}$ ,  $N_{pvin}$ ,  $Q_{in}$ ).

Μόνο στην περίπτωση όπου το υβριδικό σύστημα ισχύος περιλαμβάνει θερμοηλεκτρικούς σταθμούς το πρόγραμμα ελέγχει τη δυνατότητα να καλύψει το έλλειμμα της ζήτησης ( $\Sigma E_{RES} < E_D$ ,  $\Delta E = E_D - \Sigma E_{RES}$ ,  $E_{ESS} = 0$ ), χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα ποσότητα καυσίμου.

- 2) Στη συνέχεια, ο αλγόριθμος αυξάνει τη χωρητικότητα του συσσωρευτή κατά  $\delta Q$ , έτσι η νέα χωρητικότητα του συσσωρευτή είναι  $Q = Q_{in} + \delta Q$ . Οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται με τη νέα  $Q$  (και το ίδιο  $N_{in}$ ,  $N_{pvin}$ ) για όλο το έτος και προκύπτουν αντάρκης λύσεις όπου αποθηκεύονται. Το έλλειμμα ενέργειας με  $E_{ESS} = 0$  καλύπτεται από την αξιοποίηση οποιασδήποτε υπάρχουσας ποσότητας καυσίμου (στην περίπτωση όπου περιλαμβάνεται θερμοηλεκτρικός σταθμός).
- 3) Στη συνέχεια η χωρητικότητα της μπαταρίας αυξάνεται και πάλι κατά  $\Delta Q$  και η διαδικασία επαναλαμβάνεται ξανά έως ότου  $Q = Q_{FIN}$ .
- 4) Όταν επεκταθούν όλες οι τιμές χωρητικότητας του συσσωρευτή ( $Q = Q_{FIN}$ ) ο υπολογισμός ξεκινά και πάλι από την  $Q_{in}$  και με την αύξηση της ισχύος των Α/Γ με  $\delta N$ , έτσι η νέα ισχύς της ανεμογεννήτριας θα είναι  $N = N_{in} + \delta N$ . Η φωτοβολταϊκή ισχύς παραμένει η ίδια  $N_{pvin}$ . Για τις νέες τιμές  $N$ ,  $N_{pvin}$ ,  $Q_{in}$  ο υπολογισμός ξεκινά και πάλι με σταδιακή αύξηση της χωρητικότητας της μπαταρίας έως ότου όλες οι τιμές  $Q$  επεκταθούν ( $Q = Q_{FIN}$ ). Αποθηκεύονται οι επαρκείς λύσεις.

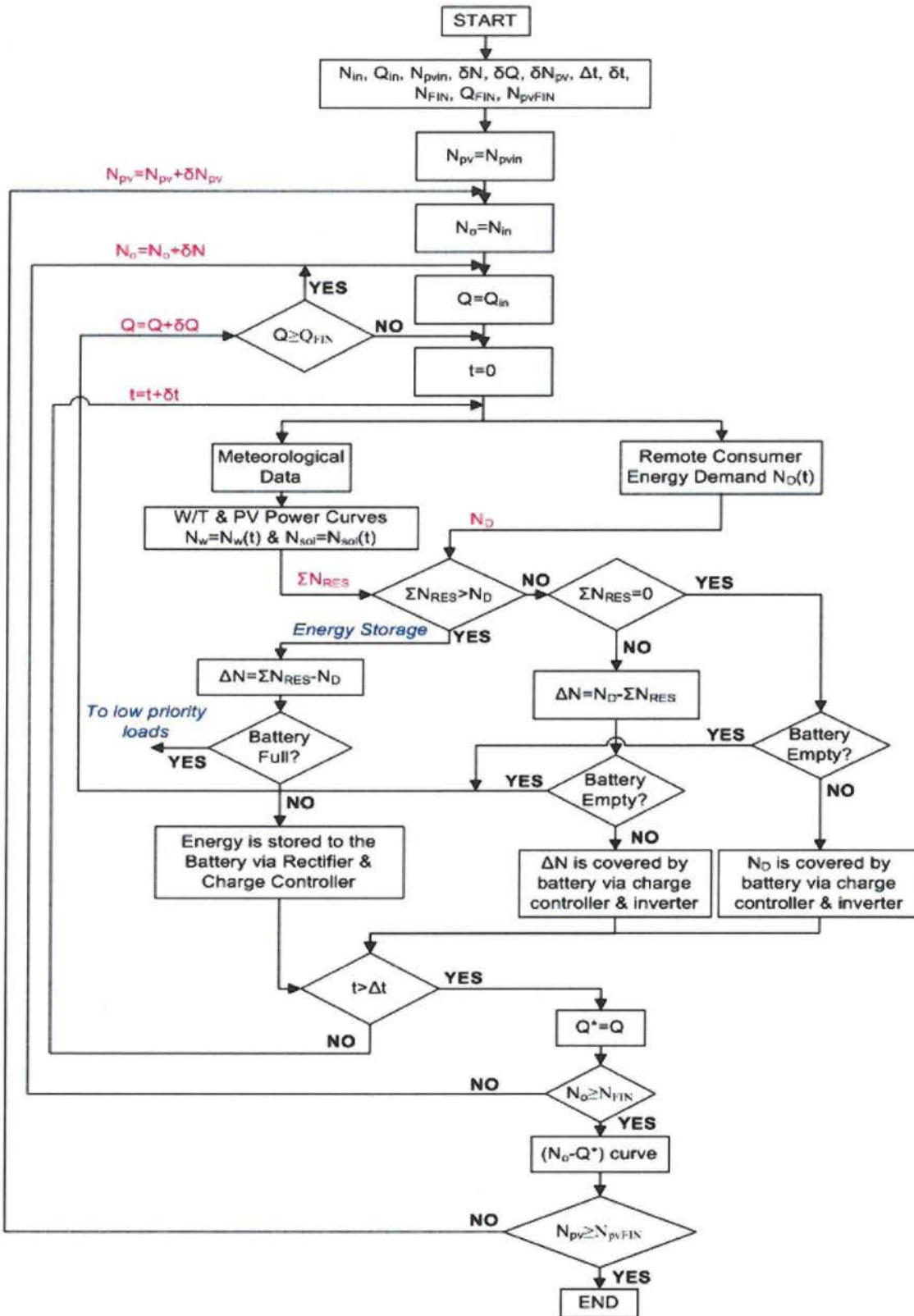


- 5) Στη συνέχεια, ο αλγόριθμος αυξάνει σταδιακά την ισχύ της ανεμογεννήτριας (κατά  $\delta N$ ) μέχρι  $N = N_{FIN}$  και για κάθε τιμή της αιολικής ενέργειας  $WT$  εξετάζονται όλες οι πιθανές τιμές  $Q$ . Αποθηκεύονται οι επαρκείς λύσεις.

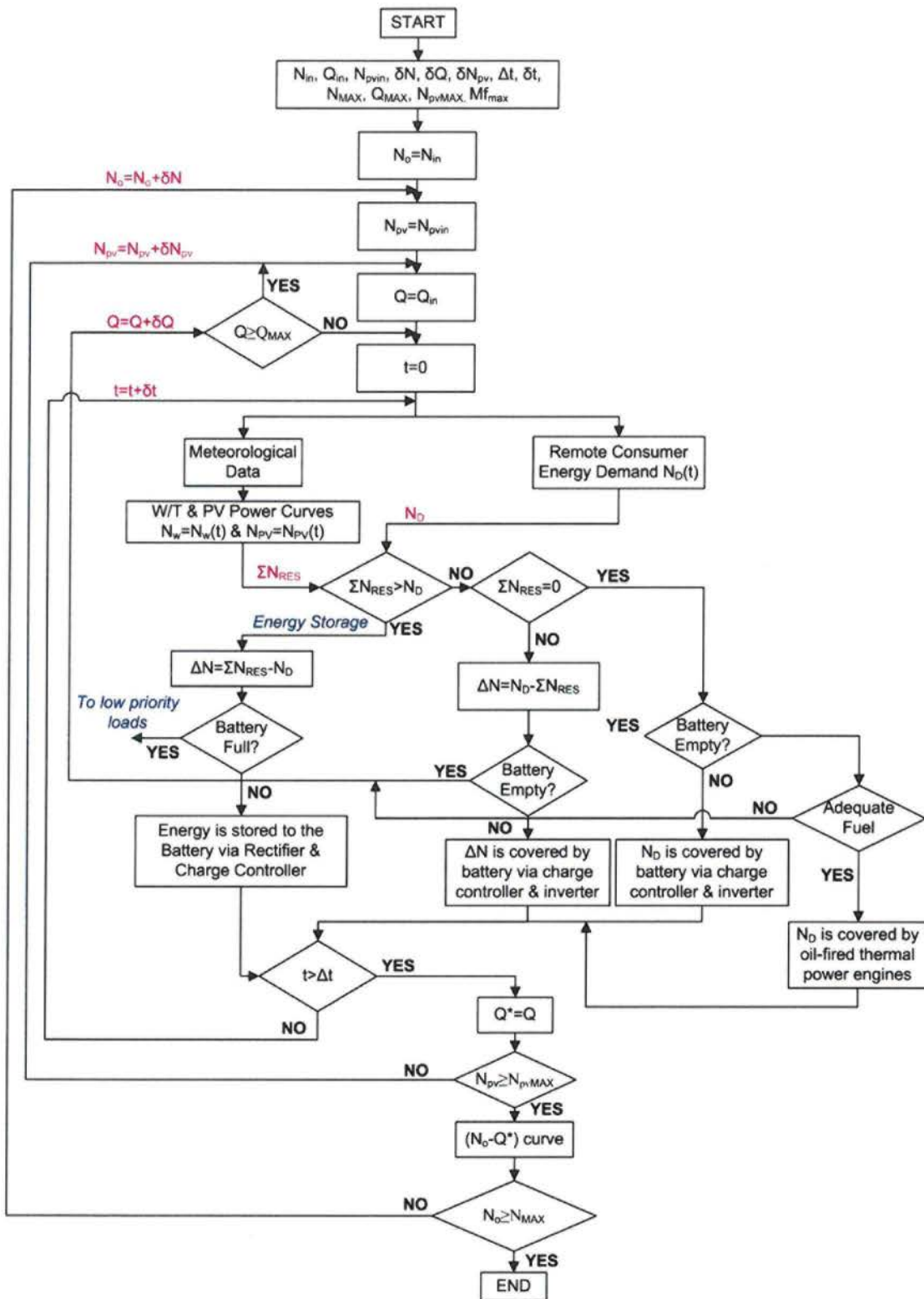
Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τις υπάρχουσες ποσότητες καυσίμου για την κάλυψη τυχόν ελλείμματος της ενέργειας όταν οι συσσωρευτές είναι άδειοι (μόνο αν το υβριδικό σύστημα ισχύος περιλαμβάνει θερμοηλεκτρικούς σταθμούς).

- 6) Όταν  $N = N_{FIN}$ , τότε η  $\Phi/B$  αυξάνεται μέχρι  $N_{PV} = N_{PVFIN}$ . Για κάθε τιμή  $N_{PV}$  εξετάζονται όλες οι τιμές  $Q$  και  $A/\Gamma$ . Αποθηκεύονται όλες οι επαρκείς λύσεις. Και εδώ, χρησιμοποιείται καύσιμο (αν συμπεριλαμβάνονται θερμοηλεκτρικοί σταθμοί) για την κάλυψη πιθανών ελλειμμάτων ενέργειας, όταν το ΣΑΕ είναι άδειο.

Συνοψίζοντας ο αλγόριθμος κάνει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς χωρητικότητας της μπαταρίας, ισχύς  $A/\Gamma$  και  $\Phi/B$  αλλάζοντας πρώτα την χωρητικότητα του συσσωρευτή του συστήματος, δεύτερο βήμα η ισχύς των ανεμογεννητριών και τέλος την ισχύ των φωτοβολταϊκών. Πριν από κάθε αλλαγή των τιμών, ο αλγόριθμος ελέγχει την πιθανότητα της κάλυψης τυχόν ελλείμματος της ενέργειας με τη χρήση του καυσίμου των θερμικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εφόσον αυτός έχει συμπεριληφθεί στον υβριδικό σταθμό παραγωγής ενέργειας. Η λειτουργία του συστήματος παρουσιάζεται στα επόμενα σχήματα.



**Σχήμα 20:** Η διαδικασία υπολογισμού του αλγόριθμου για το υβριδικό σύστημα που αποτελείται από Α/Γ, Φ/Β & συσσωρευτή (Πηγή: Ζαφειράκης et al 2010)



**Σχήμα 21:** Η διαδικασία υπολογισμού του αλγόριθμου για το υβριδικό σύστημα που αποτελείται από Α/Γ, Φ/Β, συσσωρευτή και ΑΕΣ (Πηγή: Ζαφειράκης et al 2010)



### 3.2.4 Εξαγωγή των αποτελεσμάτων και η οικονομική αξιολόγηση

Όταν ο υπολογισμός λήγει ο ερευνητής πρέπει να αξιολογήσει το κόστος της κάθε επαρκούς λύσης του υβριδικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής. Το κόστος αυτό μπορεί να χωριστεί σε τρία μέρη, το κόστος εγκατάστασης, τη συντήρηση και επιδιόρθωση του κόστους λειτουργίας και τη μεταβλητή συντήρηση και το κόστος λειτουργίας.

- Το κόστος εγκατάστασης του συστήματος ICO, περιγράφεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$IC_o = \left[ \left( \frac{a}{b + N^d} + c \right) \cdot N \right] + (\zeta \cdot z \cdot P_r \cdot N_C) + (c_b \cdot Q) + [A + B \cdot (N + N_{PV})] + [f \cdot (C + C_{PV})] \quad \text{To}$$

πρώτο μέρος της εξίσωσης αφορά το σύστημα Α/Γ:

$N$  = η ονομαστική ισχύς (KW)

$a = 8,7 \cdot 10^5$ ,  $b = 621$ ,  $d = 2,05$  συντελεστές που χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση της μειούμενης τιμής της ανεμογεννήτριας καθώς η ισχύς της εγκατάστασης αυξάνει και

$c = 700 \text{ € / kW}$ , το ειδικό κόστος ανά μονάδα ισχύος του συστήματος Α/Γ

Το δεύτερο μέρος της εξίσωσης αφορά το Φ/Β σύστημα:

$z$  = ο αριθμός των Φ/Β στοιχείων

$\zeta = \zeta(z)$  ο συντελεστής που αντιπροσωπεύει την οικονομική κλίμακα σε συνάρτηση με την αύξηση του αριθμού των Φ/Β πάνελ

$P_r = 4.000 - 5.000 \text{ € / kWp}$  το ειδικό κόστος ανά μονάδα ισχύος του Φ/Β συστήματος και

$N_C = 51 \text{ W}$  η ονομαστική ισχύς των Φ/Β στοιχείων.

Το τρίτο τμήμα αντιστοιχεί στο κόστος του συστήματος συσσωρευτών:

$c_b$  είναι το αντίστοιχο ειδικό κόστος των μπαταριών (€ / Ah) (το οποίο εξαρτάται από τη χωρητικότητα της μπαταρίας,  $c_b = 5.0377/Q_{\max}^{0.0784}$ )

Το τέταρτο μέρος της εξίσωσης αντιπροσωπεύει το κόστος του ηλεκτρονικού εξοπλισμού της όλης εγκατάστασης (inverter, ελεγκτή φόρτισης κλπ.).

$A = 2200 \text{ €}$

$B = 380 \text{ € / kW}$

αυτοί οι δύο συντελεστές αφορούν το κόστος του ηλεκτρονικού εξοπλισμού για την Α/Γ και την Φ/Β γεννήτρια όπου

$N$  = η ονομαστική ισχύς της Α/Γ (KW)

$N_{PV}$  = η ονομαστική ισχύς της Φ/Β γεννήτριας (KW)

Το πέμπτο μέρος της εξίσωσης αντιπροσωπεύει όλα τα άλλα στοιχεία του συστήματος (εξαιρείται ηλεκτρονικά), όπως εξισορροπητές κλπ.

$f = 5-15\%$  ο συντελεστής που εκφράζει το κόστος εγκατάστασης (π.χ. κόστος θεμελίωσης, έργων υποδομής, ηλεκτρικού εξοπλισμού-σύνδεσης με το δίκτυο κλπ.) σαν ποσοστό της αξίας της εγκατάστασης.

$$C = \left( \frac{a}{b + N^d} + c \right) \cdot N$$

το κόστος του συστήματος Α/Γ (όπως παρουσιάζεται στο πρώτο μέρος της εξίσωσης)

$$C_{PV} = \zeta \cdot z \cdot P_r \cdot N_c$$

Το κόστος του φωτοβολταϊκού συστήματος (όπως παρουσιάζεται στο δεύτερο μέρος της εξίσωσης).

Εάν το σύστημα περιλαμβάνει θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, το κόστος εγκατάστασης πρέπει να συμπεριληφθεί.

$$IC_{APS} = \phi \cdot N_{APS} \cdot (1 + f)$$

$\phi$  = το κόστος γεννήτριας diesel (€ / kW)

$N_{APS}$  = η ονομαστική ισχύς της γεννήτριας ντίζελ (kW)

- Το συνολικό σταθερό κόστος συντήρησης αντιπροσωπεύει κάθε προγραμματισμένη συντήρηση του συστήματος και μπορεί να εκφράζεται με εξίσωση. Το συνολικό σταθερό κόστος συντήρησης  $FC_n$  μετά από  $n$  χρόνια της ζωής του έργου θα είναι:

$$FC_n = m \cdot IC_o \cdot \left[ \frac{1+g}{1+i} + \left( \frac{1+g}{1+i} \right)^2 + \dots + \left( \frac{1+g}{1+i} \right)^{n-1} + \left( \frac{1+g}{1+i} \right)^n \right] = m \cdot IC_o \cdot (1+g) \cdot (1+i)^n \cdot \frac{1 - \left( \frac{1+g}{1+i} \right)^n}{i-g}$$

$m$  = ο σταθερός συντελεστής κόστους ως ποσοστό του αρχικού κόστους.

$i$  = ποσοστό απόδοσης της επένδυσης  $i$  (%)

$g$  = ο ετήσιος ρυθμός πληθωρισμού (%)

Εάν το σύστημα περιλαμβάνει θερμοηλεκτρικό σταθμό τότε το συνολικό κόστος συντήρησης και λειτουργίας της εγκατάστασης  $FC_{APS, n}$  μετά από  $n$  χρόνια λειτουργίας του θα είναι:

$$FC_{APS, n} = m \cdot IC_{APS} \cdot \left[ \frac{1+g}{1+i} + \left( \frac{1+g}{1+i} \right)^2 + \dots + \left( \frac{1+g}{1+i} \right)^{n-1} + \left( \frac{1+g}{1+i} \right)^n \right] + c_f \cdot Mf_{\max} \cdot \left[ \frac{1+e_f}{1+i} + \left( \frac{1+e_f}{1+i} \right)^2 + \dots + \left( \frac{1+e_f}{1+i} \right)^{n-1} + \left( \frac{1+e_f}{1+i} \right)^n \right]$$

Εδώ συμπεριλαμβάνεται το κόστος των καυσίμων, μαζί με το κόστος συντήρησης και λειτουργίας της γεννήτριας ντίζελ του αυτόνομου σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

$c_f$  = € / kg, η τρέχουσα τιμή των καυσίμων

$e_f$  = ο ετήσιος ρυθμός κλιμάκωσης της τιμής του πετρελαίου

- Τέλος, το συνολικό μεταβλητό κόστος συντήρησης και λειτουργίας της εγκατάστασης  $VC_n$  οφείλεται στην αντικατάσταση καθενός από τα  $k_0$  σημαντικά τμήματα του εξοπλισμού (μπαταρία, μετατροπέας, ρυθμιστής φόρτισης, ντίζελ-ηλεκτρική γεννήτρια κλπ.) των οποίων ο χρόνος ζωής  $n_k$  είναι μικρότερος αυτού της πλήρους εγκατάστασης.

$$VC_n = IC_o \cdot \sum_{k=1}^{k=k_0} r_k \cdot \left\{ \sum_{l=1}^{l=l_k} [(1+g_k) \cdot (1-\rho_k)]^{l-n_k} \cdot (1+i)^{(-l-n_k)} \right\}$$

$r_k$  = ο συντελεστής κόστους αντικατάστασης (%) καθενός από τα  $k_0$  σημαντικά τμήματα του εξοπλισμού εκφρασμένο ως ποσοστό του αρχικού κόστους του έργου

$k$  = ο αριθμός των τμημάτων τα οποία αντικαθίστανται

$l$  = ο αριθμός των αντικαταστάσεων του τμήματος  $k$  καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του έργου.

$g_k$  = ο μέσος ετήσιος ρυθμός (%) αναπροσαρμογής της τιμής του τμήματος  $k$

$i$  = ποσοστό απόδοσης της επένδυσης (%) και

$\rho_k$  = το ετήσιο ποσοστό (%) των πιθανών τεχνολογικών βελτιώσεων του στοιχείου  $k$ .

Συνοψίζοντας, το συνολικό μελλοντικό κόστος της εγκατάστασης μετά από  $n$  χρόνια λειτουργίας θα είναι το άθροισμα των ανωτέρω επιμέρους κοστών:

$$TC_n = IC_o + FC_n + VC_n$$

**3.2.5 Σύγκριση όλων των εξαγομένων και οικονομικά αξιολογημένων λύσεων και προσδιορισμός της πλέον κατάλληλης σε κάθε περίπτωση.**

Αυτό είναι το τελικό στάδιο της διαδικασίας. Όλες οι λύσεις συγκρίνονται και αξιολογούνται για να προσδιοριστεί η πλέον κατάλληλη λύση. Η σύγκριση γίνεται με βάση το συνολικό κόστος  $CT$ , και το κόστος ανά εγκατεστημένο kW (€/kW).

### 3.3 ΣΚΕΨΕΙΣ ΗΘΙΚΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ

Η παρούσα έρευνα δεν θα εκθέσει οποιοδήποτε ανθρώπινο ή άλλο ον σε αδικαιολόγητους κινδύνους, δεν θα προκαλέσει κανένα κίνδυνο στο περιβάλλον, δεν θα χρησιμοποιηθούν δημόσιοι πόροι για τη δημιουργία ιδιωτικού κέρδους και δεν είναι στρατευμένη, προκειμένου να εξαχθούν καθοδηγούμενα αποτελέσματα.

Η έρευνα χρησιμοποιεί χρονικά δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΔΕΗ για τα εξεταζόμενα νησιά, καθώς και το καταγεγραμμένο δυναμικό ΑΠΕ από τις τρεις περιοχές που εξετάστηκαν, και με τη βοήθεια κατάλληλου προγράμματος λογισμικού, που αναπτύχθηκε στο ΤΕΙ Πειραιά, εξάγει πιθανές λύσεις προκειμένου να μετατρέψει το σύστημα ηλεκτροδότησης των περιοχών αυτών σε "πράσινο".

Η έρευνα βασίζεται επίσης σε αξιόπιστες δημοσιεύσεις που διδάσκουν τον προσδιορισμό της μεθοδολογίας και δικαιολογούν το λόγο της έρευνας.

### 3.4 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο η μεθοδολογία της παρούσας έρευνας έχει αναλυθεί λεπτομερώς. Ακριβέστερα, παρουσιάστηκε ο τρόπος λειτουργίας του αλγορίθμου που χρησιμοποιείται, ο οποίος ακολουθεί τον τρόπο λειτουργίας του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος, καθώς επίσης και το μοντέλο κοστολόγησης. Τέλος, έγινε αναφορά στα εξεταζόμενα σενάρια που τέθηκαν υπό εξέταση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



#### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας. Πριν από αυτό θέτονται όλες οι παρεντιθέμενες παράμετροι τόσο του αλγορίθμου όσο και της οικονομικής αξιολόγησης. Τα αποτελέσματα χωρίζονται σε αποτελέσματα ενεργειακής αυτονομίας που περιλαμβάνουν όλες τις πιθανές λύσεις ενεργειακής αυτονομίας για κάθε νησί και σε αποτελέσματα οικονομικής αξιολόγησης που αξιολογούν το αρχικό κόστος της καθεμίας από τις παραπάνω λύσεις. Η λύση με το χαμηλότερο κόστος προτείνεται για κάθε νησί ως η βέλτιστη εφικτή που προσφέρει ενεργειακή αυτονομία.

#### 4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ - ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ

##### 4.2.1 Αποτελέσματα Ενεργειακής Αυτονομίας

Τα υπό έρευνα σενάρια αφορούν ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας που αποτελείται από ανεμογεννήτριες και υποστηρίζεται από φωτοβολταϊκά συστήματα και μπαταρία μολύβδου οξέος ή Na-S για αποθήκευση ενέργειας.

Το εύρος της αιολικής ενέργειας κυμαινόταν μεταξύ 0 και 30 MW για κάθε νησί, ενώ η φωτοβολταϊκή συνεισφορά ισχύος που διερευνήθηκε ήταν 0, 1, 2, 4, 8, 15 και 20 MW. Το ΣΑΕ είχε διαστάσεις από 0 έως 5000MWh για τη Κύθνο, από 0 έως 7000MWh για τη Σκύρο και από 0 έως 10000MWh για Κάρπαθο.

Όλες οι παράμετροι που παρεντίθενται στο WT-PV αλγόριθμο παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα

Ανεμογεννήτριες			
$N_{pv}$ (MW)	0	$X_{min}$	0
$N_{pvFIN}$ (MW)	30	$X_{FIN}$	600000
$\Delta N_{pv}$ (MW)	0,5	$X_{\Delta N,w}$	10000

Φ/Β	Φωτοβολταϊκά					
0 MW	$N_{pv}$ (MW)	0	$\gamma_{min}$	0	Γωνιά κλίσης (°)	60
	$N_{pvFIN}$ (MW)	0	$\gamma_{FIN}$	0		
	$\Delta N_{pv}$ (MW)	0	$\gamma_{\Delta N,pv}$	0	Γεωγραφικά Δεδομένα	
1 MW	$N_{pv}$ (MW)	1	$\gamma_{min}$	19607	Κύθνος	
	$N_{pvFIN}$ (MW)	1	$\gamma_{FIN}$	19607	Γεωγραφικό μήκος	24.25
	$\Delta N_{pv}$ (MW)	0	$\gamma_{\Delta N,pv}$	1	Γεωγραφικό πλάτος	37.23
2 MW	$N_{pv}$ (MW)	2	$\gamma_{min}$	39216	Σκύρος	
	$N_{pvFIN}$ (MW)	2	$\gamma_{FIN}$	39216	Γεωγραφικό μήκος	24.56

	$\delta N_{pv}$ (MW)	0	$\gamma_{\delta N,pv}$	1	Γεωγραφικό πλάτος	37.38
4 MW	$N_{pvmin}$ (MW)	4	$\gamma_{min}$	78432	Κάρπαθος	
	$N_{pvFIN}$ (MW)	4	$\gamma_{FIN}$	78432	Γεωγραφικό μήκος	24.56
	$\delta N_{pv}$ (MW)	0	$\gamma_{\delta N,pv}$	1	Γεωγραφικό πλάτος	38.87
8 MW	$N_{pvmin}$ (MW)	8	$\gamma_{min}$	156863		
	$N_{pvFIN}$ (MW)	8	$\gamma_{FIN}$	156863		
	$\delta N_{pv}$ (MW)	0	$\gamma_{\delta N,pv}$	1		
15 MW	$N_{pvmin}$ (MW)	15	$\gamma_{min}$	294118		
	$N_{pvFIN}$ (MW)	15	$\gamma_{FIN}$	294118		
	$\delta N_{pv}$ (MW)	0	$\gamma_{\delta N,pv}$	1		
20 MW	$N_{pvmin}$ (MW)	20	$\gamma_{min}$	392157		
	$N_{pvFIN}$ (MW)	20	$\gamma_{FIN}$	392157		
	$\delta N_{pv}$ (MW)	0	$\gamma_{\delta N,pv}$	1		

## Θερμοηλεκτρικός Σταθμός

υμμετοχή σε πετρέλαιο	$Mf_{max}$ (Kg)		
	ΚΥΘΝΟΣ	ΣΚΥΡΟΣ	ΚΑΡΠΑΘΟΣ
10%	79444	150211	123916
20%	158888	300421	600842
40%	300631	601262	1202524
$N_{APS}$ (MW)	ΚΥΘΝΟΣ	ΣΚΥΡΟΣ	ΚΑΡΠΑΘΟΣ
	5,375	7,24	16,252
$\eta_{APS}$	25%		
$V_{fuel}$ (MJ/ Kg)	40		

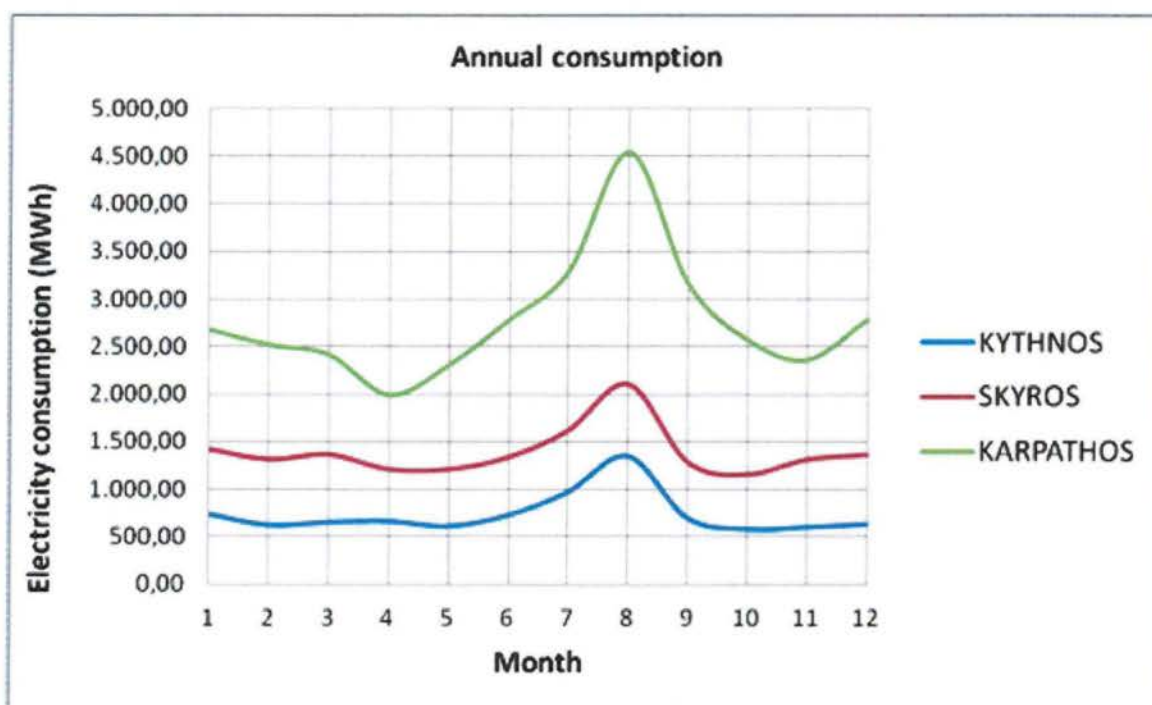
## Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (Συσσωρευτές)

	ΚΥΘΝΟΣ	ΣΚΥΡΟΣ	ΚΑΡΠΑΘΟΣ		Μολύβδου - Οξέος	Na-S
$t_1$ (Ah)	0	0	0	DOD <sub>min</sub> (%)	70	80

FIN (Ah)	53000000	72920000	104170000	DOD <sub>initial</sub> (%)	0	0
δQ <sub>BAT</sub> (Ah)	100000			DOD <sub>desirable</sub> (%)	50	60
oltage (V)	96			Αποδόση η (%)	70	95
ιαT,in (MWh)	0	0	0			
ιαT,FIN (MWh)	5000	7000	10000			
εBAT (MWh)	9.6					

**Πίνακας 1:** Παράμετροι εισόδου στον αλγόριθμο WT-PV (Πηγή: Ο συγγραφέας).

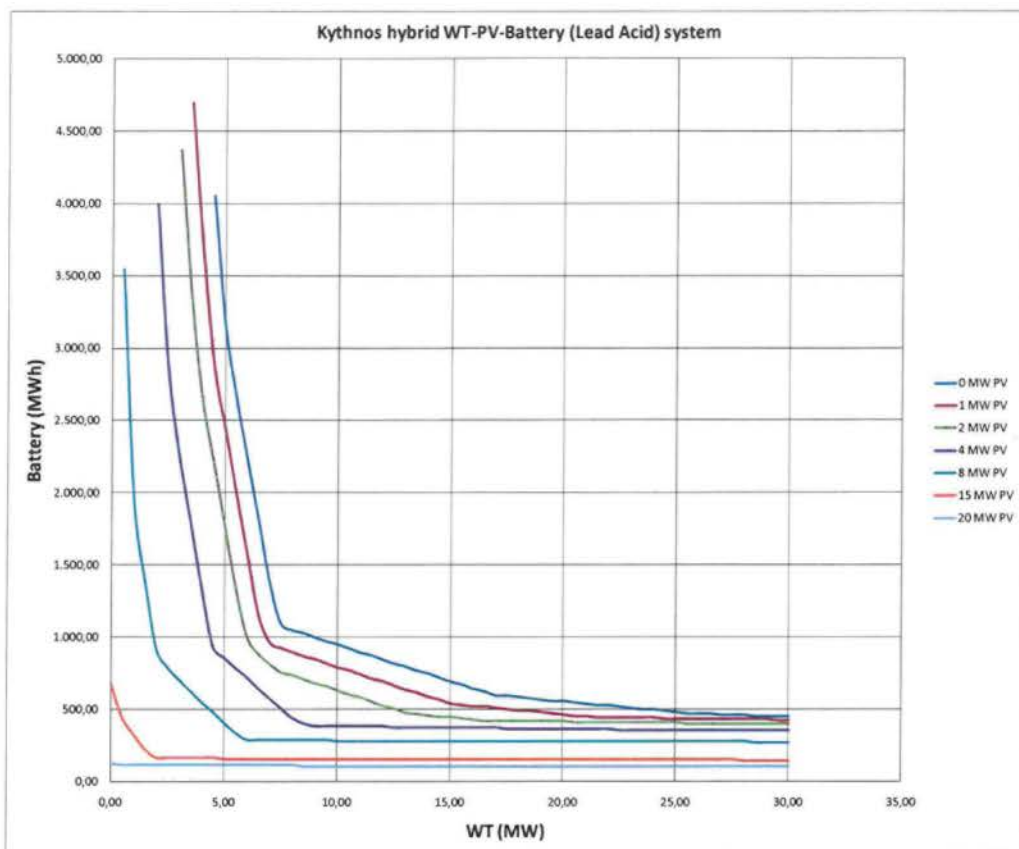
Εισάγονται επίσης, στον αλγόριθμο το προφίλ κατανάλωσης των εξεταζόμενων νησιών, καθώς και το ηλιακό και αιολικό δυναμικό των περιοχών.



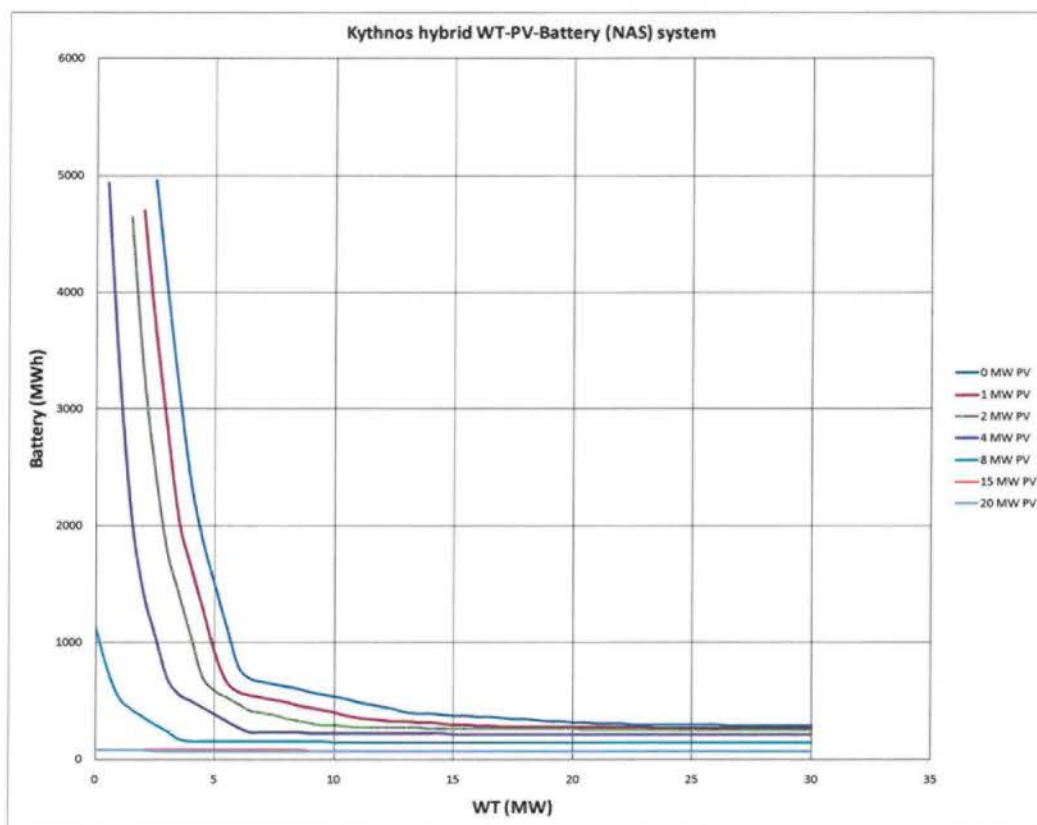
**Σχήμα 22:** Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των υπό έρευνας νησιών (Πηγή: ΔΕΗ, 2008).

Τα αποτελέσματα της έρευνας για ενεργειακή αυτονομία σε κάθε νησί και σύστημα αποθήκευσης ενέργειας παρουσιάζονται στη συνέχεια.

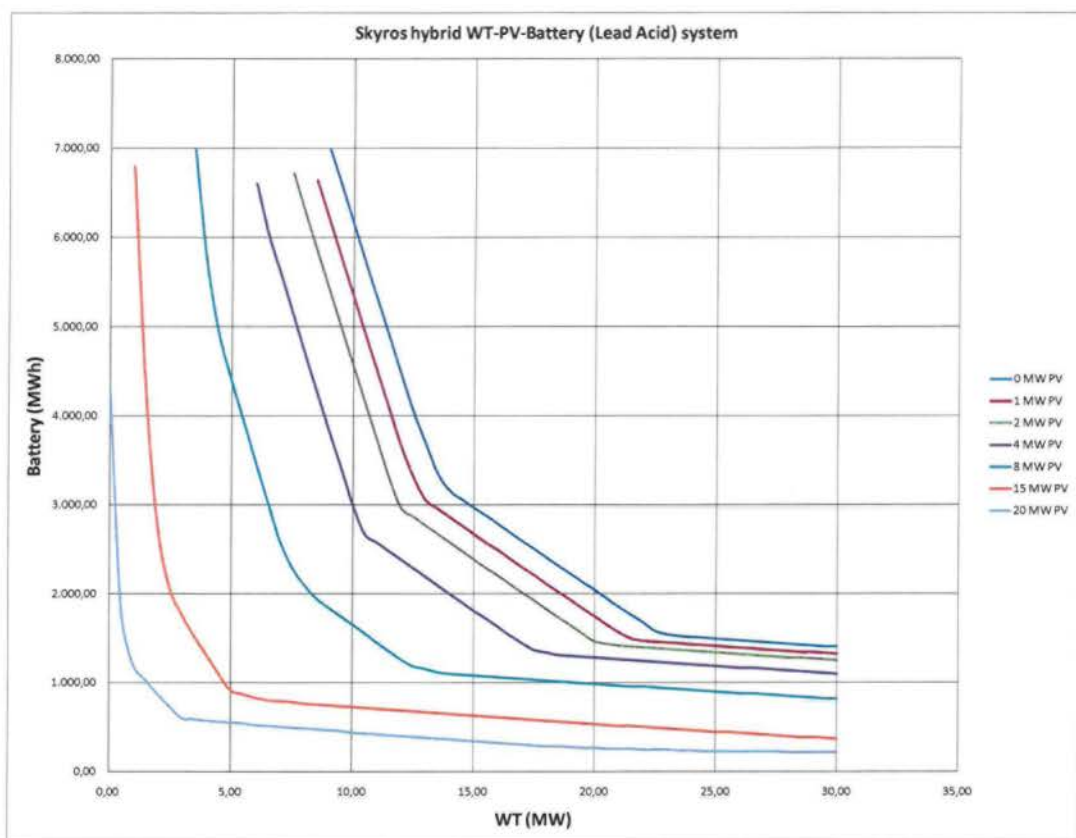




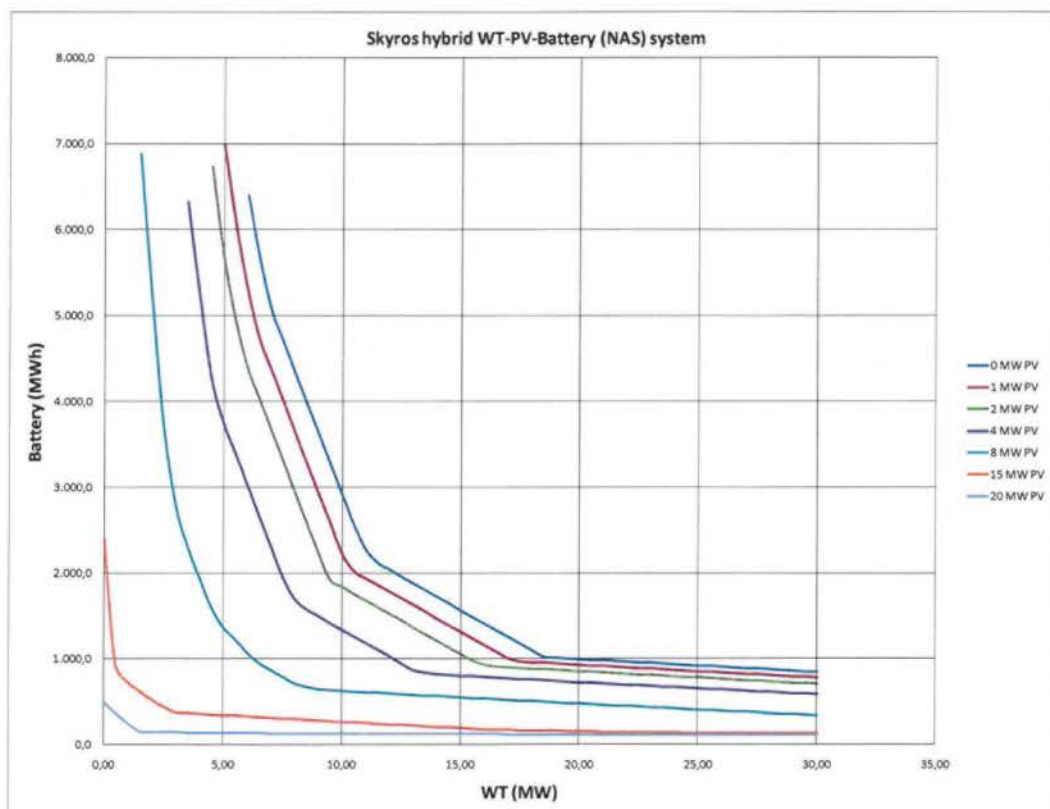
**Σχήμα 23:** Υβριδικό σύστημα WT - PV - Συσσωρευτή (μολύβδου - οξέος) για την Κύθνο (Πηγή: Ο συγγραφέας)



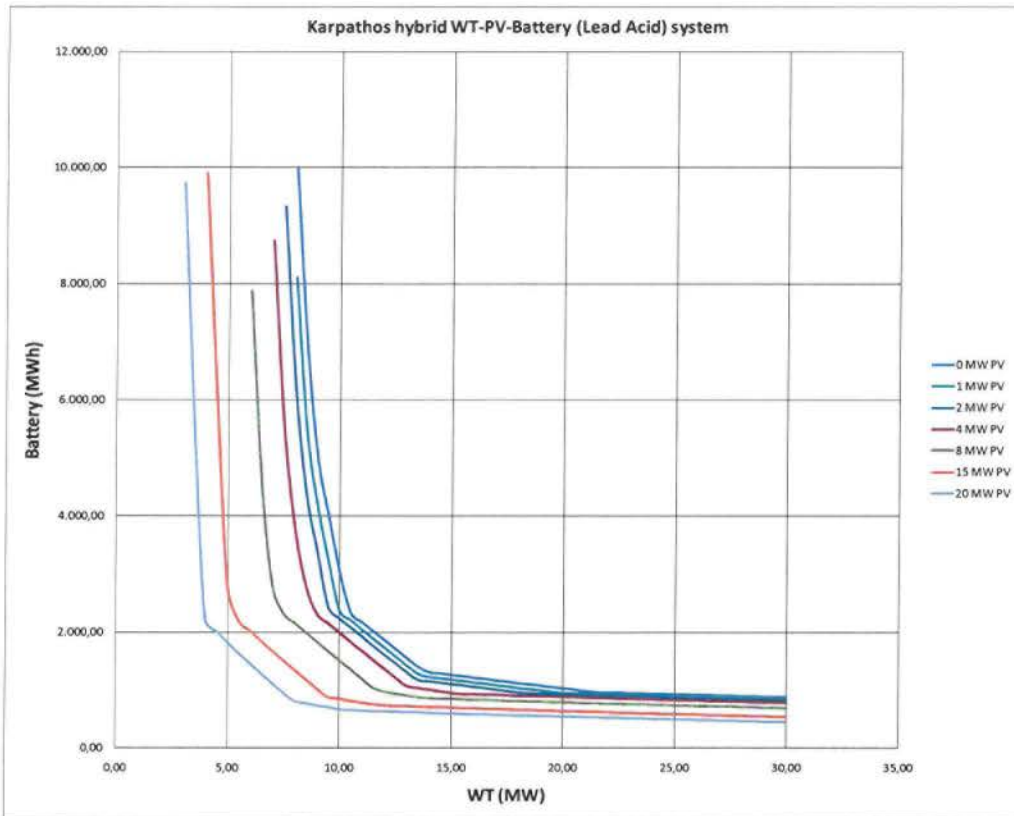
**Σχήμα 24:** Υβριδικό σύστημα WT - PV - Συσσωρευτή (Na-S) για την Κύθνο (Πηγή: Ο συγγραφέας).



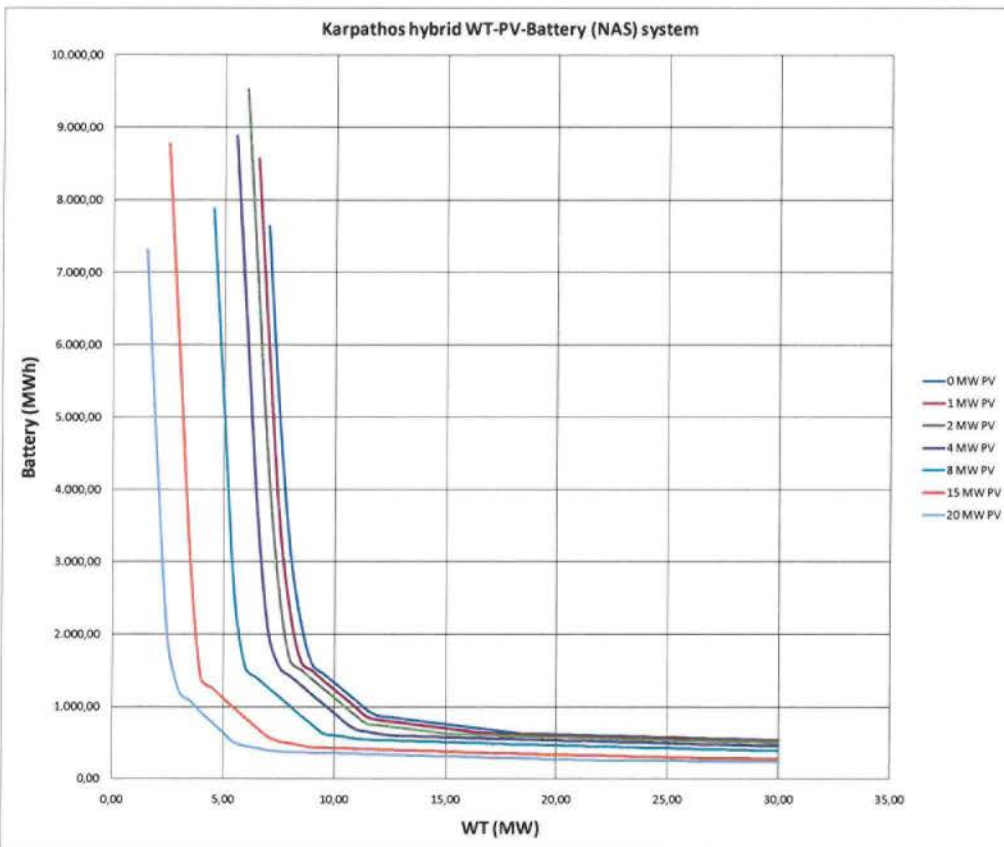
**Σχήμα 25:** Υβριδικό σύστημα WT - PV - Συσσωρευτή (μολύβδου - οξέος) για την Σκύρο (Πηγή: Ο συγγραφέας).



**Σχήμα 26:** Υβριδικό σύστημα WT - PV - Συσσωρευτή (Na-S) για την Σκύρο (Πηγή: Ο συγγραφέας).



Σχήμα 27: Υβριδικό σύστημα WT - PV - Συσσωρευτή (μολύβδου - οξέος) για την Κάρπαθο (Πηγή: Ο συγγραφέας).



Σχήμα 28: Υβριδικό σύστημα WT - PV - Συσσωρευτή (Na-S) για την Κάρπαθο (Πηγή: Ο συγγραφέας).



Όπως ήταν αναμενόμενο σε όλες τις περιπτώσεις, η αύξηση της ισχύος ανεμογεννητριών προκαλεί τη μείωση του μεγέθους του συσσωρευτή. Η μείωση του μεγέθους του συσσωρευτή εξασθενίζει καθώς αυξάνεται η αιολική ενέργεια. Για παράδειγμα η Κύθνος, όταν χρησιμοποιεί συσσωρευτές Μολύβδου - οξέος (Σχήμα 23), η μείωση του μεγέθους του συσσωρευτή εξασθενεί για τιμές αιολικής ισχύς μεγαλύτερης από 7,5 MW, ενώ κατά τη χρήση συσσωρευτών Na-S (Σχήμα 24) η τιμή κινείται σε 6 MW.

Επίσης, όπως μπορεί να δει κανείς στα παραπάνω σχήματα, η αύξηση της φωτοβολταϊκή ισχύς προκαλεί τη μείωση του μεγέθους του συσσωρευτή για την ίδια ισχύη ανεμογεννήτριας και την ίδια τεχνολογία συσσωρευτή (μολύβδου - οξέος ή Na - S) για κάθε νησί. Στις περισσότερες περιπτώσεις (εκτός από την Κάρπαθο) η υψηλή ισχύ των φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορεί να προκαλέσει αυτόκλητη λύση ακόμα και με μηδενικές εισφορές αιολικής ενέργειας. Σε κάθε περίπτωση, με την αύξηση της αιολικής ισχύος το μέγεθος του συσσωρευτή μικραίνει.

Τέλος, ό, τι αφορά την τεχνολογία της μπαταρίας, είναι σαφέστατο ότι η χρήση του συσσωρευτή Na-S οδηγεί σε μείωση του μεγέθους του συσσωρευτή λόγω ότι

- i. Ο υψηλός βαθμός απόδοσης σε φόρτιση και εκφόρτιση που μπορεί να ακουμπήσει και το 95% σε σύγκριση με το 70% του μολύβδου-οξέος και
- ii. Το μεγάλο βάθος εκφόρτισης που μπορεί να φτάσει το 80%, σε σύγκριση με το 70% για συσσωρευτές Μολύβδου

Όλα τα αποτελέσματα, όπως παρουσιάζονται στα σχήματα 23-28 αντιπροσωπεύουν αυτόκλητη λύση που μπορούν να προσφέρουν 100% ΑΠΕ-Η. Η επιλογή της καταλληλότερης λύσης για το κάθε νησί πρέπει να γίνει βασιζόμενη στην οικονομική αξιολόγηση και πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με το συνδυασμό που προσφέρει το χαμηλότερο κόστος κεφαλαίου.

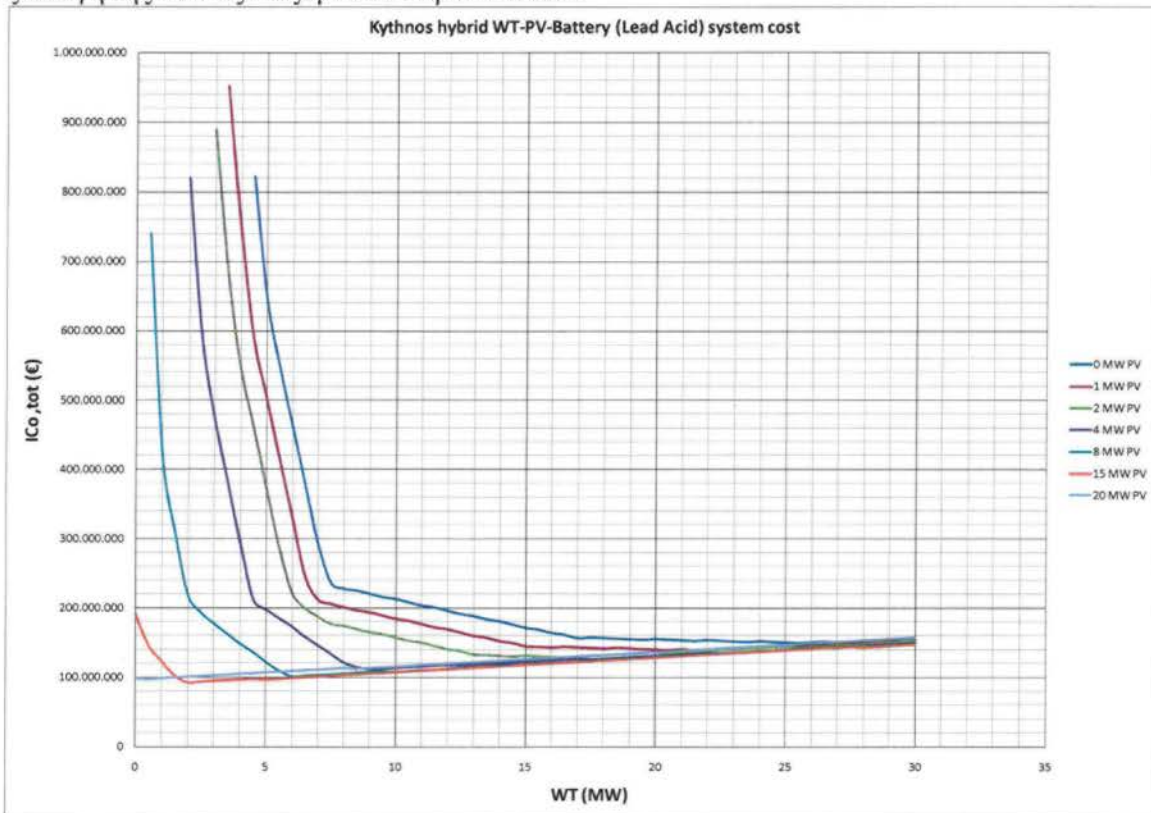
#### 4.2.2 Οικονομική αξιολόγηση

Ερευνάται το κόστος κεφαλαίου των παραπάνω λύσεων. Κάθε συνδυασμός μπορεί να ερμηνευθεί με το κόστος χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες οικονομικές αξίες που αντιπροσωπεύουν τα αντίστοιχα στοιχεία. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα. Το συγκεκριμένο κόστος των ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών συστημάτων αναφέρονται σε € / MW εγκατεστημένης ισχύος των αντίστοιχων συστημάτων, ενώ για το σύστημα των συσσωρευτών το συγκεκριμένο κόστος είναι σε € / MWh της ικανότητας χωρητικότητας ενέργειας και σύμφωνα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται (μολύβδου - οξέος ή Na-S συσσωρευτές). Η τιμή για το μετατροπέα είναι σύμφωνα με την ωριαία κατανάλωση ισχύος στην περίοδο αιχμής όπου συμβαίνει τον Αύγουστο για όλες τις περιπτώσεις. Το συγκεκριμένο κόστος του ρυθμιστή φορτίου και η καλωδίωση αναφέρεται σε MW εγκατεστημένης ισχύος. Τέλος, το ειδικό κόστος του ανορθωτή αναφέρεται σε MW ισχύος ανεμογεννήτριας (αν υπάρχουν) που περιλαμβάνονται στο σύστημα.

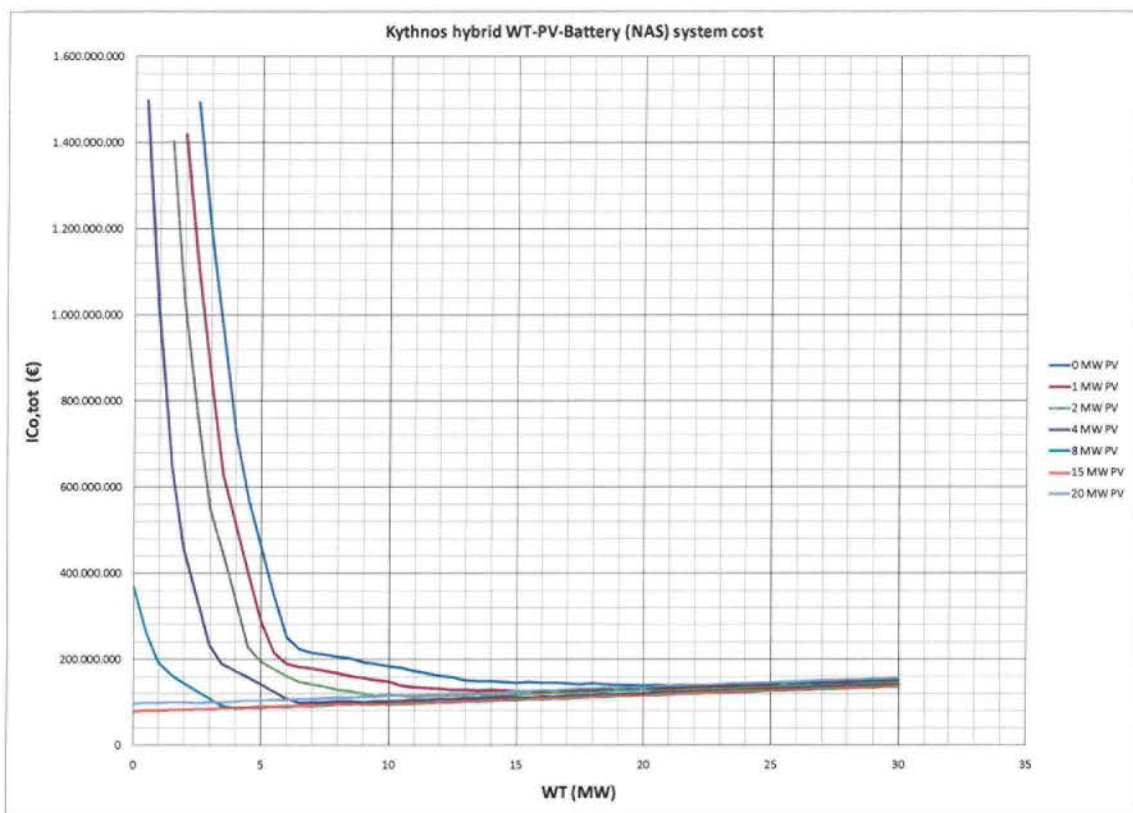
Pr, Ανεμογεννήτριας	1.000.000	euro/MW
Pr, Φωτοβολταϊκό	3.000.000	euro/MW
Pr, Συσσωρευτής (Lead-Acid)	200.000	euro/MWh
Pr, Συσσωρευτής (Na-S)	300.000	euro/MWh
Pr, Μετατροπέας	500.000	euro/MW
Pr, Ρυθμιστής Φορτίου	500.000	euro/MW
Pr, Ανορθωτής	500.000	euro/MW
Pr, Καλώδια	100.000	euro/MW

**Πίνακας 2:** Ειδικό κόστος για τα στοιχεία των υβριδικών ΑΠΕ-Η (Πηγή: Ο συγγραφέας).

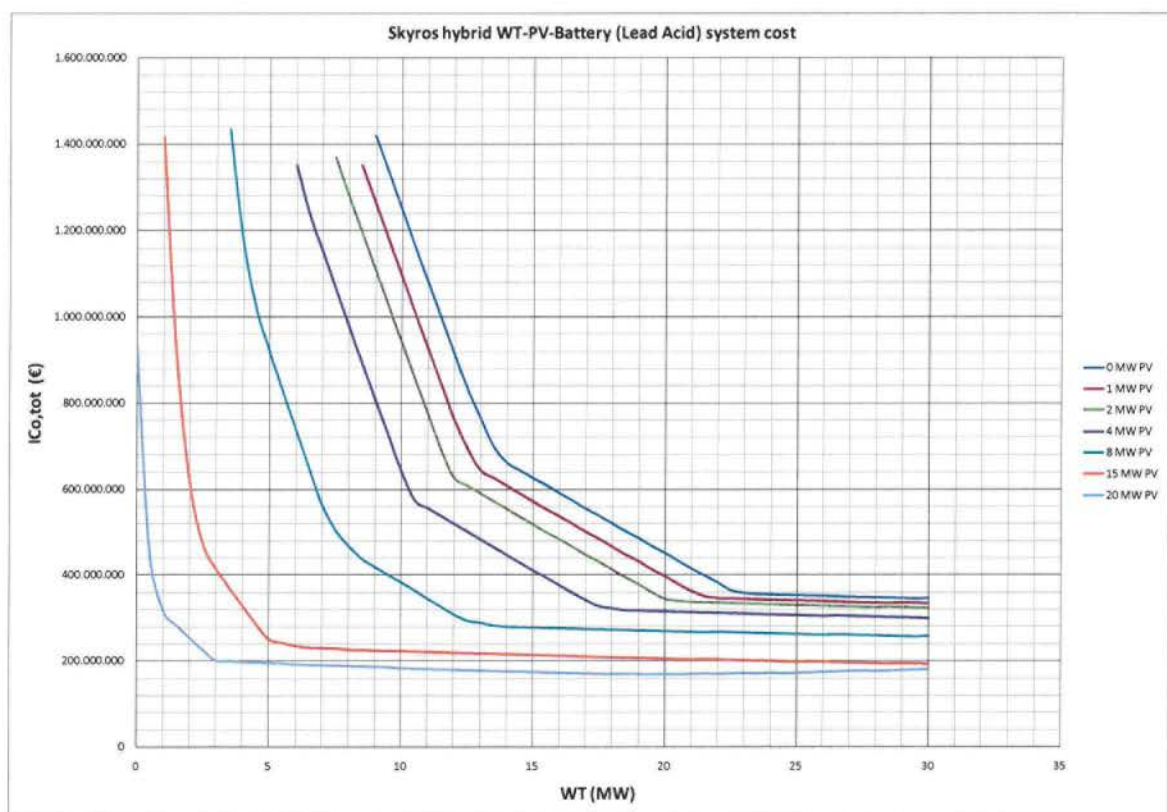
Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται των αποτελέσματα της οικονομικής αξιολόγησης των εξεταζόμενων περιπτώσεων.



**Σχήμα 29:** Κόστος κεφαλαίου του υβριδικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής Α/Γ - Φ/Β - ΣΥΣ (μολύβδου - οξέος) της Κύθνου (Πηγή: Η συγγραφέας).

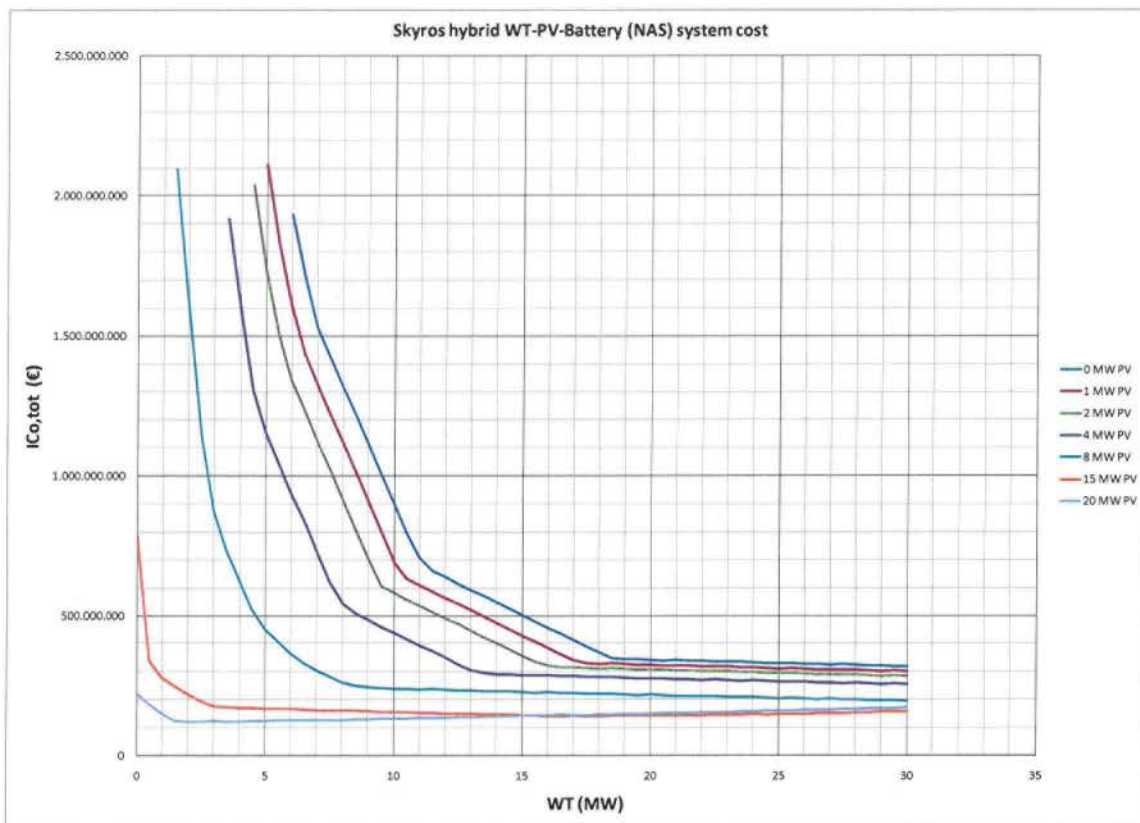


**Σχήμα 30:** Κόστος κεφαλαίου των υβριδικών Α/Γ - Φ/Β - ΣΥΣ (Na-S) του συστήματος ισχύος της Κύθνου (Πηγή: Ο συγγραφέας).

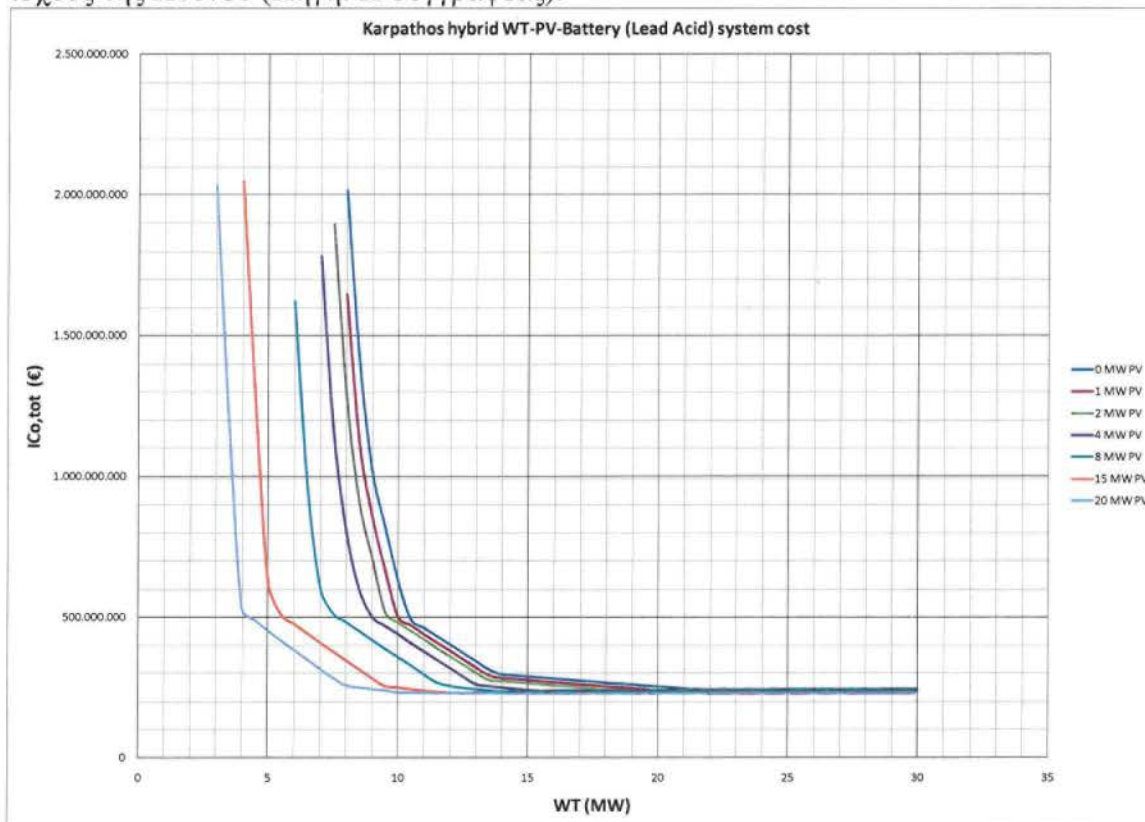


**Σχήμα 31:** Κόστος κεφαλαίου του υβριδικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής Α/Γ - Φ/Β - ΣΥΣ (μολύβδου - οξέος) του συστήματος ισχύος στο νησί της Σκύρου (Πηγή: Ο συγγραφέας).

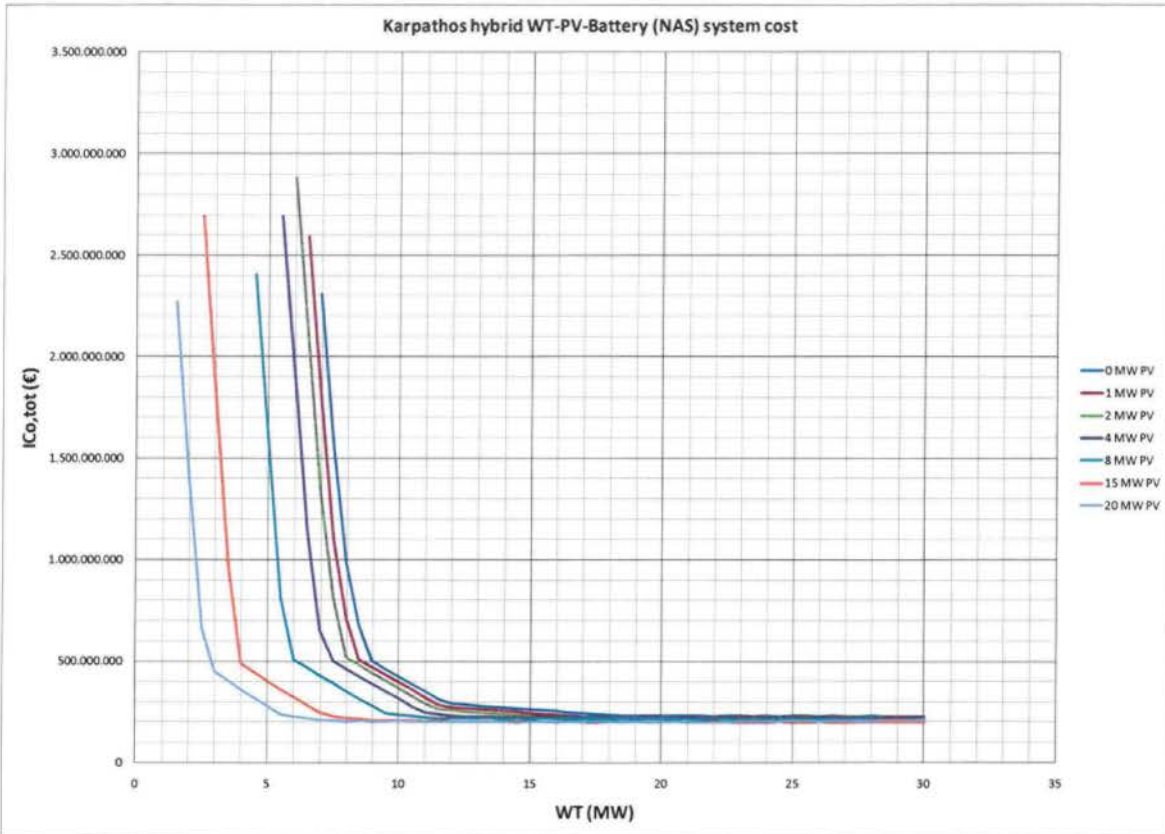




**Σχήμα 32:** Κόστος κεφαλαίου των υβριδικών Α/Γ - Φ/Β - ΣΥΣ (Na-S) του συστήματος ισχύος της Κύθνου (Πηγή: Η συγγραφέας).



**Σχήμα 33:** Κόστος Κεφαλαίου του υβριδικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής Α/Γ - Φ/Β - ΣΥΣ (μολύβδου - οξέος) του συστήματος ισχύος της Καρπάθου (Πηγή: Ο συγγραφέας).



**Σχήμα 34:** Κόστος κεφαλαίου των υβριδικών Α/Γ - Φ/Β - ΣΥΣ (Na-S) του συστήματος ισχύος της Καρπάθου (Πηγή: Ο συγγραφέας).

Τα αποτελέσματα της οικονομικής αξιολόγησης των αυτόνομων ενεργειακά λύσεων έδειξαν τα ακόλουθα:

Για την Κύθνο, η λύση με το ελάχιστο κόστος κεφαλαίου είναι 78,773,952 € το οποίο αντιστοιχεί στην εγκατάσταση των 0MW ισχύος ανεμογεννητριών, 15 MW φωτοβολταϊκής ισχύος και 76,8 MWh Na-S Σύστημα συσσωρευτή. Όταν χρησιμοποιείτε συσσωρευτή μολύβδου-οξέος το ελάχιστο κόστος κεφαλαίου εκτινάσσεται σε 92.573.952 €, ως αποτέλεσμα της απαιτούμενης μεγαλύτερης χωρητικότητας του συσσωρευτή (163.20 MWh) και 2 MW ισχύος ανεμογεννητριών. Η πρόσθετη ικανότητα χωρητικότητας που απαιτείται είναι αποτέλεσμα της χαμηλότερης απόδοσης και το βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών μολύβδου – οξέος.

Για την Σκύρο, η λύση με το ελάχιστο κόστος κεφαλαίου είναι 121,520,000 € η οποία έρχεται ως αποτέλεσμα της εγκατάστασης της ισχύος 2 MW αιολικής ισχύος, 20 MW από φωτοβολταϊκά και 144 MWh από Na-S συσσωρευτές. Το ελάχιστο κόστος του κεφαλαίου αυξάνεται και πάλι κατά τη χρήση συσσωρευτών Μολύβδου-οξέος λόγω της αύξησης του απαιτούμενου μεγέθους της μπαταρίας, για λόγους που αναλύθηκαν πριν. Στην περίπτωση αυτή το ελάχιστο κόστος κεφαλαίου γίνεται 166,910,000 € που αντιστοιχεί στην εγκατάσταση των 19,50 MW αιολικής ισχύος, 20 MW φωτοβολταϊκής ισχύος και της 259.20 MWh συσσωρευτή μολύβδου-οξέος.

Τέλος, για την Κάρπαθο το ελάχιστο κόστος κεφαλαίου εμφανίζεται και πάλι για συσσωρευτές Na-S και είναι 197,590,000 € και αντιστοιχεί στην εγκατάσταση των αιολικών πάρκων 22 MW, 20 MW από φωτοβολταϊκά και 249.60 MWh των συσσωρευτών. Η εναλλακτική λύση της χρησιμοποίησης συσσωρευτών Μολύβδου-οξέος αυξάνει την απαιτούμενη χωρητικότητα της μπαταρίας σε 585.60 MWh, και το κόστος κεφαλαίου σε 227,230,000 €. Στην περίπτωση αυτή, η απαιτούμενη ισχύς του ανέμου είναι 16 MW.

Από τα παραπάνω μπορούμε να καταλάβουμε ότι η χρήση που προτείνεται είναι των συσσωρευτών Na-S. Η υψηλή απόδοση αυτής της τεχνολογίας προκαλεί τη μείωση του μεγέθους του συσσωρευτή το οποίο είναι και ο κύριος συντελεστής για το κόστος κεφαλαίου της εγκατάστασης.

Για να συγκρίνουμε το κόστος του κεφαλαίου που απαιτείται για όλα τα νησιά, υπολογίζουμε το κόστος ανά παραγόμενη ενέργεια, σε € / KWh. Η παραγωγή ενέργειας προκύπτει από τα ετήσια στοιχεία για την κατανάλωση των εξεταζόμενων νησιών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η Κάρπαθος έχει το χαμηλότερο κόστος 5.92 € / KWh σε σύγκριση με 7,28 € / KWh για τη Σκύρο και 8.92 € / KWh για Κύθνο. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με το κόστος κεφαλαίου του κάθε νησιού που υπολογίστηκαν πριν και δείχνει ότι η μαζική παραγωγή ενέργειας είναι πιο οικονομικά αποδοτική από χαμηλότερη παραγωγή ενέργειας.

### 4.3 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ερευνών. Τα αποτελέσματα δείχνουν σαφώς ότι η χρήση των συσσωρευτών Na-S προτείνεται λόγω της υψηλότερης απόδοσης σε σχέση με τους συσσωρευτές Μολύβδου - οξέος. Αυτό συμβαίνει διότι απαιτείται μικρότερη χωρητικότητα της μπαταρίας όπου παράλληλα μειώνεται το κόστος της εγκατάστασης σημαντικά. Τέλος, η μαζική παραγωγή ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα το χαμηλότερο κόστος όταν ο € / kWh κόστος διερευνάτε. Έτσι, το υψηλό κόστος λόγω της εγκατάστασης των συστημάτων υψηλής ενέργειας μπορεί να αποζημιωθεί όταν συνοδεύεται με μαζική παραγωγή ενέργειας.



## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Argyropoulos D. 2011. Strategic study of environmental assessment of the program Ai-Stratis Green Island. *Description of the program*. Centre of Renewable Energy Sources. pp. 1-3.
- BBC. 2011. *Canada to withdraw from Kyoto Protocol* [online]. Available at <<http://www.bbc.co.uk/news/world-us-canada-16151310>> [Accessed on 18 February 2012].
- Chen, F., Duic, N., Manuel Alves, L., Da Graça Carvalho, M. (2007). Renewislands-Renewable energy solutions for islands. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **11**, pp.1888-1902.
- Dufaud O. , Traoré M. , Perrin L. , Chazelet S. & Thomas D. 2010. Experimental investigation and modelling of aluminium dusts explosions in the 20 L sphere , *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **23** (2), pp. 226-236.
- Efthymiadis Simos, 2011. *A Comparison of Energy Storage Technologies for Stand-Alone Hybrid Systems*. MSc in Energy Heriot-Watt University. pp. 42-54.
- Europe's Energy Portal. 2012. *Greece* [online]. Available at <[http://www.energy.eu/country\\_overview/Greece\\_2011.pdf](http://www.energy.eu/country_overview/Greece_2011.pdf)> [Accessed on 18 February 2012].
- Google, n.d. *Google maps* [online]. Available at <<http://maps.google.com/maps?ll=38.570558,25.414167&z=6&t=h&hl=el>> [Accessed on 28 October 2011].
- HOMER ENERGY 2012. *software* [online]. Available at <<http://homerenergy.com/software.html>> [Accessed on 5 January 2012].
- Hou Y. , Zhuang M. , Wan G. 2007. *The analysis for the efficiency properties of the fuel cell engine*. *Renewable Energy* **32** (7). pp. 1175-1186.
- [HTSO] Hellenic Transmission System Operator 2012. *Monthly Energy Balance* [online]. Available at <<http://www.desmie.gr/en/operations-data/settlement/monthly-energy-balance/>> [Accessed on 3 January 2012].
- Kaldellis J.K., Zafirakis, D., 2007. *Present situation and future prospects of electricity generation in Aegean Archipelago islands*. *Energy Policy*. **35**, pp.4623-4639.
- Kaldellis J.K. , Zafirakis D. , Kavadias K. 2009. *Techno-economic comparison of energy storage systems for island autonomous electrical networks*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **13** (2). pp. 378-392
- Kaldellis J.K. , Zafirakis D. , Kondili E. 2010. *Optimum sizing of photovoltaic-energy storage systems for autonomous small islands*. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* **32** (1). pp. 24-36.
- Kambezidis H., Kasselouri B. , Konidari P. 2011. *Evaluating policy options for increasing the RES-E penetration in Greece*. *Energy Policy*. **39** (9), pp. 5388-5398.

Karpathos, 2012. *Map of the island of Karpathos* [online in Italian]. Available at < <http://www.karpathos.it/trasporti/mappa-dell-isola-di-karpathos/> > [Accessed on 28 October 2011].

Kasselouri B. , Kambezidis H. , Konidari P. , Zevgolis D. 2011. *Environmental, economic and social aspects of the electrification on the non-interconnected islands of the Aegean sea*. Energy Procedia **6**. pp. 477-486.

Katsaprakakis D. , Christakis D. , Pavlopoylos K. , Stamataki S. , Dimitrelou I. , Stefanakis I. , Spanos P. 2011. *Introduction of a wind powered pumped storage system in the isolated insular power system of Karpathos–Kasos*. Applied Energy.

Kelly J. , Haider W. , Williams P. , Englund K. 2007. *Stated preferences of tourists for eco-efficient destination planning options*. Tourism Management **28** (2). pp. 377-390.

Michalena E. , Hills J. , Amat J. 2009. *Developing sustainable tourism, using a multicriteria analysis on renewable energy in Mediterranean Islands*. Energy for Sustainable Development **13** (2). pp. 129-136.

Ministry of Environment and Climatic Change 2012. National information system for energy [online]. Available at < <http://195.251.42.2/cgi-bin/nisehist.sh> > [Accessed on 18 February 2012].

Lahmeyer International, 2011. *Concept Study on Energy Storage Systems in Different Isolated Grids in the Mediterranean Region* [online]. Available at < <http://www.lahmeyer.de/en/projects/details/project/1064/>> [Accessed on 7 April 2012].

Liaggou C. 2009. *Competition in Aegean for the first “green island”* [online in Greek].

Available

at<[http://news.kathimerini.gr/4dcgi/w\\_articles\\_economyepix\\_100015\\_22/02/2009\\_3044\\_36](http://news.kathimerini.gr/4dcgi/w_articles_economyepix_100015_22/02/2009_3044_36)> [Accessed on 20 October 2011].

Paralika A. 2011. *Signature of the Programmatic Agreement for the implementation of the “Ai Stratis Green Island”* [online in Greek]. Municipality of Agios Efstratios. Available at < [http://agios-efstratios.gov.gr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=71:y-q-q&catid=37:2011-08-03-23-15-27&Itemid=94](http://agios-efstratios.gov.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=71:y-q-q&catid=37:2011-08-03-23-15-27&Itemid=94) > [Accessed on 28 December 2011].

Pegasus, 2007. *The map of the island* [online in Greek]. Available at < <http://www.skyrosrentacar.com/> > [Accessed on 28 October 2011].

Perrin, M., Saint-Drenan, Y.M., Mattera, F., Malbranche, P. (2005). *Lead-acid batteries in stationary applications: competitors and new markets for large penetration of renewable energies*. Journal of Power Sources. **144**, pp.402-410.

Praene J., David M., Sinama F., Morau D., Marc O., 2012. *Renewable energy: Progressing towards a net zero energy island, the case of Reunion Island*. Renewable and Sustainable Energy Reviews **16** (1). pp 426-442.

[PPC] Public Power Corporation, 2008. *Annual production plan of autonomous power stations*. Technical Report prepared by Island Production Department of Greek Public Power Corporation, Athens, Greece.



[PPC] Public Power Corporation S.A. 2011. *Informational production newsletter of non-interconnected islands for the year 2011 (in Greek only)*. [online]. Available from [www.dei.gr](http://www.dei.gr) on Publications, Monthly RES newsletter [Accessed on 3 January 2012].

[PPC] Public Power Corporation S.A. 2012. *Detailed map of power plants* [online]. Available from [www.dei.gr](http://www.dei.gr) on Company Profile, Activity sectors, generation <<http://www.dei.gr/Default.aspx?id=146&nt=123&lang=2>> [Accessed on 3 January 2012].

Skittides, F., Koiliari, P. 2006. *Introduction in the methodology of technological research dissertation design*. Athens: Modern Publishing.

Spyridaki A. 2011. *Signatures arranged, works start*. Embrosnet [online in Greek]. Available at <<http://www.emprosnet.gr/Sports/?EntityID=668c1315-5854-4c42-8996-6f2cd7fcbb0a>> [Accessed on 28 December 2011].

The Samsø Energy Academy, 2006. *The Samsø Energy Academy* [online]. Available at <[http://energiakademiet.dk/wp-content/uploads/2006\\_prospect\\_academy.pdf](http://energiakademiet.dk/wp-content/uploads/2006_prospect_academy.pdf)> [Accessed on 22 October 2011].

Tourism in Cyclades, n.d. Kythnos Map [online]. Available at <[http://www.e-kyklades.gr/tourism/kythnos\\_map?lang=en](http://www.e-kyklades.gr/tourism/kythnos_map?lang=en)> [Accessed on 28 October 2011].

Tsagarakis K., Bounialetou F., Gillas K., Profylienou M., Pollaki A., Zografakis N. 2011. *Tourists' attitudes for selecting accommodation with investments in renewable energy and energy saving systems*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **15** (2). pp. 1335-1342.

[UNFCCC] United Nations Framework on Climate Change 2012. *Status of Ratification of the Kyoto Protocol* [online]. Available at <[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/status\\_of\\_ratification/items/2613.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/2613.php)> [Accessed on 18 February 2012].

Wind-Turbine-Generator.com, n.d. *Solar and Wind Hybrid System* [online]. Available at <<http://www.small-windturbine.com/Solar-and-Wind-Hybrid-Power-Systems.htm>> [Accessed on 20 October 2011].

Zafirakis D., Kavadias K., Kaldellis J., 2010. *Optimization of Energy Autonomous Wind-Photovoltaic Hybrid Systems*. World Renewable Energy Congress XI. Abu Dhabi, UAE. Lad of Soft Energy Applications & Environmental Protection, T.E.I. of Piraeus.