



ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εφαρμογή Αυτόνομης Ενεργειακά Υβριδικής Λύσης  
με συμμετοχή Αιολικών, Φωτοβολταϊκών και  
Διάταξης Αποθήκευσης Ενέργειας Συμπιεσμένου Αέρα  
σε διαφορετικής κλίμακας νησιωτικά δίκτυα  
του Αιγαίου Πελάγους**

Υπεύθυνοι σπουδαστές  
ΕΥΡΥΓΕΝΗΣ ΕΥΡΥΓΕΝΗΣ-ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Α.Μ. 40188  
ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ Α.Μ. 42261

Επιβλέπων Καθηγητής  
Δρ ΖΑΦΕΙΡΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ



## Περιεχόμενα

Σκοπός εργασίας.....	5
1. Εισαγωγή.....	6
1.1. Διείσδυση ΑΠΕ στο νησιωτικό σύστημα – Παρούσα κατάσταση/Προβλήματα ...	6
1.1.1. Η κατάσταση στα μη διασυνδεδεμένα νησιά .....	7
1.1.2. Οι διακυμάνσεις ενέργειας λόγω εξωτερικών μεταβλητών.....	8
1.2. Επέκταση δικτύου LNG στο Αιγαίο – Σχεδιασμός και στρατηγικά πλάνα .....	9
1.2.1. Εισαγωγή στο LNG .....	9
1.2.2. Η Ιστορία του LNG .....	9
1.2.3. Επέκταση LNG στον Ελλαδικό χώρο.....	10
1.3. Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας CAES.....	13
1.3.1. Τι είναι το CAES - Η ιστορία του .....	13
1.3.2. Σύνομη περιγραφή του συστήματος.....	15
1.3.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του συστήματος .....	15
1.4. Δυνατότητες εφαρμογής του CAES στη νησιωτική Ελλάδα .....	16
1.5. Θεωρητική περιγραφή της μελέτης μας.....	17
2. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα .....	19
2.1. Παρούσα κατάσταση .....	19
2.2. Οι υπό μελέτη περιοχές .....	20
2.2.1. Νήσος Δονούσα.....	20
2.2.2. Νήσος Καστελλόριζο (Μεγίστη) .....	21
2.2.3. Νήσος Αμοργός .....	22
3. Περιγραφή προτεινόμενης λύσης .....	24
3.1. Φωτοβολταϊκά .....	24
3.1.1. Αρχή λειτουργίας και δομή των φωτοβολταϊκών.....	25
3.2. Αιολικές μηχανές- Ανεμογεννήτριες.....	26
3.2.1. Αρχή λειτουργίας των ανεμογεννητριών .....	27
3.2.2. Κύριες κατηγορίες ανεμογεννητριών .....	27
3.3. Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με χρήση συμπιεσμένου αέρα (CAES) .....	29
3.3.1. Περιγραφή του συστήματος .....	29
3.3.2. Αρχή λειτουργίας.....	30

4. Μεθοδολογία προσομοίωσης .....	33
5. Αποτελέσματα εφαρμογής .....	36
5.1. Ενεργειακή αξιολόγηση .....	36
5.1.1. Γραφική απεικόνιση ενεργειακής αυτονομίας .....	36
5.1.2. Κατανάλωση καυσίμου .....	40
5.2. Οικονομική αξιολόγηση .....	44
5.2.1. Αρχικό κόστος επένδυσης .....	44
5.2.2. Σταθμισμένο κόστος ενέργειας (LCOE) .....	48
6. Συμπεράσματα.....	53
6.1. Η σημασία της ετήσιας ενεργειακής ζήτησης .....	53
6.2. Πίνακας ενεργειακής αυτονομίας .....	55
6.3. Πίνακας κόστους αυτόνομων επιλογών .....	57
6.4. Επιλογή βέλτιστων λύσεων ανά νησί .....	58
6.5. Γενικά συμπεράσματα για την εφαρμοσιμότητα της λύσης στο Αιγαίο .....	59
7. Πηγές - Βιβλιογραφία .....	61
8. Παράρτημα .....	62
8.1. Διαγράμματα ενεργειακής αυτονομίας.....	62
8.2. Διαγράμματα κατανάλωσης καυσίμου .....	74
8.3. Διαγράμματα αρχικού κόστους επένδυσης .....	86
8.4. Διαγράμματα σταθμισμένου κόστους ενέργειας (LCOE) .....	98

## **Σκοπός εργασίας**

Σκοπός της εργασίας μας είναι η πρόταση μιας νέας υβριδικής ενεργειακής λύσης, η οποία σαν στόχο θα έχει τη επίλυση των ενεργειακών προβλημάτων και κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων, τριών διαφορετικής κλίμακας νησιών του Αιγαίου Πελάγους. Τα τρία αυτά νησιά, κατά αύξουσα σειρά πληθυσμού , είναι η Δονούσα, το Καστελλόριζο και η Αμοργός. Συγχρόνως έχουμε την ευκαιρία να μελετήσουμε ένα νέο για τα ελληνικά δεδομένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.

# 1. Εισαγωγή

## 1.1. Διείσδυση ΑΠΕ στο νησιωτικό σύστημα – Παρούσα κατάσταση/Προβλήματα

Τη σημερινή εποχή, η ενέργεια βρίσκεται στο κέντρο της φιλοσοφίας της συνεχούς ανάπτυξης και οι ενεργειακές επιλογές έχουν αντίκτυπο σε όλες τις πλευρές της κοινωνικής και οικονομικής δραστηριότητας. Είναι λοιπόν κατανοητό πως είναι απολύτως απαραίτητη παντού, και φυσικά οι νησιωτικές περιοχές δεν αποτελούν εξαίρεση. Στην περίπτωση τους όμως, η παροχή ενέργειας συναντά συγκεκριμένες δυσκολίες. Ειδικότερα, τα νησιά αποτελούν συχνά αυτόνομα συστήματα με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, η γεωγραφική θέση και η μορφολογία των οποίων συχνά δεν επιτρέπουν την εύκολη διασύνδεσή με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο μέσω υπόγειων και υποθαλάσσιων καλωδίων. Παράλληλα είναι και ευάλωτα στις ενδεχόμενες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, ενώ σε όλα τα παραπάνω έρχονται να προστεθούν και τα ακόλουθα προβλήματα:

- Η ενεργειακή εξάρτηση από το πετρέλαιο είναι μεγάλη και το κόστος της συμβατικής ηλεκτροπαραγωγής τοπικά είναι ιδιαίτερα υψηλό
- Επομένως, η χρήση συμβατικών καυσίμων δημιουργεί σημαντικά περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά προβλήματα
- Υπάρχει σημαντικό πρόβλημα παροχής ηλεκτρικής ισχύος και μη ικανού φορτίου βάσης λόγω έλλειψης μεγάλων βιομηχανικών μονάδων
- Ο ρυθμός με τον οποίον αυξάνεται η ετήσια ενεργειακή ζήτηση είναι μεγάλος, λόγω της αυξανόμενης οικιστικής ανάπτυξης και επιπλέον υπάρχουν μεγάλες εποχιακές διακυμάνσεις της ζήτησης φορτίου, λόγω της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού χάρη στον τουρισμό, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Στον αντίποδα ωστόσο, οι νησιωτικές περιοχές διαθέτουν εξαιρετικά υψηλό δυναμικό ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας), το οποίο σε μεγάλο βαθμό παραμένει ανεκμετάλλευτο, καθώς και σημαντικά περιθώρια για εξοικονόμηση ενέργειας.

Ως εκ τούτου, η διάδοση των ΑΠΕ και η εφαρμογή ενεργειακών λύσεων με παράλληλη αναθεώρηση και βελτίωση των συνήθων πρακτικών διαχείρισης και κατανάλωσης ενέργειας, αναδεικνύονται ως βασικές προτεραιότητες για τα νησιά.

Κατά συνέπεια, τα νησιά μπορούν να αποτελέσουν εργαστήρια για την υλοποίηση της πράσινης περιφερειακής ανάπτυξης, την ανάπτυξη της καινοτομίας, τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, τη συγκράτηση των τοπικών πληθυσμών, την προώθηση νέων επιχειρηματικών σχημάτων με τη συμμετοχή της τοπικής αυτοδιοίκησης και μικρών επενδυτών με στόχο την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους και την εξασφάλιση του ενεργειακού τους εφοδιασμού, την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, την προστασία του περιβάλλοντος και τη συμβολή τους στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Ως εκ τούτου, τα νησιά μπορούν να συμβάλουν καθοριστικά στη γενικότερη προσπάθεια για πράσινη ανάπτυξη. Βασικό κλειδί στην πορεία αυτή αποτελεί ο ενεργειακός σχεδιασμός, που ξεκινά από την καταγραφή του σημερινού ενεργειακού

προφίλ, εξετάζει το πραγματικό ενεργειακό δυναμικό, διερευνά τις κατάλληλες τεχνολογίες, εντοπίζει τα κοινωνικά και περιβαλλοντικά προβλήματα, προτείνει τρόπους αντιμετώπισης των θεσμικών εμποδίων και εξετάζει τις διαθέσιμες επιλογές για τη χρηματοδότηση των έργων.

Η διασύνδεση των νησιών του αιγαίου με το ηπειρωτικό σύστημα αποτελεί επίσης μεγάλο στρατηγικό μέρος του σχεδιασμού για την ανάπτυξη των ΑΠΕ όχι μόνο στα νησιά, αλλά σε εθνικό επίπεδο, καθώς σχετίζεται απόλυτα με την επίτευξη των εθνικών στόχων. Η ηλεκτρική διασύνδεση των νησιών με το ηπειρωτικό σύστημα αποτελεί πάγιο στόχο δεκαετιών με σκοπό την ελαχιστοποίηση της χρήσης πετρελαίου για την ηλεκτροδότηση των νησιών και τη μέγιστη δυνατή αξιοποίηση του δυναμικού των ΑΠΕ των νησιών. Οι επεκτάσεις του Συστήματος στις Κυκλάδες, στα Δωδεκάνησα, στην Κρήτη και στα νησιά του Βορείου Αιγαίου είναι οικονομικά και τεχνικά εφικτές και σχεδιάζεται η υλοποίησή τους έτσι ώστε να συνδεθεί το σύνολο των νησιών με πολλαπλά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη για την εθνική και την τοπική οικονομία. Για την υλοποίηση αυτών των έργων, απαιτείται να λυθούν ζητήματα τεχνικά, χρηματοδοτικά, γραφειοκρατικά, ακόμα και ζητήματα κοινωνικής αποδοχής.

### **1.1.1. Η κατάσταση στα μη διασυνδεδεμένα νησιά**

Παρόλο που τη σημερινή εποχή οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά πάρκα, είναι καθιερωμένες στις νησιωτικές περιοχές, είναι εύκολα αντιληπτό πως υπάρχει η ανάγκη υποστήριξής τους, λόγω της απρόβλεπτης συμπεριφοράς της φύσης, που επηρεάζει άμεσα την απόδοσή τους και επομένως και την παραγωγή ενέργειας. Συνεπώς είναι αδύνατο να βασιστεί ένα δίκτυο εξ ολοκλήρου στις ΑΠΕ και για αυτό το μεγαλύτερο ποσοστό της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται μέσω γεννητριών καύσης πετρελαίου, το οποίο φυσικά είναι εισαγόμενο και κοστίζει.

Στην Ελλάδα υπάρχουν πάνω από 2.500 νησιά, από τα οποία τα 230 κατοικούνται. Πολλά από τα νησιά που βρίσκονται πλησίον της ηπειρωτικής χώρας έχουν διασυνδεθεί με βασικό ηλεκτρικό δίκτυο. Τα περισσότερα νησιά όμως (κυρίως στο Αιγαίο και με πληθυσμό 1.100.000 μόνιμους κατοίκους, περίπου το 10% του συνολικού της χώρας) ηλεκτροδοτούνται από αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, κατά κύριο λόγο από τοπικούς θερμικούς σταθμούς παραγωγής, οι οποίοι λειτουργούν με καύσιμο πετρέλαιο, βαρύ (μαζούτ) ή και ελαφρύ (ντίζελ), και σταθμούς ΑΠΕ (αιολικούς και φωτοβολταϊκούς). Τα νησιά αυτά δεν έχουν διασυνδεθεί μέχρι σήμερα με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό σύστημα, λόγω κυρίως τεχνικών και τεχνολογικών δυσκολιών, αλλά και λόγω οικονομικών δυσκολιών, καθώς οι διασυνδέσεις είναι έργα μεγάλης έντασης κεφαλαίου.

Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας των μη διασυνδεδεμένων νησιών αποτελείται από τριάντα δύο (32) αυτόνομα συστήματα. Ορισμένα εξ αυτών αποτελούνται από περισσότερα νησιά (συμπλέγματα νησιών), και η λειτουργία και διαχείριση της αγοράς τους γίνεται από τον ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. (Διεύθυνση Διαχείρισης Νήσων).

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στα μη διασυνδεδεμένα νησιά (ΜΔΝ) ανέρχεται σε 2.225 MW, από τα οποία 1.750 MW αντιστοιχούν σε θερμικούς σταθμούς (με

καύσιμο πετρέλαιο). Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ στα νησιά αυτά ανέρχεται σε 475 MW, εκ των οποίων τα 159 MW είναι φωτοβολταϊκά, (συμπεριλαμβανομένων και 36 MW του ειδικού προγράμματος Φ/Β στις οροφές 36 MW) και 316 MW αιολικά (στοιχεία ΔΕΔΔΗΕ, Ιούνιος 2015). Οι περισσότερες μονάδες ΑΠΕ βρίσκονται στην Κρήτη, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 290 MW, εκ των οποίων τα 194 MW είναι αιολικά και τα 96 MW φωτοβολταϊκά. Οι υπόλοιπες τεχνολογίες έχουν πολύ μικρή διείσδυση στα νησιά, λόγω ιδιαίτερων γεωγραφικών συνθηκών και χρήσεων γης, διαθέσιμων ενεργειακών πόρων, αλλά και περιορισμένης κοινωνικής αποδοχής.

Αντίστοιχα, και η ζήτηση (κατανάλωση σε MWh) ηλεκτρικής ενέργειας στα ΜΔΝ ποικίλει, επίσης, σε μέγεθος, από ορισμένες εκατοντάδες MWh στα μικρότερα νησιά (π.χ. Αντικύθηρα, Αγαθονήσι, κ.λπ.), έως και ορισμένες TWh στο μεγαλύτερο ΜΔΝ (Κρήτη).

Η συνολική ετήσια ζήτηση ανέρχεται σε 5.345 TWh (10% περίπου της ζήτησης του συνόλου της χώρας, στοιχεία 2013), η οποία καλύπτεται με 4.520 TWh (80%) από θερμικούς σταθμούς με καύσιμο πετρέλαιο και με 0,950 TWh από ΑΠΕ (0,68 TWh Αιολικά και 0,235 TWh Φ/Β πάρκα και 0,036 TWh Φ/Β στεγών). Η εξασφάλιση επαρκούς ηλεκτρικής ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά για όλους τους καταναλωτές είναι ιδιαίτερα δαπανηρή. Παρόλα αυτά, όλοι οι καταναλωτές χρεώνονται με τις ίδιες τιμές ανά kWh, όπως και στην ηπειρωτική χώρα.

Το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας είναι ένα από τα καλύτερα της Ευρώπης (2.150 MWh ανά 1 MW εγκατεστημένη ισχύ, το 2014) γεγονός που αποδεικνύεται τόσο από σύγχρονες μελέτες και μετρήσεις όσο και από την εκτεταμένη κατασκευή και χρήση ανεμόμυλων στο μακρινό παρελθόν, ειδικά στα νησιά του Αιγίου. Από το Βόρειο Αιγαίο μέχρι και την Κρήτη πνέουν ισχυροί άνεμοι σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ υπάρχουν νησιά όπως η Άνδρος, η Τήνος, η Μύκονος, η Ρόδος και η Κάρπαθος όπου οι ημέρες άπνοιας είναι ελάχιστες έως ανύπαρκτες. Αλλά και το Φ/Β δυναμικό είναι προνομακό (1.750 MWh ανά 1 MW εγκατεστημένη ισχύ το 2014).

### **1.1.2. Οι διακυμάνσεις ενέργειας λόγω εξωτερικών μεταβλητών**

Οι ανάγκες των νησιών του Αιγαίου παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις μεταξύ της χειμερινής και της καλοκαιρινής περιόδου με τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας το χειμώνα να είναι ελάχιστη και το καλοκαίρι, λόγω της τουριστικής περιόδου, να εκτοξεύεται. Έτσι, παρά το αναμφισβήτητο σημαντικό αιολικό και ηλιακό δυναμικό της ευρύτερης περιοχής του Αιγαίου, η αξιοποίησή της ενέργειας αυτής είναι ακόμα περιορισμένη, για τεχνικούς κυρίως λόγους. Εξ αιτίας της τυχαιάς μεταβλητότητας της συμπεριφοράς της φύσης, όπως η ταχύτητα του ανέμου και η ηλιοφάνεια, η λειτουργία των αιολικών και φωτοβολταϊκών πάρκων σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να προκαλέσει μη ευσταθείς καταστάσεις λειτουργίας. Συνεπώς, πρέπει να υπάρχει ένα όριο διείσδυσης των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Για το λόγο αυτό, σήμερα σε πολλά νησιά του Βορείου και Νοτίου Αιγαίου, καθώς και στην Κρήτη, υπάρχουν σταθμοί ΑΠΕ που ακριβώς επειδή διαχέουν την παραγόμενη ενέργεια στα τοπικά ηλεκτρικά δίκτυα, δεν υπάρχει η δυνατότητα να αυξηθούν σε αριθμό, καθώς η λειτουργία τους μπορεί να επηρεάσει τα χαρακτηριστικά του κύριου δικτύου. Συνεπώς, η μεγαλύτερη αξιο-



ποίηση των ήπιων μορφών ενέργειας σε περιοχές όπως αυτή του Αιγαίου με τα διάσπαρτα νησιωτικά συμπλέγματα, δεν μπορεί να γίνει παρά μόνο εφόσον τα μεγάλα, τουλάχιστον, νησιά συνδεθούν στο ηπειρωτικό δίκτυο ή κατασκευαστούν μονάδες αποθήκευσης της ενέργειας αυτής. Το κομμάτι αυτό της αποθήκευσης ενέργειας, είναι αυτό που θα αναλυθεί και θα μελετηθεί στην εργασία αυτή.

## **1.2. Επέκταση δικτύου LNG στο Αιγαίο – Σχεδιασμός και στρατηγικά πλάνα**

### **1.2.1. Εισαγωγή στο LNG**

Στις μέρες μας, όπου η οικονομική και συνεπώς και η ενεργειακή κρίση έχουν φτάσει στο απόγειο τους, είναι επιτακτική η ανάγκη ανεύρεσης καινοτόμων λύσεων, οι οποίες θα βοηθήσουν στην αντιμετώπιση του προβλήματος. Απάντηση στο εν λόγω πρόβλημα, έρχεται να δώσει η ανάπτυξη τεχνολογιών χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου ή Liquefied Natural Gas, ευρέως γνωστό με την ονομασία LNG.

Τι ακριβώς ορίζουμε όμως ως υγροποιημένο φυσικό αέριο; Υγροποιημένο φυσικό αέριο, εφεξής αναφερόμενο (για λόγους συντομίας) ως LNG, χαρακτηρίζουμε το αέριο, που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο, περίπου σε ποσοστό 95%, και το υπόλοιπο 5% αποτελείται από αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο, και υδρογόνο. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι δεν περιέχει καθόλου προσμίξεις που θα μπορούσαν να “μολύνουν” την καθαρότητα του καυσίμου, όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα ή το νερό.

Το φυσικό αέριο λοιπόν, για λόγους εξοικονόμησης χώρου, και ευκολίας σε αποθήκευση και μεταφορά, αφού υποστεί ψύξη σε θερμοκρασία περίπου -162 βαθμούς Κελσίου, σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης, υγροποιείται, καταλαμβάνοντας έτσι έως και το 1/600ο του αρχικού όγκου που καταλάμβανε ως αέριο. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι είναι άοσμο, άχρωμο, μη τοξικό και μη διαβρωτικό, καθώς και ότι η πυκνότητα του είναι περίπου η μισή από αυτή του νερού, ενώ είναι ελαφρύτερο από τον αέρα.

Μονάδες μέτρησης του φυσικού αερίου είναι οι μετρικοί τόνοι (Metric Ton, mt), κατά την υγρή μορφή του, και τα κυβικά πόδια (cubic feet) όταν είναι σε αέρια μορφή.

Το φυσικό αέριο, όπως προδίδει και η ονομασία του, είναι ένα φυσικό προϊόν, το οποίο βρίσκεται σε απόθεμα κάτω από την επιφάνεια της γης, μαζί με το αργό πετρέλαιο. Το φυσικό αέριο, όπως και το αργό πετρέλαιο, έχουν παραχθεί από οργανικά υλικά, θαμμένα βαθιά κάτω από την επιφάνεια της γης, τα οποία λόγω συνθηκών τεράστιας πίεσης και θερμοκρασίας για εκατομμύρια χρόνια, πήραν αυτή τη μορφή. Ως καύσιμα, ανήκουν στην κατηγορία υδρογονανθράκων.

### **1.2.2. Η Ιστορία του LNG**

Αν και οι πειραματικές διαδικασίες με θέμα τις ιδιότητες των αερίων, ξεκίνησαν από τις αρχές του δέκατου εβδόμου αιώνα το μεθάνιο, που είναι και το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου, υγροποιήθηκε πρώτη φορά το 1886 από τον **Karol Stanisław Olszewski**, Πολωνό φυσικό και χημικό.

Η υγροποίηση του φυσικού αερίου σε μεγάλη κλίμακα, ξεκίνησε το 1917 στις ΗΠΑ, όπου δημιουργήθηκε η πρώτη μονάδα υγροποιημένου φυσικού αερίου, το οποίο χρησιμοποιούταν για την εξαγωγή Ηλίου, που βρίσκεται στο φυσικό αέριο σε πολύ μικρό ποσοστό, και προοριζόταν για χρήση στα Βρετανικά πηδαλιούχου του Πρώτου Παγκοσμίου Πολέμου.

Έπειτα, δημιουργήθηκε η πρώτη εμπορική μονάδα υγροποίησης το 1941 στο Κλίβελαντ, ενώ το 1959, έκανε το παρθενικό του ταξίδι το Methane Pioneer, το πρώτο δεξαμενόπλοιο LNG του κόσμου, μεταφέροντας με ασφάλεια υγροποιημένο φυσικό αέριο από τις ΗΠΑ στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Δύο χρόνια αργότερα, η Βρετανία υπέγραψε 15ετές συμβόλαιο με την Αλγερία που δέσμευε τη δεύτερη να πουλάει στη Βρετανία φυσικό αέριο, σε ποσότητα περί του ενός εκατομμυρίου τόνων, το οποίο βρισκόταν σε τεράστιες ποσότητες κάτω από τη Σαχάρα. Την ίδια συμφωνία υπέγραψε το επόμενο έτος και η Γαλλία.

Το 1969 η μονάδα φυσικού αερίου στο Κενάι της Αλάσκας ξεκίνησε τη διανομή LNG στο Τόκιο.

Το 1972 το Μπρουνέι έγινε ο πρώτος παραγωγός φυσικού αερίου στην Ασία, όπου λειτουργεί μια μονάδα φυσικού αερίου το Lumut, που προμηθεύει την Κορέα και την Ιαπωνία.

Επίσης από το 1970, η μονάδα LNG της Λιβύης στο Marsa el Brega , ξεκίνησε τον εφοδιασμό της Ισπανίας και της Ιταλίας. Αργότερα ξεκίνησε και η εισαγωγή LNG στις ΗΠΑ από την Αλγερία.

Προχωρώντας προς το σήμερα θα συναντήσουμε την παραγωγή φυσικού αερίου στη Βόρεια Θάλασσα, τον κλονισμό της αγοράς του φυσικού αερίου λόγω των έντονων διαφωνιών μεταξύ των συνεργαζόμενων χωρών για την τιμή του αερίου. Επίσης έχουμε την εισαγωγή της Αυστραλίας στο δίκτυο εμπορών φυσικού αερίου, και φτάνοντας στην τελευταία εικοσαετία βλέπουμε ότι το Κατάρ γίνεται ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός φυσικού αερίου της Μέσης Ανατολής το 1997, και μέχρι σήμερα έχουμε την ανάπτυξη κι άλλων μονάδων όπως του Τρινιντάντ και Τομπάγκο και της Νιγηρίας. Σήμερα, σύμφωνα με έκθεση της International Gas Union (IGU) το Κατάρ είναι πλέον ο μεγαλύτερος προμηθευτής φυσικού αερίου, καθώς επίσης υπολογίζεται ότι το εμπόριο του LNG, ανέρχεται στους 236,8 MT το 2013.

### **1.2.3. Επέκταση LNG στον Ελλαδικό χώρο**

Η χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG), γίνεται ολοένα και πιο διαδεδομένη στον Ελλαδικό χώρο, κυρίως σε ότι αφορά την Ελληνική ναυτιλία, καθώς και την, τρόπω τινά, ενεργειακή αυτονομία των Ελληνικών νησιών.

Η «πράσινη» ναυτιλία και οι υποδομές για το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο, τα θεσμικά πλαίσια, οι επενδύσεις αλλά και η δημιουργία εφοδιαστικής αλυσίδας στη χώρα μας, και κυρίως στα νησιά, βρίσκονται πλέον στο επίκεντρο των συζητήσεων περί ενεργειακής ανάπτυξης της χώρας. Βασικός στόχος είναι μέχρι το 2025 να υπάρχουν κατάλληλες λιμενικές υποδομές για την ανάπτυξη του υγροποιημένου φυσικού αερίου, ώστε τα ελληνικά λιμάνια να είναι βασικοί κόμβοι στην ανατολική Μεσόγειο και πύλες εισόδου στην Ε.Ε.



**Εικόνα 1.2.3.** Πλοίο μεταφοράς LNG

### **Τερματικός σταθμός Ρεβυθούσας**

Σήμερα, η σημαντικότερη υποδομή που υπάρχει στην Ελλάδα, σε ότι αφορά την εισαγωγή και αποθήκευση LNG, είναι ο τερματικός σταθμός της νήσου Ρεβυθούσας, 500 μέτρα περίπου από την ακτή της Αγίας Τριάδας, στον κόλπο Πάχης Μεγάρων, 45 χλμ. δυτικά της Αθήνας.

Ο σταθμός της Ρεβυθούσας είναι μία από τις τρεις πηγές τροφοδοσίας του Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς Φυσικού Αερίου και συγκαταλέγεται στους δέκα αντίστοιχους σταθμούς υγροποιημένου φυσικού αερίου, που λειτουργούν σήμερα σε όλο το χώρο της Μεσογείου και της Ευρώπης.

Εκεί εκφορτώνονται και παραλαμβάνονται φορτία φυσικού αερίου, που φθάνουν στη χώρα μας με δεξαμενόπλοια σε υγρή μορφή. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποθηκεύεται σε δύο δεξαμενές, συνολικής χωρητικότητας 130.000 m<sup>3</sup>. Στη συνέχεια, στις ειδικές εγκαταστάσεις της μονάδας, μετατρέπεται σε αέριο και τροφοδοτεί το Εθνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου.

Τον Οκτώβριο του 2007, ο Διαχειριστής Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου ή αλλιώς ΔΕΣΦΑ, θυγατρική εταιρία της ΔΕΠΑ, πραγματοποίησε την πρώτη φάση αναβάθμισης του σταθμού, αυξάνοντας τη δυναμικότητα παραλαβής φορτίων LNG στο διπλάσιο, και τη δυναμικότητα αεριοποίησης του, στο τριπλάσιο ποσοστό (από 271 κ.μ LNG σε 1000 κ.μ.), τροφοδοτώντας έτσι το Εθνικό σύστημα μεταφοράς με 5,2-5,3 δις κ.μ φυσικού αερίου ετησίως. ([www.desfa.gr](http://www.desfa.gr))

Το Μάιο του 2014, ξεκίνησε η διαδικασία των εργασιών για την κατασκευή της τρίτης δεξαμενής αποθήκευσης ΥΦΑ.

Το έργο, προβλέπει την κατασκευή δεξαμενής χωρητικότητας 95.000 κυβικών μέτρων, καθώς και την αναβάθμιση των λιμενικών εγκαταστάσεων προκειμένου να εξυπηρετούνται πλοία μεταφορικής ικανότητας 180.000 κ.μ. υγροποιημένου αερίου, έναντι των 130.000 κ.μ. που είναι το σημερινό όριο.

Η κατασκευή της 3ης δεξαμενής αποτελεί το πιο σημαντικό μέρος του έργου της 2ης αναβάθμισης του σταθμού, η οποία με την ολοκλήρωσή της θα σηματοδοτήσει τη σημαντική ενίσχυση του επιπέδου ασφάλειας τροφοδοσίας (αύξηση του αποθηκευτικού χώρου κατά 73%), την δυνατότητα εισαγωγής ΥΦΑ από περισσότερους Χρήστες του Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου (ΕΣΦΑ) και την αύξηση του χρόνου προσωρινής αποθήκευσης ΥΦΑ πέραν των 18 ημερών που ισχύει έως σήμερα.

### **Διανομή του φυσικού αερίου στα νησιά**

Η διανομή του φυσικού αερίου στα νησιά δεν είναι τόσο απλή διαδικασία, μιας και δεν συνδέονται με αγωγούς με την ηπειρωτική Ελλάδα.

Την απάντηση σε αυτό το πρόβλημα αναζητά η ΔΕΠΑ, η εταιρία που βρίσκεται πίσω από όλο το έργο των υποδομών του Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου, σε σχετικές συζητήσεις με τη ΔΕΗ.

Στην περίπτωση που αποφέρουν καρπούς οι παραπάνω διαπραγματεύσεις, ο ΔΕΣΦΑ φιλοδοξεί να διαδραματίσει ρόλο διακομιστή σχετικά με το ρόλο που ήδη έχει στο σύστημα αερίου της χώρας. Στόχος της εταιρίας είναι να επενδύσει στην αγορά μικρών πλοίων μεταφοράς LNG, στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, των οποίων το σύστημα ηλεκτροδότησης βασίζεται κυρίως σε τοπικούς σταθμούς καύσης ντίζελ, με τεράστιο οικονομικό αλλά και περιβαλλοντικό κόστος.

Το πρόγραμμα Poseidon Med, το οποίο από Ελληνικής πλευράς συντονίζει η ΔΕΠΑ, προβλέπει τη διάθεση υγροποιημένου φυσικού αερίου στα τέσσερα κύρια λιμάνια της χώρας μας, τον Πειραιά, την Πάτρα, το Ηράκλειο και την Ηγουμενίτσα, καθώς και στο λιμάνι της Λεμεσού στην Κύπρο. Επίσης, στο σχεδιασμό αυτό, περιλαμβάνονται η αναβάθμιση του τερματικού σταθμού της Ρεβυθούσας, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η δυνατότητα φόρτωσης LNG σε πλοία ανεφοδιασμού καυσίμων, η μετασκευή/ναυπήγηση πλοίων με καύσιμο LNG καθώς και η δημιουργία απαραίτητης υποδομής στα προαναφερθέντα λιμάνια.

Σε ό,τι αφορά τη διακίνηση και χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου στο χώρο του αιγαίου πελάγους, υπάρχει επίσης και το πλάνο Archipelago-LNG.

### **Στόχοι και δραστηριότητες του Archipelago-LNG**

Ο κύριος στόχος του έργου είναι η διατύπωση συστάσεων νομοθετικού χαρακτήρα στις ελληνικές αρχές, όσον αφορά τόσο τις τεχνικές όσο και τις χρηματοοικονομικές πτυχές της εφοδιαστικής αλυσίδας του ΥΦΑ στις νησιωτικές περιοχές, με την Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου ως σημείο αναφοράς.

Το έργο Archipelago-LNG είναι κατά 50% συγχρηματοδοτούμενο από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Μεταφορών (DG-MOVE) στο Ετήσιο Πρόγραμμα ΔΕΔ-Μ (TEN-T Annual Programme) (Αρ. Έργου . 2013-EL- 92080-S).

Το έργο ξεκίνησε ως προϊόν κοινοπραξίας έξι εταιριών από τον Ελλαδικό χώρο, την Περιφ. Νοτίου Αιγαίου, τη ΔΕΠΑ, το ΕΚΕΤΑ (Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης), την ΠΑΣΙΦΑΗ, την ANEK και το Νεώριο Σύρου, υπό το συντονισμό της Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου. Μολαταύτα, η Πασιφάη και η ANEK, αποχώρησαν μέσα στο 2015, ενώ εισχώρησε η SEAJECTS.

Η δράση περιλαμβάνει μελέτη η οποία έχει ως κύριο στόχο την προώθηση της χρήσης ΥΦΑ ως καυσίμου για θαλάσσια σκάφη του κλάδου μεταφοράς επιβατών και του ναυτιλιακού κλάδου των νησιών, με σκοπό τη μείωση του κόστους εφοδιασμού και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη μέχρι σήμερα χρήση παραγώγων πετρελαίου, καθώς και την παρότρυνση των ελληνικών αρχών και η παροχή των απαραίτητων εργαλείων για τη θέσπιση κανονιστικού πλαισίου για τον ανεφοδιασμό των πλοίων με καύσιμα στην περιοχή.

Σχετικά με τις δραστηριότητες, έχουμε τις εξής:

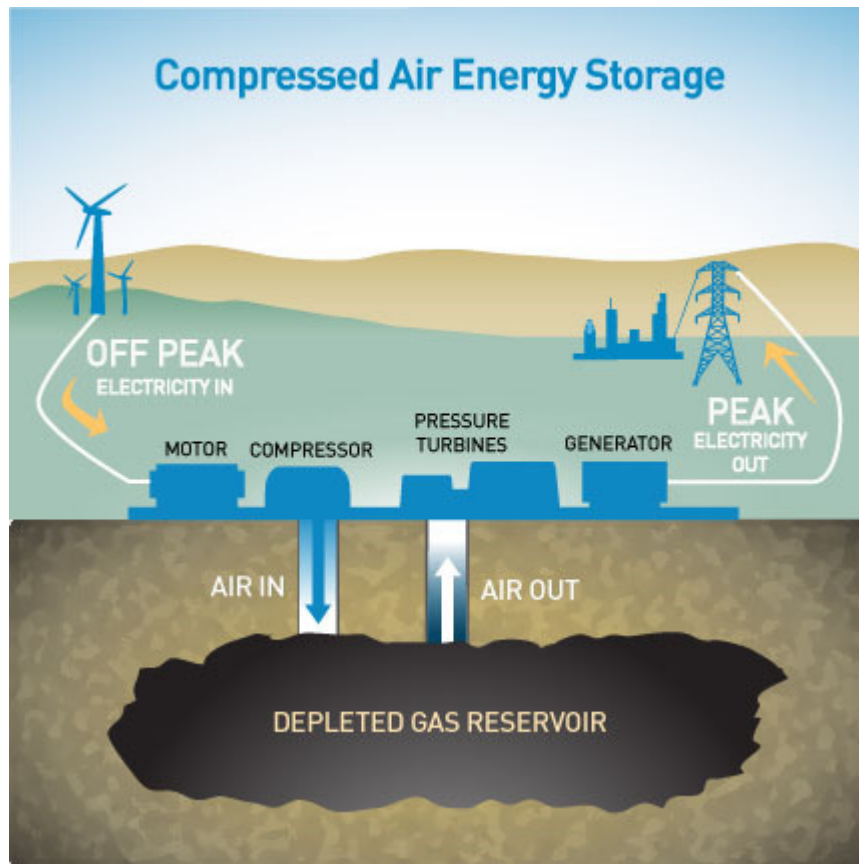
- Δραστηριότητα 1 – Συντονισμός
- Δραστηριότητα 2 – Ανάλυση των χαρακτηριστικών των βασικών συστατικών στοιχείων της αλυσίδας αξίας ΥΦΑ
- Δραστηριότητα 3 – Τεχνική αξιολόγηση των επιλογών ανεφοδιασμού πλοίων με ΥΦΑ και των εγκαταστάσεων υποδοχής πλοίων
- Δραστηριότητα 4 – Κατάρτιση επιχειρηματικών σχεδίων για το ΥΦΑ στις θαλάσσιες μεταφορές
- Δραστηριότητα 5 – Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Δραστηριότητα 6 – Διαμόρφωση νομοθετικού πλαισίου για το ΥΦΑ
- Δραστηριότητα 7 – Δραστηριότητες διάδοσης

Οι προαναφερθείσες δραστηριότητες, αναλύονται στον επίσημο ιστότοπο του Archipelago-LNG στο <http://www.archipelago-lng.eu/Project/Activities.html>

### **1.3. Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας CAES**

#### **1.3.1. Τι είναι το CAES - Η ιστορία του**

Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με χρήση αποθηκευμένου συμπιεσμένου αέρα (Compressed Air Energy Storage, εν συντομία CAES), είναι ένας τρόπος να αποθηκεύσεις ενέργεια η οποία παράγεται σε πρώτο χρόνο, έτσι ώστε η χρήση της να πραγματοποιηθεί σε δεύτερο χρόνο. Το σύστημα αυτό δρα με χρήση αέρα σε αεροστροβιλοεγκατάσταση, ο οποίος συμπιέζεται, αποθηκεύεται και εκτονώνεται έτσι ώστε να παραχθεί ενέργεια.



**Εικόνα 1.3.1.** Σχηματική αναπαράσταση τυπικής εγκατάστασης CAES

Συστήματα παραγωγής ενέργειας με χρήση συμπιεσμένου αέρα έχουν αναπτυχθεί από το 1870 στην Ευρώπη και στην Αμερική, και πιο συγκεκριμένα στη Γαλλία, την Αγγλία, τη Γερμανία και την Αργεντινή. Η Γερμανία είναι και η πρώτη χώρα που κατασκεύασε την πρώτη εγκατάσταση αποθήκευσης ή αλλιώς «CAES» των 290 MW το 1978. Δύο ακόμα εγκαταστάσεις CAES συναντώνται στην Αλαμπάμα, Η.Π.Α. (110 MW) από το 1991, η οποία απαιτεί καύση φυσικού αερίου, και στο Τέξας, Η.Π.Α. από το 2012 (2 MW), η οποία μάλιστα είναι σχεδόν ισοθερμική και λειτουργεί χωρίς να χρησιμοποιεί κάποιο καύσιμο.

Αξιοσημείωτο είναι επίσης, πως μερικές ακόμα εγκαταστάσεις και συγκεκριμένα τρεις στις ΗΠΑ, μία στη Μεγάλη Βρετανία και μία στη Γερμανία, είναι υπό σχεδιασμό και κατασκευή:

- Kern Country, California, USA, 300MW
- Watkins Glen, New York, USA, 150MW
- Anderson County, Texas, USA, αγνώστου ακόμα ισχύος
- Cheshire, UK, 40MW.

Η εγκατάσταση θα είναι 100% ανανεώσιμης ενέργειας, 20 φορές μεγαλύτερη από τις ήδη υπάρχουσες μέχρις στιγμής εγκαταστάσεις τέτοιου είδους.

- Η εγκατάσταση CAES που σχεδιάζεται στη Γερμανία, χωρίς περαιτέρω πληροφορίες τοποθεσίας, θα είναι η πρώτη αδιαβατική, ισχύος 200MW.

### 1.3.2. Σύντομη περιγραφή του συστήματος

Στην μελέτη που πραγματοποιείται, εξετάζουμε τη συνεργασία ενός συστήματος CAES με αιολικό και φωτοβολταϊκό πάρκο, με την λειτουργία του πρώτου να τροφοδοτείται με χρήση της περίσσειας ενέργειας των δύο πάρκων. Η συνεργασία αυτή λαμβάνει χώρα σε περιόδους χαμηλής ζήτησης από το δίκτυο, έτσι ώστε όταν το δίκτυο σε αντίστοιχα περίοδο υψηλής ζήτησης απαιτεί ποσά ενέργειας τα οποία τα δύο πάρκα αδυναμούν να καλύψουν, το CAES έχει τη δυνατότητα να καλύψει την ανάγκη αυτή για ενέργεια.

Το υπό μελέτη αυτό σύστημα, αποτελείται από μια εγκατάσταση με τα ακόλουθα μέρη:

- Μια πηγή ενέργειας, στην προκειμένη περίπτωση, η περίσσεια ενέργειας του αιολικού και του φωτοβολταϊκού πάρκου
- Ένα συμπιεστή, ισχύος αντίστοιχης της αποδιδόμενης από την περίσσεια ενέργειας, που χρησιμοποιείται για να συμπιέσει αέρα.
- Μια δεξαμενή ή φυσική κοιλότητα του εδάφους, στην οποία θα αποθηκεύεται ο συμπιεσμένος αέρας.
- Έναν αεριοστρόβιλο (τουρμπίνα) ο οποίος λειτουργεί με τον συμπιεσμένο αέρα που εκτονώνεται
- Μια ηλεκτρική γεννήτρια, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια κινούμενη από τον αεριοστρόβιλο, και παραδίδει την παραγόμενη ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο.
- Ένα μηχανισμό προθέρμανσης, ένα θάλαμο καύσης, τα οποία θα λειτουργούν για υπερθέρμανση του συμπιεσμένου αέρα και μια δεξαμενή φυσικού αερίου το οποίο θα χρησιμοποιείται ως καύσιμο για την καύση.

### 1.3.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του συστήματος

Το κυριότερο πλεονέκτημα της χρήσης του CAES είναι η αξιοποίηση της χαμένης ενέργειας που θα μπορούσε να παραχθεί από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, λόγω της αδυναμίας του δικτύου, όπως αναλύθηκε και παραπάνω. Φυσικά αποτελεί μια κατά πολύ οικονομικότερη ενεργειακή λύση από την παραγωγή ενέργειας μέσω καύσης υγρών καυσίμων, και συγκεκριμένα με πετρέλαιο, όσον αφορά τις νησιωτικές περιοχές οι οποίες δεν είναι συνδεδεμένες στο ηπειρωτικό δίκτυο. Ειδικότερα, έχει μεγάλο πλεονέκτημα έναντι στους κλασικούς κύκλους Brayton παραγωγής ενέργειας, καθώς ο συμπιεστής με τον αεριοστρόβιλο κινούνται ανεξάρτητα και σε διαφορετικούς χρόνους. Έτσι, χρησιμοποιούνται 60-70% λιγότερα καύσιμα από ότι σε μια συνηθισμένη αεριοστροβιλοεγκατάσταση, και η ενέργεια που παράγει ο στρόβιλος παρέχεται αυτούσια στο δίκτυο προς κατανάλωση.

Τέλος, με τη χρήση του φυσικού αερίου που απαιτείται μέσω της καύσης, προάγεται έτσι και η αξιοποίηση και περαιτέρω εμπορία του καυσίμου αυτού, ειδικά στο νησιωτικό δίκτυο όπου η ανάγκη για καύσιμα είναι μεγαλύτερη.

Συνεπώς μπορούμε εύκολα να κατανοήσουμε πως η λύση της αποθήκευσης ενέργειας έναντι της άμεση παραγωγή της μέσω γεννητριών πετρελαίου, είναι προτιμότερη, ειδικότερα εάν συμπεριλάβουμε την οικονομική κατάσταση της ελληνικής οι-

κονομίας και της κάθε νησιωτικής κοινότητας ξεχωριστά, η οποία επιβαρύνεται από τις ανάγκες για εισαγωγή καυσίμων.

Επιπροσθέτως, το σύστημα αυτό φέρει πλεονεκτήματα συγκριτικά με άλλους τρόπους αποθήκευσης ενέργειας, με πιο συνηθισμένη φυσικά τη χρήση μπαταριών. Κυριότερο πλεονέκτημα έναντι των μπαταριών είναι πως η αποθήκευση αέρα έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από αυτή της μπαταρίας, και φυσικά λιγότερη τοξικότητα. Μειονέκτημα σε σχέση με την μπαταρία όμως αποτελεί πως η τάση της αποθηκευμένης ενέργειας στην μπαταρία είναι σταθερή, ενώ η πίεση στον χώρο αποθήκευσης του αέρα όχι, καθώς εξαρτάται από το πόσο άδειος ή γεμάτος είναι.

Μειονέκτημα του συστήματος αποτελεί το γεγονός πως δεν εξαλείφεται η ανάγκη για καύσιμο, καθώς για τη θέρμανση του συμπιεσμένου αέρα προς εκτόνωση, απαιτείται καύση με χρήση φυσικού αερίου, το οποίο δεν έχει βέβαια το υψηλό κόστος του πετρελαίου και του μαζούτ, αλλά αυτόματα το σύστημα μας καθίσταται οικονομικά μη ανεξάρτητο.

Ισχυρό μειονέκτημα επίσης, αποτελεί το κόστος εγκατάστασης του συστήματος καθώς και το κόστος δεξαμενής συμπιεσμένου αέρα, καθώς η εξεύρεση χώρου εγκατάστασης με την απαραίτητη εδαφική κοιλότητα που υφίσταται στον ιδανικό σχεδιασμό, είναι εξαιρετικά δύσκολη.

Τέλος, μειονέκτημα επίσης αποτελεί ο υπαρκτός κίνδυνος αστοχίας υλικών της δεξαμενής με συνέπεια τη ρήξη της, λόγω της υψηλής υφισταμένης πίεσης του εμπειρόχοντος αέρα. Συνεπώς αυξάνεται το κόστος λόγω κάλυψης θεμάτων ασφαλείας και εξασφάλισης αναγκαίου εξοπλισμού, όπως βαλβίδες εκτόνωσης.

#### **1.4. Δυνατότητες εφαρμογής του CAES στη νησιωτική Ελλάδα**

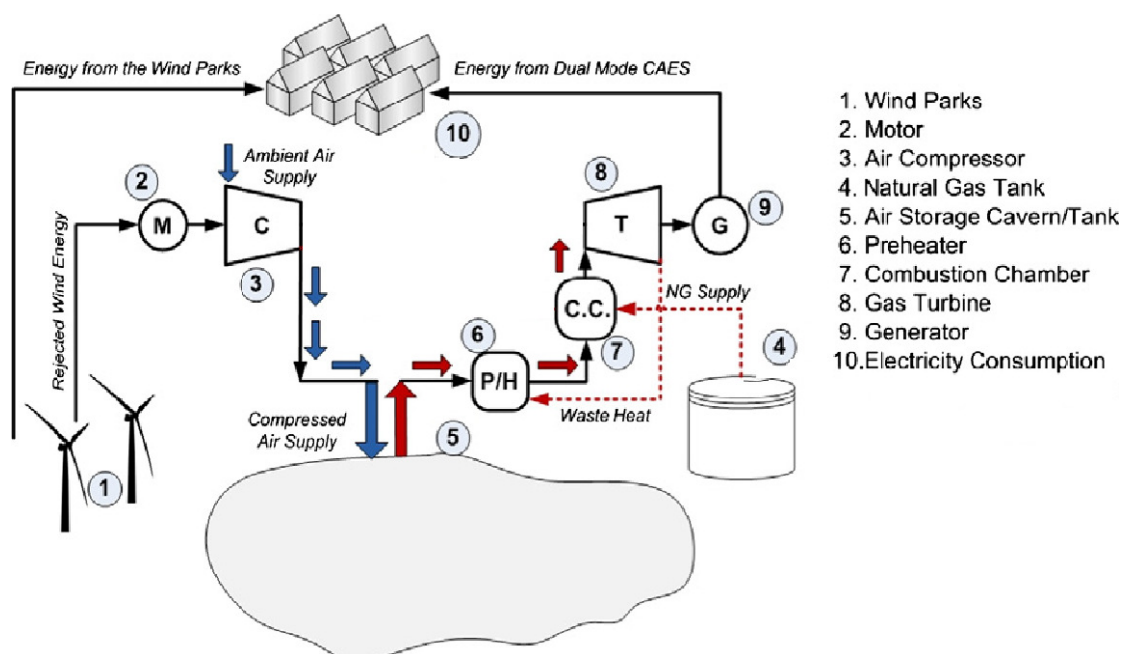
Όπως αναλύθηκε και περισσότερο ανωτέρω, τα ελληνικά νησιά, κυρίως αυτά στο Αιγαίο πέλαγος που δεν είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο, αντιμετωπίζουν καθημερινά ποικίλα προβλήματα ενέργειας. Αναλογιζόμενοι το γεγονός αυτό, καθώς και τη μη ικανοποιητική εκμετάλλευση της αιολικής και ηλιακής ενέργειας λόγω αδυναμίας του δικτύου να την απορροφήσει, αλλά και τη διαφαινόμενη προώθηση και ανάπτυξη της χρησιμοποίησης του φυσικού αερίου, μελετάμε την εγκατάσταση του συστήματος CAES στη νησιωτική περιοχή της Ελλάδας.

Επιπλέον, όπως επίσης αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο για την κατάσταση και τη διείσδυση των ΑΠΕ, οι νησιωτικές περιοχές του Αιγαίου έχουν να αντιμετωπίσουν και ένα ακόμη πρόβλημα, την απρόβλεπτη συμπεριφορά της φύσης, η οποία δεν τους επιτρέπει να βασίζονται εξ ολοκλήρου στις ΑΠΕ για παροχή ενέργειας. Έτσι λοιπόν καταφεύγουν στη λύση του πετρελαίου, κάτι το οποίο είναι ένα βάρος για την οικονομία της κάθε κοινότητας. Η ανάγκη λοιπόν για αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας των υβριδικών πάρκων, σε περιπτώσεις όπου η παραγωγή είναι μεγαλύτερη της αντοχής απορρόφησης από το δίκτυο, είναι επιτακτική. Με αυτόν τον τρόπο τις στιγμές που το δίκτυο χρειάζεται περισσότερη ενέργεια την οποία οι εγκατεστημένες στο νησί ΑΠΕ αδυνατούν να προσφέρουν, αντί να γίνεται παραγωγή ηλεκτρισμού με χρήση καύσης πετρελαίου, γίνεται χρήση της ήδη αποθηκευμένης ενέργειας, με ελάχιστο ή μηδαμινό ακόμα κόστος.



Στο πρόβλημα αυτό λοιπόν, καλούμαστε να προσφέρουμε λύση με τη χρήση του συστήματος CAES, χάρη στο οποίο ελαχιστοποιούμε την ανάγκη αυτή για παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω καύσης πετρελαίου. Συνδυάζοντας επίσης την μειωμένη τιμή του φυσικού αερίου έναντι του πετρελαίου, και το μηδαμινό κόστος κίνησης του συμπιεστή της εγκατάστασης, ο οποίος τροφοδοτείται αποκλειστικά από την περίσσεια ενέργειας που θα λαμβάνουμε από το πάρκο μας, ερχόμαστε στο συμπέρασμα πως η αποθήκευση ενέργειας μέσω του CAES είναι μια συμφέρουσα επιλογή, πολύ περισσότερο από αυτή της συνηθισμένης γεννήτριας πετρελαίου.

Στην παρακάτω εικόνα, αναπαρίσταται η παροχή ενέργειας μιας κοινότητας χάρη στη χρήση ανεμογεννητριών αιολικού πάρκου, σε συνδυασμό με το επιθυμητό σύστημα στο οποίο αναφερόμαστε. Η κοινότητα αυτή θα μπορεί να απολαμβάνει την αυτονομία από περαιτέρω έξοδα αγοράς καυσίμων, εκτός του φυσικού αερίου.



**Εικόνα 1.4.** Αναπαράσταση αυτόνομης κοινότητας βασισμένης σε υβριδική λύση αιολικών-CAES

### 1.5. Θεωρητική περιγραφή της μελέτης μας

Στην πορεία της εργασίας λοιπόν, περιγράφουμε αρχικά τα τρία υπό μελέτη νησιά, και αναφερόμαστε στην παρούσα κατάσταση τους, τον τρόπο κάλυψης των ενεργειακών αναγκών τους μέσω των υπαρχών εγκαταστάσεων τους, και τα προβλήματα που παρουσιάζονται στην προσπάθεια κάλυψης των απαιτήσεων αυτών.

Η προτεινόμενη λύση μας, αποτελεί έναν υβριδικό συνδυασμό αιολικών και ηλιακών εγκαταστάσεων, μαζί με μια εγκατάσταση αποθήκευσης ενέργειας με χρήση συμπιεσμένου αέρα (CAES).

Ο συνδυασμός των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών, έχει σαν πρωταρχικό στόχο την παραγωγή ενέργειας και παροχή αυτής στο τοπικό νησιωτικό δίκτυο. Τις περιόδους όμως που το δίκτυο αδυνατεί να απορροφήσει όλη την παραγόμενη ενέργεια, την περίσσεια ενέργειας θα εκμεταλλεύεται το σύστημα αποθήκευσης ε-

νέργειας με χρήση συμπιεσμένου αέρα. Ακολούθως, όταν το δίκτυο θα είναι σε περίοδο υψηλής ζήτησης και η παραγόμενη ενέργεια των ηλιακών και αιολικών εγκαταστάσεων δεν θα επαρκεί, ο αποθηκευμένος πεπιεσμένος αέρας θα μετατρέπεται μέσω στροβίλου και γεννήτριας σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία θα καλύπτει της ανάγκες του δικτύου.

Στην εργασία μας θα αναλύσουμε εκτενέστερα την αρχή λειτουργίας του συστήματος, και στη συνέχεια θα πραγματοποιήσουμε μια προσομοίωση, για τα τρία υπό μελέτη νησιά, σε διαφορετικούς συνδυασμούς διαστάσεων των ανεμογεννητριών, των φωτοβολταϊκών, και της δεξαμενής αποθήκευσης του συμπιεσμένου αέρα.

Ως αποτέλεσμα, με την προσομοίωση αυτή, και για όλους τους ποικίλους συνδυασμούς διαστάσεων των εγκαταστάσεων, θα παρατηρηθεί αν επιτυγχάνεται ή όχι η κάλυψη των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων στις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις νησιών. Εκτός της ενεργειακής αυτονομίας, η μελέτη που θα πραγματοποιηθεί θα αποτυπώνει την κατανάλωση καυσίμου την ενεργειακή λύση σε κάθε περίπτωση, και τέλος, θα πραγματοποιηθεί η οικονομική αξιολόγηση για κάθε πιθανό συνδυασμό, με σκοπό την επιλογή του οικονομικά επικρατέστερου. Η οικονομική αξιολόγηση θα αποτελείται από τη μελέτη του αρχικού κόστους επένδυσης, αλλά και από το κόστος παραγωγής, δηλαδή νομισματική αξία ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας, το λεγόμενο “Levelized Cost Of Energy (LCOE)”.

Συμπερασματικά, και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, χάρη στους πολλαπλούς συνδυασμούς της διαστασιολόγησης, θα είμαστε σε θέση να επιλέξουμε τον ικανότερο και οικονομικότερο συνδυασμό εγκαταστάσεων, έτσι ώστε να επιτυγχάνει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, αποφεύγοντας παράλληλα την κατασκευή υπερμεγέθους εγκατάστασης, η οποία δεν θα είναι δυνατό να αξιοποιηθεί στο έπακρο.

## 2. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

### 2.1. Παρούσα κατάσταση

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται με την εκμετάλλευση διάφορων πρωτογενών πηγών και διαφοροποιείται ανά τον κόσμο, ανάλογα με τους διαθέσιμους εγχώριους ενεργειακούς πόρους. Οι πηγές παραγωγής διακρίνονται σε συμβατικές πηγές, οι οποίες βασίζονται σε ορυκτά στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα, όπως είναι το πετρέλαιο, ο άνθρακας, το φυσικό αέριο, την πυρηνική ενέργεια κ.α., και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ήλιος, αέρας, νερό κλπ.)

Το ποσοστό συμμετοχής του πετρελαίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλό, ιδίως σε αραβικές πετρελαιοπαραγωγικές χώρες (πχ σχεδόν 100% στην Υεμένη), αλλά τα τελευταία χρόνια σε χώρες όπως η Ολλανδία και η Ιρλανδία, μεγάλο ποσοστό του πετρελαίου, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει αντικατασταθεί από το φυσικό αέριο (60% και 50% αντίστοιχα).

Τα στατιστικά στοιχεία του 2006 δείχνουν, ότι η χρήση του λιθάνθρακα κυριαρχεί στη Νότια Αφρική (93%) και στην Πολωνία (92%), ενώ διατηρεί υψηλό ποσοστό στη Δανία (54%), στη Μ. Βρετανία (37.5%), στην Κορέα (38%) και στις Ην. Πολιτείες (σχεδόν 50%). Ο λιγνίτης παίζει σημαντικό ρόλο στην Ελλάδα (55%) και στη Γερμανία (42%). Το ποσοστό της πυρηνικής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό στη Γαλλία (78%), στο Βέλγιο (54.5%), στην Ουγγαρία (37.5%), στη Σουηδία (47%), στη Νότια Κορέα (37%) και στην Ελβετία (43%). Τέλος, το ποσοστό της υδροηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζει υψηλές τιμές στη Νορβηγία (98,5%), στην Αυστρία (64%), στον Καναδά (58%), στην Ελβετία (51%), καθώς και σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, με χαρακτηριστικότερα παραδείγματα την Γκάνα (67%), τη Βραζιλία (83%), την Κένυα (51%) και τη Βενεζουέλα (72%).

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα προέρχεται κυρίως από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας παράγεται περίπου το 50% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκέντρωση των θερμοηλεκτρικών σταθμών στο Βορρά της χώρας δημιουργεί αυξημένες απώλειες κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στα κέντρα κατανάλωσης και ανισορροπία στη λειτουργία. Ωστόσο ο σχεδιασμός τους βασίστηκε στην εγγύτητά τους στις περιοχές που υπάρχουν πλούσια κοιτάσματα λιγνίτη, ο οποίος αποτελεί την καύσιμη πρώτη ύλη για αυτούς τους σταθμούς. Στη χώρα μας υπάρχουν τέσσερις περιοχές με σημαντικά αποθέματα λιγνίτη, στη Δράμα, στη Δυτική Μακεδονία, στην Ελασσόνα και στη Μεγαλόπολη. Σύμφωνα με στοιχεία του 2011 για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα (Nation Report PAE 2012), το 66.5% της εγκατεστημένης ισχύος των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων είναι θερμικοί σταθμοί, εκ των οποίων με λιγνίτη 4930 MW, με πετρέλαιο 730 MW και με φυσικό αέριο 4579 MW. Το 19.6% είναι μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί και το 13.9% είναι μονάδες ΑΠΕ.

Ο λιγνίτης είναι η σημαντική εγχώρια ενεργειακή πηγή, συνεισφέροντας το 53.15% της εγχώριας παραγωγής για το 2011. Το φυσικό αέριο συνεισφέρει το 28.3%. Ταυτόχρονα η ανάδειξη της προστασίας του περιβάλλοντος ως στόχου υψηλής προτεραιότητας της ελληνικής πολιτείας, οδηγεί σε προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών

Ενέργειας, θέτοντας ως στόχο την αύξηση συμμετοχής τους στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο 34% μέχρι το 2020. Στο ίδιο πλαίσιο δίνεται έμφαση στην επιτάχυνση της διείσδυσης του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο. Επειδή η χρονική διάρκεια ζωής των ήδη γνωστών εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων λιγνίτη δεν υπερβαίνει τα 35 χρόνια, έχει διατυπωθεί η άποψη ότι θα πρέπει να μπου στο ελληνικό ισοζύγιο ηλεκτρισμού νέα καύσιμα, όπως ο λιθάνθρακας, ώστε να παραταθεί η διαθεσιμότητα και η χρήση του λιγνίτη σε μεγαλύτερο βάθος χρόνου. Οι ανθρακικές μονάδες επιτυγχάνουν υψηλότερους βαθμούς απόδοσης από τις λιγνιτικές και κατά συνέπεια εκπέμπουν μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα ανά παραγόμενη μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας. Όσον αφορά στις εκπομπές διοξειδίου του θείου, αυτές αντιμετωπίζονται με αντιρρυπαντικές εγκαταστάσεις όπως η αποθείωση καυσαερίων. Επιπλέον ανάμεσα στα πλεονεκτήματα του άνθρακα είναι ότι, ενώ το φυσικό αέριο θα είναι διαθέσιμο για τα επόμενα 50 – 60 χρόνια, ο άνθρακας θα είναι διαθέσιμος τουλάχιστον για 200 χρόνια ακόμη. Ωστόσο η μελλοντική αξιοποίηση του άνθρακα θα εξαρτηθεί από τη δυνατότητα των ηλεκτροπαραγωγών μονάδων άνθρακα να υιοθετήσουν με χαμηλό κόστος καθαρές και αποδοτικές τεχνολογίες καύσης, ώστε να προσαρμοστούν στο αυστηρό πλαίσιο των περιβαλλοντικών απαιτήσεων του «Πρωτοκόλλου του Κυότο» και των αυστηρών Ευρωπαϊκών προδιαγραφών για νέες εγκαταστάσεις καύσης.

Η εγκατεστημένη ισχύς των εν λειτουργία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ήταν 2140 MW στο τέλος του 2011. Σε επίπεδο τεχνολογίας, τα αιολικά έργα επικρατούν στο σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος των έργων ΑΠΕ που βρίσκονται σε λειτουργία. Ωστόσο στα επόμενα 2 έτη αναμένεται να ενισχυθούν σημαντικά τα φωτοβολταϊκά.

Παρατηρώντας λοιπόν τα συνολικά MW που παράγονται από τη χρήση ΑΠΕ, και γνωρίζοντας πως μόνο ένα μικρό ποσοστό αυτών είναι δυνατό να απορροφηθεί από το Εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης, οδηγούμαστε στην ανάγκη δημιουργίας μέσω αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας. Έτσι, το ποσοστό της ενέργειας που απορρίπτεται, είναι δυνατόν να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί, ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί σε τόπους που δε συνδέονται με το δίκτυο, και αντιμετωπίζουν προβλήματα σε ό,τι σχετίζεται με την ενεργειακή τους αυτονομία.

## **2.2. Οι υπό μελέτη περιοχές**

Οι περιοχές που θα μελετήσουμε στη διατριβή μας, είναι οι νήσοι Αμοργός, Δονούσα και Μεγίστη.

### **2.2.1. Νήσος Δονούσα**

Η Δονούσα ανήκει στις Μικρές Κυκλάδες, βρίσκεται ανατολικά της Νάξου και βόρεια της Αμοργού (που μαζί αποτελούν τα ακραία ανατολικά νησιά των Κυκλάδων). Απέχει 24 ναυτικά μίλια από το λιμάνι της Νάξου και 127 από το λιμάνι του Πειραιά. Έχει έκτασή 13,4 τετραγωνικά χιλιόμετρα και ακανόνιστο σχήμα. Εμφανίζει χαρακτηριστή ημιορεινού νησιού με κύριες μορφολογικές εξάρσεις τα υψώματα Βάρδια (385μ) και Πάπας (383μ) στα κεντρικά –ανατολικά. Μορφολογικά το ανάγλυφο του νησιού μπορεί να χωρισθεί σε δύο τμήματα: το δυτικό, που είναι σχετικά ομαλό, όπου βρίσκεται και το μοναδικό λιμάνι του νησιού και στο ανατολικό που είναι έ-

ντονο. Οι ακτές του νησιού είναι κρημνώδεις και βραχώδεις με μεγάλες κλίσεις. Το υπέδαφος χαρακτηρίζεται πλούσιο σε μεταλλεύματα και πετρώματα και μέχρι το 1950 λειτουργούσαν ορυχεία σιδήρου, χαλκού, αλουμινίου. Το κλίμα της είναι θαλάσσιο Μεσογειακό και χαρακτηρίζεται από το χαμηλό θερμομετρικό εύρος, τον ήπιο χειμώνα και το παρατεταμένο ξηρό και δροσερό καλοκαίρι.

Η Δονούσα είναι νησί της Περιφερειακής Ενότητας Νάξου και αποτελεί Δημοτική Ενότητα του Δήμου Νάξου & Μικρών Κυκλάδων. Αποτελείται από ένα Δημοτικό Διαμέρισμα, που, σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ, περιλαμβάνει τη νήσο Δονούσα με τέσσερις οικισμούς: Δονούσα (Σταυρός), Καλοταρίτιστα, Μερσίνη και Χαραυγή (Μεσαριά). Τις νησίδες: Αγία Παρασκευή, Μαχαίρες, Σκυλονήσι και Στρογγυλή, που δεν έχουν σήμερα μόνιμο πληθυσμό. Ο μόνιμος πληθυσμός της, σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2011, ανέρχεται σε 167 κατοίκους.

Στη Δονούσα υπάρχει εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο συντελούν έξι πετρελαιοκινητήρες, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 508 KW. Σύμφωνα με απολογιστικά στοιχεία της ΔΕΗ, το έτος 2009, σε αιχμή, η κατανάλωση ρεύματος έφτανε τα 290 KW, με την ολική παραγωγή να φτάνει τις 635,1 MWh ενώ η καθαρή παραγωγή βρισκόταν στις 625 MWh. Το κόστος καθαρής παραγωγής σε

ευρώ, ανά MWh κυμαινόταν στα 740,80 €, ενώ για την παραγωγή ενέργειας, χρησιμοποιείται ελαφρύ καύσιμο, ποσότητας 209 τόνων

Δίκτυο ηλεκτροφωτισμού υπάρχει σε όλους τους οικισμούς. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε θέση κοντά στο Μερσίνη, υπάρχει ιδιωτική κατοικία ενεργειακά αυτόνομη (με μικρή ανεμογεννήτρια και ηλιακά κάτοπτρα). Γενικά το νησί, διαθέτει συγκριτικά πλεονεκτήματα στον τομέα των ΑΠΕ, λόγω κλιματικών συνθηκών, αν και μέχρι σήμερα το δυναμικό του είναι αναξιοποίητο.

### **2.2.2. Νήσος Καστελλόριζο (Μεγίστη)**

Η νήσος Καστελλόριζο ή Μεγίστη, ανήκει στα νησιά των Δωδεκανήσων. Το νησιωτικό σύμπλεγμα του Καστελλόριζου, αποτελείται από 14 νησιά και βρίσκεται στο ανατολικότερο άκρο της Ελλάδας. Απέχει 1,25 ναυτικά μίλια από τις νοτιοδυτικές ακτές της Τουρκίας καθώς και 72ν.μ από τη Ρόδο. Από το λιμάνι του Πειραιά απέχει 328ν.μ.

Έχει έκταση 9,1 km<sup>2</sup>, ακτογραμμή μήκους 19,5 km, και βάσει της επίσημης απογραφής του 2011, πληθυσμό 492 κατοίκων, οι οποίοι συγκροτούν το Δήμο Μεγίστης (η ονομασία προέρχεται λόγω του μεγέθους του νησιού, καθώς είναι το μεγαλύτερο αυτού του μικρού αρχιπελάγους, το οποίο περιλαμβάνει τις νησίδες Άγιο Γεώργιο, Αγριέλαια, Μαύρο Ποινή. Πολύφαδο, Πω, Στρογγυλή, Ψωμί, Ψωραδιά, και μερικές ακόμη νησίδες).

Οι ενεργειακές υποδομές του νησιού περιορίζονται στο δίκτυο ηλεκτροδότησης. Η τροφοδοσία του νησιού γίνεται με ηλεκτρική ενέργεια από τον αυτόνομο σταθμό της ΔΕΗ που υπάρχει στο νησί. Σύμφωνα με απολογιστικά στοιχεία της ΔΕΗ, το έτος 2009, σε αιχμή, η κατανάλωση ρεύματος έφτανε τα 760 KW, με την ολική παραγωγή να φτάνει τις 2.597,8 MWh ενώ η καθαρή παραγωγή βρισκόταν στις 2.513,9 MWh. Το κόστος καθαρής παραγωγής σε ευρώ, ανά MWh κυμαινόταν

στα 400,46 €, ενώ για την παραγωγή ενέργειας, χρησιμοποιείται ελαφρύ καύσιμο, ποσότητας 761 τόνων.

Παρά τη μεγάλη ηλιοφάνεια που επικρατεί στο νησί, η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας περιορίζεται μόνο στη χρήση ηλιακών θερμοσιφώνων για τη θέρμανση του νερού προς οικιακή χρήση.

Το νησί διαθέτει επίσης μονάδα αφαλάτωσης, ώστε να τροφοδοτείται με πόσιμο νερό ο οικισμός.

### **2.2.3. Νήσος Αμοργός**

Η Αμοργός είναι νησί των νότιων Κυκλάδων. Βρίσκεται νοτιοανατολικά της Νάξου, και 136 ναυτικά μίλια από το λιμάνι του Πειραιά. Έχει έκταση 121.464 km<sup>2</sup> και έχει μακρόστενο σχήμα. Το μήκος από το ένα άκρο του νησιού στο άλλο είναι περίπου 32 χιλιόμετρα. Χαρακτηρίζεται από απότομη ορεινή μορφολογία εδάφους, με ψηλότερα τα βουνά Κρίκελο (821μ.), Προφήτη Ηλία (699μ.), και Κόρακα (607 μ.), ενώ στον 126 km ακτογραμμών που έχει, διαθέτει δύο φυσικά λιμάνια, τα Κατάπολα και την Αιγιάλη. Πρωτεύουσα του νησιού είναι η Χώρα Αμοργού, ενώ κύριο λιμάνι είναι τα Κατάπολα. Ο μόνιμος πληθυσμός της είναι περίπου 1700 κάτοικοι.

Η Αμοργός κατατάσσεται, από άποψη κλίματος, στον εύκρατο τύπο του χερσαίου Μεσογειακού. Δεδομένου ότι στο νησί δεν υπάρχει μετεωρολογικός σταθμός αναφέρονται τα μετεωρολογικά στοιχεία του σταθμού της Νάξου, που είναι ο πλησιέστερος σταθμός, τα στοιχεία του οποίου σε σύγκριση με αυτά του σταθμού της ΕΜΥ στο αεροδρόμιο της Θήρας στη Σαντορίνη, μπορούν να θεωρηθούν αρκούτως ρεαλιστικά, λόγω των πολύ μικρών αποκλίσεων τους.

Από τα στοιχεία της Ε.Μ.Υ. φαίνεται ότι οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος με μέση ετήσια θερμοκρασία 12,1 °C και 12,2 °C αντίστοιχα, ενώ οι θερμότεροι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος με 24,7 °C και 24,6 °C αντίστοιχα, και ειδικότερα έχουν μετρηθεί ως οι πιο ακραίες τιμές το μήνα Φεβρουάριο -1 °C και τον Ιούλιο 37,4 °C. Ως θερμή περίοδος χαρακτηρίζεται εκείνη του Απριλίου-Μαΐου έως Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου με μέση θερμοκρασία άνω των 18°C, η οποία ξεπερνά τους 20°C κατά την περίοδο Ιουνίου-Σεπτεμβρίου.

Σχετικά με τις βροχοπτώσεις στο νησί, το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κατά την περίοδο 1955-1988, κυμαίνεται γύρω στα 370 mm, και ο μέσος αριθμός ημερών βροχής στις 82, με τάση ακραίας συμπεριφοράς.

Σε ότι αφορά τους ανέμους, το 77% των ετησίων ανέμων εντάσσεται στην κατηγορία μικρής και μεσαίας έντασης, δηλαδή στην κλίμακα Β 1-5. Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία του Μετεωρολογικού σταθμού της Νάξου οι επικρατέστεροι άνεμοι στην περιοχή, είναι κατά φθίνουσα συχνότητα εμφάνισης αντίστοιχα: οι Β με ένταση μέχρι 11Β, οι Ν με ένταση μέχρι 10 Β, οι ΒΑ με ένταση μέχρι 10 Β, οι ΝΑ με ένταση μέχρι 11 Β και οι ΒΑ με ένταση μέχρι 10 Β. Οι επικρατούντες άνεμοι είναι οι Β-ΒΑ με συνολική ετήσια συχνότητα 50.75%. Επιπλέον, η μέγιστη ένταση ανέμου για το βόρειο τομέα σύμφωνα με τα υπάρχοντα στοιχεία δεν υπερβαίνει τα 9 Β. Εν τούτοις άνεμοι αναμένονται στην περιοχή μέχρι και 10 Β αλλά μικρής διάρκειας. Τους χειμερινούς μήνες μειώνεται αισθητά η παρουσία των νοτίων ανέμων αλλά η παρουσία των βορείων ανέμων παραμένει σταθερή, ενώ αυξάνεται παντού η παρουσία

των βορειοανατολικών και των δυτικών ανέμων. Το ποσοστό νηνεμίας είναι πολύ μικρό, άλλα είναι ένα φυσιολογικό ποσοστό μιας και πρόκειται για νησί των Κυκλάδων. Πρέπει να σημειωθεί ότι στο Αιγαίο πνέουν από τον Ιούλιο μέχρι τον Σεπτέμβριο, οι Ετήσιοι Άνεμοι: τα Μελέτεια. Άλλα ακραία μετεωρολογικά φαινόμενα, όπως το χιόνι, το χαλάζι, οι παγετοί, η ομίχλη κλπ., σπανίως παρατηρούνται.

Η ενεργειακή κάλυψη του νησιού επιτυγχάνεται χάρη στον τοπικό σταθμό παραγωγής ενέργειας της ΔΕΗ. Ο σταθμός αποτελείται από έξι μηχανές καύσης πετρελαίου, η συνολική αποδιδόμενη ισχύς (εγκατεστημένη ισχύς) των οποίων ανέρχεται στα 5286 KW. Σύμφωνα με απολογιστικά στοιχεία της ΔΕΗ, το έτος 2009, σε αιχμή, η κατανάλωση ρεύματος έφτανε τα 2940 KW, με την ολική παραγωγή να φτάνει τις 9.846,4 MWH ενώ η καθαρή παραγωγή βρισκόταν στις 9.584,1 MWH. Το κόστος καθαρής παραγωγής σε ευρώ, ανά MWh κυμαινόταν στα 304,50 €, ενώ για την παραγωγή ενέργειας, χρησιμοποιείται ελαφρύ καύσιμο, ποσότητας 2.522 τόνων.

### 3. Περιγραφή προτεινόμενης λύσης

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή της εργασίας μας, για την αντιμετώπιση των ενεργειακών προβλημάτων των τριών υπό μελέτη νησιών διαφορετικής κλίμακας πληθυσμού, δηλαδή της Δονούσας (167 κάτοικοι), του Καστελόριζου (492 κάτοικοι) και της Αμοργού (1700 κάτοικοι), θα παρουσιάσουμε μια προτεινόμενη υβριδική ενεργειακή λύση.

Η λύση αυτή θα αναλυθεί περαιτέρω στο παρόν κεφάλαιο, με επιμέρους περιγραφή και επεξηγηματική αναφορά στην αρχή λειτουργίας του κάθε κομματιού της εγκατάστασης.

Ξεκινώντας λοιπόν, για την αντιμετώπιση των ενεργειακών προβλημάτων των μη διασυνδεδεμένων νησιών παρουσιάζουμε ένα υβριδικό σύστημα ηλιακού και αιολικού πάρκου, σε συνδυασμό με διάταξη αποθήκευσης ενέργειας, έτσι ώστε να εκμεταλλευτούμε ολοκληρωτικά τις απορρίψεις της συνολικής παραγόμενης ενέργειας που έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν.

Βασιζόμενοι στις ΑΠΕ και συγκεκριμένα στο υψηλό ηλιακό και αιολικό δυναμικό που παρουσιάζεται στο Αιγαίο Πέλαγος, εξασφαλίζουμε μια ενεργειακή λύση οικονομικότερη και με μηδαμινές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε αντίθεση με την παρούσα παραγωγή ενέργειας με χρήση τροφοδοτούμενων με πετρέλαιο μηχανών. Το κυριότερο πρόβλημα όμως που παρουσιάζει η λύση αυτή αποτελεί το γεγονός πως η ενέργεια που αποδίδεται από την φύση είναι απρόβλεπτη, με συνέπεια να αδυνατεί ένα δίκτυο να βασίζεται αποκλειστικά σε αυτήν. Για αυτό το λόγο στην εργασία μας προτείνουμε ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας ώστε να αντισταθμίζει το μεγαλύτερο αυτό μειονέκτημα των ΑΠΕ.

#### 3.1. Φωτοβολταϊκά

Με τον γενικό όρο Φωτοβολταϊκά (Φ/Β) ονομάζεται η βιομηχανική διάταξη πολλών φωτοβολταϊκών κυττάρων σε μία σειρά. Στην ουσία πρόκειται για τεχνητούς ημιαγωγούς (συνήθως από Πυρίτιο) οι οποίοι ενώνονται με σκοπό να δημιουργήσουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα σε σειρά. Οι ημιαγωγοί αυτοί απορροφούν φωτόνια από την ηλιακή ακτινοβολία και παράγουν μια Ηλεκτρική τάση. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται «Φωτοβολταϊκό φαινόμενο».

Τα φωτοβολταϊκά ανήκουν στη κατηγορία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Στην κατηγορία των ανανεώσιμων ηλιακών πηγών ενέργειας, τα ηλιοθερμικά συστήματα είναι πιο αποδοτικά από τα φωτοβολταϊκά.

Υπάρχουν δυο κύριες κατηγορίες συστημάτων, το διασυνδεδεμένο με το δίκτυο και το αυτόνομο. Η απλούστερη μορφή του δεύτερου εκ των δυο αποτελείται απλώς από μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια, η οποία μόνη της τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα ένα φορτίο οποτεδήποτε υπάρχει επαρκής φωτεινότητα. Αυτού του τύπου το σύστημα είναι κοινό σε εφαρμογές άντλησης. Σε άλλες περιπτώσεις το σύστημα περιέχει συνήθως μια φροντίδα για αποθήκευση ενέργειας από τις μπαταρίες. Συχνά συμπεριλαμβάνεται κάποια μορφή ρύθμισης της ισχύος, όπως στην περίπτωση που απαιτείται εναλλασσόμενο ρεύμα να εξέρχεται από το σύστημα. Σε μερικές περιπτώσεις το σύστημα περιέχει μια εφεδρική γεννήτρια.



Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα μπορούν να υποδιαιρεθούν σ' εκείνα στα οποία το δίκτυο ενεργεί απλώς ως μια βοηθητική τροφοδοσία (εφεδρικό δίκτυο) και εκείνα τα οποία ίσως λάβουν επίσης πρόσθετη ισχύ από τη Φ.Β. γεννήτρια (αλληλοεπιδρώμενο δίκτυο). Μέσα στους Φ.Β. σταθμούς όλη η παραγόμενη ισχύς τροφοδοτείται στο δίκτυο.

### 3.1.1. Αρχή λειτουργίας και δομή των φωτοβολταϊκών

Το φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το Φ/Β φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον **Έντμοντ Μπεκερέλ** (Alexandre-Edmond Becquerel). Περιληπτικά πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.

Τα Φ/Β πλαίσια έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός μικρού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί **ηλεκτρική τάση** και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα Φ/Β στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ή γεννήτριες (module), τυπικής ισχύος από 20W έως 300W. Οι Φ/Β γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες (arrays).

Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα αριθμό μερών ή υποσυστημάτων:

- (α) Τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια με τη μηχανική υποστήριξη και πιθανόν ένα σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς.
- (β) Μπαταρίες (υποσύστημα αποθήκευσης)- πλέον δεν χρησιμοποιούνται, εκτός σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις όπως είναι π.χ. οι Φάροι, διαφορετικά η σύνδεση του πάνελ γίνεται απευθείας με το υφιστάμενο δίκτυο της ΔΕΗ.
- (γ) Καθορισμό ισχύος και συσκευή ελέγχου που περιλαμβάνει φροντίδα για μέτρηση και παρατήρηση.
- (δ) Εφεδρική γεννήτρια. Η επιλογή του πώς και ποια από αυτά τα στοιχεία ολοκληρώνονται μέσα στο σύστημα εξαρτάται από ποικίλες εκτιμήσεις.
  - Κάθε ηλιακό κελί του πλαισίου μαζί με τα υπόλοιπα κελιά σχηματίζουν μια σειρά, η οποία μαζί με τις υπόλοιπες σειρές κελιών αποτελούν το πλαίσιο. Τα πλαίσια ύστερα συνδέονται σε σειρά το ένα δίπλα στο άλλο, και ονομάζονται στοιχειοσειρά (string) (βλ. Σχ. 1.1) .
  - Το τέλος και στην αρχή της σειράς αυτής, βρίσκονται ο αρνητικός και ο θετικός πόλος αντίστοιχα, οι οποίοι συνδέονται με τον μετατροπέα (inverter).
  - Συναντάται επίσης και η συσκευή String-Combiner, ένας πίνακας σύνδεσης γεννητριών, ο οποίος ασφαλίζει και συγκεντρώνει μεμονωμένες Φ/Β

στοιχειοσειρές. Στον String-Combiner μπορούν να συνδεθούν 12 ή 24 Φ/Β στοιχειοσειρές παράλληλα στις υποδοχές ασφαλειών ή κατ' επιλογή. Με αυτό τον τρόπο, οι Φ/Β στοιχειοσειρές συγκεντρώνονται και συνδέονται μέσω του κεντρικού καλωδίου DC με τον κεντρικό μετατροπέα. Οι χρησιμοποιούμενες στον String-Combiner ασφάλειες στοιχειοσειρών προστατεύουν τις φωτοβολταϊκές μονάδες από ρεύματα επιστροφής.



*Εικόνα 3.1.1. Διάταξη φωτοβολταϊκών μονάδων*

### **3.2. Αιολικές μηχανές- Ανεμογεννήτριες**

Οι αιολικές μηχανές αποτελούν ανθρώπινες επινοήσεις που έχουν σαν σκοπό την αποτελεσματική αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου και έχουν τις ρίζες τους στα πρώιμα ιστορικά χρόνια καθώς λαοί όπως οι Κινέζοι, Ασύριοι, Έλληνες και Πέρσες, χρησιμοποιούν αντίστοιχες συσκευές από τη 2<sup>η</sup> π.Χ. χιλιετία.

Οι ανεμοκινητήρες ή ανεμογεννήτριες (εφεξής αναφερόμενες και ως α/γ, για λόγους συντομίας) επανήλθαν στο προσκήνιο της ενεργειακής τεχνολογίας στα μέσα της δεκαετίας του 1970, σα συνέπεια των διαδοχικών ενεργειακών κρίσεων και της αυξανόμενης περιβαλλοντικής υποβάθμισης.

Στην ακόλουθη τριακονταετία, λόγω της έντονης δραστηριοποίησης στον τομέα των εφαρμογών των αιολικών μηχανών που έλαβε χώρα στις Η.Π.Α και εν συνεχεία στην Ευρώπη, η εγκατάσταση και η χρήση των α/γ ξεπέρασε τα 15.000 αιολικά MW σε διάφορες περιοχές του πλανήτη.

### 3.2.1. Αρχή λειτουργίας των ανεμογεννητριών

Η αρχή λειτουργίας των ανεμογεννητριών είναι πολύ απλή και δουλεύει ως εξής, ο αέρας περιστρέφει τα πτερύγια τα οποία είναι συνδεδεμένα με έναν περιστρεφόμενο άξονα. Αυτός ο άξονας περνάει σε ένα κιβώτιο μετάδοσης κίνησης και το κιβώτιο συνδέεται με έναν άλλον άξονα μέσω του οποίου κινείται μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Οι σημερινές ανεμογεννήτριες μπορούν να παράγουν από μερικές δεκάδες ή εκατοντάδες W μέχρι μερικά MW.

### 3.2.2. Κύριες κατηγορίες ανεμογεννητριών

Οι πλέον διαδεδομένες κατηγορίες ανεμοκινητήρων είναι οι α/γ οριζόντιου άξονα και οι α/γ κατακόρυφου άξονα.



Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, όπως προδίδει και η ονομασία τους, έχουν τον άξονα τους σε οριζόντια θέση, παράλληλα δηλαδή στο έδαφος και συνεπώς στη φορά του ανέμου. Αυτές οι ανεμογεννήτριες, μπορούν να διαθέτουν πτερωτή αποτελούμενη από ένα, μέχρι και πενήντα πτερύγια, αλλά σε ποσοστό 90%, χρησιμοποιούνται α/γ τύπου έλικας, οι οποίες βασίζονται στην τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων, οι οποίες έχουν πολύ υψηλό αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης.

Ο προσανατολισμός του δρομέα προς τη διεύθυνση του ανέμου, επιτυγχάνεται είτε με τη χρήση καθοδηγητικού πτερυγίου (παθητική διάταξη) είτε με τη χρήση κατάλληλων αισθητηρίων τα οποία καταγράφουν ανά πάσα στιγμή τη διεύθυνση του ανέμου και προσανατολίζουν ηλεκτρονικά την πτερωτή (ενεργητική διάταξη).

Για τον έλεγχο ισχύος της μηχανής είναι απαραίτητη η ρύθμιση του βήματος της, κατά την οποία πραγματοποιείται περιστροφή του πτερυγίου γύρω από το διαμήκη

άξονα του έτσι ώστε να δημιουργείται η σωστή γωνία προσβολής από τον άνεμο και να έχουμε παραγωγή ισχύος, και ο κατάλληλος αεροδυναμικός σχεδιασμός και η αξιοποίηση του φαινομένου «απώλειας στήριξης», λειτουργία που βασίζεται στο αεροδυναμικό φαινόμενο της αποκόλλησης του οριακού στρώματος από το πτερύγιο, εφόσον η γωνία προσβολής του πτερυγίου ξεπεράσει ορισμένα αεροδυναμικά όρια.

Τα κύρια τμήματα μιας τέτοιας α/γ, είναι η πτερωτή (δρομέας), ο άξονας, το σύστημα μετάδοσης κίνησης, το οποίο περιλαμβάνει κιβώτιο μετασχηματισμού της χαμηλής ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής στις υψηλές ταχύτητες περιστροφής, ηλεκτρικές γεννήτριες για τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική, και τον πύργο στήριξης.



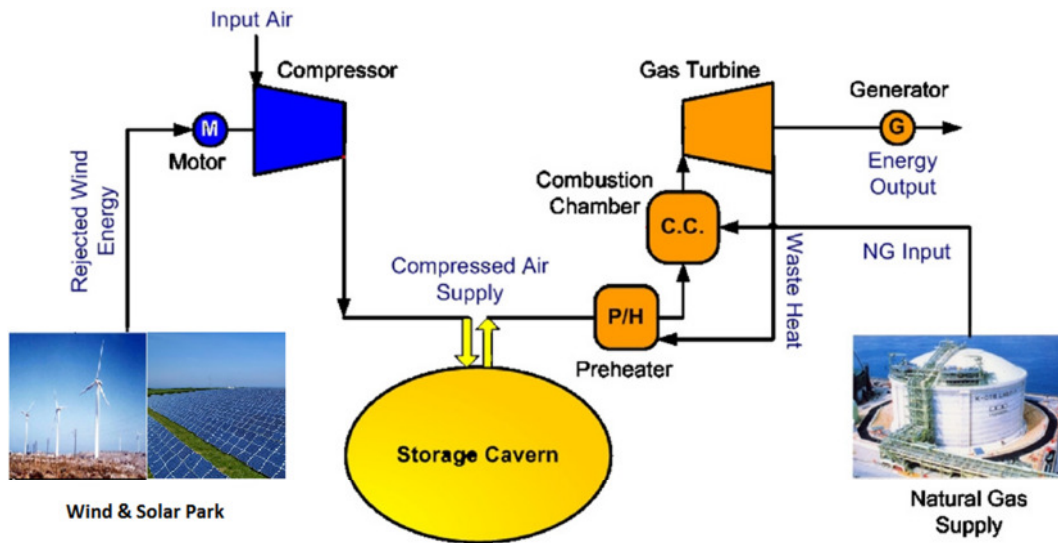
Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, πλεονεκτούν απέναντι στις προαναφερθείσες σε ό,τι αφορά την προσαρμογή στη φορά του ανέμου, πράγμα που τις καθιστά πιο απλές κατασκευές. Οι γνωστότερες α/γ αυτής της κατηγορίας είναι οι μηχανές τύπου «Darrieus» και οι μηχανές τύπου «Savonius». Η περιστροφή της πτερωτής τους γίνεται γύρω από τον άξονα τους ο οποίος είναι κάθετος στο έδαφος και τη φορά του ανέμου και το παραγόμενο έργο μεταφέρεται μέσω του άξονα στην ηλεκτρική γεννήτρια που είναι τοποθετημένη στο έδαφος.

Μολαταύτα, ο συντελεστής ισχύος των εν λόγω μηχανών είναι μικρός, καθώς επίσης παρουσιάζουν και πρόβλημα κατά την εκκίνηση, μιας και χρειάζονται εξωτερική βοήθεια για να την πραγματοποιήσουν.

### 3.3. Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με χρήση συμπιεσμένου αέρα (CAES)

#### 3.3.1. Περιγραφή του συστήματος

Η τεχνολογία της αποθήκευσης ενέργειας με χρήση συμπιεσμένου αέρα (Compressed air energy storage), ή αλλιώς CAES, λειτουργεί όταν ενέργεια σε περιόδους εκτός αιχμής απορροφάται, είτε από το δίκτυο, ή –στην δική μας περίπτωση– από κάποια άλλη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται για να συμπιέζει αέρα σε μια φυσική κοιλότητα του εδάφους ή σε μια τεχνητή δεξαμενή ειδικά κατασκευασμένη για αυτό το σκοπό, μέσω ενός συμπιεστή. Ύστερα, κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής ενεργειακής ζήτησης, απελευθερώνεται ο απαραίτητος (για να καλύψει τη ζήτηση) αέρας που πρωτίστως είχε αποθηκευτεί, ώστε να περάσει από τον αεριοστρόβιλο, και να παράγει ηλεκτρισμό η απευθείας συνδεδεμένη σε αυτόν ηλεκτρική γεννήτρια. Νωρίτερα, και αφού έχει απελευθερωθεί ο αέρας από τον χώρο αποθήκευσής του, θα προθερμαθεί σε αναγεννητή-αναθερμαντήρα, ο οποίος εκμεταλλεύεται τη θερμότητα των αποβαλλόμενων καυσαερίων, και ακολούθως θα αναμειχθεί μαζί με την απαραίτητη ποσότητα καυσίμου (στην δική μας περίπτωση, φυσικό αέριο) στο θάλαμο καύσης. Τα υπό πίεση και υπέρθερμα καυσαέρια πλέον εισέρχονται στον στρόβιλο όπου εκτονώνονται, και ο στρόβιλος τροφοδοτεί με κινητική ενέργεια την ηλεκτρική γεννήτρια, η οποία παράγει ηλεκτρισμό.



Εικόνα 3.3.1. Αναλυτικό σκαρίφημα ενός συστήματος CAES

### 3.3.2. Αρχή λειτουργίας

Το σύστημα ακολουθεί την εξής αρχή λειτουργίας, αποτελούμενη από τα παρακάτω μέρη:

- **Πηγή ενέργειας**

Σαν πηγή ενέργειας για την τροφοδοσία της εγκατάστασης CAES στη μελέτη μας, όπως περιγράφηκε στα δύο προηγούμενα κεφάλαια, αποτελούν

– ένα ηλιακό

– και ένα αιολικό πάρκο

μεταβαλλόμενων διαστάσεων, καθώς η επιλογή των επικρατέστερων θα προκύψει από την επικείμενη προσομοίωση της μελέτης.

Το σύστημά μας λοιπόν θα χρησιμοποιεί σαν πηγή ενέργειας την περίσσεια των δύο πάρκων. Αυτή η περίσσεια ενέργειας υπό κανονικές συνθήκες δεν θα παραγόταν, εφόσον θα υπήρχε αδυναμία απορρόφησης της από το δίκτυο των νησιών. Στην περίπτωση μας λοιπόν δεν θα περιορίσουμε την παραγωγή ενέργειας των φωτοβολταϊκών και των ανεμογεννητριών, αλλά θα την αξιοποιήσουμε με τη χρήση της τεχνολογίας CAES.

- **Κινητήρας (μοτέρ)**

Ο ρόλος του κινητήρα είναι να χρησιμοποιεί την ενέργεια που του παρέχουν οι περικοπές των δύο πάρκων, έτσι ώστε να κινεί τον συμπιεστή που ακολουθεί στη συνέχεια.

- **Συμπιεστής**

Εκμεταλλεύόμενος την αιολική και ηλιακή ενέργεια, ο συμπιεστής συμπιέζει τον διερχόμενο αέρα ώστε να αποθηκευτεί με υψηλή πίεση. Σημειωτέων πως από την αποδιδόμενη ισχύ των πάρκων θα υφίστανται απώλειες, λόγω του βαθμού απόδοσης του κινητήρα. Το επιλεγόμενο μέγεθος του συμπιεστή είναι μεταβαλλόμενο, εξαρτώμενο των μεγεθών των δύο πάρκων. Μέρος της προσομοίωσης αποτελεί και η ένδειξη των απαραίτητων διαστάσεών του, σε MW.

- **Αποθηκευτικός χώρος**

Ο αποθηκευτικός χώρος είναι απαραίτητος για την αποθήκευση του παραγόμενου αέρα από τον συμπιεστή, έτσι ώστε να διαφυλαχθεί χωρίς να χάσει την υψηλή του πίεση, και να χρησιμοποιηθεί την κατάλληλη στιγμή, όταν το δίκτυο έχει ανάγκη παραγωγής ενέργειας. Ο χώρος αποθήκευσης πρέπει να έχει τις απαραίτητες διαστάσεις ώστε να μπορεί να αξιοποιήσει στο έπακρο τον διερχόμενο πεπιεσμένο αέρα από τον συμπιεστή. Η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους του χώρου γίνεται με χρήση της προσομοίωσης της μελέτης μας.

Ως αποθηκευτικός χώρος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια φυσική κοιλότητα του εδάφους, κάτι που απαιτεί την απαραίτητη γεωλογική έρευνα για να βρεθεί, και περιορίζει σημαντικά τις πιθανές τοποθεσίες της εγκατάστασης, αποτελώντας ωστόσο μια χαμηλού κόστους επιλογή. Εναλλακτικά, μπορεί

να χρησιμοποιηθεί μια ειδική δεξαμενή, αυξάνοντας όμως σημαντικά το κόστος κεφαλαίου της εγκατάστασης.

Στη δική μας προσομοίωση θα υποθέσουμε μια φυσική κοιλότητα ως αποθηκευτικό χώρο, μειώνοντας έτσι το κόστος κεφαλαίου.

- **Αναθερμαντήρας**

Ο αναθερμαντήρας ή αναγεννητής, θα εκμεταλλεύεται την απορριπτόμενη θερμότητα των καυσαερίων της εγκατάστασης, για να προθερμάνει τον πεπιεσμένο αέρα, πριν την είσοδο του στο θάλαμο καύσης.

- **Δεξαμενή καυσίμου**

Σαν καύσιμο η εγκατάσταση θα χρησιμοποιεί φυσικό αέριο, το οποίο αποθηκευμένο στην απαραίτητη δεξαμενή, θα αναμειγνύεται με τον υπέρθερμο αέρα στο θάλαμο καύσης έτσι ώστε τα καυσαέρια να έχουν την απαιτούμενη πίεση για να αποδώσει ο στρόβιλος.

- **Θάλαμος καύσης**

Ο θάλαμος καύσης θα πραγματοποιεί τη χημική αντίδραση της καύσης στο μίγμα αποθηκευμένου αέρα και φυσικού αερίου, μετατρέποντας το σε καυσαέρια υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης.

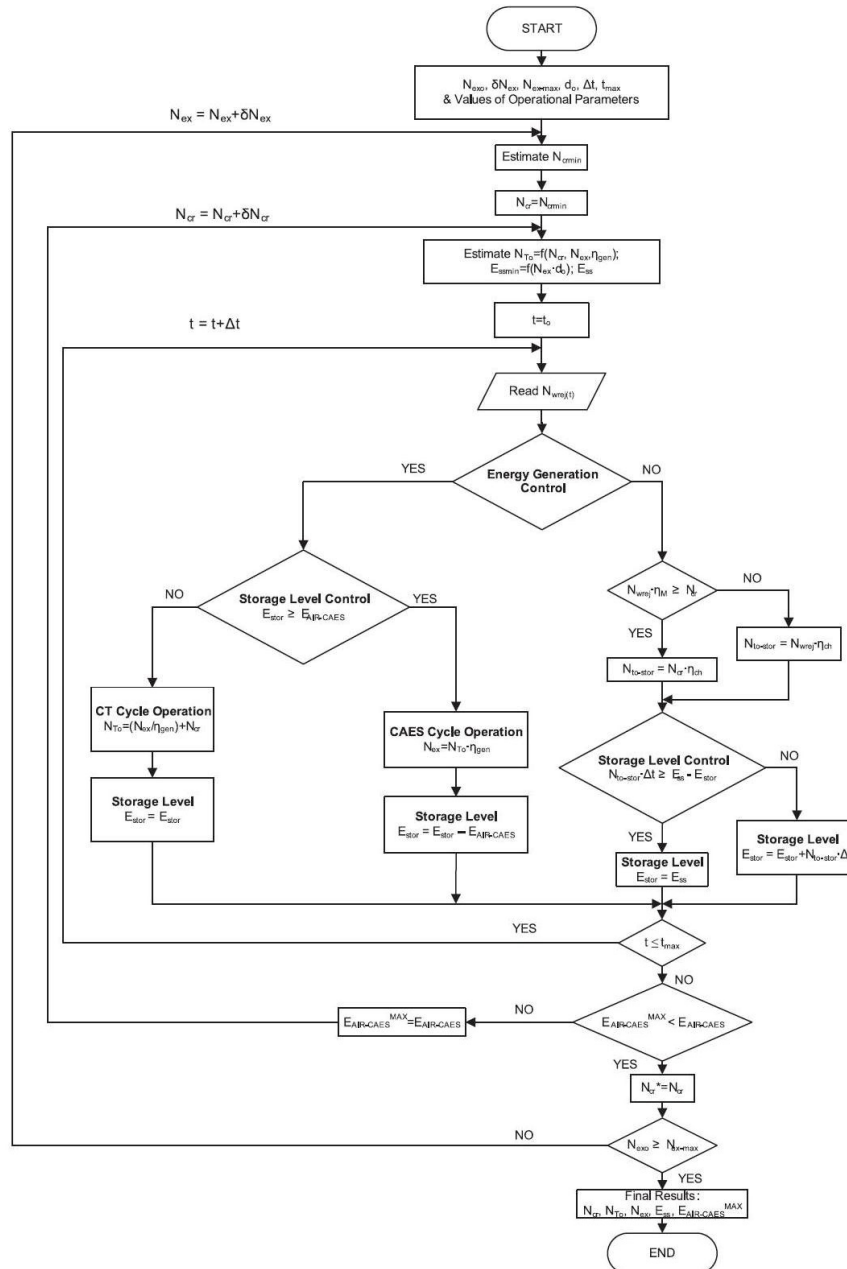
- **Αεριοστρόβιλος**

Ο αεριοστρόβιλος, εν συντομία στρόβιλος ή τουρμπίνα, θα λειτουργεί κινούμενος από τα εισερχόμενα υπέρθερμα και υπό πίεση καυσαέρια, πραγματοποιώντας την εκτόνωση τους και παράλληλα κινώντας την συνδεδεμένη σε αυτόν ηλεκτρική γεννήτρια.

Οι διαστάσεις του στρόβιλου, μεταβάλλονται αναλογικά με τις αντίστοιχες των δύο πάρκων, του συμπιεστή και του χώρου αποθήκευσης, ώστε να ανταποκρίνεται η αποδιδόμενη ισχύς του στις απαιτήσεις των λοιπών τμημάτων του συστήματος μας.

- **Ηλεκτρική γεννήτρια**

Τέλος, το σύστημα μας θα αποτελείται και από μία ηλεκτρική γεννήτρια σε σύνδεση με τον αεριοστρόβιλο, η οποία θα μετατρέπει την κινητική ενέργειά του σε ηλεκτρική, η οποία θα παρέχεται στο ηλεκτρικό δίκτυο του νησιού.



Σχήμα 3.3.2. Αλγόριθμος-λογικό διάγραμμα εγκατάστασης διπλού κύκλου CAES



## 4. Μεθοδολογία προσομοίωσης

Για την επιτυχή μελέτη της προτεινόμενης λύσης μας, πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση που αναφέρθηκε και παραπάνω, η οποία μας προσέφερε τη δυνατότητα να υπολογίσουμε τα ενεργειακά και οικονομικά αποτελέσματα για ποικίλους συνδυασμούς διαστάσεων των εγκαταστάσεων του συστήματός μας.

Για την προσομοίωση λοιπόν που πραγματοποιήσαμε χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα Microsoft Excel, στο οποίο τοποθετήθηκαν εξαρχής τα αιολικά και ηλιακά δυναμικά των τριών υπό μελέτη νήσων για κάθε ώρα του έτους, τα στοιχεία των φωτοβολταϊκών, ανεμογεννητριών, του συμπιεστή, του αεριοστρόβιλου και του αποθηκευτικού χώρου, και οι αλγόριθμοι που υπολόγιζαν την απαραίτητη ισχύ για το καθένα ξεχωριστά.

Στη συνέχεια και αφού αναλάβαμε τους υπόλοιπους υπολογισμούς, δημιουργήθηκε μια φόρμα στην οποία τοποθετούσαμε τους συνδυασμούς των διαστάσεων των μονάδων μας ξεχωριστά. Οι συνδυασμοί αυτοί ήταν από 0 έως 5 MW, ανά 0,5 MW για τα ηλιακά και αιολικά πάρκα, και 0 έως 10.000m<sup>3</sup> ανά 1.000 m<sup>3</sup> για τον αποθηκευτικό χώρο. Τοποθετώντας τους λοιπόν στην ειδική φόρμα που κατασκευάσαμε υπολογίσαμε για κάθε συνδυασμό και για κάθε νησί, την απαιτούμενη αποδιδόμενη ισχύ του συμπιεστή και του αεριοστρόβιλου, καθώς και την ετήσια κατανάλωση καυσίμου, τις ώρες απόρριψης και το ενεργειακό έλλειμμα ετησίως.

Από τα αποτελέσματα αυτά, κατασκευάσαμε διαγράμματα καλύπτοντας κάθε συνδυασμό των νησιών της προσομοίωσης, απεικονίζοντας τις ώρες απόρριψης και την κατανάλωση καυσίμου, έτσι ώστε να παρατηρηθεί η ενεργειακή κάλυψη που επιτεύχθηκε με κάθε συνδυασμό, και η κατανάλωση καυσίμου που αυτή απαιτεί. Τα διαγράμματα αυτά επισυνάπτονται στην εργασία στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων που ακολουθεί παρακάτω.

Στη συνέχεια, βασιζόμενοι στους προηγούμενους υπολογισμούς, προχωρήσαμε στην οικονομική αξιολόγηση της λύσης μας.

Αρχικά υπολογίσαμε το κόστος κεφαλαίου για κάθε συνδυασμό, χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$IC = \frac{P_w * c_w * 1000 + P_{pv} * c_{pv} * 1000 + StV * c_{stor} + P_{comp} * c_{comp} * 1000 + P_{gt} * c_{gt} * 1000}{10^{(-6)}}$$

(MILLION €)

Όπου:

$P_w$ : η ισχύς των αιολικών μηχανών σε MW

$c_w$ : το κόστος των αιολικών σε €/kW

$P_{pv}$ : η ισχύς των φωτοβολταϊκών σε MW

$c_{pv}$ : το κόστος των φωτοβολταϊκών €/kW

$StV$ : ο όγκος του αποθηκευτικού χώρου σε m<sup>3</sup>

$c_{stor}$ : το κόστος του αποθηκευτικού χώρου σε €/m<sup>3</sup>

$P_{comp}$ : η ισχύς του συμπιεστή σε MW

*ccomp*: το κόστος του συμπιεστή σε €/kW

*Pgt*: η ισχύς του αεριοστρόβιλου σε MW

*cgt*: το κόστος του αεριοστρόβιλου σε €/kW

Αφού λοιπόν υπολογίσαμε το κόστος αρχικού κεφαλαίου, υπολογίσαμε και το σταθμισμένο κόστος παραγωγής ενέργειας, με τη βοήθεια των παρακάτω εξισώσεων:

$$LCOE = \frac{IC + Mt + Ft}{Et} \text{ (€/MWh)}$$

Όπου:

*IC*: Κόστος κεφαλαίου σε €

*Mt*: Κόστος λειτουργίας και συντήρησης εγκαταστάσεων σε βάθος εικοσαετίας, σε €

*Ft*: Κόστος καυσίμων σε βάθος εικοσαετίας, σε €

*Et*: Συνολική παραγόμενη ενέργεια σε βάθος εικοσαετίας, σε MWh

Τα επιμέρους κόστη της εξίσωσης υπολογίσθηκαν από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$Mt = (m * IC) / (1 + r)^t$$

$$Ft = (FC * cf) / (1 + r)^t$$

Όπου:

*m*: σταθερός συντελεστής κόστους συντήρησης, στην περίπτωση μας 2%

*FC*: κατανάλωση καυσίμου, σε t/year

*cf*: κόστος καυσίμου, σε €/t

*t*: το σύνολο των ετών του υπολογισμού, 20 στην δική μας περίπτωση

*r*: το επιτόκιο αναγωγής, το οποίο είναι 5%

Αφού λοιπόν ολοκληρώθηκαν και οι υπολογισμοί της οικονομικής αξιολόγησης προχωρήσαμε στην καταχώρηση τους σε διαγράμματα, όπως έγινε και με την ενεργειακή αξιολόγηση που περιγράψαμε παραπάνω. Τα διαγράμματα που απεικονίζουν το κόστος αρχικού κεφαλαίου και σταθμισμένο κόστος παραγόμενης ενέργειας για κάθε πιθανό συνδυασμό του συστήματος μας, παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων, σε ένα ενδεικτικό αριθμό βέβαια, καθώς το σύνολο των διαγραμμάτων είναι υπερβολικά μεγάλο και επισυνάπτεται ολοκληρωμένο στο παράρτημα.

Τέλος, συγκεντρώσαμε τους συνδυασμούς οι οποίοι προσφέρουν ενεργειακή αυτονομία στα υπό μελέτη νησιά της εργασίας μας, φιλτράροντας τη στήλη των ωρών απορρίψεων και περιορίζοντας τις στις μηδενικές ώρες μόνο, ώστε να εντοπίσουμε τις επιλογές αυτές που καλύπτουν με επάρκεια τις ενεργειακές απαιτήσεις στο κάθε νησί. Τις επιλογές αυτές τις καταχωρήσαμε σε έναν πίνακα, όπου απεικονίζονται όλες οι διαστάσεις που ηλιακών, αιολικών και αποθηκευτικού

χώρου που αναλογίζεται η κάθε μία αυτόνομη επιλογή. Έπειτα κατασκευάσαμε ακόμα έναν πίνακα, στον οποίο απεικονίζεται το σταθμισμένο κόστος ενέργειας για την κάθε αυτόνομη επιλογή, δίνοντας μας έτσι τη δυνατότητα να εντοπίσουμε την βέλτιστη οικονομικά αυτόνομη λύση για κάθε νησί. Οι πίνακες αυτοί καθώς και οι βέλτιστες λύσεις της προσομοίωσής μας επισυνάπτονται παρακάτω, στο κεφάλαιο των συμπερασμάτων.

## 5. Αποτελέσματα εφαρμογής

Τα αποτελέσματα που επέφερε η προσομοίωση της προτεινόμενης μας λύσης, χωρίζονται στην ενεργειακή αξιολόγηση, και συγκεκριμένα σε αποτελέσματα ενεργειακής αυτονομίας και κατανάλωσης καυσίμου, αλλά και οικονομικής αξιολόγησης, με αρχικό κόστος επένδυσης αλλά και σταθμισμένο κόστος ενέργειας (levelized cost of energy - LCOE) αντίστοιχα.

Καθώς το σύνολο των γραφημάτων κάθε κατηγορίας είναι 11 για το κάθε νησί της μελέτης μας, εξαιτίας του συνδυασμού πολλών διαφορετικών διαστάσεων για τις εγκαταστάσεις μας, παρακάτω επισυνάπτονται ενδεικτικά 3 διαγράμματα για κάθε νησί, στην κάθε ενότητα αποτελεσμάτων.

Το σύνολο των διαγραμμάτων επισυνάπτεται στο παράρτημα της εργασίας.

### 5.1. Ενεργειακή αξιολόγηση

#### 5.1.1. Γραφική απεικόνιση ενεργειακής αυτονομίας

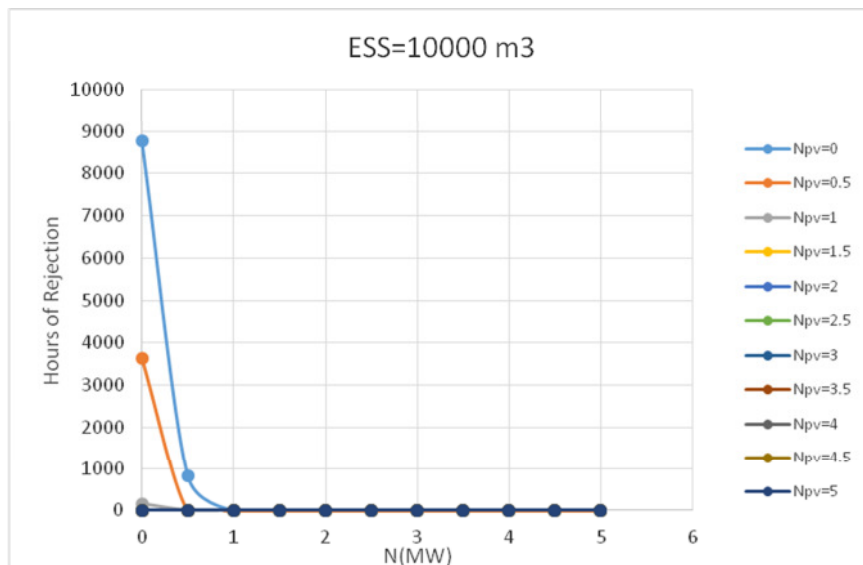
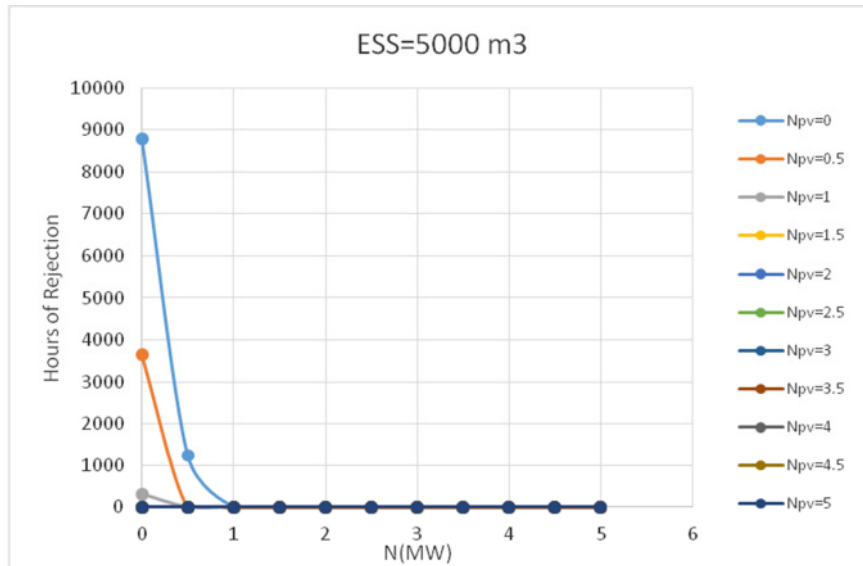
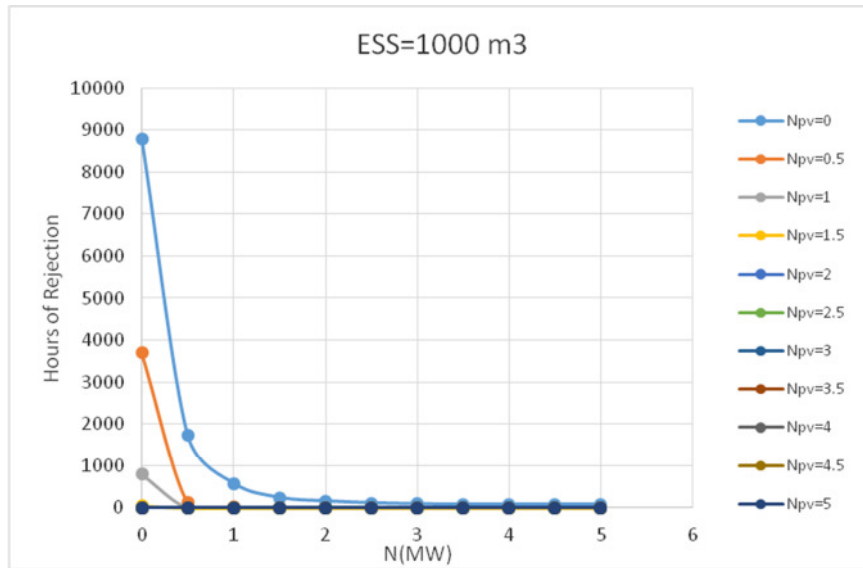
Τα διαγράμματα της ενεργειακής αυτονομίας μπορεί να παρατηρηθεί πως αποτελούνται από έναν κάθετο άξονα με μονάδα μέτρου τις ώρες απόρριψης, και τον οριζόντιο με μονάδα μέτρησης τα kW της ισχύος των αιολικών εγκαταστάσεων μας. Η κάθε μια χαρακτηριστική απεικονίζει τις διαφορετικές ισχύς των φωτοβολταϊκών, ενώ το κάθε διάγραμμα φέρει σαν τίτλο την χωρητικότητα του αποθηκευτικού χώρου στην οποία αντιστοιχεί. Επομένως μπορούμε με τη χρήση των διαγραμμάτων να μελετήσουμε τη συμπεριφορά κάθε συνδυασμού των εγκαταστάσεων που δοκιμάσαμε.

Ώρες απόρριψης ονομάζονται οι ώρες του έτους, στις οποίες η ενέργεια που παράγεται στην εγκατάστασή μας δεν επαρκεί για να καλύψει τις απαιτήσεις του δικτύου.

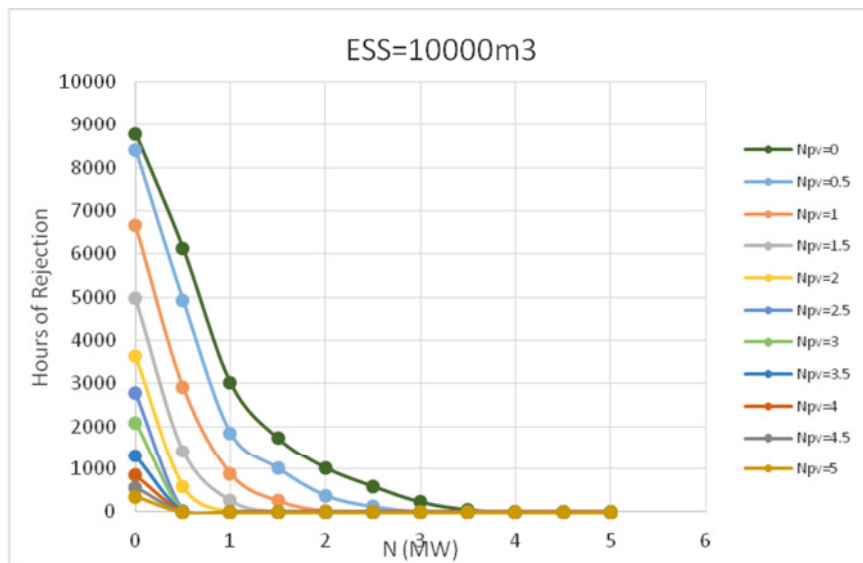
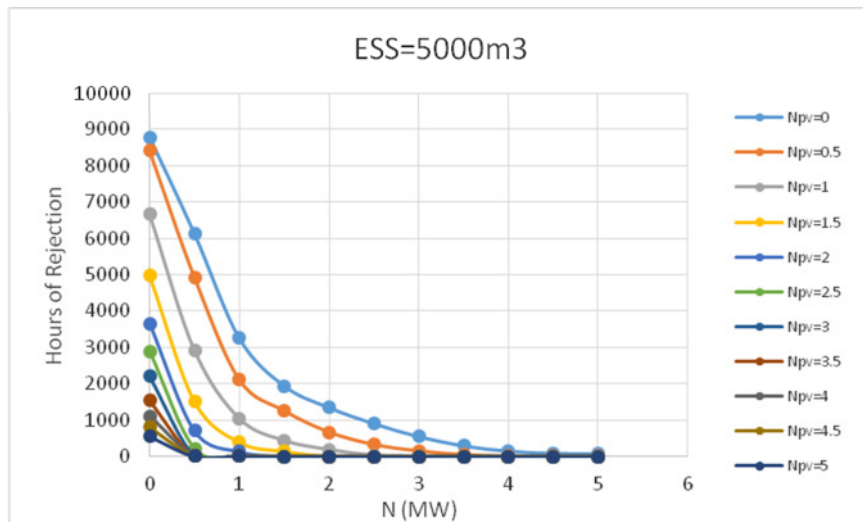
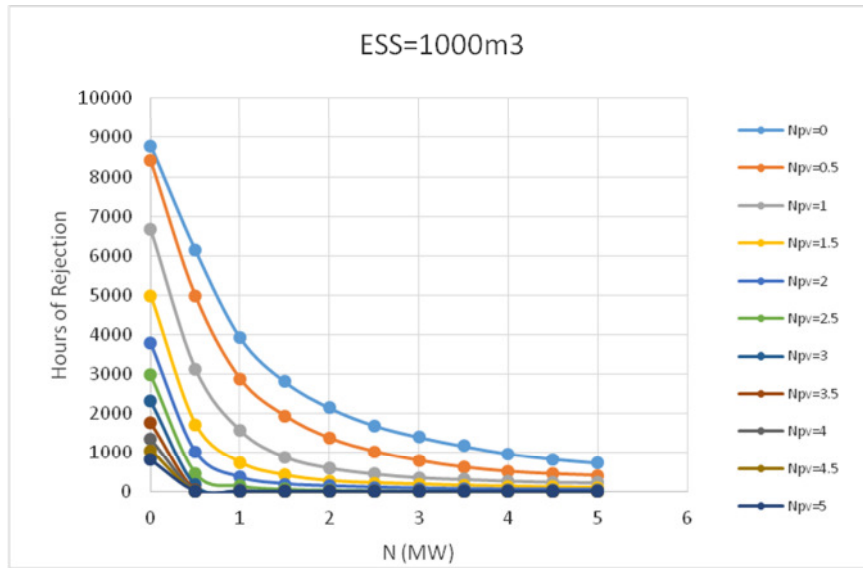
Μέσα από τα διαγράμματα αυτά της προσομοίωσής μας, μπορεί να παρατηρηθεί για κάθε διαφορετικό συνδυασμό που επιχειρήσαμε, το κατά πόσο καταφέρνει να προσδώσει ενεργειακή αυτονομία στο τοπικό δίκτυο, δηλαδή αν καταφέρνει να καλύψει επαρκώς τις ενεργειακές απαιτήσεις του δικτύου, με μηδενικές ώρες απόρριψης.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα ενεργειακής αυτονομίας, αποτυπωμένα σε 3 διαγράμματα για κάθε νησί, για μικρή ( $1000\text{m}^3$ ), μεσαία ( $5000\text{m}^3$ ) και μεγάλη ( $10000\text{m}^3$ ) χωρητικότητα της φυσικής κοιλότητας αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα.

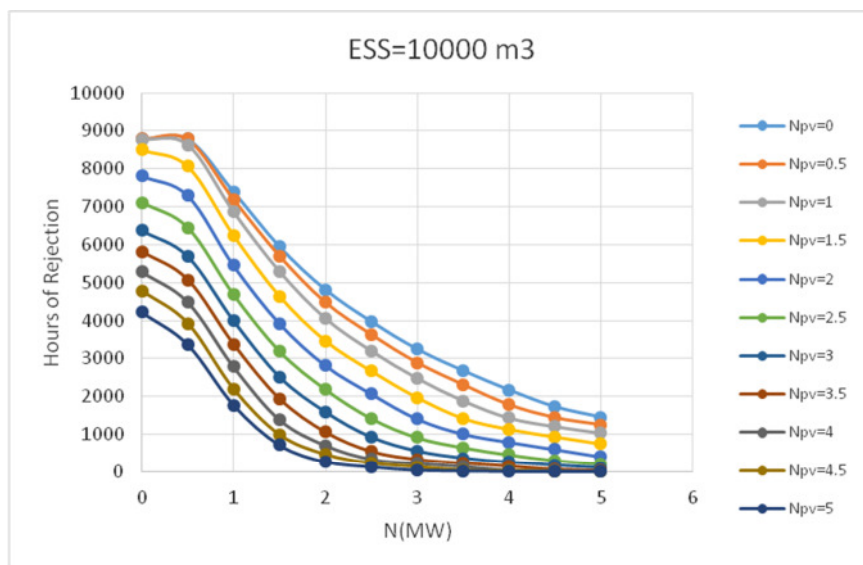
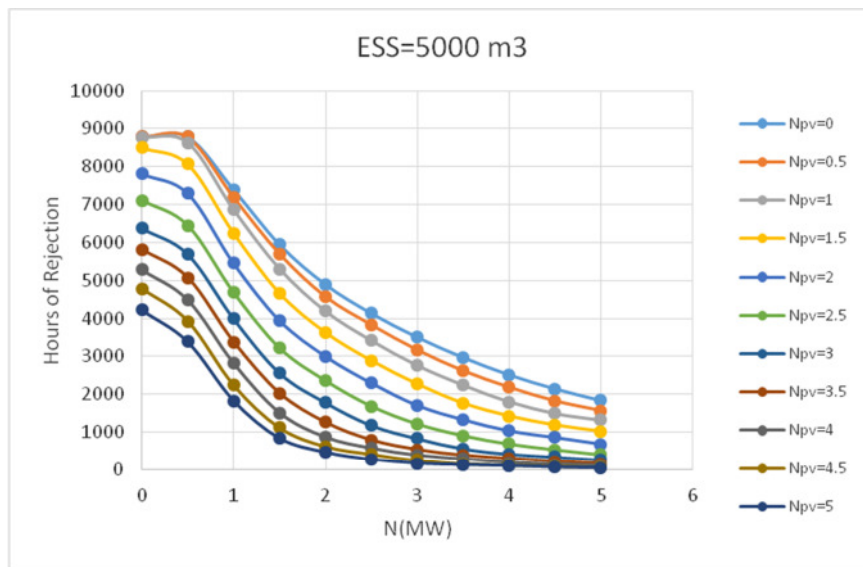
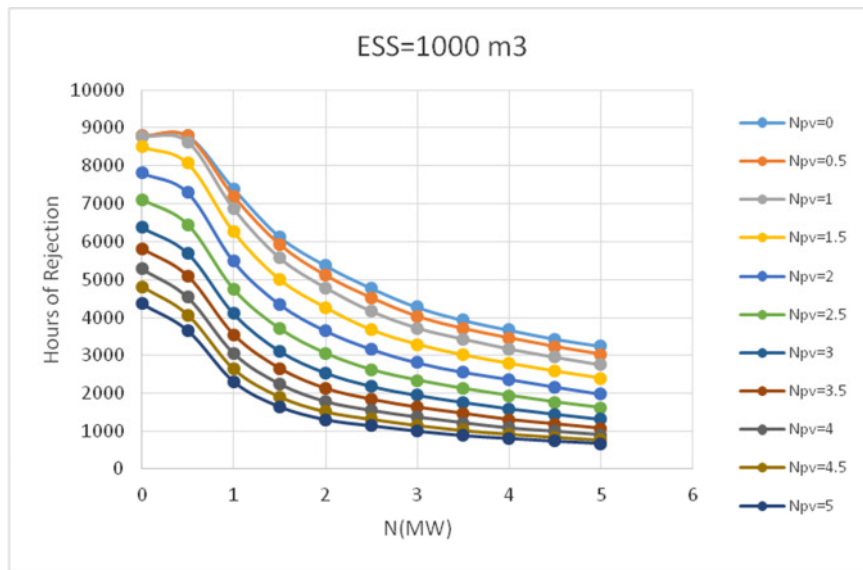
- Δοιούσα



- Καστελλόριζο



- Αμοργός



### **Παρατηρήσεις διαγραμμάτων ενεργειακής αυτονομίας**

Με μια αναλυτικότερη ματιά στα διαγράμματα ενεργειακής αυτονομίας, βλέπουμε πως παρόλο που παρουσιάζεται διαφορετική ιδιομορφία των καμπυλών σε κάθε νησί, κοινό σημείο αποτελεί το γεγονός πως οι ώρες απόρριψης μειώνονται αναλογικά με την αύξηση των διαστάσεων των εγκαταστάσεων. Αυτό είναι απολύτως φυσιολογικό, καθώς όσο μεγαλύτερη απόδοση ισχύος έχουν οι μονάδες μας, τόσο περισσότερη ενέργεια θα παράγουν.

Παρατηρώντας όμως τα διαγράμματα των τριών διαφορετικών νησιών, είναι εύκολα αντιληπτό πως όσο μεγαλύτερο το νησί, τόσο πιο δύσκολη είναι και η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του.

Βλέπουμε δηλαδή πως στη Δονούσα οι συνδυασμοί των διαστάσεων των εγκαταστάσεων τείνουν από πολύ νωρίς στις μηδενικές ώρες απόρριψης, και αυτό παρατηρείται ακόμα και στο διάγραμμα της μικρότερης χωρητικότητας του αποθηκευτικού χώρου. Συνεπώς συμπεραίνουμε πως δεν απαιτείται η εγκατάσταση μονάδων μεγάλων μεγεθών στην περίπτωση της, διότι αρκεί για παράδειγμα για να καλύψει τις απαιτήσεις του νησιού, ένας συνδυασμός αιολικού πάρκου 1MW, ηλιακού πάρκου 1MW, και χώρου αποθήκευσης 1000m<sup>3</sup>.

Αντίθετα, όσο μεγαλώνουν σε διαστάσεις και πληθυσμό τα νησιά παρατηρούμε πως απαιτούνται μεγαλύτερα μεγέθη εγκαταστάσεων, με αποκορύφωμα την Αμοργό, όπου μπορούμε από τα διαγράμματα της να συμπεράνουμε πως απαιτείται και μεγάλος όγκος αποθηκευτικού χώρου, αλλά και ηλιακά και αιολικά πάρκα υψηλής απόδοσης ισχύος.

#### **5.1.2. Κατανάλωση καυσίμου**

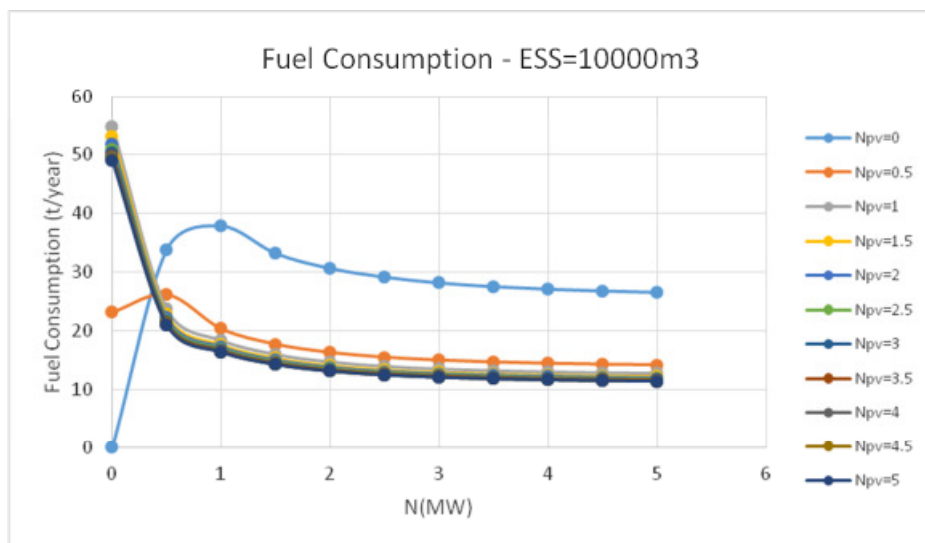
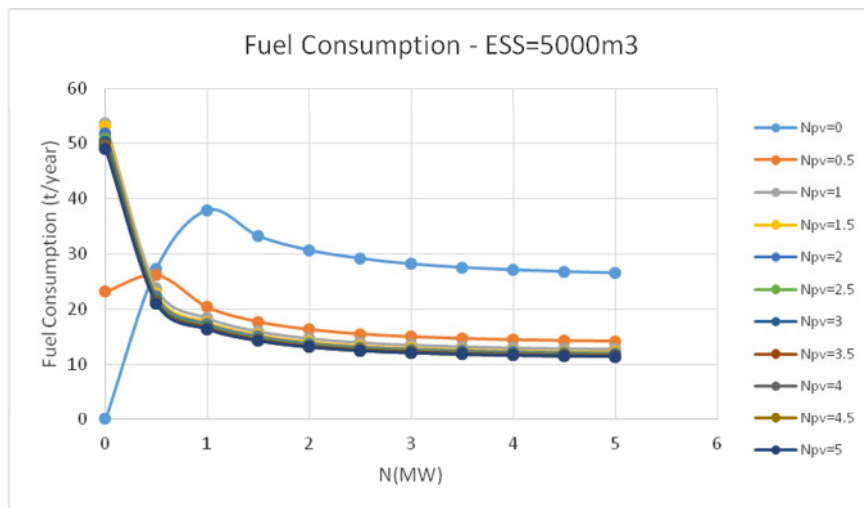
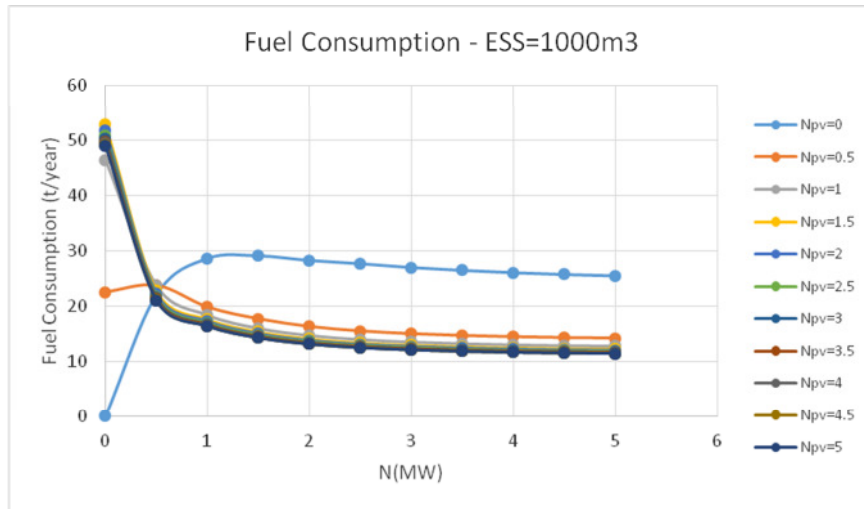
Αντίστοιχα με την ενεργειακή αυτονομία, στα αποτελέσματα της κατανάλωσης καυσίμου παραθέτουμε και πάλι διαγράμματα που απεικονίζουν τον ρυθμό κατανάλωσης καυσίμου στην εγκατάσταση μας, δηλαδή φυσικού αερίου, και για όλους του διαφορετικούς πιθανούς συνδυασμούς διαστάσεων των μονάδων μας.

Αυτή τη φορά στον κάθετο άξονα μονάδα μέτρησης αποτελεί η κατανάλωση καυσίμου τόνους ανά έτος, ενώ στον οριζόντιο παραμένει η ισχύς των αιολικών μηχανών (MW), χαρακτηριστικές είναι οι διαφορετικές διαστάσεις ηλιακών μηχανών σε MW ξανά, και όπως και προηγουμένως, τίτλος του κάθε διαγράμματος ο όγκος του αποθηκευτικού χώρου.

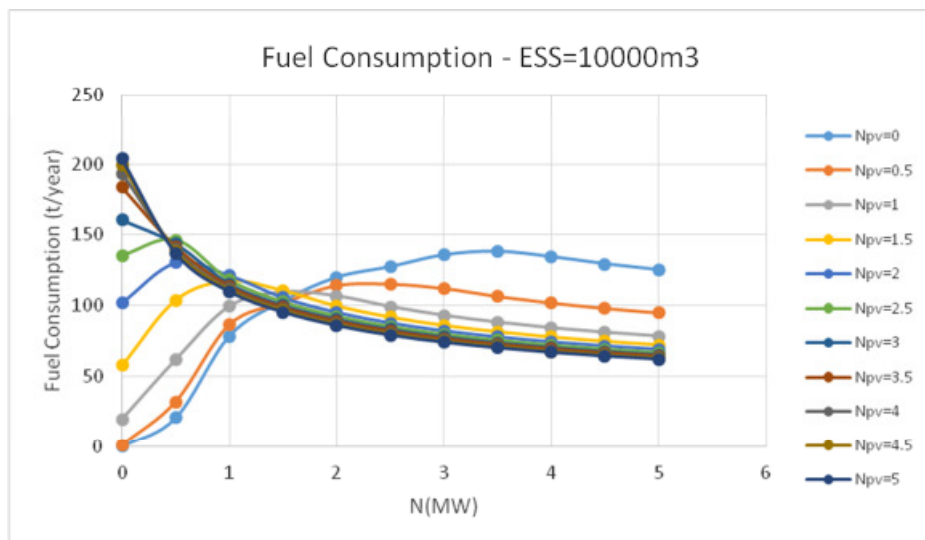
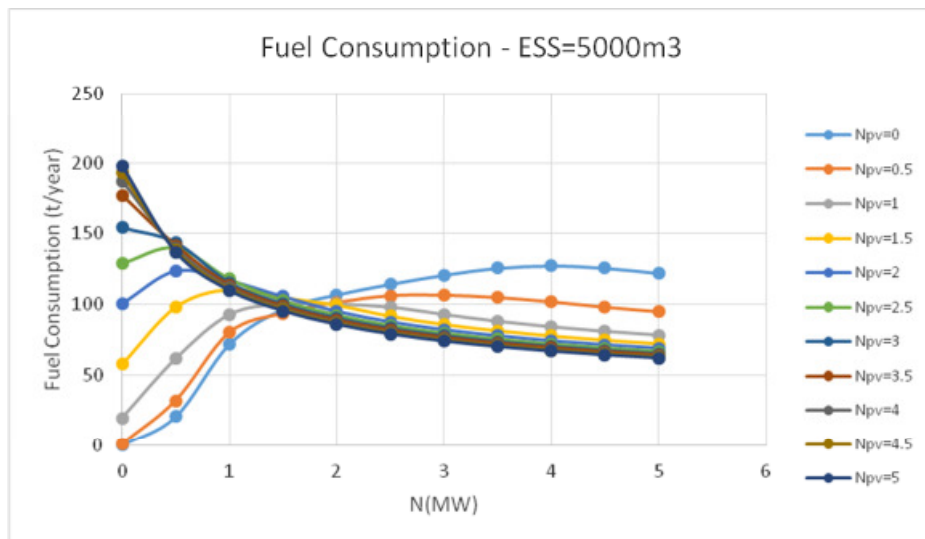
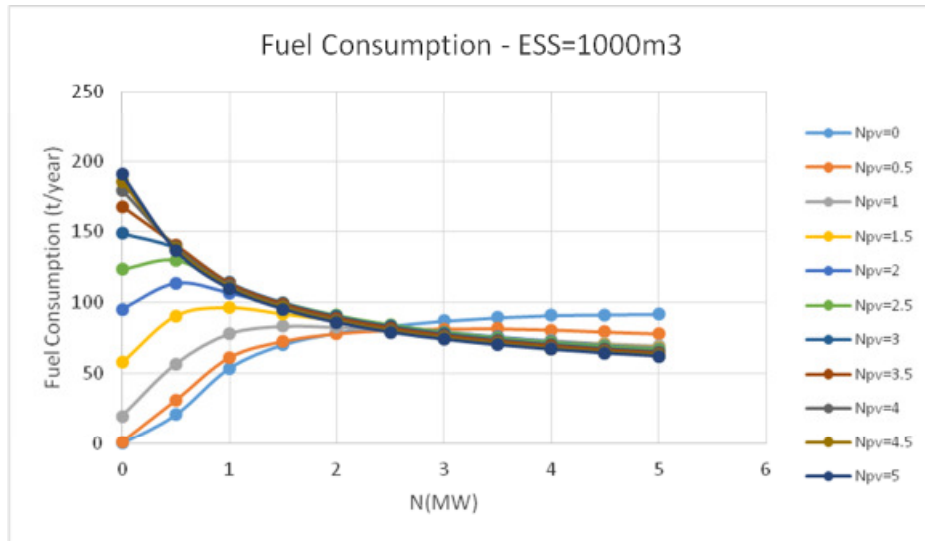
Ακολουθούν τα αποτελέσματα κατανάλωσης καυσίμου, αποτυπωμένα σε 3 διαγράμματα για κάθε νησί, για μικρή (1000m<sup>3</sup>), μεσαία (5000m<sup>3</sup>) και μεγάλη (10000m<sup>3</sup>) χωρητικότητα της φυσικής κοιλότητας αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα.



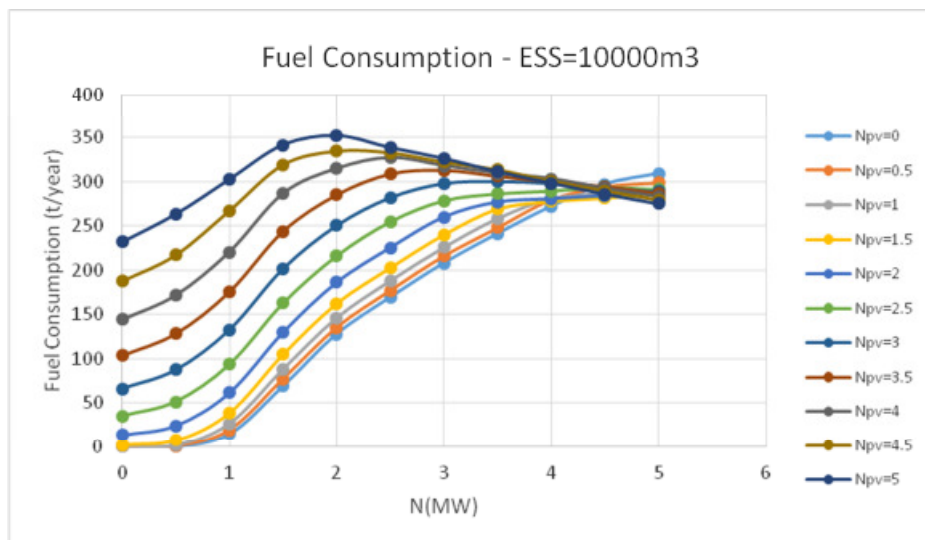
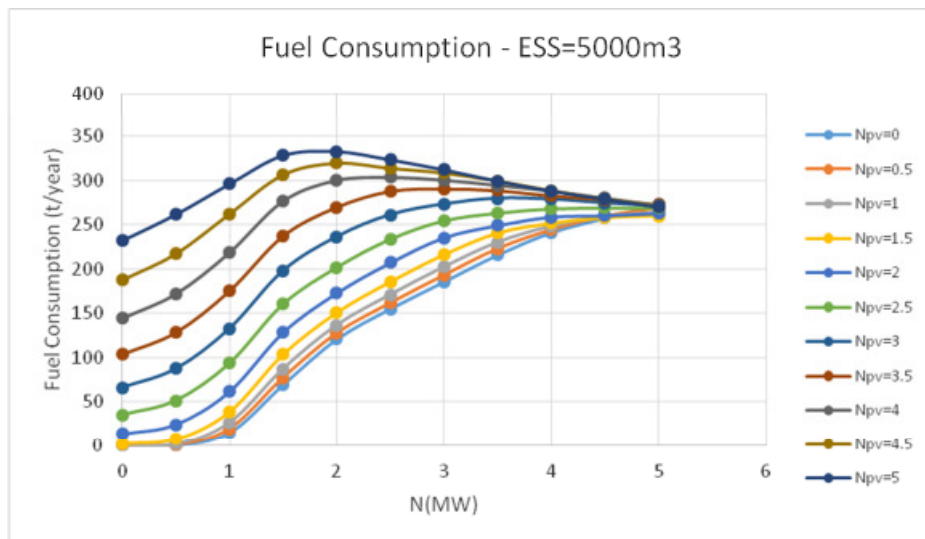
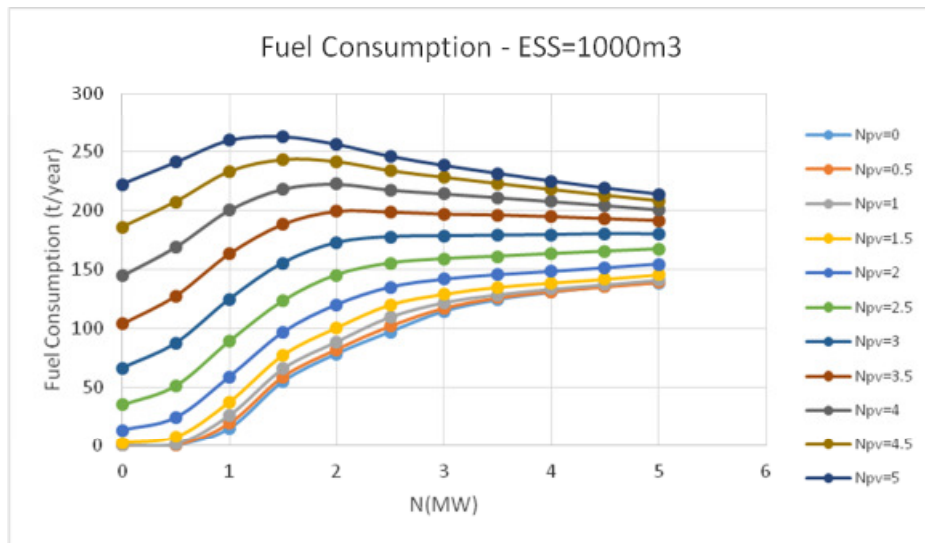
- Δοτούσα



- **Καστελλόριζο**



- Αμοργός



## **Παρατηρήσεις διαγραμμάτων κατανάλωσης καυσίμου**

Στα διαγράμματα της κατανάλωσης καυσίμων, παρατηρούμε διαφορετική ιδιομορφία από αυτήν της ενεργειακής αυτονομίας, και επίσης διαφορετική για το κάθε νησί.

Στα διαγράμματα της Δονούσας, παρατηρούμε πως σε όλες τις περιπτώσεις η κατανάλωση είναι υψηλότερη όσο η συμμετοχή των αιολικών ή των ηλιακών είναι μηδενική ή ελάχιστη, και αυτό είναι λογικό αν αναλογιστούμε πως όσο μεγαλύτερη η απόδοση τους, τόσο λιγότερο λειτουργεί ο αποθηκευτικός χώρος, καθώς η δική τους παραγόμενη ενέργεια επαρκεί για να καλύψει μεγαλύτερο κομμάτι της ενεργειακής ζήτησης. Ύστερα η κατανάλωση σταδιακά μειώνεται, αναλογικά με την αύξηση των διαστάσεων των δύο μεταβλητών πάρκων, ώσπου μένει σταθερή και περίπου ίση για όλες τις διαστάσεις των αιολικών και φ/β. Το γεγονός αυτό είναι επιβεβαίωση πως στην περίπτωση της Δονούσας δεν είναι αναγκαία η χρήση μεγάλων διαστάσεων στα δύο πάρκα ΑΠΕ.

Στην περίπτωση του Καστελλόριζου, παρατηρούμε οι καμπύλες έχουν περίπου την ίδια συμπεριφορά με αυτές της Δονούσας, εκτός από τις περιπτώσεις μικρών μεγεθών των δύο πάρκων, όπου η κατανάλωση είναι ακόμα μικρότερη από το σημείο στο οποίο σταθεροποιείται, το οποίο και καταλαβαίνουμε πως σημαίνει ότι είχε φανεί και στα διαγράμματα αυτονομίας, ότι δηλαδή απαιτούνται μεγαλύτερες διαστάσεις στην περίπτωση του νησιού αυτού για να καλυφθούν οι ανάγκες του δικτύου.

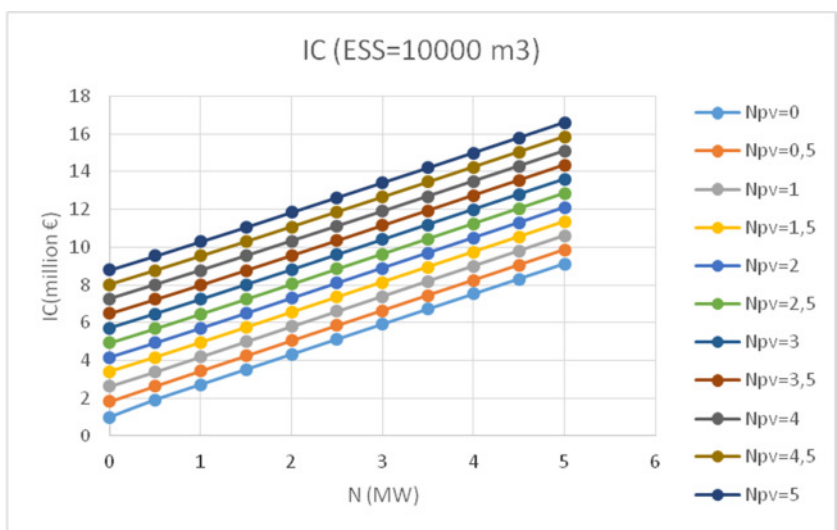
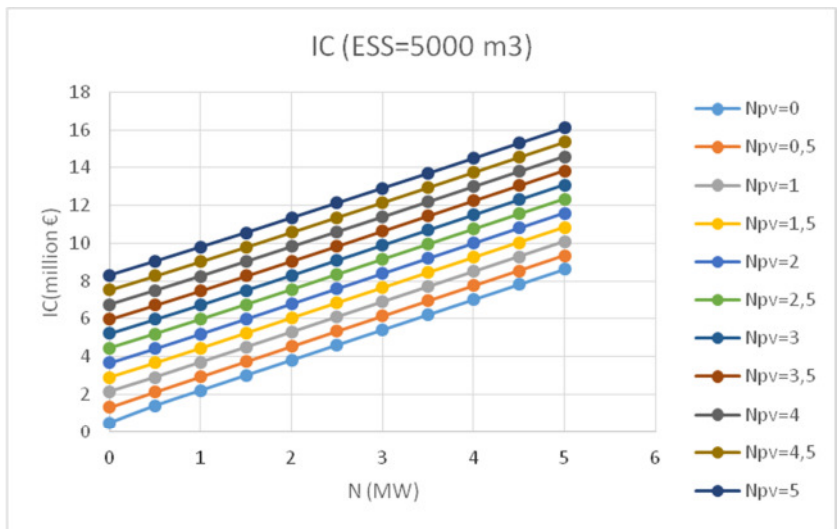
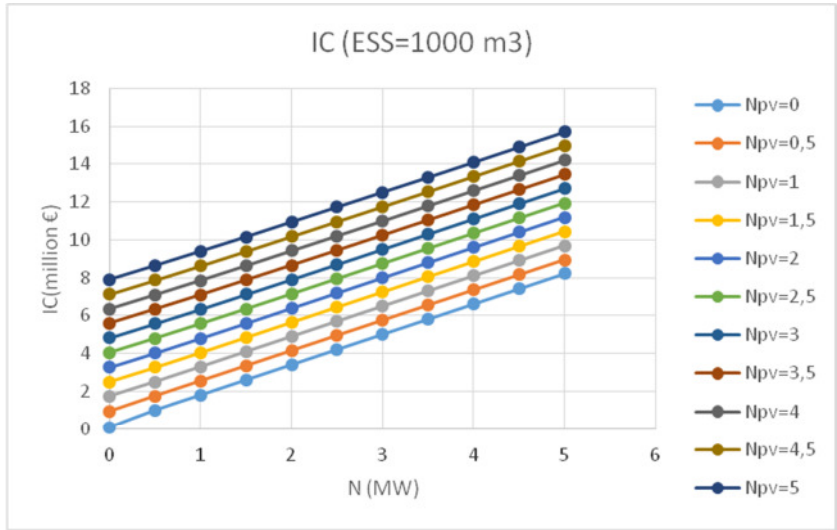
Τέλος, στην Αμοργό μπορούμε να παρατηρήσουμε πως η κατανάλωση αυξάνεται αναλογικά με την αύξηση των διαστάσεων των δύο πάρκων, και ειδικότερα στις περιπτώσεις μικρού αποθηκευτικού χώρου, καθώς όσο τον μεγαλώνουμε βλέπουμε την σταδιακή σταθερότητα στην οποία επέρχεται. Συμπεραίνουμε λοιπόν ξανά πως στη σταθερή της κατάσταση η κατανάλωση καυσίμου αντιστοιχεί στις περιοχές στις οποίες βρισκόταν νωρίτερα η ενεργειακή αυτονομία.

## **5.2. Οικονομική αξιολόγηση**

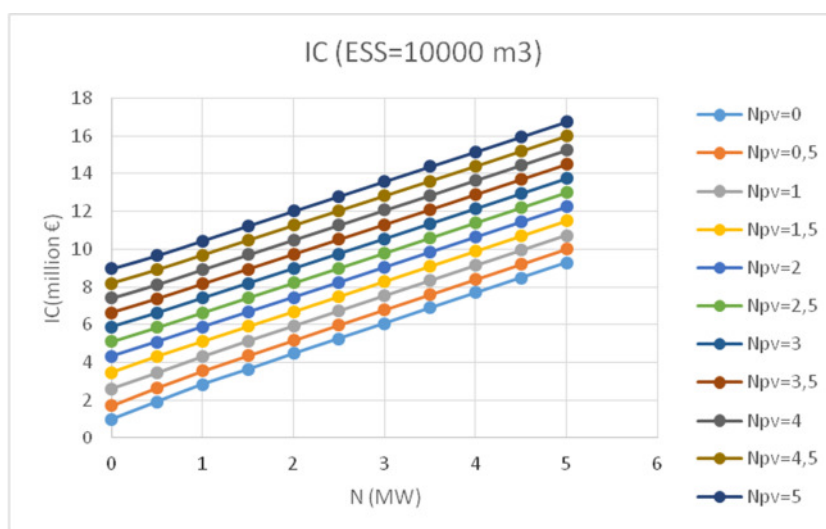
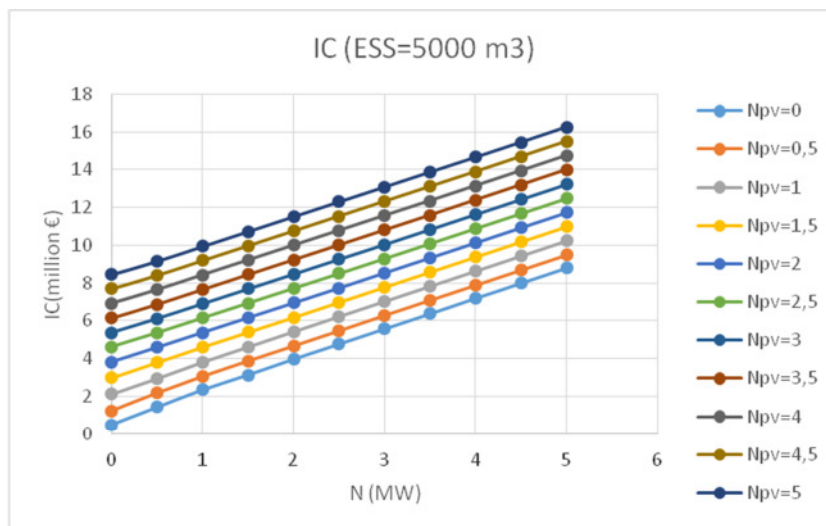
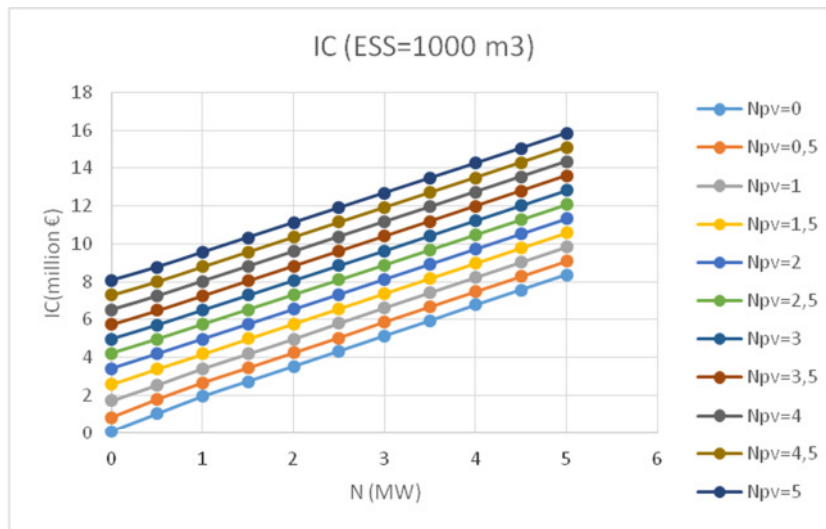
### **5.2.1. Αρχικό κόστος επένδυσης**

Πρωτεύον κομμάτι της οικονομικής αξιολόγησης, αποτελεί το επενδυτικό κεφάλαιο, το απαιτούμενο δηλαδή κόστος της επένδυσης. Στη δική μας περίπτωση, το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των μονάδων της ενεργειακής μας λύσης. Σε αυτές εμπεριέχονται τα δύο πάρκα, ηλιακό και αιολικό, επομένως η αγορά και εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών και λοιπών παρελκόμενων, καθώς και επίσης του συμπιεστή, του αεριοστρόβιλου και του αποθηκευτικού χώρου.

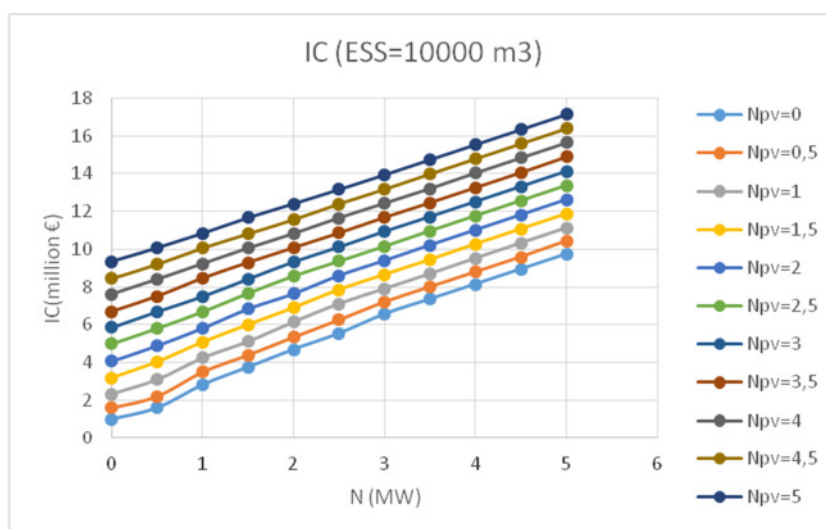
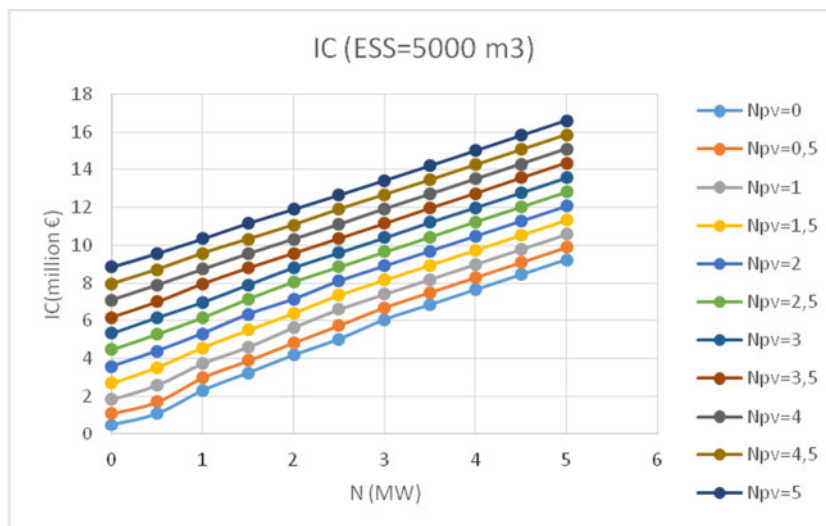
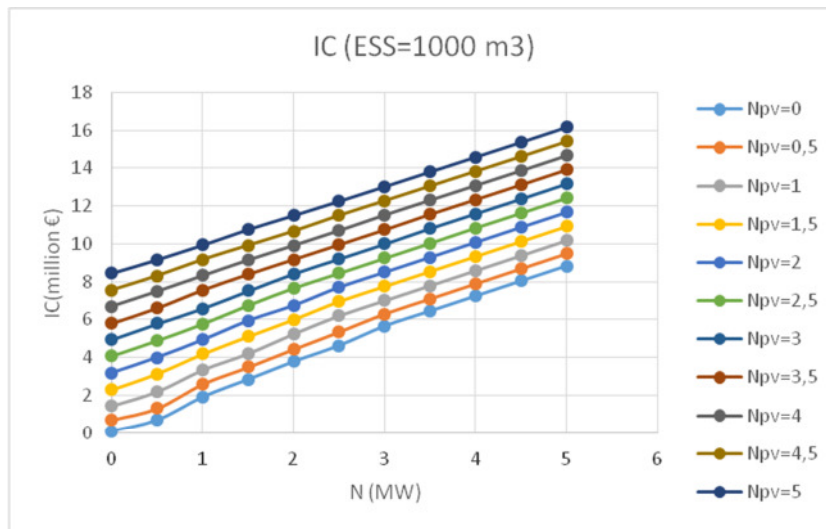
- Δοιούσα



- **Καστελλόριζο**



- Αμοργός



### **Παρατηρήσεις διαγραμμάτων αρχικού κόστους:**

Από τα παραπάνω γραφήματα μπορούμε να παρατηρήσουμε πως και στα τρία νησιά το κόστος είναι πανομοιότυπο, και αυτό είναι λογικό καθώς οι εγκαταστάσεις που μελετήθηκαν είναι ίδιες για το κάθε νησί. Επίσης παρατηρούνται πολύ μικρές διαφορές στα κόστη μεταξύ των διαγραμμάτων διαφορετικού αποθηκευτικού χώρου, και αυτό συμβαίνει διότι το κόστος της φυσικής κοιλότητας αποθήκευσης αέρα είναι πολύ μικρότερο, συγκριτικά με τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις. Πιο αναλυτικά, εφόσον το κόστος του είναι  $100 \text{ €/m}^3$ , η διαφορά στις περιπτώσεις μηδενικού και μέγιστου ( $10.000 \text{ m}^3$ ) χώρου αποθήκευσης είναι  $1.000.000\text{€}$ . Τέλος, είναι εύκολα αντιληπτό παρατηρώντας τα διαγράμματα αρχικού κεφαλαίου πως το κόστος αυξάνεται αναλογικά με την αύξηση των διαστάσεων των εγκαταστάσεων μας.

### **5.2.2. Σταθμισμένο κόστος ενέργειας (LCOE)**

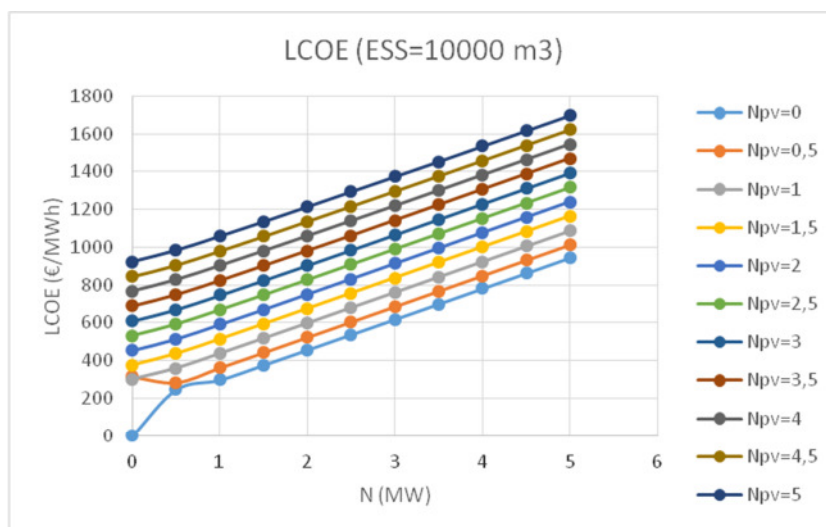
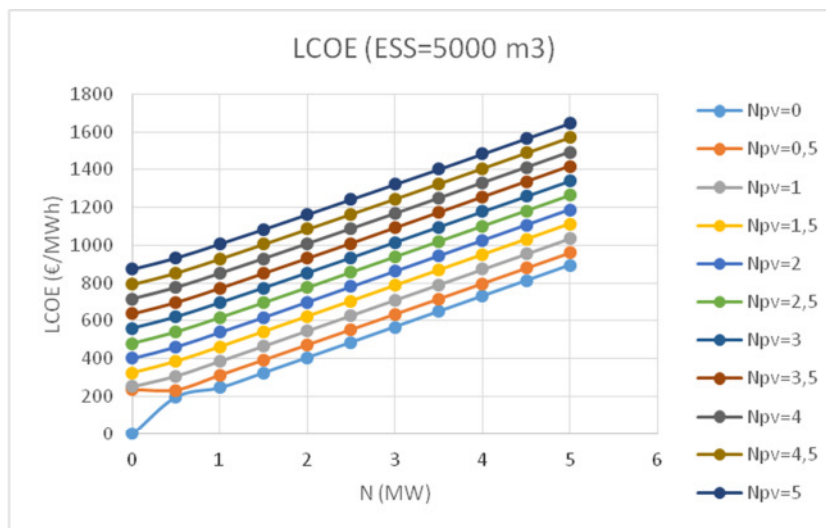
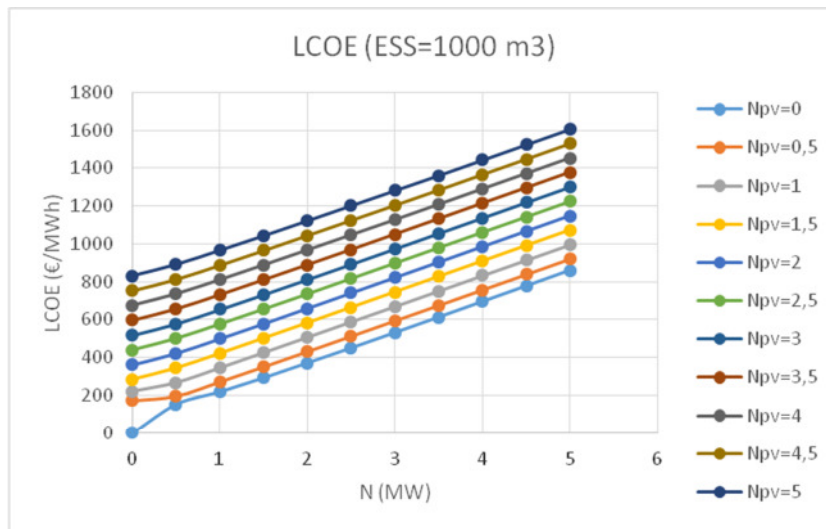
Στα αποτελέσματα οικονομικής αξιολόγησης, παρουσιάζονται επίσης τα διαγράμματα σταθμισμένου κόστους, δηλαδή του συνόλου του αρχικού κόστους κεφαλαίου και το κόστους συντήρησης για κάποια περίοδο λειτουργίας, διαιρεμένο με την συνολική παραγόμενη ενέργεια της περιόδου αυτής. Το LCOE, μπορεί και να θεωρηθεί ως η ελάχιστη τιμή στην οποία η παραγόμενη ενέργεια πρέπει να πουληθεί έτσι ώστε να πετύχουμε το νεκρό σημείο της επιχείρησης στο διάστημα αυτής της περιόδου που υπολογίστηκε.

Όπως και νωρίτερα, έτσι και τα διαγράμματα του LCOE είναι κατασκευασμένα με παρόμοιο τρόπο. Ο τίτλος του διαγράμματος διατυπώνει τον επιλεγμένο όγκο του αποθηκευτικού χώρου του συμπιεσμένου αέρα, οι χαρακτηριστικές καμπύλες αποτελούν τις διάφορες τιμές ισχύος των φωτοβολταϊκών, και ο άξονας χ' την ισχύ των αιολικών μηχανών, σε MW. Το μόνο που εξακολουθεί να αλλάζει είναι ο άξονας γγ', ο οποίος στα παρόντα διαγράμματα αποτελεί μονάδας μέτρησης του LCOE, σε €/MWh.

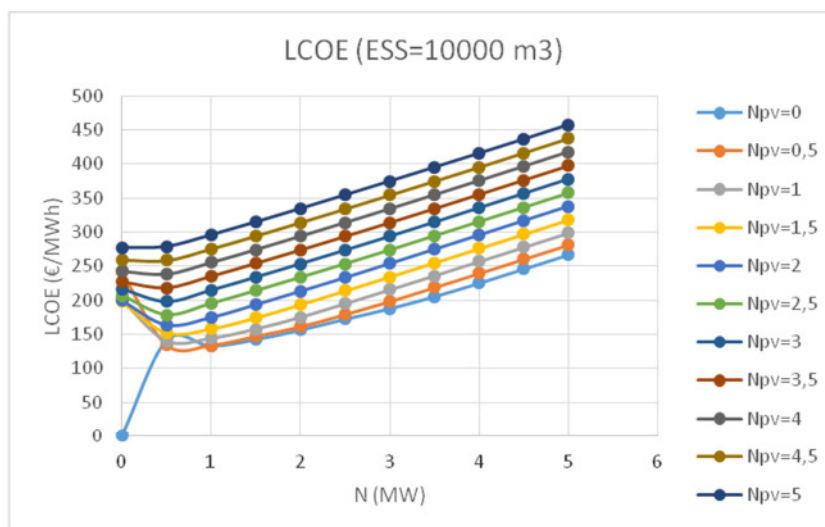
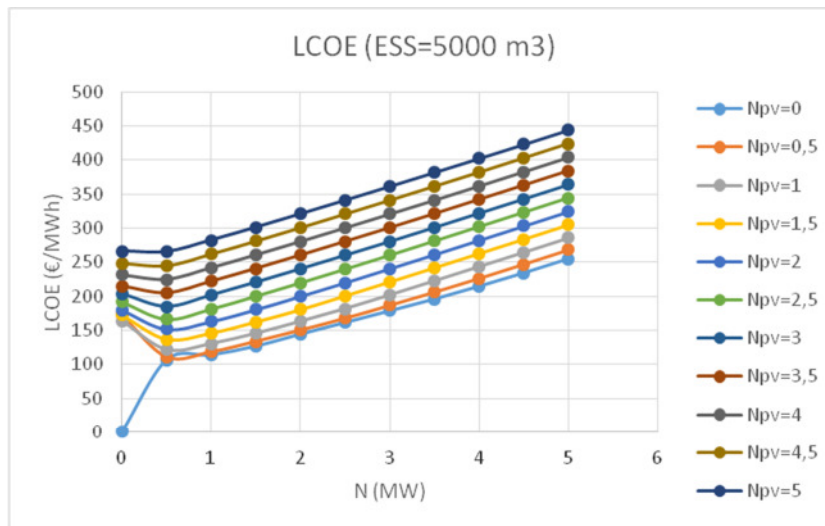
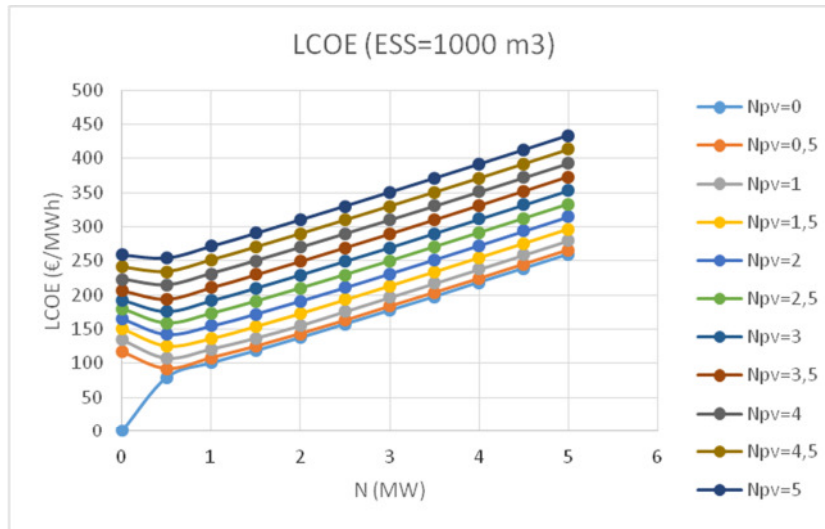
Ακολουθούν λοιπόν, τα αποτελέσματα σταθμισμένου κόστους ενέργειας, αποτυπωμένα σε 3 διαγράμματα για κάθε νησί, για μικρή ( $1000\text{m}^3$ ), μεσαία ( $5000\text{m}^3$ ) και μεγάλη ( $10000\text{m}^3$ ) χωρητικότητα της φυσικής κοιλότητας αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα:



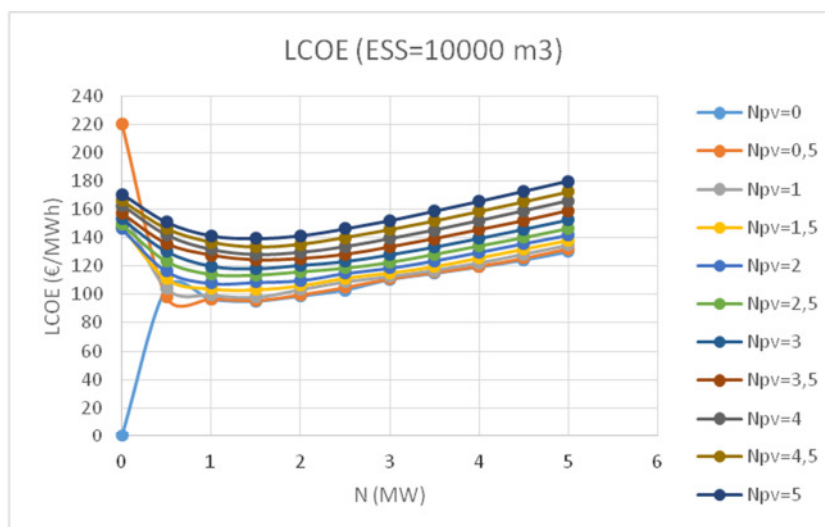
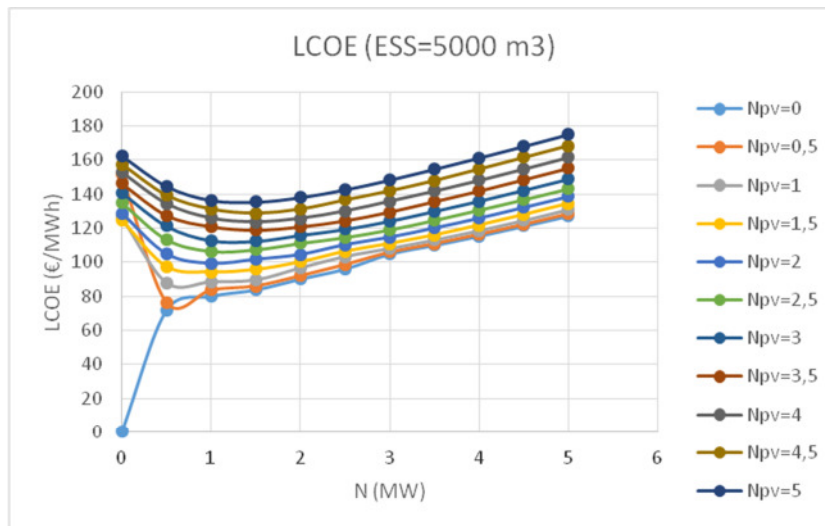
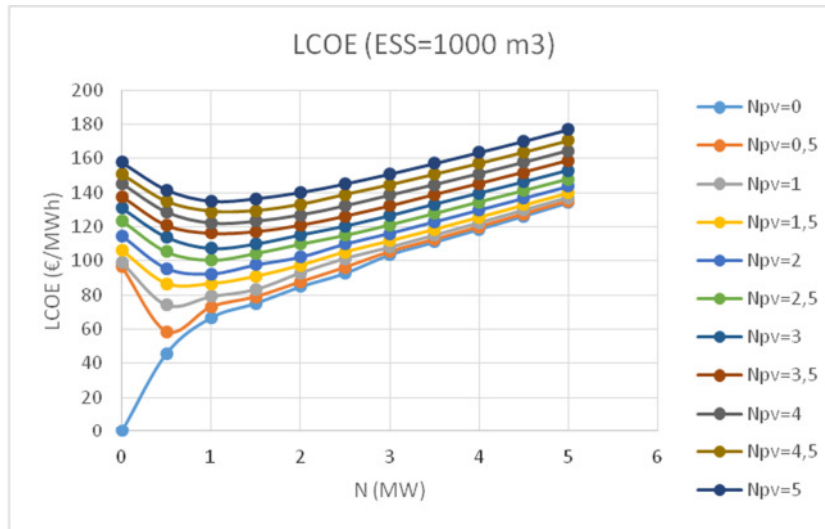
- Δοιούσα



- **Καστελλόριζο**



- Αμοργός



### **Παρατηρήσεις διαγραμμάτων LCOE**

Παρατηρώντας τα διαγράμματα σταθμισμένου κόστους ενέργειας, είναι εμφανές πως σε όλες τις περιπτώσεις νησιών και χωρητικότητας, το κόστος αυξάνεται αναλογικά με την αύξηση των διαστάσεων των πάρκων, του αιολικού και του φωτοβολταϊκού. Είναι λογικό, καθώς μεγαλύτερες εγκαταστάσεις συνεπάγονται και μεγαλύτερα κόστη κεφαλαίου, συντήρησης και καυσίμων.

Παράλληλα παρατηρούμε πως στα διαγράμματα του Καστελλόριζου και της Αμοργού, στις περιοχές με μηδενική ισχύ αιολικών, το κόστος είναι μεγαλύτερο από τις επόμενες μετρήσεις στις οποίες αυτά συμμετέχουν. Αυτό παρατηρήθηκε και σε προηγούμενα διαγράμματα και μας βοηθάει να συμπεράνουμε πως με χρήση και των δύο πάρκων χρησιμοποιείται λιγότερο ο αποθηκευτικός χώρος, με αποτέλεσμα να έχουμε μικρότερη χρήση καυσίμων. Στη Δονούσα, το μικρότερης κλίμακας νησί, δεν παρατηρείται το φαινόμενο αυτό, και αυτό συμβαίνει γιατί το νησί έχει τις χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις και δεν είναι απαραίτητη η συμμετοχή και των δύο πάρκων.

Κοινό σημείο όλων των διαγραμμάτων είναι το μηδέν, το σημείο στο οποίο σημειώνεται μηδενική ισχύς αιολικών και ηλιακών, και άρα δεν υφίσταται εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας.

Τέλος, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως τα μέγιστα κόστη σε κάθε νησί διαφέρουν, με δυσανάλογο ύψος για τα μεγέθη τους. Δηλαδή τα χαμηλότερα κόστη παρατηρούνται στο νησί της Αμοργού (180€/MWh), τα αμέσως επόμενα στο Καστελλόριζο (450€/MWh), και τα υψηλότερα στη Δονούσα (1600€/MWh). Αυτό αντικρούει την κοινή λογική με την οποία θα υποθέταμε πως όσο μεγαλύτερο το νησί, τόσο υψηλότερο και το κόστος κάλυψης των ενεργειακών του αναγκών. Το φαινόμενο αυτό, που οφείλεται στην ετήσια ενεργειακή ζήτηση, θα εξηγηθεί παρακάτω.

## 6. Συμπεράσματα

Αφού ολοκληρώσαμε με επιτυχία την προσομοίωση της ενεργειακής μας λύσης για τα τρία νησιά, είχαμε τη δυνατότητα να καταλήξουμε σε κάποια συμπεράσματα. Αρχικά, σχετικά με τη διαφορά εφαρμογής της λύσης στα τρία νησιωτικά δίκτυα και την επιρροή που ασκεί στο θέμα η ετήσια ενεργειακή ζήτηση. Έπειτα, παρατηρώντας τους συνδυασμούς που προσφέρουν ενεργειακή αυτονομία στο κάθε δίκτυο, και συγκριτικά με τα κόστη τους, μπορέσαμε να καταλήξουμε στην επιλογή της βέλτιστης λύσης για κάθε νησί. Τέλος, μέσα από την πορεία της εργασίας και της προσομοίωσης που προσέφερε η μελέτη μας, συμπεραίναμε και κάποια γενικότερα δεδομένα για την εφαρμοσιμότητα της ενεργειακής λύσης στο Αιγαίο.

### 6.1. Η σημασία της ετήσιας ενεργειακής ζήτησης

Η ετήσια ενεργειακή ζήτηση του κάθε νησιού, επηρεάζει σημαντικά την προσπάθεια για ενεργειακή κάλυψη που καλούμαστε να μελετήσουμε.

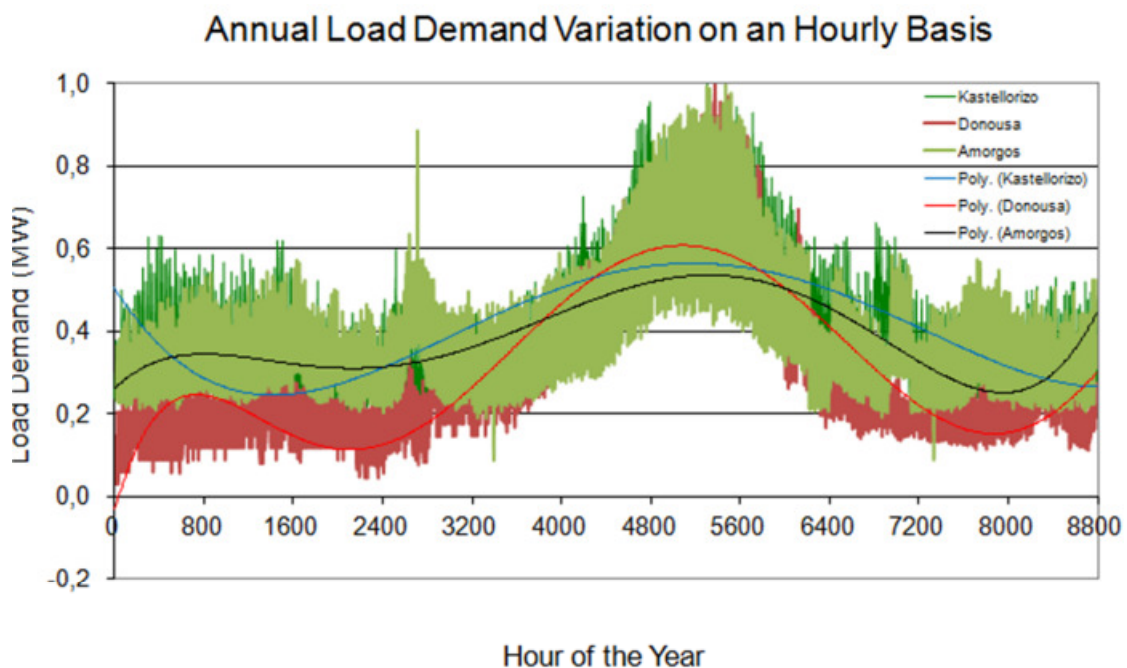
Ερευνώντας τα τρία διαφορετικά νησιά στην προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε, παρατηρούμε πως οικονομικότερη λύση αποτελεί η περίπτωση της Αμοργού. Παρόλο λοιπόν που η Αμοργός ήταν το μεγαλύτερης κλίμακας νησί της μελέτης μας, τόσο σε έκταση όσο και πληθυσμιακή κάλυψη, αποτελεί και την πιο οικονομικά προσιτή περίπτωση.

Αυτό συμβαίνει λόγω της μεγαλύτερης επαναληψιμότητας των μετρήσεων της ετήσιας ζήτησης, που μπορεί να παρατηρηθεί και στο παρακάτω διάγραμμα. Δηλαδή όσο μικρότερες αποστάσεις παρουσιάζουν η μέγιστη με την ελάχιστη ζήτηση τις ανάλογες περιόδους, τόσο ομαλότερη θα είναι και η συνολική ετήσια ζήτηση, συνεπάγοντας και οικονομικότερη ενεργειακή λύση.

Η εξήγηση του φαινομένου αυτού είναι πως στα μικρότερα νησιά, με πολύ μικρή πληθυσμιακή κάλυψη μόνιμων κατοίκων, η ενεργειακές απαιτήσεις κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών είναι πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες της καλοκαιρινής τουριστικής περιόδου, όπου και ο πληθυσμός του νησιού χάρη στους τουρίστες, είναι σαφέστατα πολλαπλάσιος. Επομένως, σε ένα νησί με αυτές τις συνθήκες, θα χρειαζόταν μια εγκατάσταση που να αποδίδει μεγάλη ισχύ για να καλύψει τις ανάγκες των καλοκαιρινών μηνών, ενώ τους υπόλοιπους μήνες του χρόνου θα παρέμενε αναξιοποίητη, καθώς η απαιτούμενη ισχύς θα ήταν πολύ μικρότερη.

Συμπεραίνουμε λοιπόν πως σημαντικός παράγοντας για την οικονομική εκτίμηση μιας ενεργειακής λύσης σε νησί, αποτελεί το κατά πόσο ομαλή θα είναι η ετήσια ενεργειακή ζήτηση. Επομένως, οικονομικότερες λύσεις φαντάζουν τα μεγαλύτερα νησιά, που δεν παρουσιάζουν τόσο μεγάλες αποκλίσεις στην ενεργειακή τους ζήτηση κατά τις διαφορετικές περιόδους του χρόνου.

Το φαινόμενο και το συμπέρασμα στο οποίο καταλήξαμε, παρατηρείται και στο παρακάτω γράφημα, όπου παρουσιάζονται οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις και των τριών υπό μελέτη νησιών. Παρατηρούμε πως η Αμοργός έχει την ομαλότερη γραφική παράσταση, κάτι το οποίο φαίνεται και από την πολυωνυμική της σχηματική απεικόνιση. Η Δονούσα, το μικρότερο νησί της έρευνάς μας, καθιστά ευδιάκριτο το γεγονός πως τους χειμερινούς μήνες η ενεργειακή ζήτηση, λόγω του μειωμένου πληθυσμού, είναι πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.



**Εικόνα 6.1.** Γράφημα ανηγμένης ετήσιας ενεργειακής ζήτησης των νησιών Αμοργός, Καστελλόριζο, Δονούσα.

## 6.2. Πίνακας ενεργειακής αυτονομίας

Όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο περιγραφής της προσομοίωσης που ακολουθήσαμε στην εργασία μας, για κάθε νησί απομονώσαμε τους συνδυασμούς διαστάσεων των εγκαταστάσεων οι οποίοι επιφέρουν στο δίκτυο ενεργειακή αυτονομία (δηλαδή καλύπτουν απόλυτα τις ετήσιες ενεργειακές του απαιτήσεις), και τις τοποθετήσαμε στον παρακάτω πίνακα.

Npv (MW)	AMORGOS					KASTELLORIZO										DONOUSA		
	4,5 MW	5 MW	0 MW	0,5 MW	1 MW	1,5 MW	2 MW	2,5 MW	3 MW	3,5-5 MW	0 MW	0,5 MW	1-5 MW					
ESS (m3)	Nw (MW)	Nw (MW)	Nw (MW)	Nw (MW)	Nw (MW)	Nw (MW)	Nw (MW)	Nw (MW)	Nw (MW)	Nw (MW)	Nw (MW)	Nw (MW)	Nw (MW)	Nw (MW)	Nw (MW)			
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
1000	-	-	-	-	-	-	4,5	3	1,5	1,5	-	-	1,5	-	0,5			
2000	-	-	-	-	-	3,5	2	1,5	1,5	1,5	2	1	1,5	1	0,5			
3000	-	-	-	-	-	3,5	2	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	1,5	0,5	0,5			
4000	-	-	-	-	3,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	1,5	0,5	0,5			
5000	-	-	-	-	3	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1	0,5	1,5	0,5	0,5			
6000	-	-	-	4	2,5	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1	0,5	1,5	0,5	0,5			
7000	-	-	5	3,5	2,5	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1	0,5	1,5	0,5	0,5			
8000	-	5	4,5	3,5	2,5	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1	0,5	1,5	0,5	0,5			
9000	-	5	4,5	3	2,5	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1	0,5	1,5	0,5	0,5			
10000	5	5	4	3	2,5	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1	0,5	1,5	0,5	0,5			

## Παρατηρήσεις

Ο πίνακας χωρίζεται σε τρεις στήλες, μία για κάθε νησί, και αυτές με τη σειρά τους εμπεριέχουν περισσότερες στήλες, στις οποίες αναφέρεται η ισχύς των φωτοβολταϊκών. Η κάθε σειρά αναφέρεται στον όγκο του χώρου αποθήκευσης του συμπιεσμένου αέρα, και στο κάθε κελί απεικονίζεται η ισχύς των ανεμογεννητριών. Έτσι, κάθε κελί αντιστοιχεί σε έναν συνδυασμό αιολικών, ηλιακών, και αποθηκευτικού χώρου. Οι συνδυασμοί που καταχωρήθηκαν στον πίνακα ήταν οι εξόφθαλμα πιο συμφέροντες, παραδείγματος χάρη, στη Δονούσα, στη στήλη μηδενικής ηλιακής ισχύος ( $N_{pv}=0$  MW), στη σειρά  $2000m^3$ , στο κελί καταχωρήθηκε η μικρότερη δυνατή ισχύς αιολικών, δηλαδή 2MW. Φυσικά αυτονομία προσέφεραν και οι αντίστοιχοι συνδυασμοί για μεγαλύτερες αιολικές ισχύς, αλλά δεν υπήρχε λόγος να καταχωρηθούν και αυτές. Το ίδιο συμβαίνει σε όλα τα κελιά του πίνακα στα οποία η αιολική ισχύς είναι μικρότερη των 5MW.

Παρατηρώντας τον πίνακα, έχουμε τη δυνατότητα να περιορίσουμε τον αριθμό των επιλογών που φαινομενικά συμφέρουν περισσότερο, οι οποίες αντιστοιχούν στα κελιά που έχουν επισημανθεί με κίτρινο χρώμα. Επόμενο βήμα λοιπόν είναι να παρατηρήσουμε τα κόστη των αντίστοιχων επιλογών, και έχοντας μια ξεκάθαρη εικόνα πλέον, να επιλέξουμε την πιο οικονομική για το κάθε νησί.



### 6.3. Πίνακας κόστους αυτόνομων επιλογών

Ακολουθεί λοιπόν ο παρακάτω πίνακας, ο οποίος εμπεριέχει τα κόστη των επιλογών στις οποίες είχαμε καταλήξει νωρίτερα. Το κάθε κελί αντιστοιχεί στο κελί ίδιων συντεταγμένων του προηγούμενου πίνακα αυτονομίας, με μόνη διαφορά πλέον πως στα κελιά αναφέρεται το υπολογιζόμενο κόστος του συνδυασμού, και όχι η αολική ισχύς, όπως συνέβαινε παρ'απάνω.

Npv (MWh)	AMORGOS										KASTELLORIZO										DONOUSA								
	4,5 MW	5 MW	0 MW	0,5 MW	1 MW	1,5 MW	2 MW	2,5 MW	3 MW	3,5 MW	0 MW	0,5 MW	1 MW	1 MW	LCOE (€/MWh)	LCOE (€/MWh)	LCOE (€/MWh)	LCOE (€/MWh)	LCOE (€/MWh)	LCOE (€/MWh)	LCOE (€/MWh)	LCOE (€/MWh)	LCOE (€/MWh)	LCOE (€/MWh)	LCOE (€/MWh)	LCOE (€/MWh)	LCOE (€/MWh)	LCOE (€/MWh)	
ESS (m3)																													
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	172,73	179,78	225,35	198,18	194,77	193,61	193,86	213,81	233,88	254,04	298,07	284,61	360,21	172,73	179,78	225,35	198,18	194,77	193,61	193,86	213,81	233,88	254,04	298,07	284,61	360,21	172,73	179,78	225,35

#### 6.4. Επιλογή βέλτιστων λύσεων ανά νησί

Έχοντας πλέον υπολογίσει τα κόστη όλων των επιλογών της προσομοίωσης, και περιορίζοντας τις σε αυτές που προσφέρουν αυτονομία, τις καταχωρήσαμε αρχικά στον πίνακα αυτονομίας, και στη συνέχεια στον ίδιο πίνακα αναγράψαμε το κόστος τους.

Παρατηρώντας λοιπόν τα κόστη όλων των αυτόνομων συνδυασμών του πίνακα, έχουμε τη δυνατότητα να διακρίνουμε την επιλογή με το μικρότερο κόστος για κάθε νησί. Επομένως, οι επικρατέστεροι λόγω μικρότερου κόστους συνδυασμοί, αποτελούν και τη βέλτιστη λύση για κάθε νησιωτικό δίκτυο, προσφέροντας απόλυτη αυτονομία σε συνδυασμό με τη χαμηλότερη δυνατή τιμή, καλύπτοντας απόλυτα τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις των νησιών.

Ακολουθούν παρακάτω οι βέλτιστες λύσεις για κάθε νησί της μελέτης μας:

- **Δονούσα**

Κόστος: **213,27 €/MWh**

Αιολική ισχύς: **0,5 MW**

Ηλιακή ισχύς: **0,5 MW**

Αποθηκευτικός χώρος: **3.000 m<sup>3</sup>**

Αρχικό κόστος επένδυσης: **1.954.105 €**

- **Καστελλόριζο**

Κόστος: **177,78 €/MWh**

Αιολική ισχύς: **1,5 MW**

Ηλιακή ισχύς: **2 MW**

Αποθηκευτικός χώρος: **4.000 m<sup>3</sup>**

Αρχικό κόστος επένδυσης: **6.073.101 €**

- **Αμοργός**

Κόστος: **172,73 €/MWh**

Αιολική ισχύς: **5 MW**

Ηλιακή ισχύς: **4,5 MW**

Αποθηκευτικός χώρος: **10.000 m<sup>3</sup>**

Αρχικό κόστος επένδυσης: **16.381.403 €**

Οι βέλτιστες λύσεις των τριών νησιών της μελέτης μας επιβεβαιώνει όλες τις αρχικές εκτιμήσεις και τα συμπεράσματα στα οποία είχαμε καταλήξει, καθώς μπορούμε να δούμε πως ανεβαίνοντας στην κλίμακα μεγέθους και πληθυσμιακής κάλυψης των νησιών, απαιτούνται εγκαταστάσεις μεγαλύτερων διαστάσεων, δηλαδή αποδιδόμενης ισχύος μονάδων και μεγαλύτερου όγκου αποθηκευτικού χώρου του συμπιεσμένου αέρα. Παράγωγο φυσικά των μεγαλύτερων διαστάσεων είναι και το

υψηλότερο κόστος αρχικού κεφαλαίου της επένδυσης, κάτι που είναι εμφανέστατο στις τρεις επιλογές μας. Η Δονούσα έχει τις μικρότερες εγκαταστάσεις, ακολουθεί το Καστελλόριζο, και με τις μεγαλύτερες έρχεται τρίτη η Αμοργός, και αυτονόητα το ίδιο μοτίβο ακολουθούν και τα κόστη τους, με 1.95, 6.07 και 16.38 εκατομμύρια ευρώ απαιτούμενου αρχικού κεφαλαίου αντίστοιχα για το κάθε νησί.

Αντίθετα λοιπόν με τα μεγέθη των εγκαταστάσεων και το κόστος αρχικής επένδυσης, παρατηρούμε ξανά αυτό που έχουμε ήδη συμπεράνει και καταλήξει, το οποίο έχουμε αναλύσει παραπάνω, ότι το κόστος ενεργειακής παραγωγής παρουσιάζει μια πολύ διαφορετική εικόνα από αυτή του κόστους κεφαλαίου, και έρχεται αντίθετη και με την αναλογία διαστάσεων των εγκαταστάσεων.

Βλέπουμε δηλαδή πως το μικρότερο κόστος ενεργειακής παραγωγής παρουσιάζει το νησί μεγαλύτερης κλίμακας, η Αμοργός (172,73 €/MWh), με μικρή διαφορά ακολουθεί το Καστελλόριζο (177,78 €/MWh), και τελευταία έρχεται η Δονούσα (213,27 €/MWh) με την υψηλότερη τιμή κόστους.

Επομένως όπως αναλύθηκε και νωρίτερα, μεγάλος παράγοντας για το κόστος της ενεργειακής κάλυψης ενός νησιού είναι η ετήσια ζήτηση του, και πιο συγκεκριμένα η επαναληψιμότητα που παρατηρείται σε αυτήν.

## **6.5. Γενικά συμπεράσματα για την εφαρμοσιμότητα της λύσης στο Αιγαίο**

Φτάνοντας στο πέρας της εργασίας μας, είμαστε σε θέση να καταλήξουμε σε κάποια γενικότερα συμπεράσματα για την εφαρμοσιμότητα της προτεινόμενης ενεργειακής λύσης στα νησιωτικά δίκτυα του Αιγαίου Πελάγους.

Αρχικά, το κόστος παραγωγής ενέργειας επηρεάζεται διαφορετικά από ότι θα περιμέναμε, καθώς η έκταση και ο πληθυσμός του κάθε νησιού δεν είναι οι μόνοι παράγοντες. Όπως είδαμε, σημαντικό ρόλο παίζει και η επαναληψιμότητα της ενεργειακής ζήτησης, δηλαδή η όσο το δυνατόν μικρότερη διαφορά ελάχιστης με μέγιστης ζήτησης μέσα στο έτος. Το φαινόμενο αυτό συναντάται στα μεγαλύτερα νησιά, όπου ο μόνιμος πληθυσμός είναι μεγαλύτερος, και δεν παρουσιάζονται τόσο μεγάλες αποκλίσεις με την ζήτηση κατά την καλοκαιρινή, τουριστική περίοδο, όπως στα μικρότερης κλίμακας νησιά.

Εκτός των ειδικότερων συμπερασμάτων της μελέτης μας, για τη μορφή που θα πρέπει να έχουν οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις, η οποία διαφέρει από δίκτυο σε δίκτυο λόγω των ενεργειακών τους αναγκών, καταλήξαμε επίσης και σε συμπεράσματα σχετικά με το κατά πόσο εφικτό είναι να παραδοθεί μια τέτοια λύση στα μη διασυνδεδεμένα νησιά του Αιγαίου. Κατά τη διαδικασία αυτή διαπιστώθηκε πως η εφαρμογή της προτεινόμενης λύσης μας στον ελλαδικό χώρο την περίοδο αυτή, παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες.

Κυριότερο πρόβλημα φυσικά, αποτελεί η αδυναμία διάθεσης κρατικών πόρων για μια επένδυση αυτού του μεγέθους. Όπως είδαμε στα αποτελέσματα της προσομοίωσης μας, το κόστος κεφαλαίου για τη λύση αυτή κυμαίνεται από 1 έως και 16 εκατομμύρια ευρώ για τα νησιά του Αιγαίου που δεν είναι συνδεδεμένα με το ηπειρωτικό δίκτυο, αντιμετωπίζοντας συνεπώς όλα αυτά τα ενεργειακά προβλήματα. Το

κόστος της επένδυσης αυτής φαντάζει απίθανο να καλυφθεί, και δυστυχώς δεν είναι το μόνο με υψηλή τιμή.

Όπως είχαμε αναλύσει και νωρίτερα, ένα μεγάλο πρόβλημα που αντιμετωπίζει η εφαρμογή της παρούσας λύσης είναι η κυκλοφορία του φυσικού αερίου στο Αιγαίο. Με το πετρέλαιο να είναι το συνηθέστερο καύσιμο παγκοσμίως, η Ελλάδα και κατ' επέκταση το Αιγαίο Πέλαγος δεν θα μπορούσε να είναι εξαίρεση. Επομένως, η εφαρμογή μιας ενεργειακής λύσης που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο ως πρωτεύον καύσιμο φαντάζει απίθανη, καθώς δεν υπάρχουν ούτε οι απαραίτητοι φορείς, αλλά ούτε και οι υποδομές για να στηριχθεί η κυκλοφορία υγρού φυσικού αερίου (LNG) στα νησιά του Αιγαίου. Οι αλλαγές που πρέπει να γίνουν σε νομοθετικό πλαίσιο, καθώς και τα κόστη της δημιουργίας των απαραίτητων υποδομών, καθιστά την πραγματοποίηση του έργου αυτού αρκετά απίθανη, τουλάχιστον στα επόμενα χρόνια.

Η ίδια η ΔΕΗ δεν σκοπεύει να πορευθεί σε τόσο δραστικές αλλαγές, παρόλο που το πετρέλαιο είναι σαφέστατα πολύ περισσότερο ζημιόγONO, τόσο στην αγορά του όσο και στο περιβάλλον.

Επιπλέον, ένα σημαντικότατο πρόβλημα στην προτεινόμενη αυτή λύση είναι η δυσκολία εύρεσης του κατάλληλου σημείου για την εγκατάσταση που αναλύσαμε, καθώς αυτή απαιτεί την ύπαρξη ειδικής φυσικής κοιλότητας, η οποία να μπορεί να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις του συστήματος αποθήκευσης αέρα. Όπως είναι κατανοητό, η εύρεση της κατάλληλης εδαφικής ιδιομορφίας απαιτεί περαιτέρω πόρους και ανάλυση έτσι ώστε να καταστεί εφικτή. Στον αντίποδα, μια λύση με τεχνητή δεξαμενή αποθήκευσης αέρα λύνει αυτά τα προβλήματα, αλλά ανεβάζει το κόστος κεφαλαίου σε δυσθεώρητα επίπεδα, αφού το κόστος μιας τεχνητής δεξαμενής θα είναι τουλάχιστον δεκαπλάσιο από την περίπτωση φυσικής κοιλότητας, (1000-1500 €/m<sup>3</sup> και 100 €/m<sup>3</sup> αντίστοιχα).

Εν κατακλείδι, μπορούμε με ασφάλεια να συμπεράνουμε πως η εφαρμογή μιας λύσης σαν αυτή που προτείνουμε μπορεί να απαλλάξει τα νησιωτικά δίκτυα του Αιγαίου Πελάγους από τα πολύκρουστα ενεργειακά προβλήματα που αντιμετωπίζουν, και να φέρει αυτονομία, στήριξη στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, που κατ' επέκταση προσφέρουν τεράστια οικονομία καυσίμων και ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, και ανάσα στο κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης από τα υψηλότερα κόστη που συνεπάγεται η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των μη διασυνδεδεμένων νησιών.

Η εφαρμογή της όμως καθίσταται αδύνατη αυτή τη χρονική στιγμή για την ελληνική οικονομία και ανάπτυξη, με συνέπεια την αναγκαστική παραμονή των νησιών στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, με όλα τα οικονομικά, περιβαλλοντικά και ενεργειακά προβλήματα στα οποία συνεπάγεται.

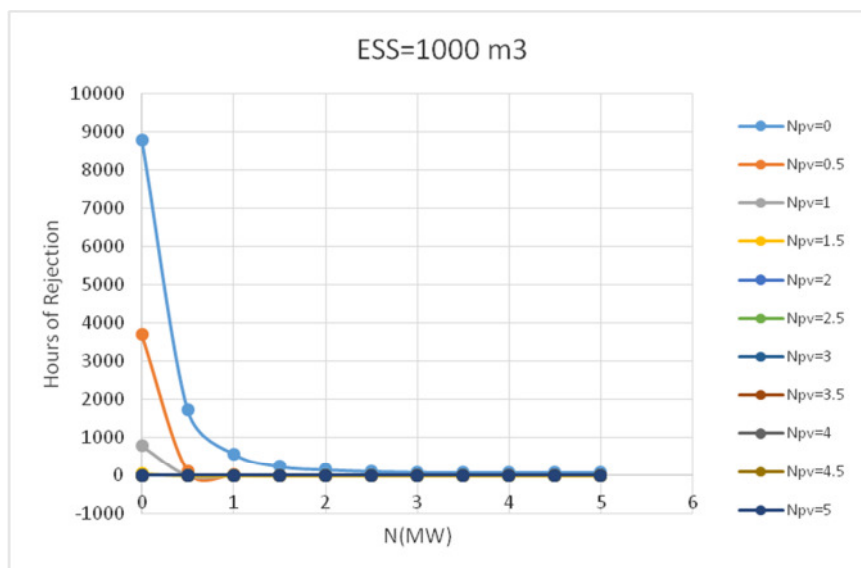
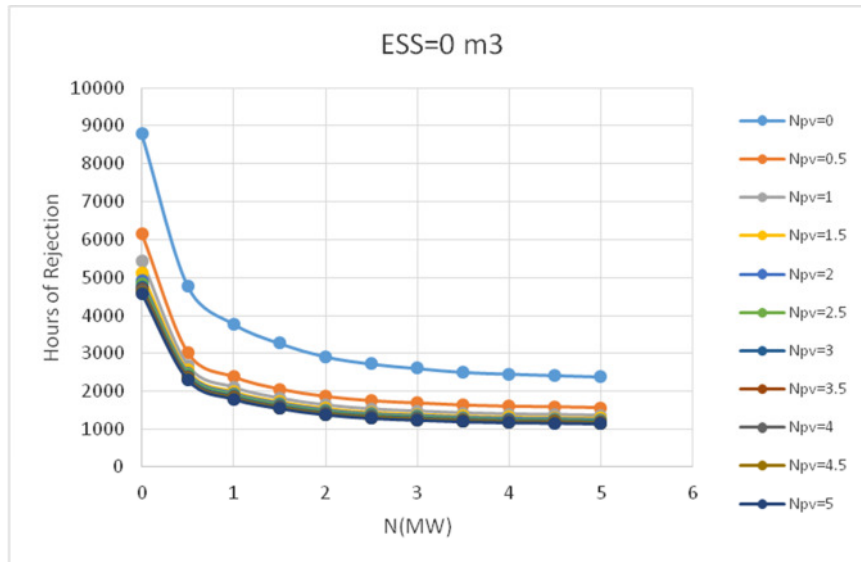
## 7. Πηγές - Βιβλιογραφία

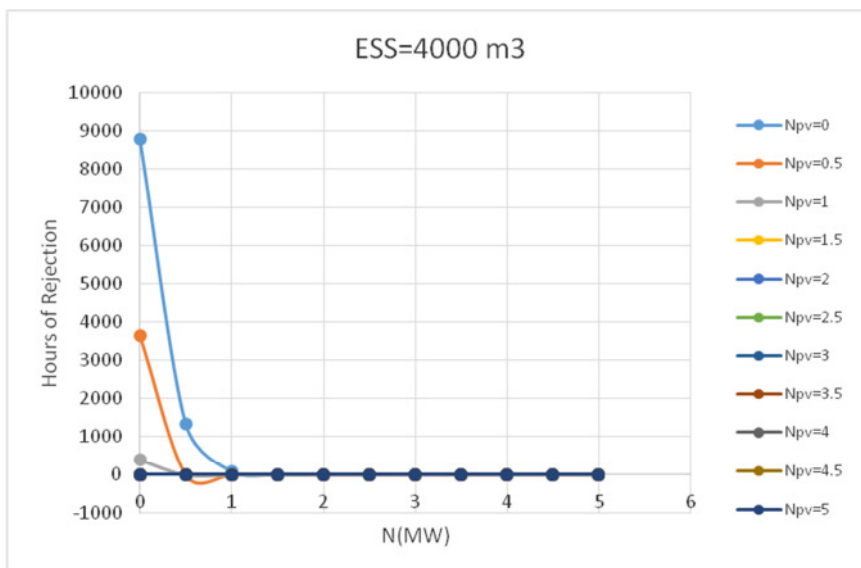
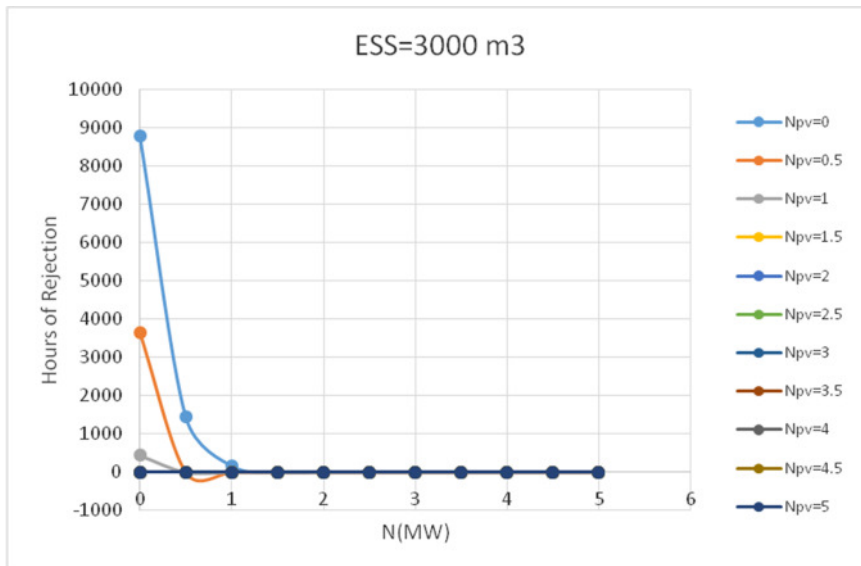
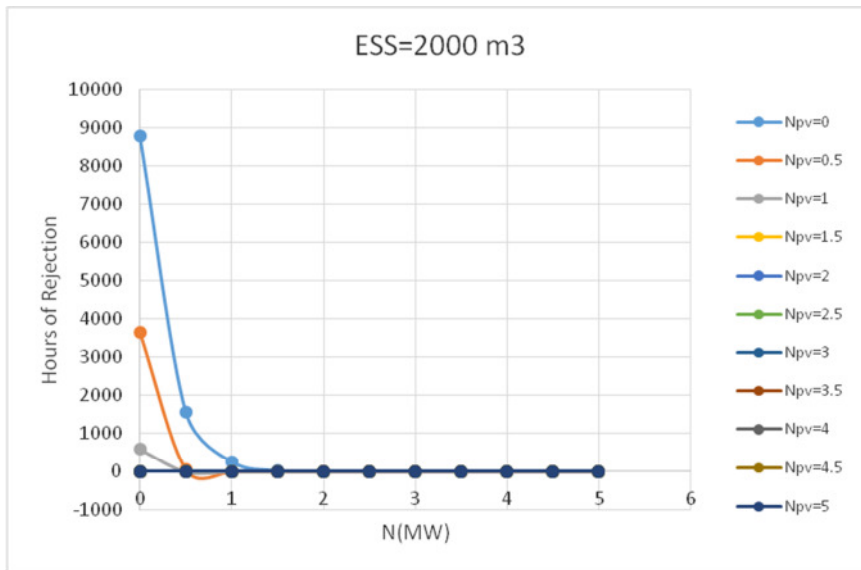
- <http://www.aegean-energy.gr/gr/ape.htm>
- <http://agrococosmos.com/%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%8E%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%82-%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%AD%CF%82-%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82-%CF%83%CF%84%CE%B1-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%B7/>
- <http://www.euro2day.gr/news/economy/article/1299206/prohoroynta-erga-ths-triths-dexamens-ygropoihmen.html>
- <http://energypress.gr/news/stin-jp-avax-i-triti-dexameni-tis-revythoysas>
- <http://energypress.gr/news/delivery-fysiko-aerio-gia-nisia-kai-apomakrysmenes-periohes>
- <http://www.iefimerida.gr/news/256781/depa-trofodosia-apomakrysmenon-nision-kai-periohon-me-fysiko-aerio>
- <http://www.archipelago-Ing.eu/>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Compressed\\_air\\_energy\\_storage](https://en.wikipedia.org/wiki/Compressed_air_energy_storage)
- *Economic evaluation of the dual mode CAES solution for increased wind energy contribution in autonomous island networks*
- D. Zafirakis, J.K.Kaldellis
- *Wind energy and natural gas-based energy storage to promote energy security and lower emissions in island regions*
- D. Zafirakis, K.J. Chalvatzis
- [http://www.rae.gr/site/categories\\_new/consumers/know\\_about/electricity/production.csp](http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/production.csp)
- <https://ecoanemos.files.wordpress.com/2014/01/donousa.pdf>
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CF%8C%CF%81%CE%B9%CE%B6%CE%BF>
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BC%CE%BF%CF%81%CE%B3%CF%8C%CF%82>
- <http://www.dafni.net.gr/gr/members/files/amorgos/amorgos-report.pdf>
- «Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας»
- Ιωάννης Κ. Καλδέλλης - Κοσμάς Α. Καθβαδίας
- Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης

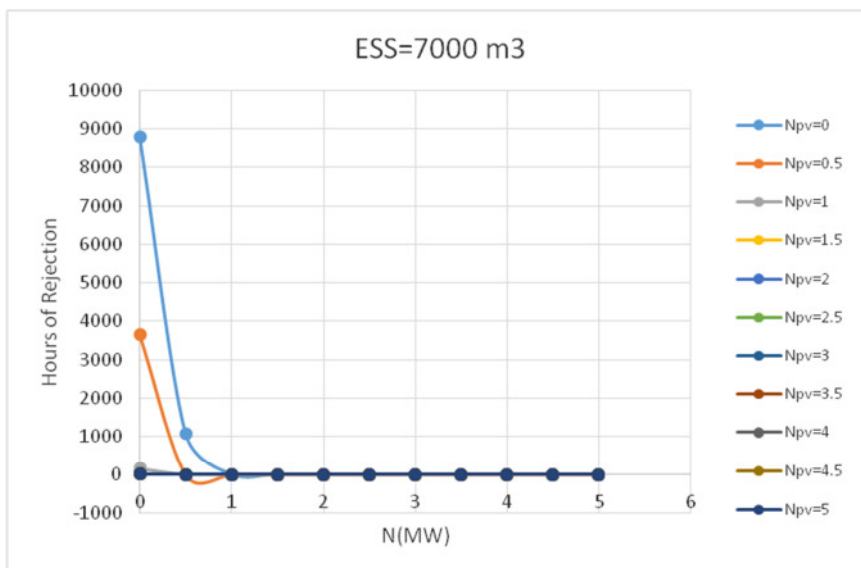
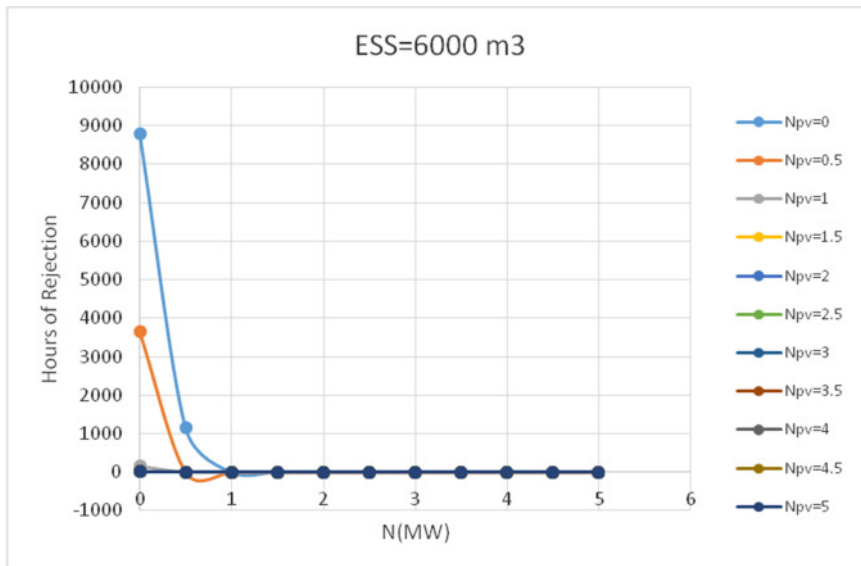
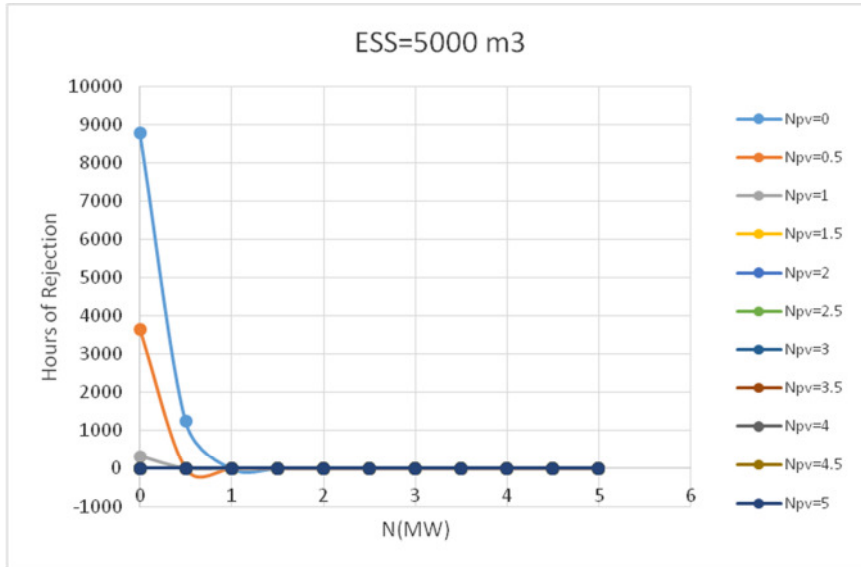
## 8. Παράρτημα

### 8.1. Διαγράμματα ενεργειακής αυτονομίας

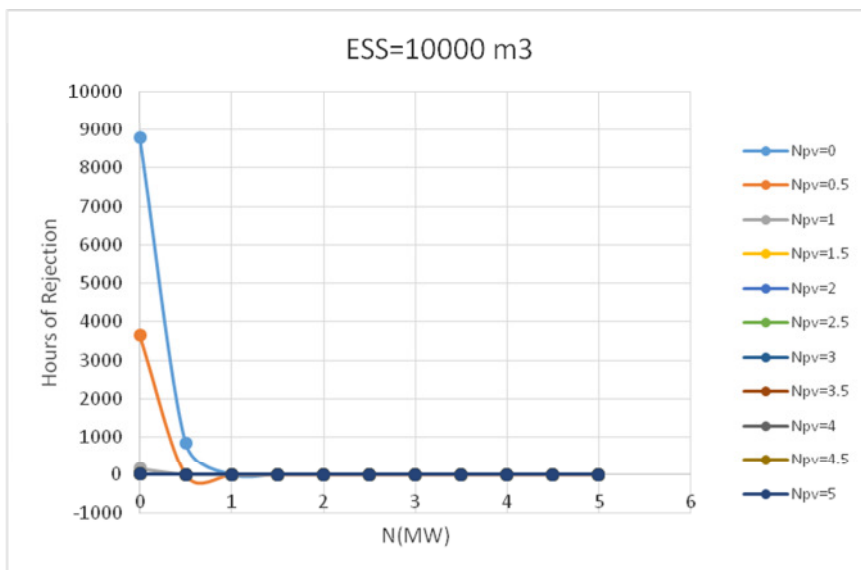
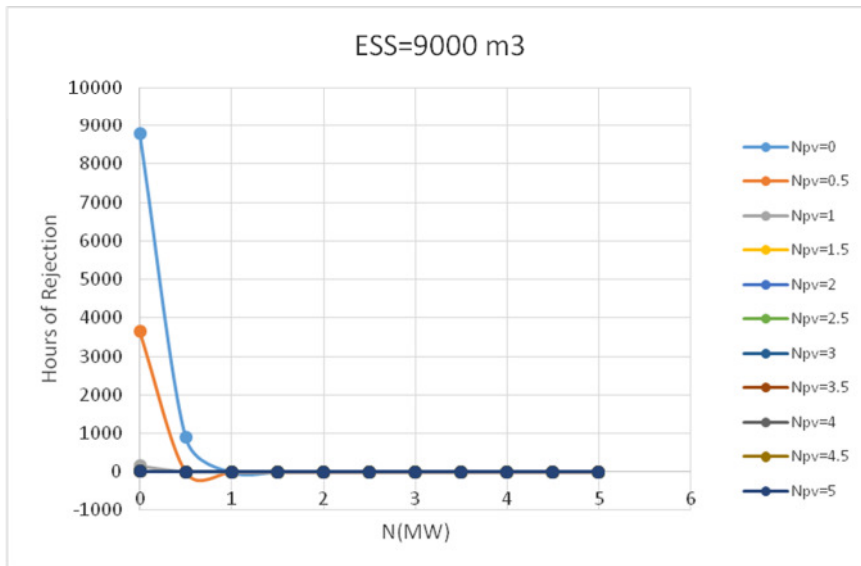
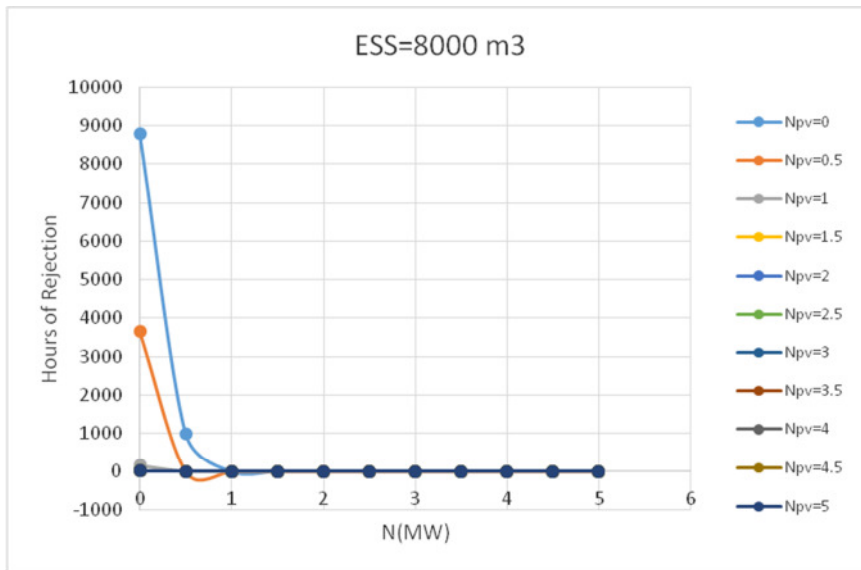
Δονούσα:



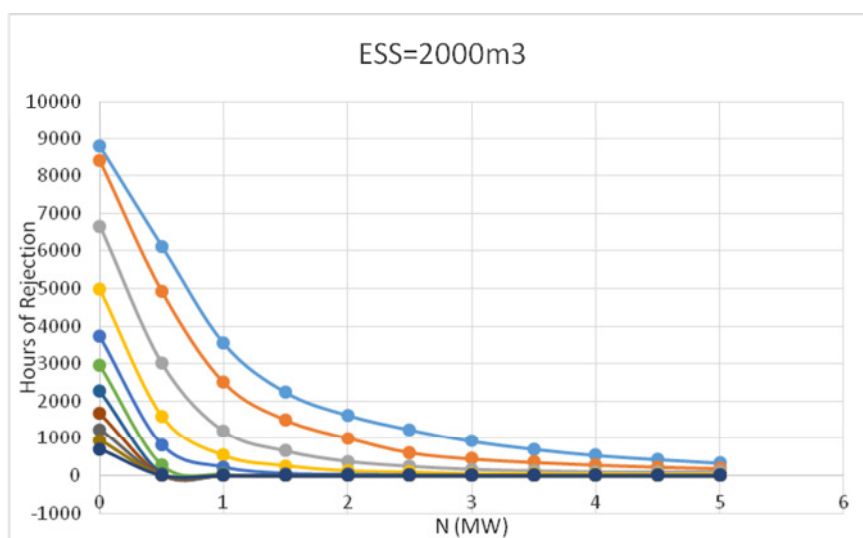
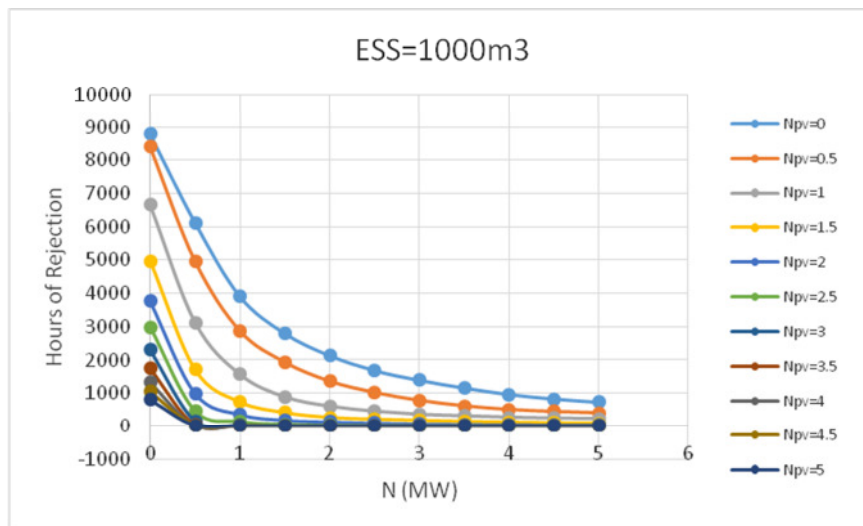
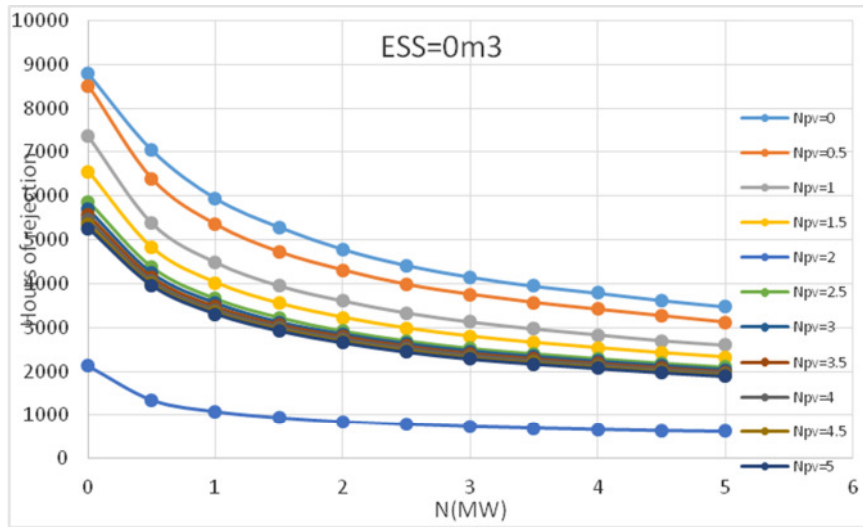


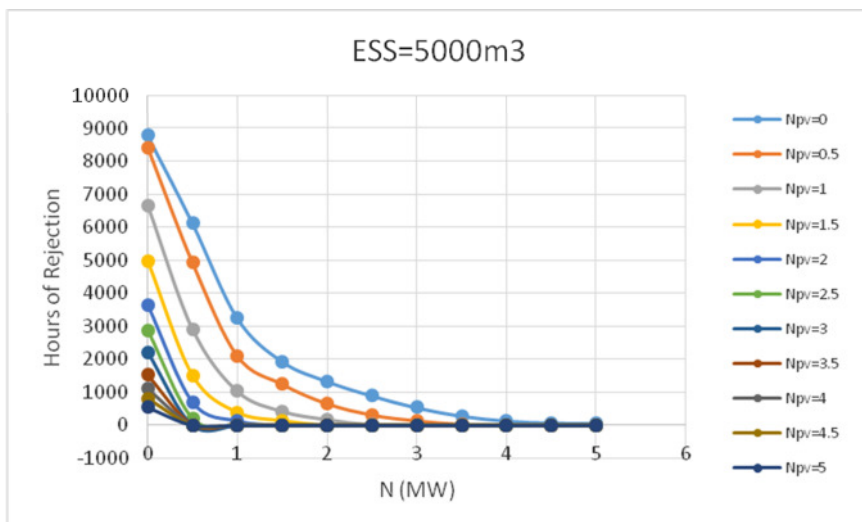
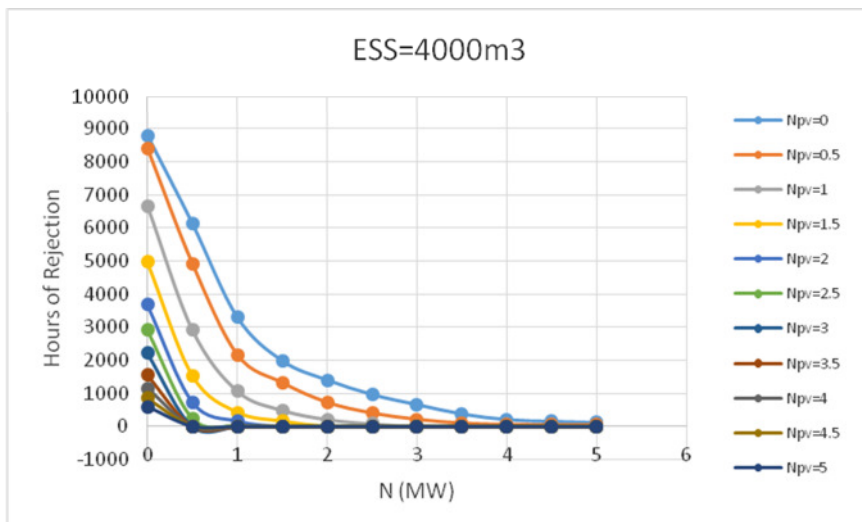
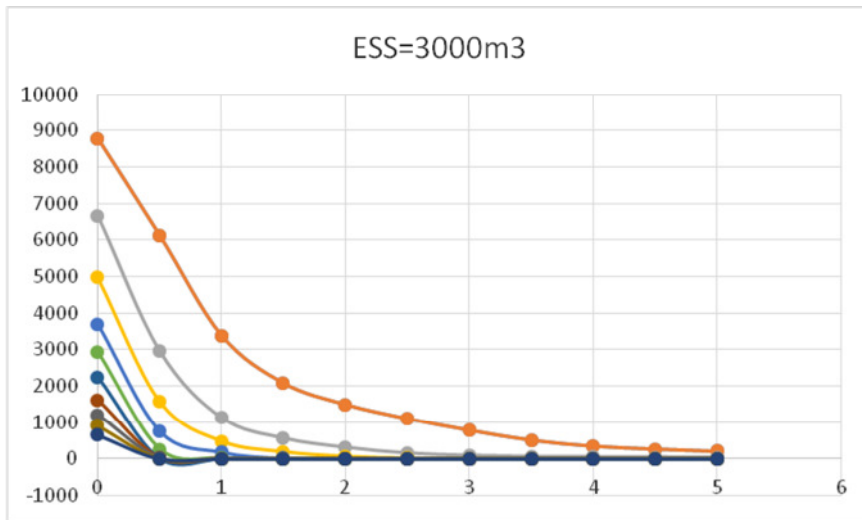


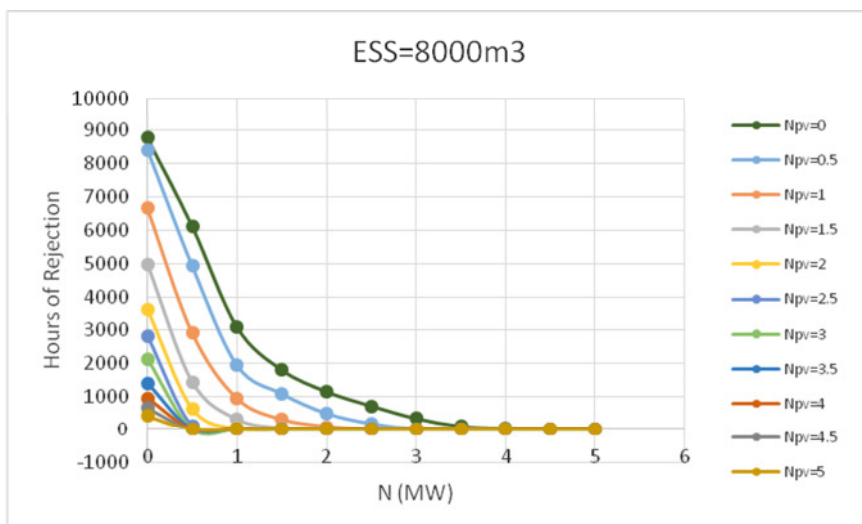
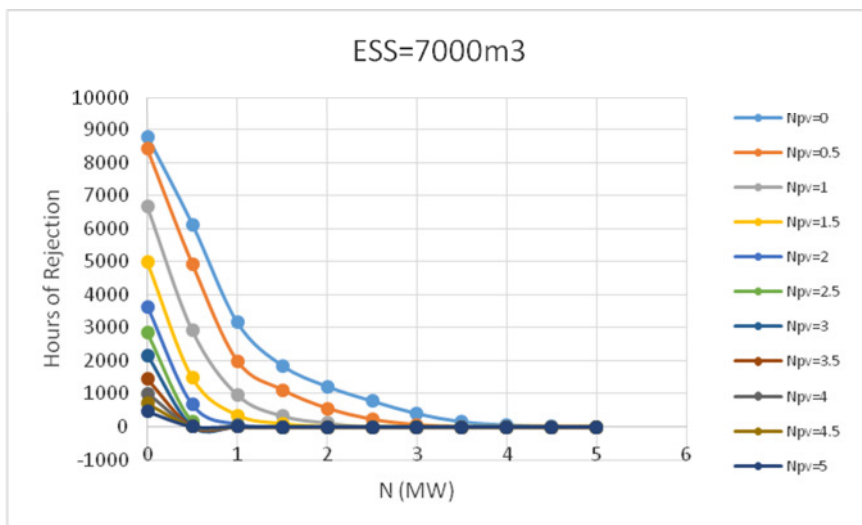
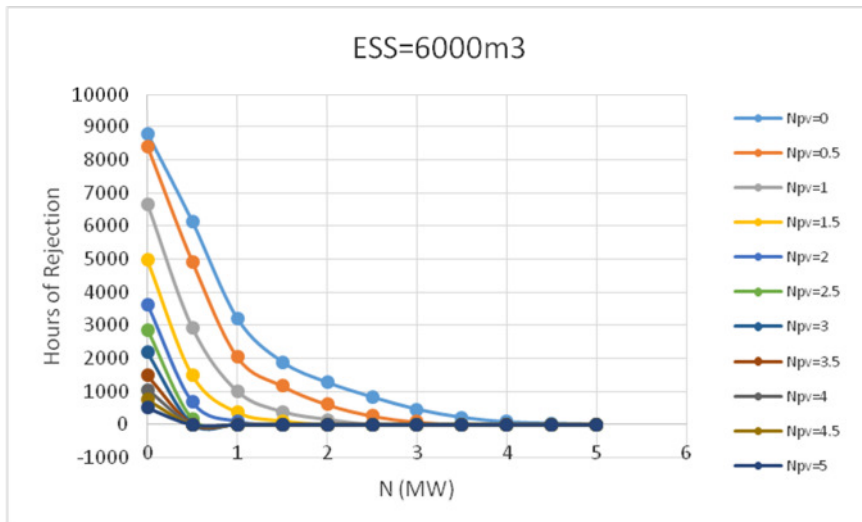


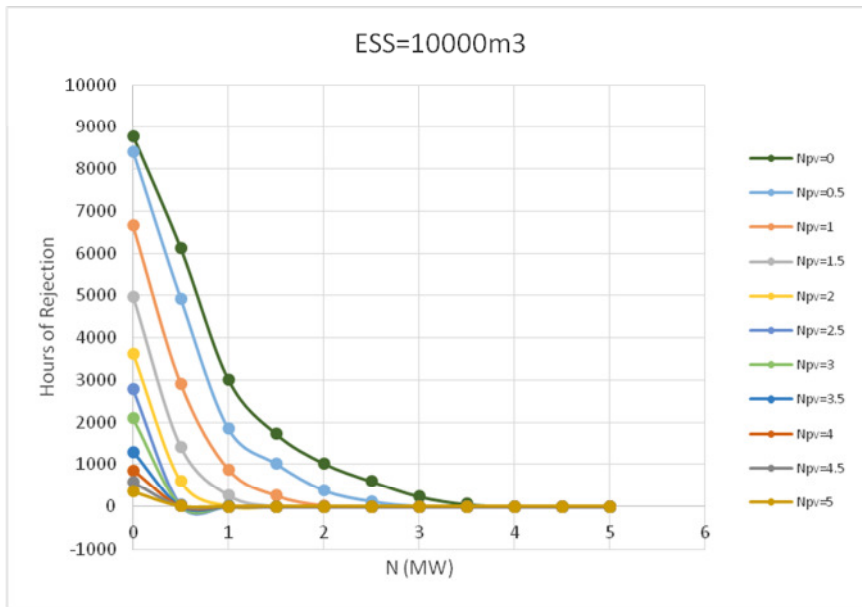
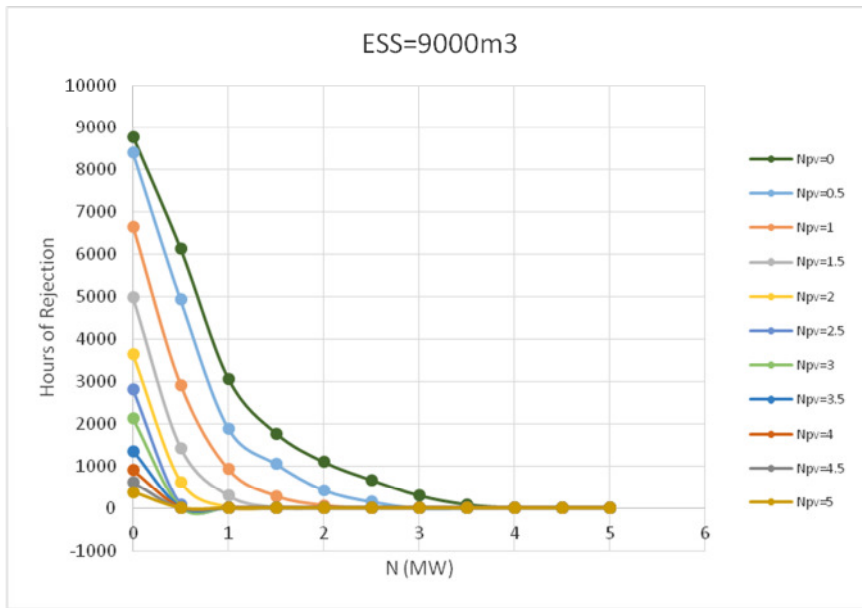


**Καστελλόριζο:**

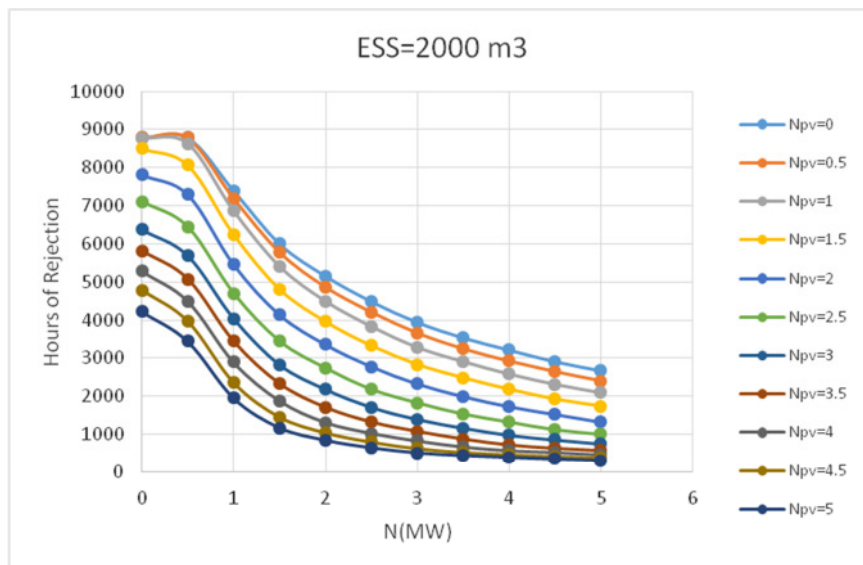
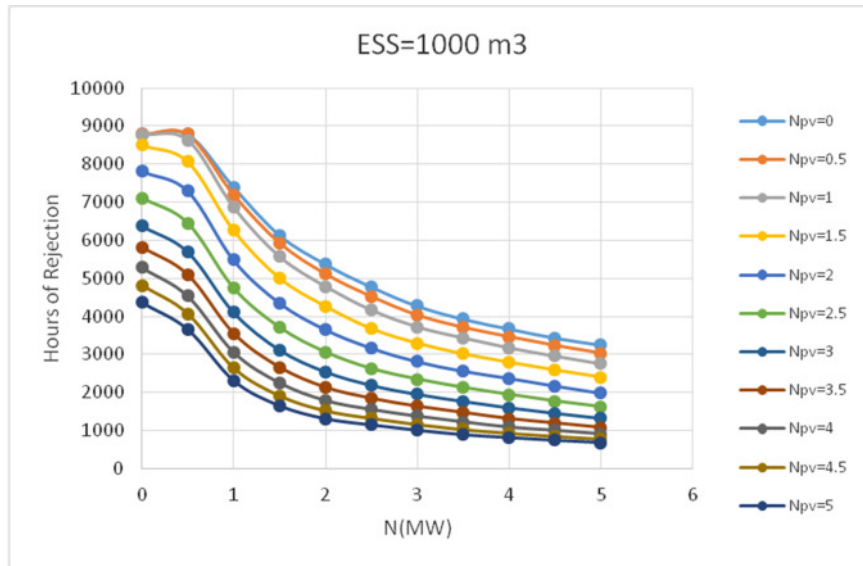
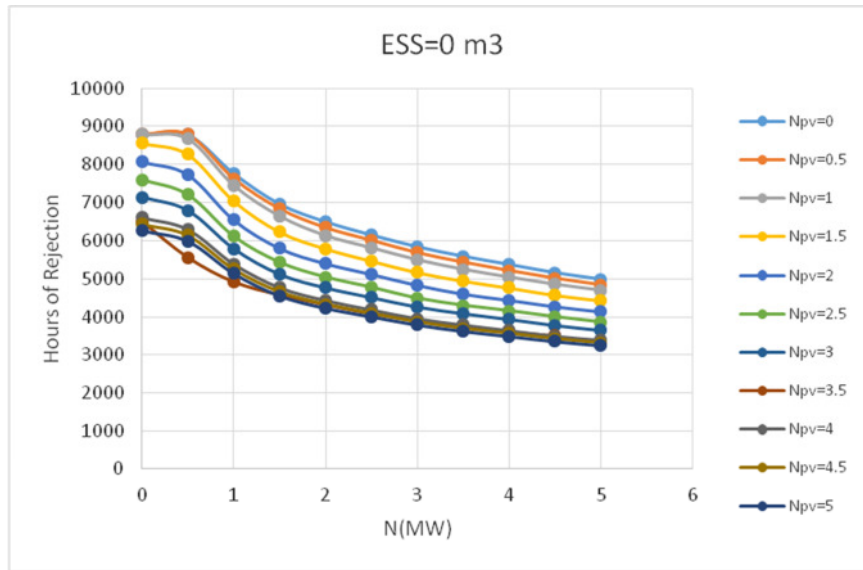


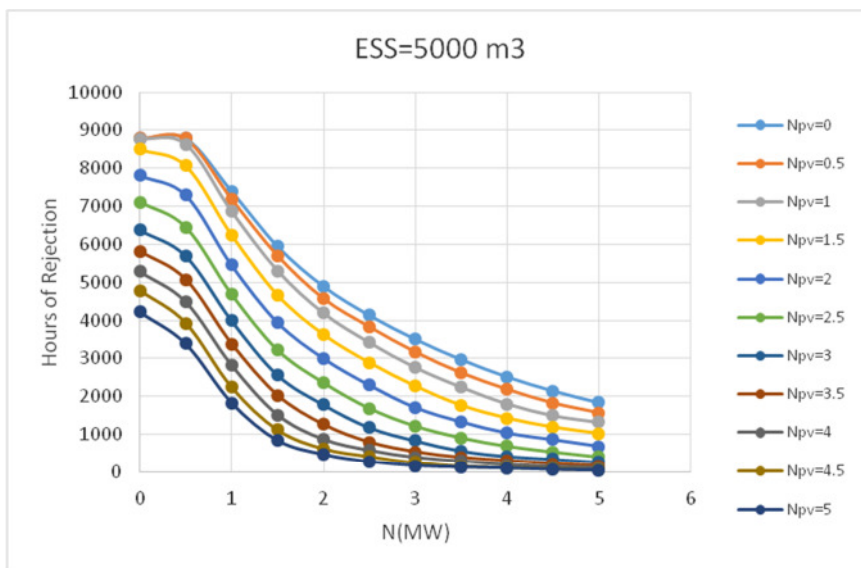
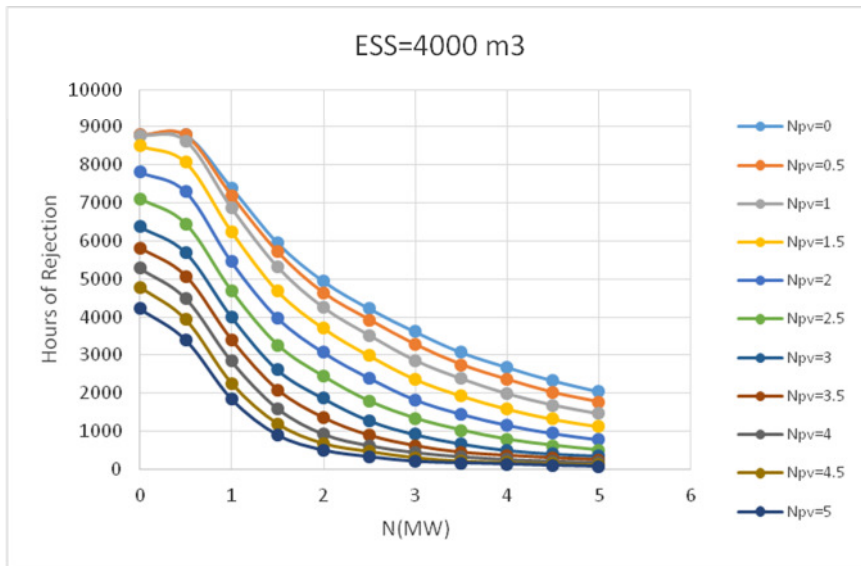
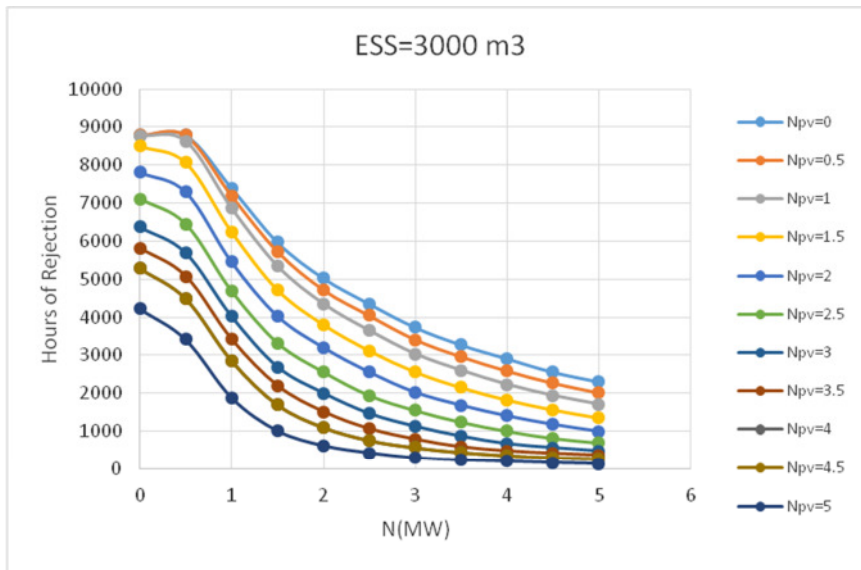


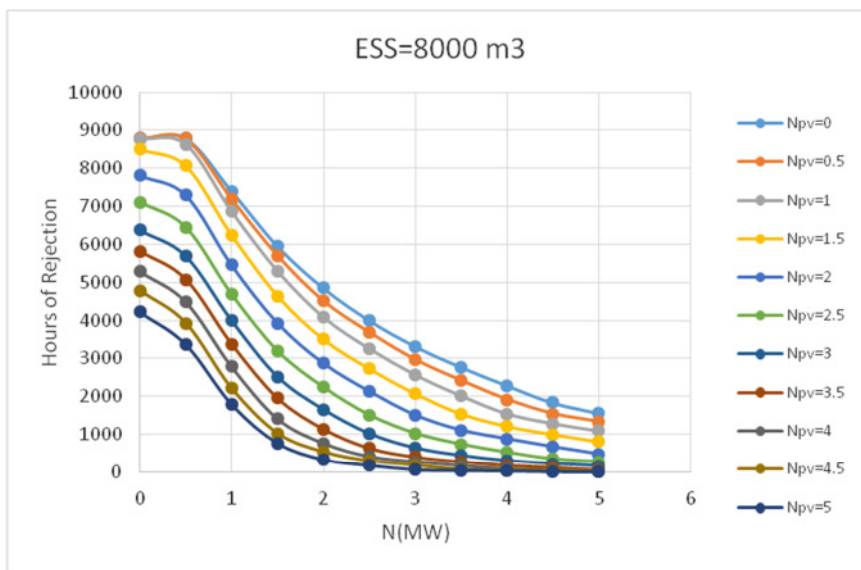
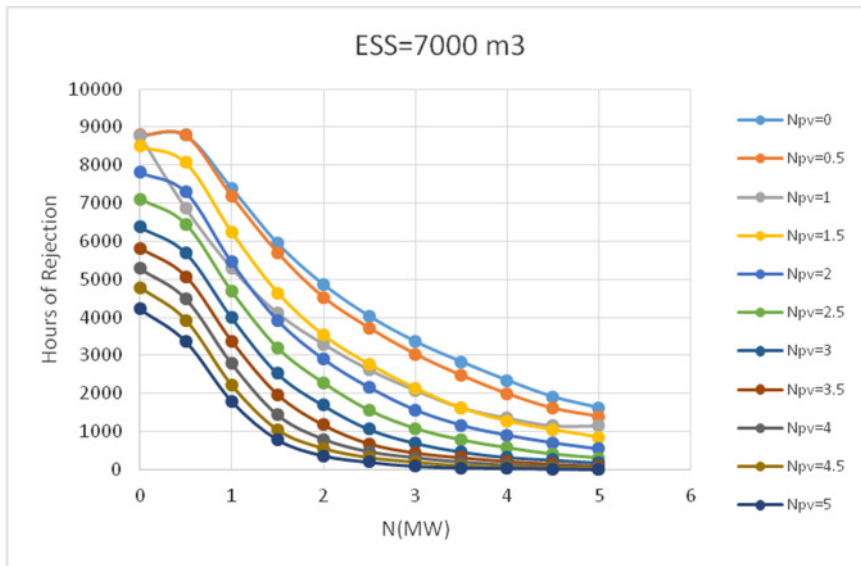
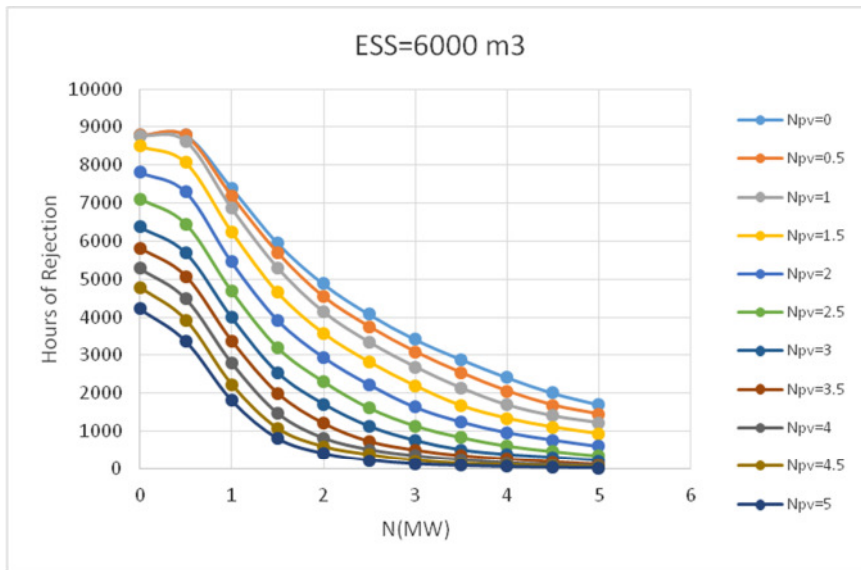




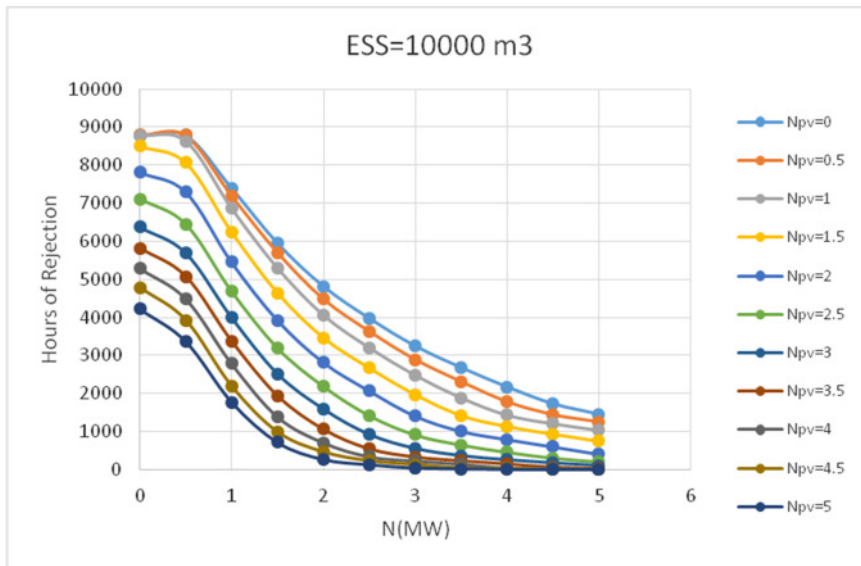
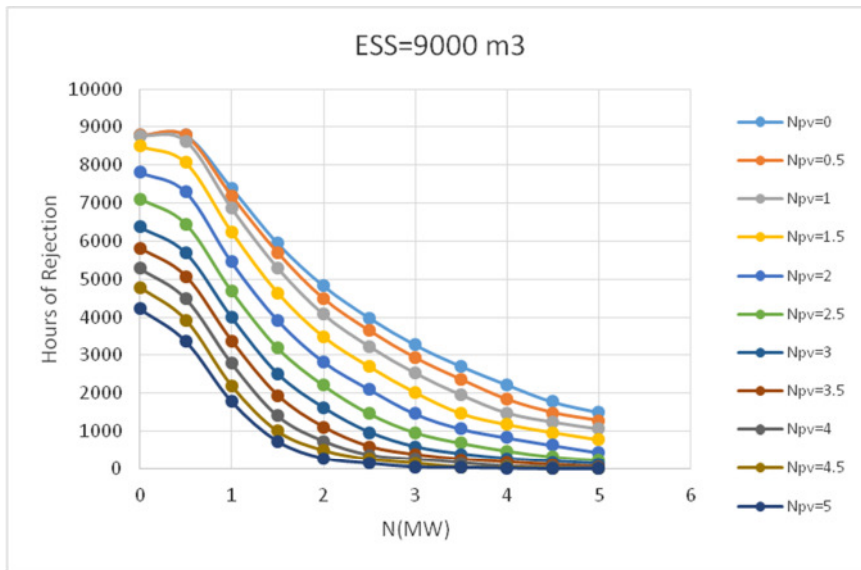
## Αμοργός:





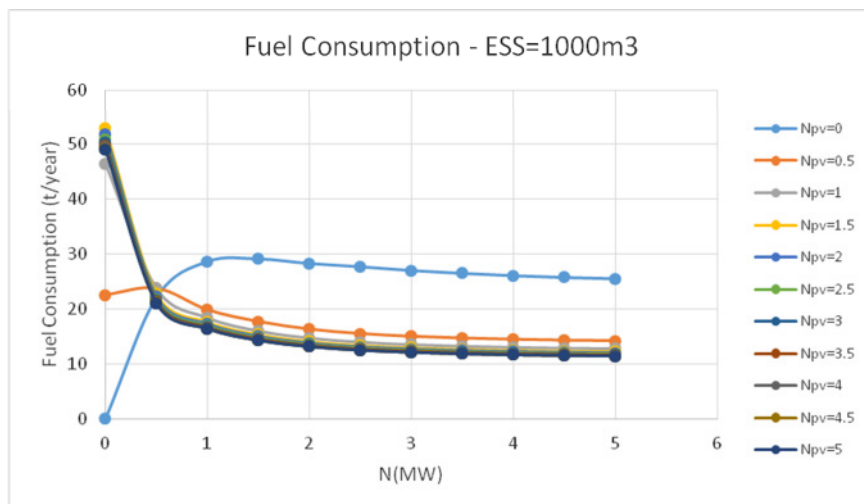
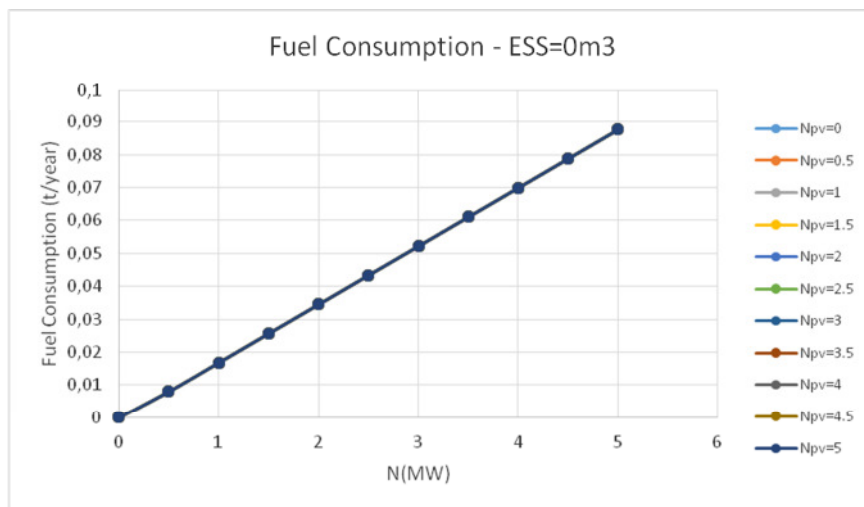


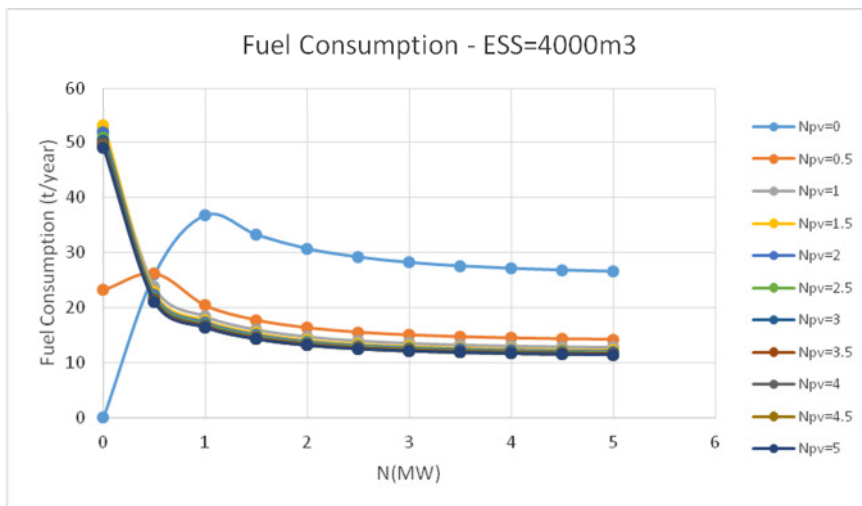
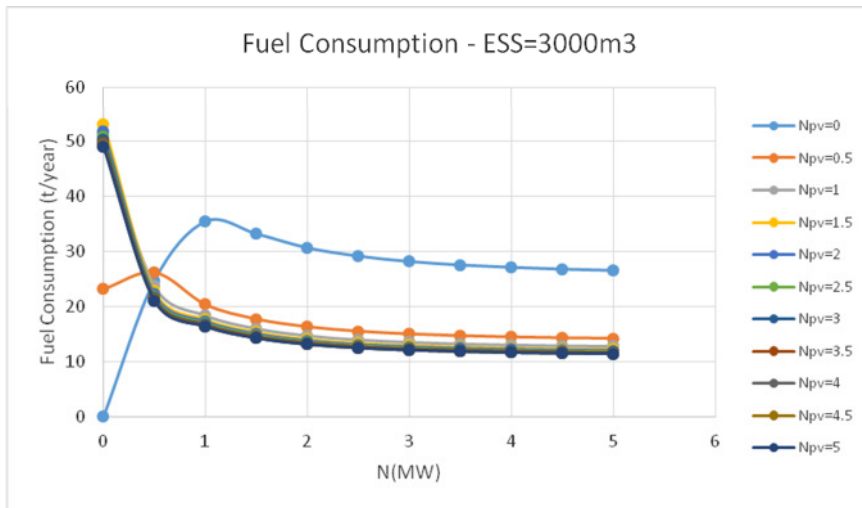
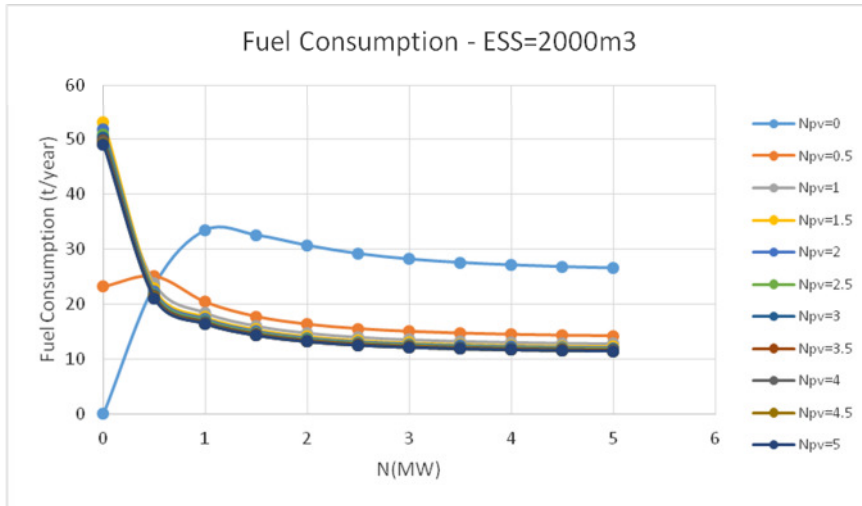


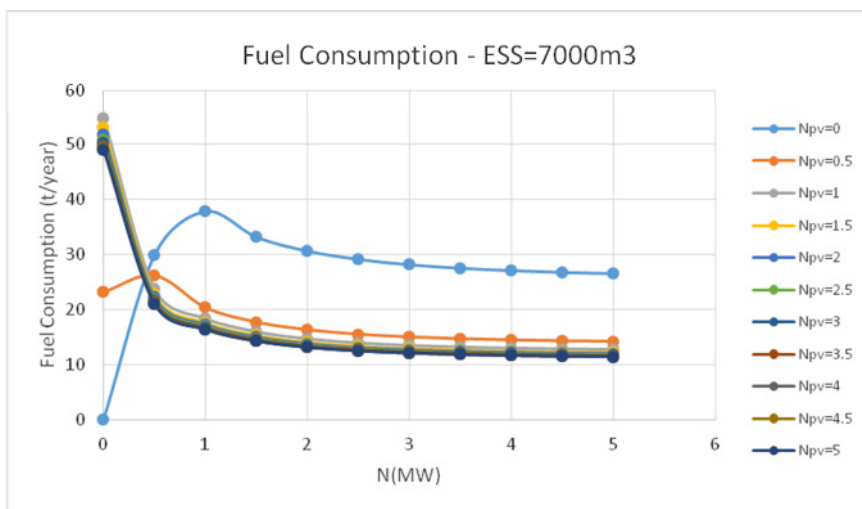
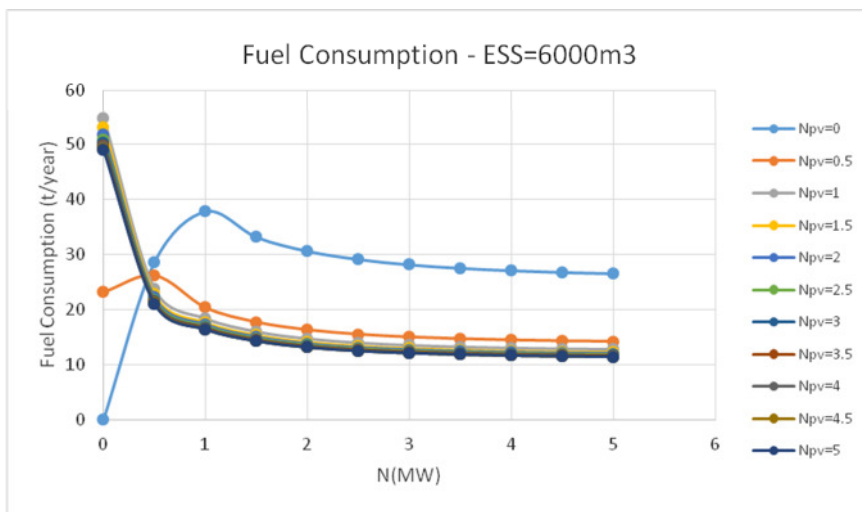
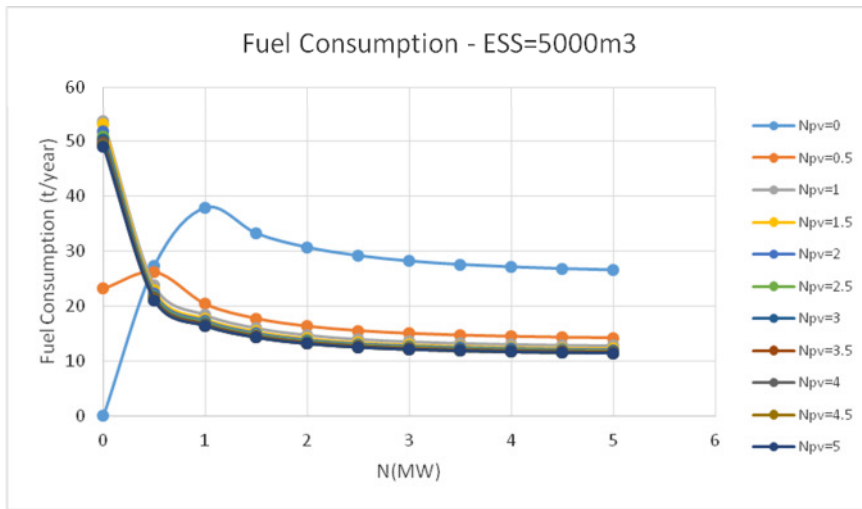


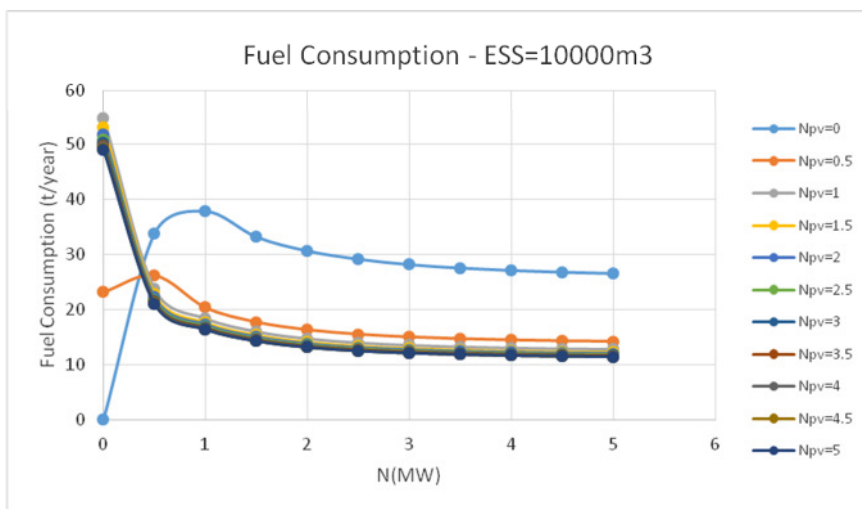
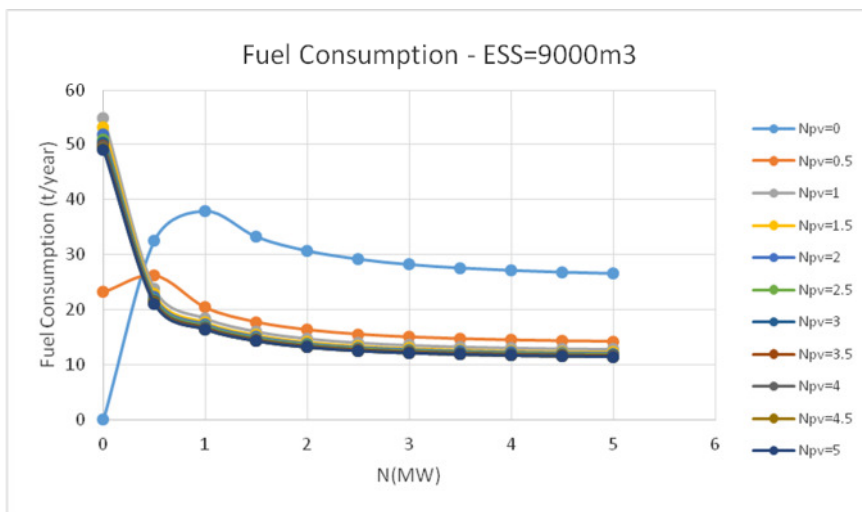
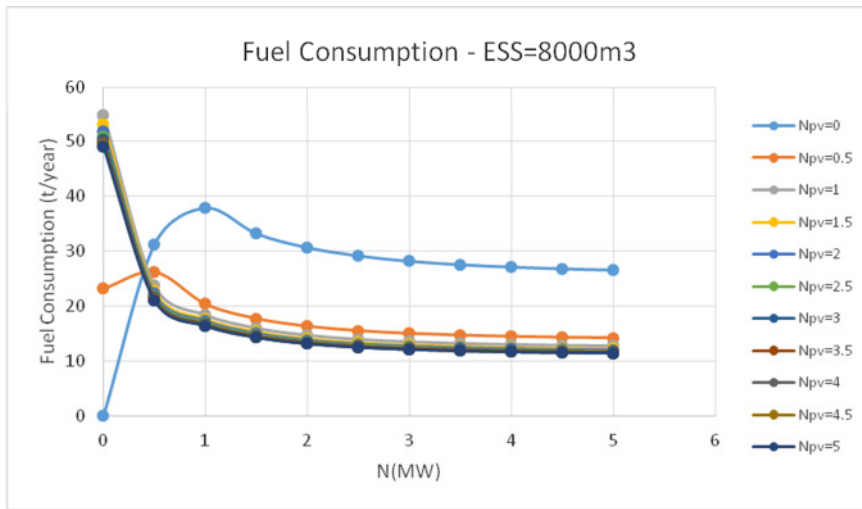
## 8.2. Διαγράμματα κατανάλωσης καυσίμου

Δοτούσα:

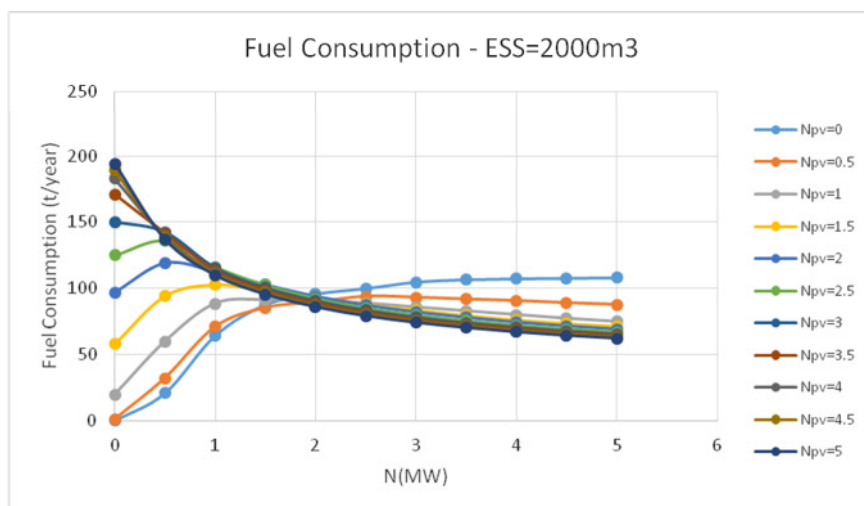
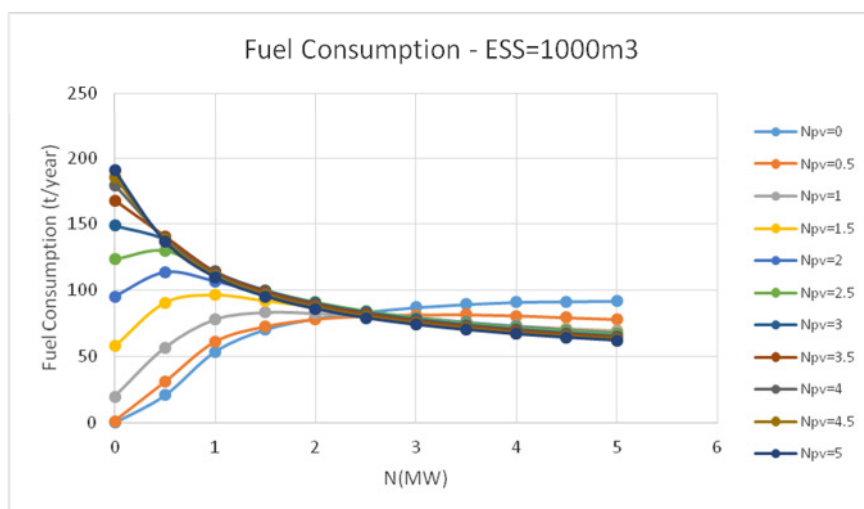
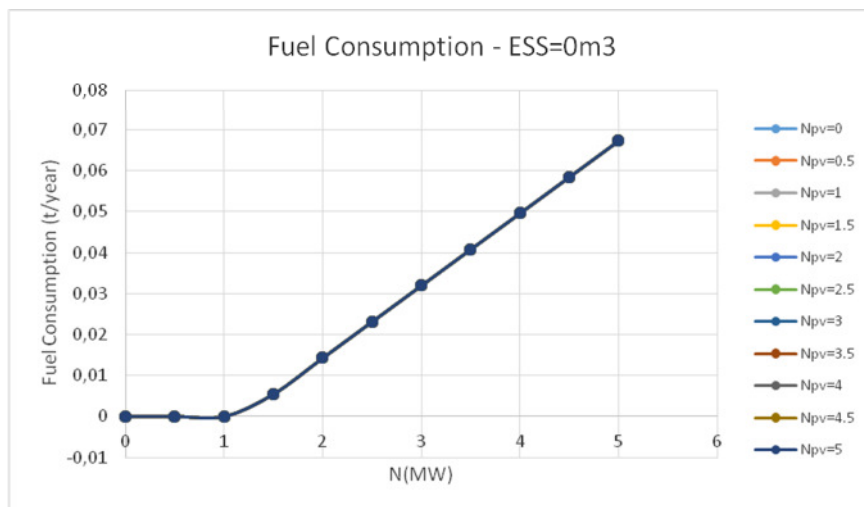


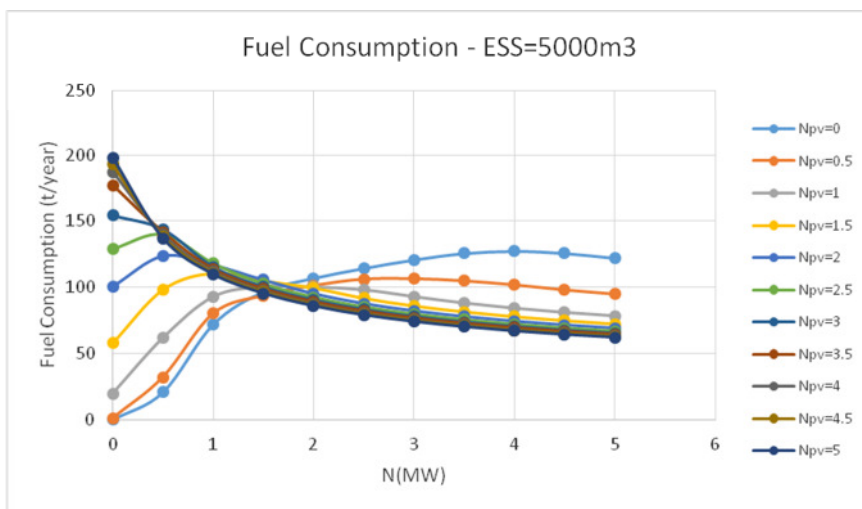
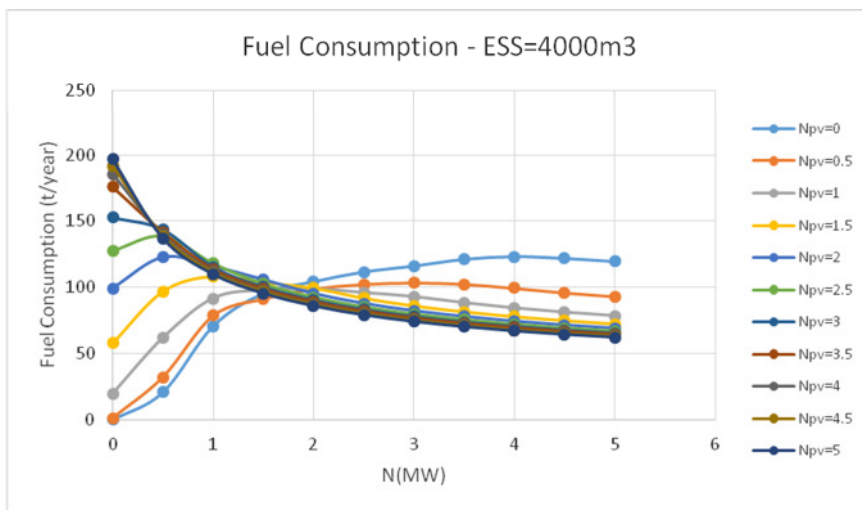
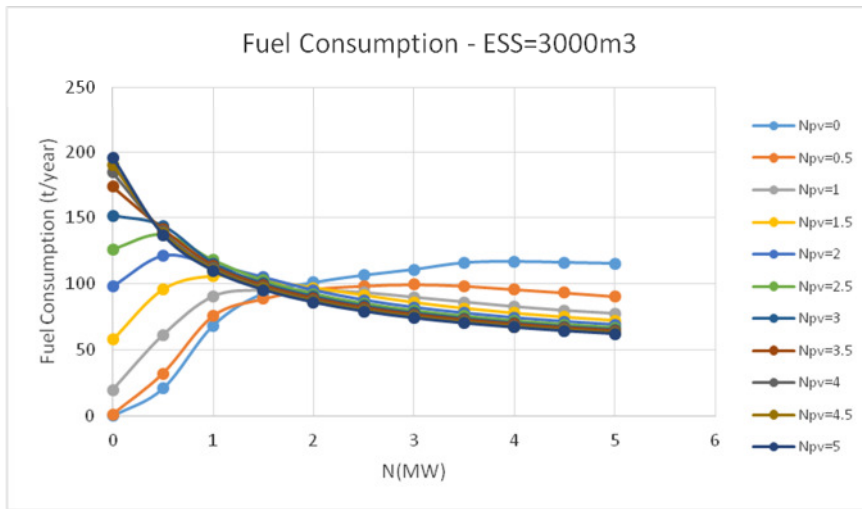


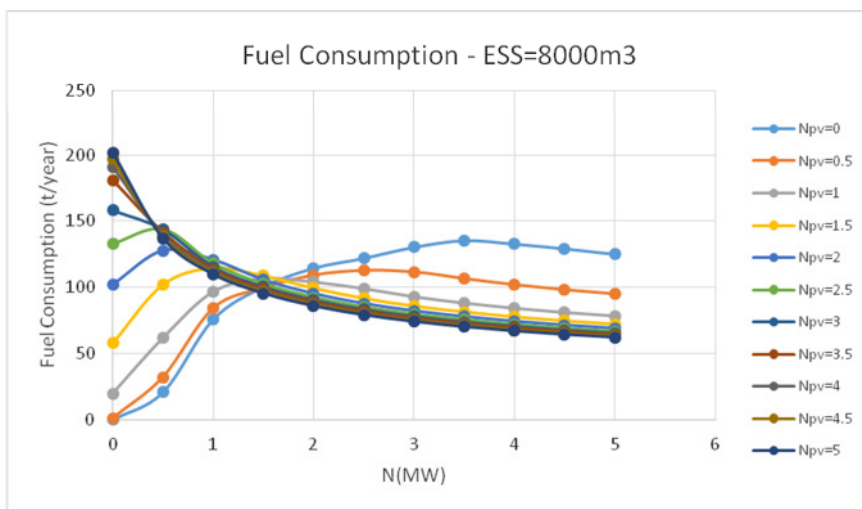
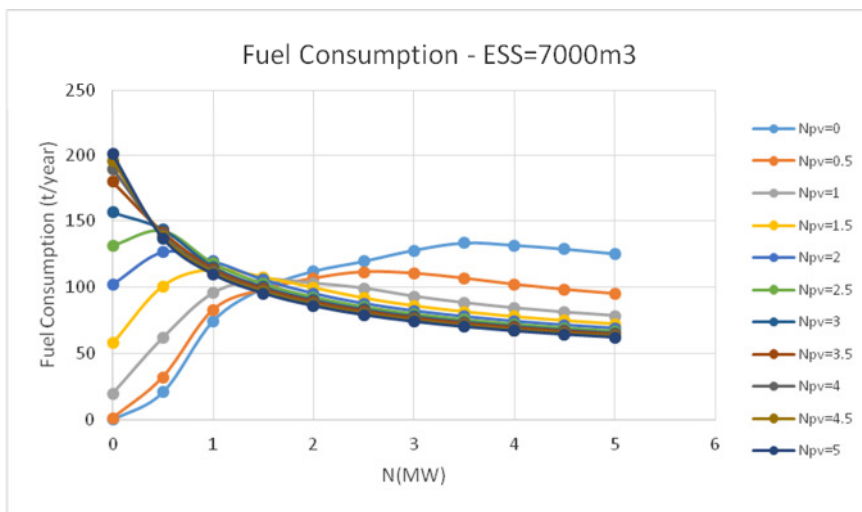
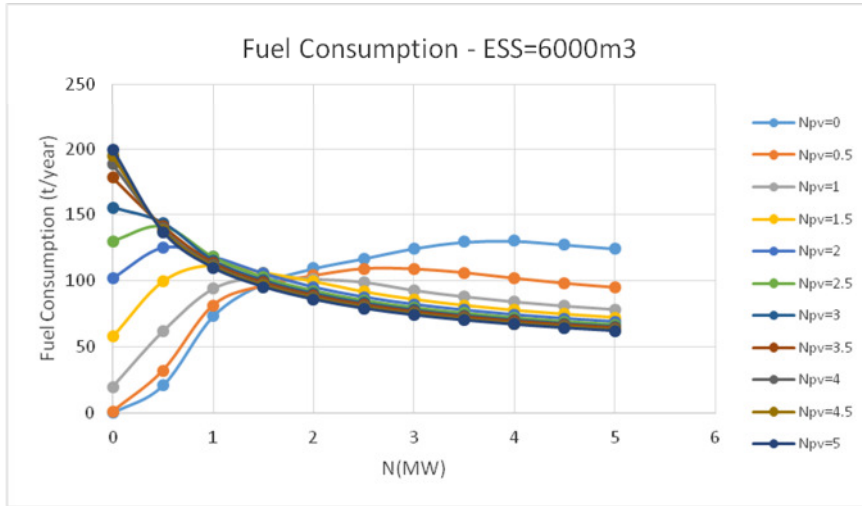




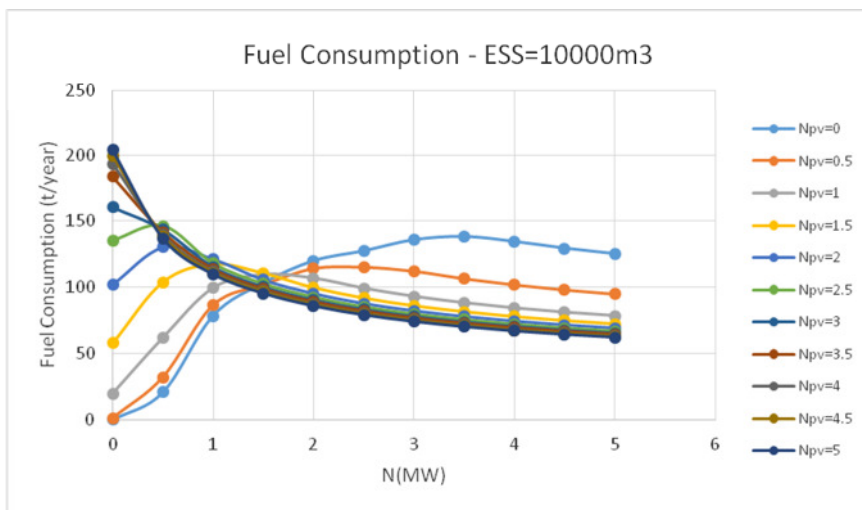
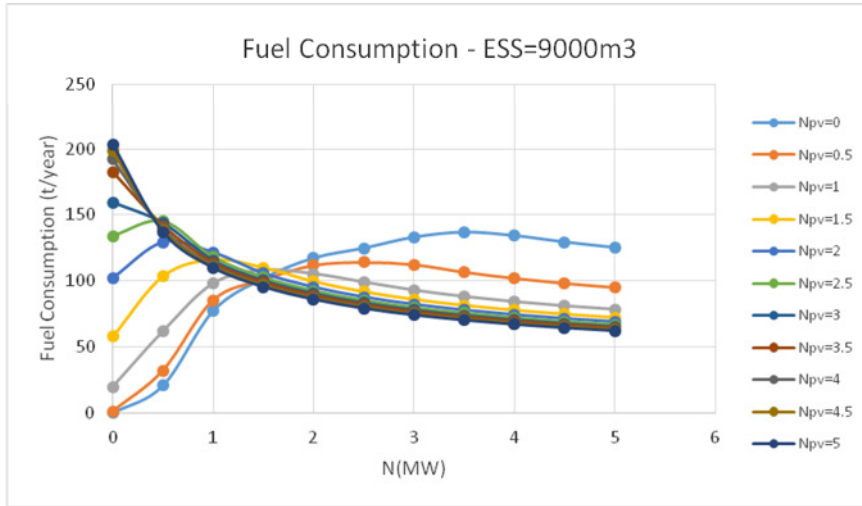
## Καστελλόριζο:



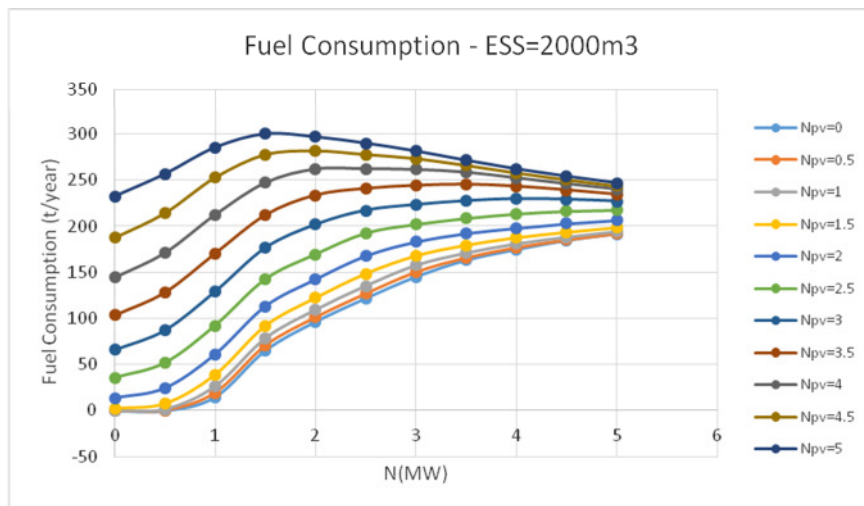
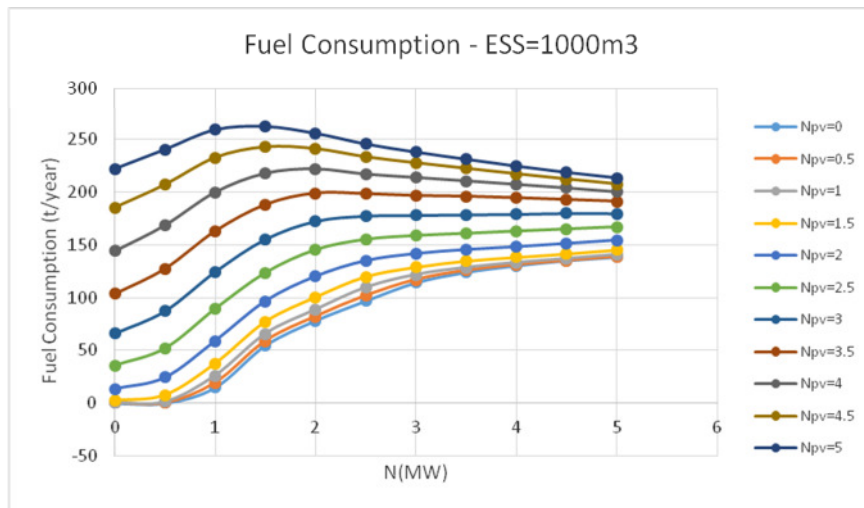
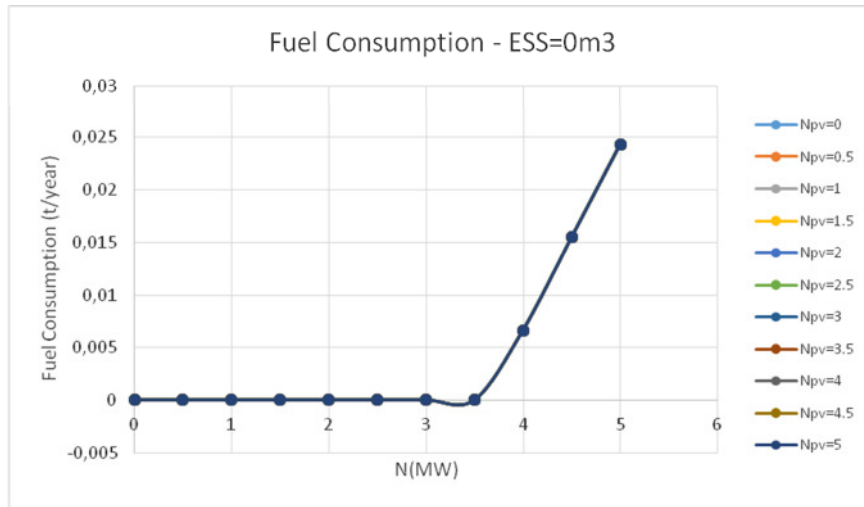


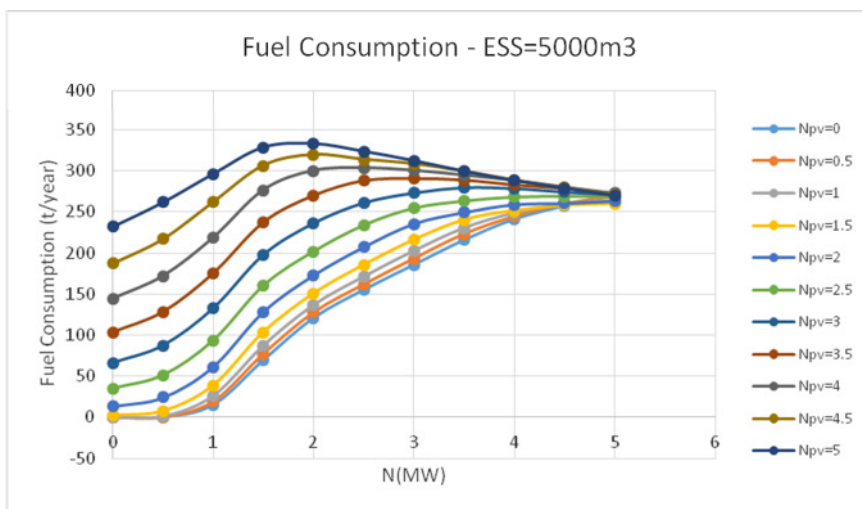
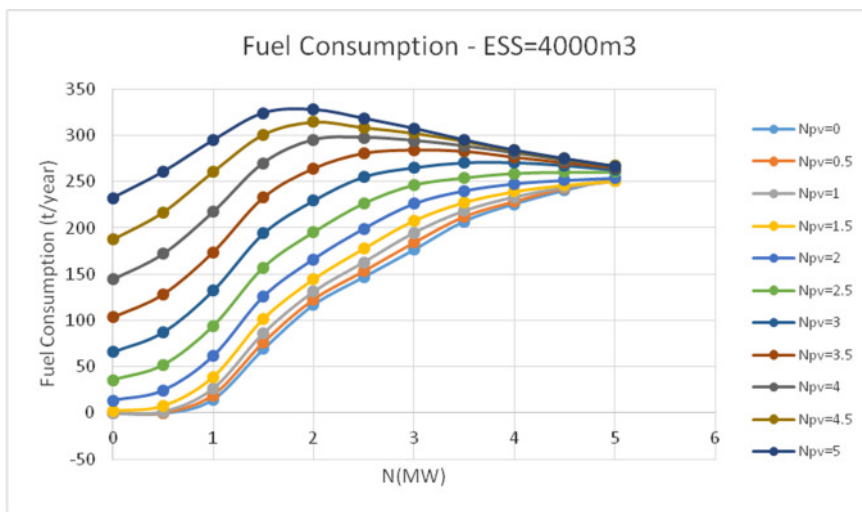
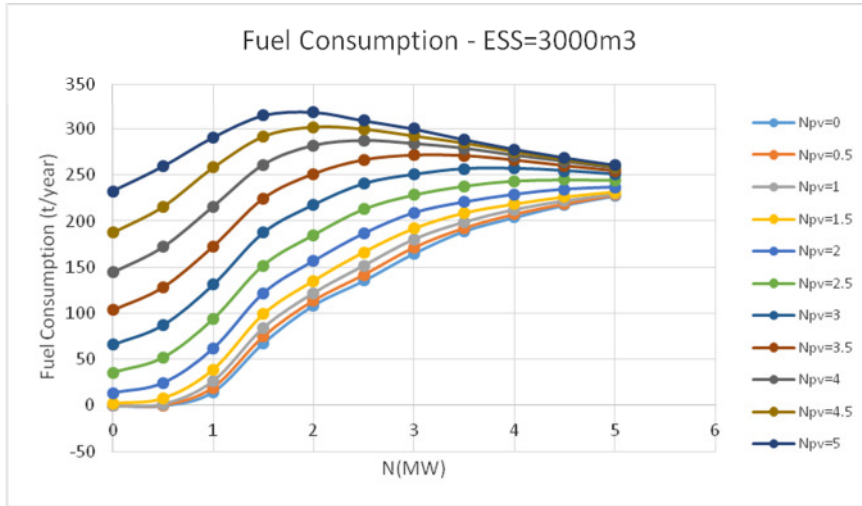


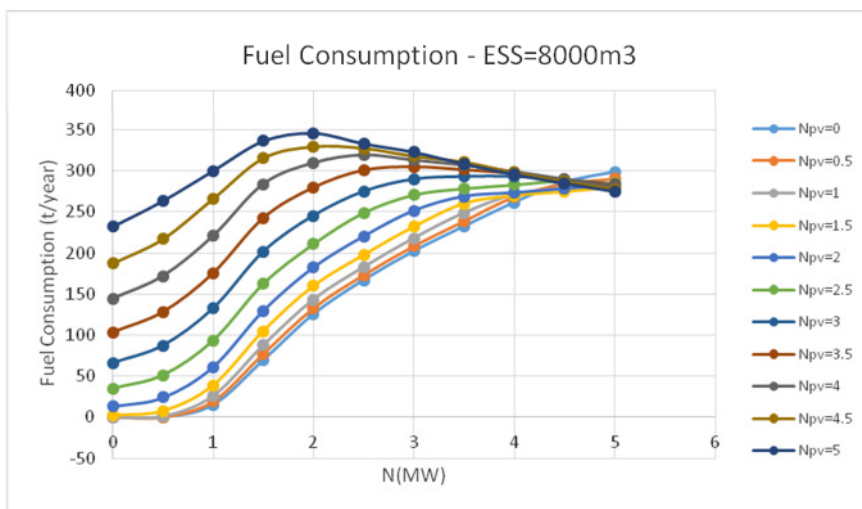
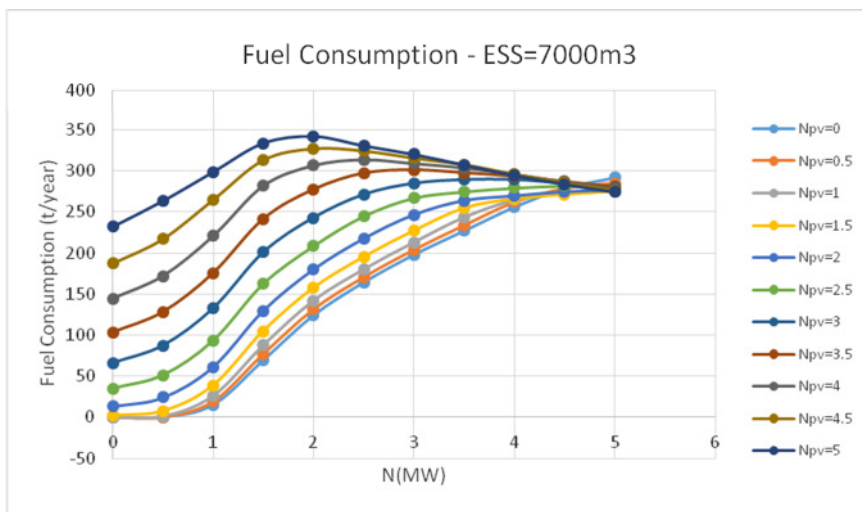
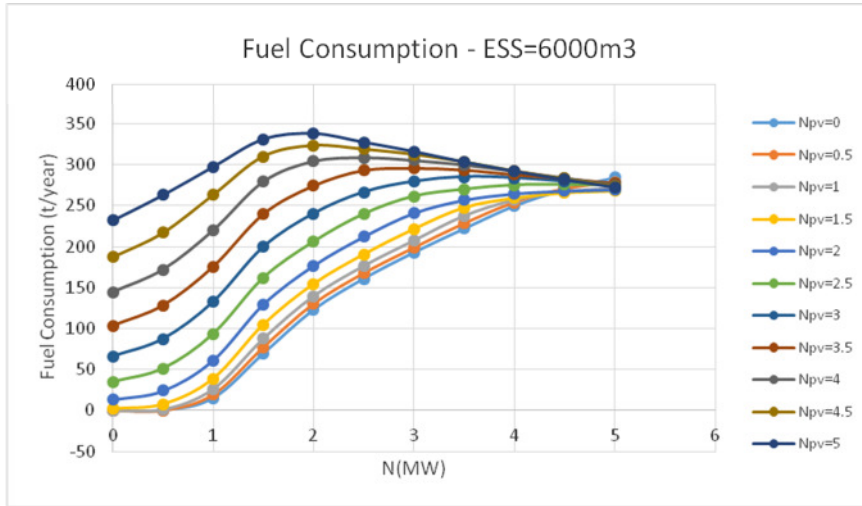


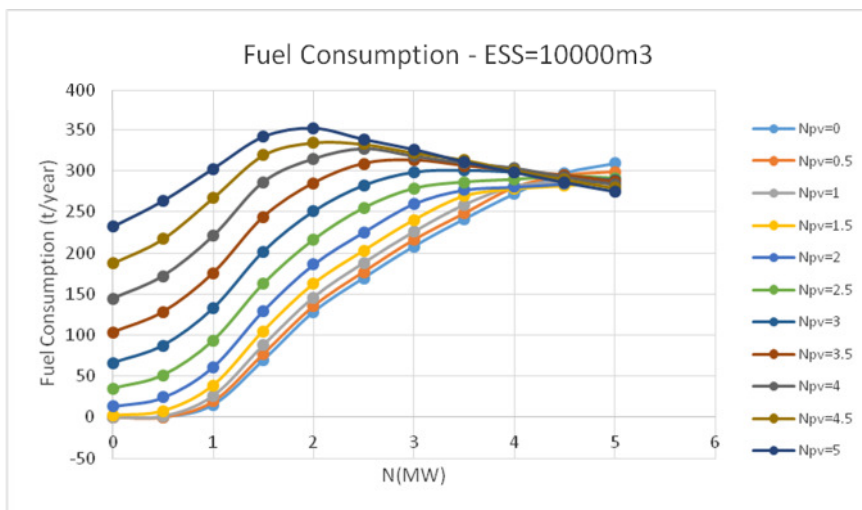
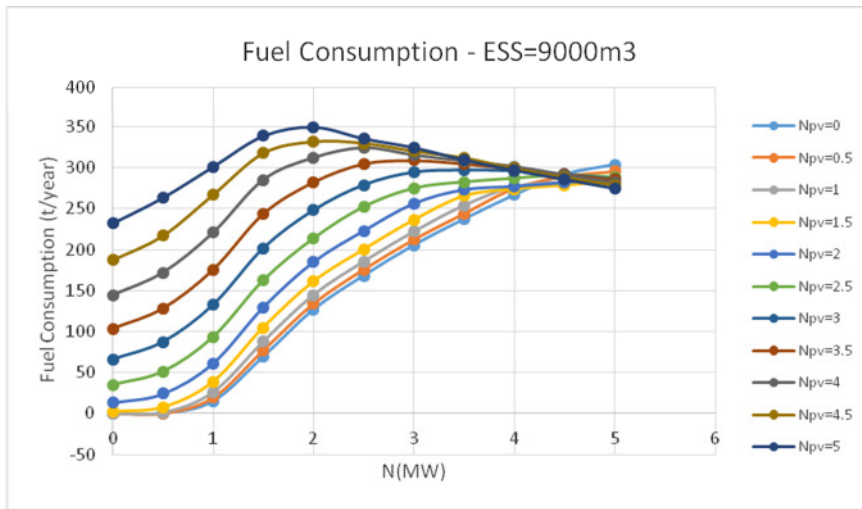


## Αμοργός:



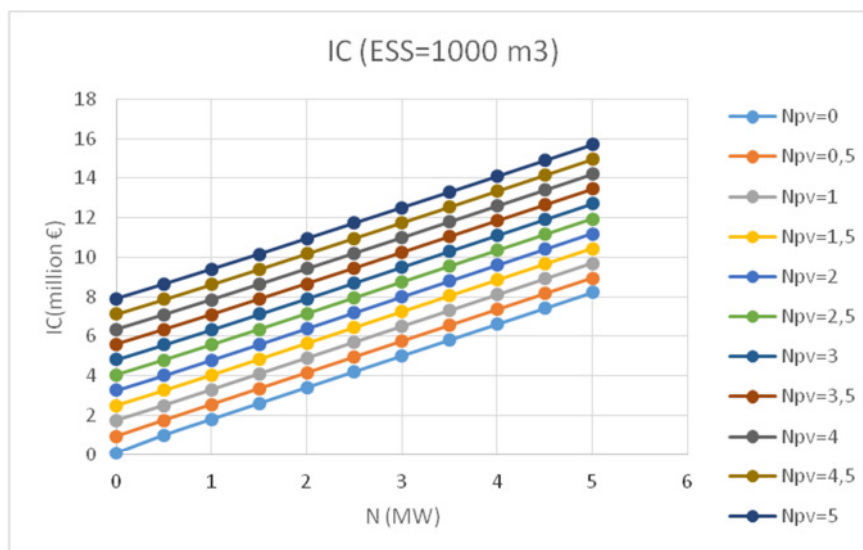
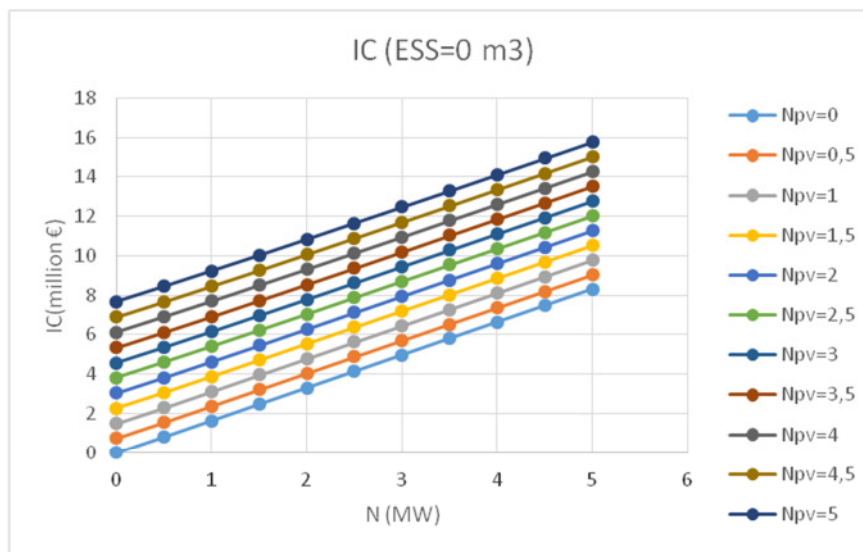


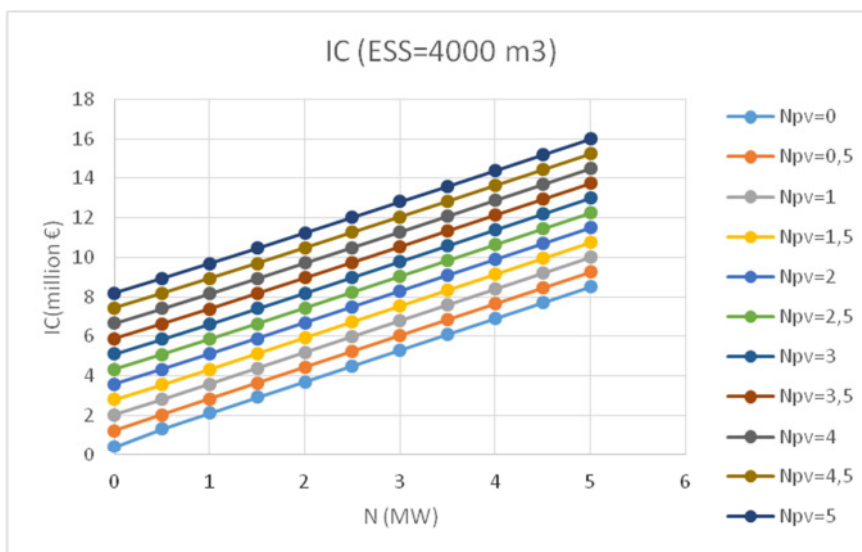
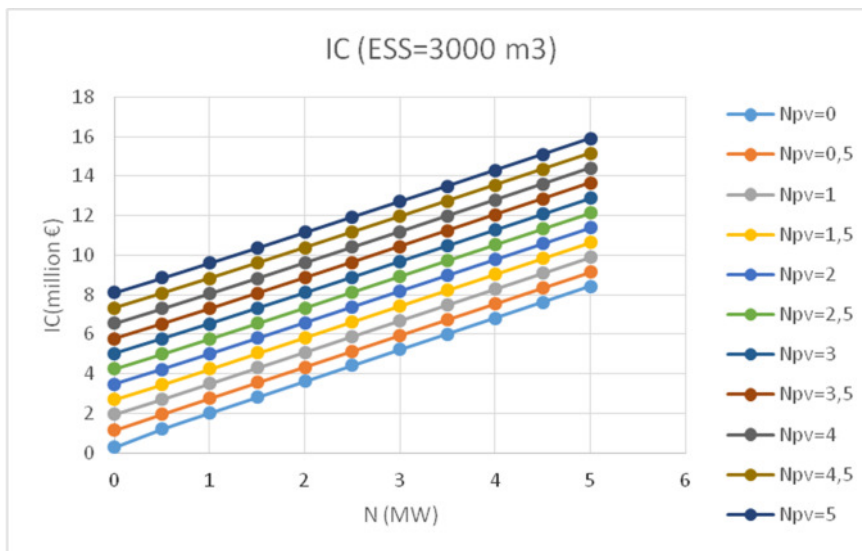
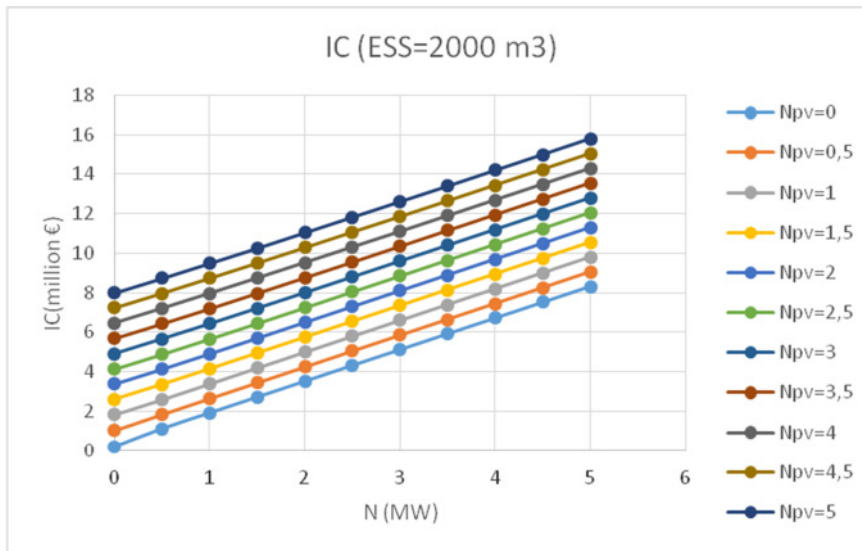


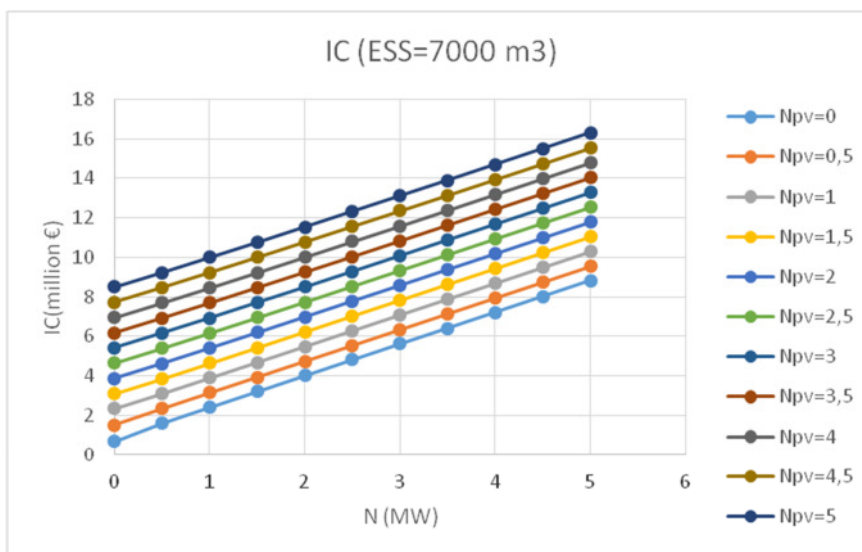
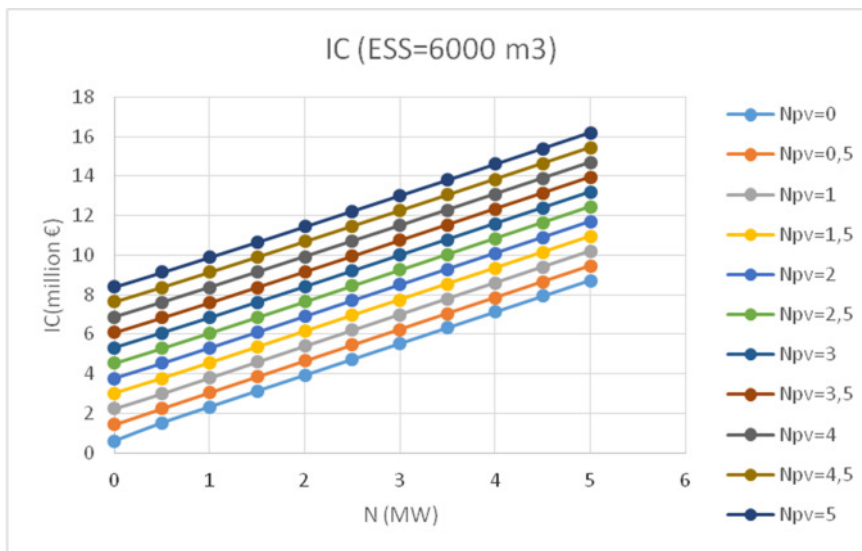
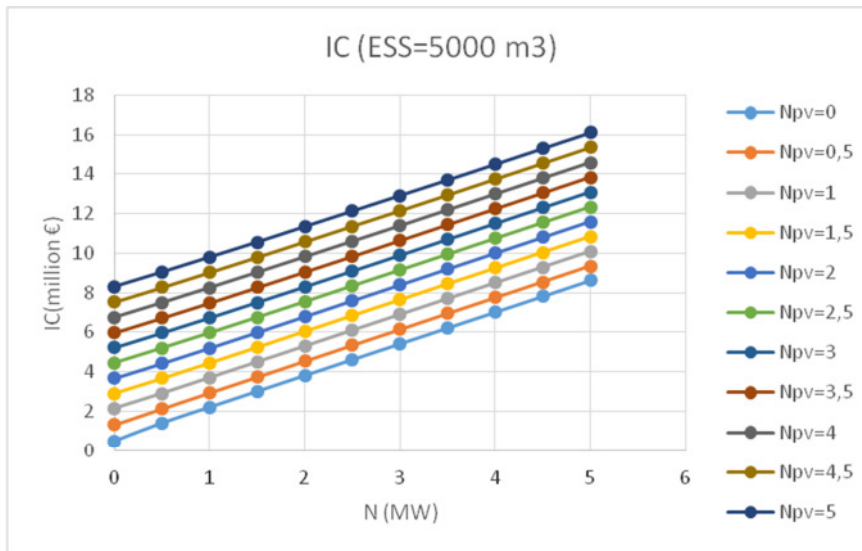


### 8.3. Διαγράμματα αρχικού κόστους επένδυσης

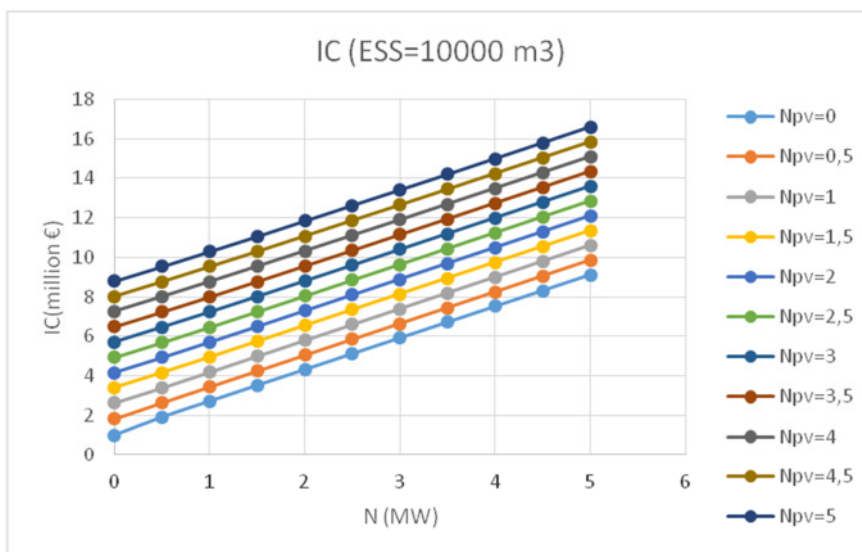
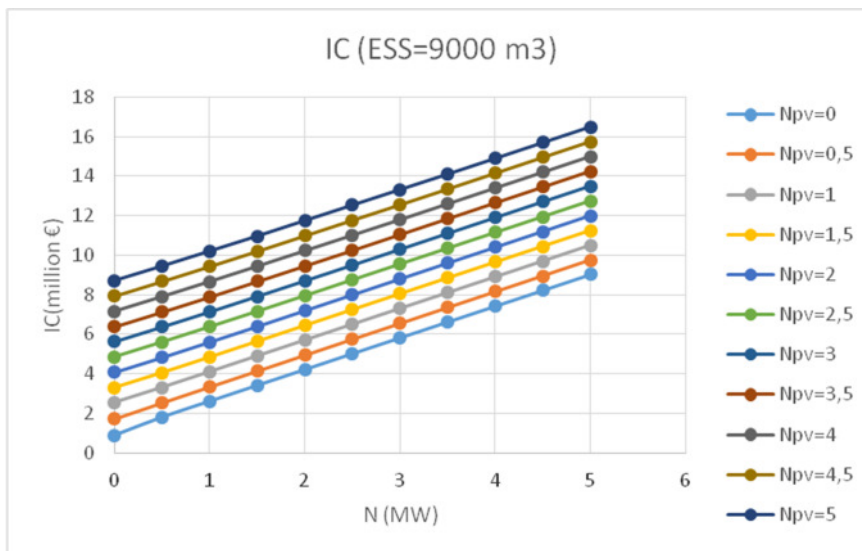
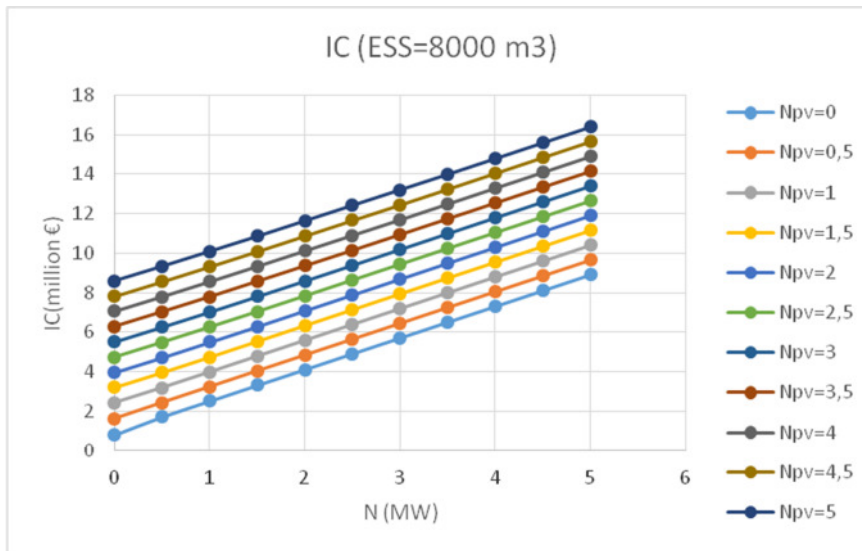
Δοτούσα:



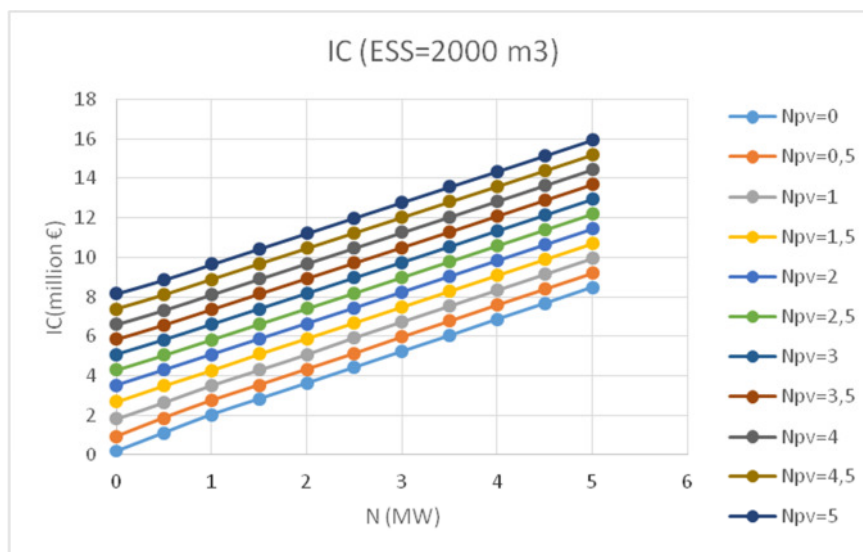
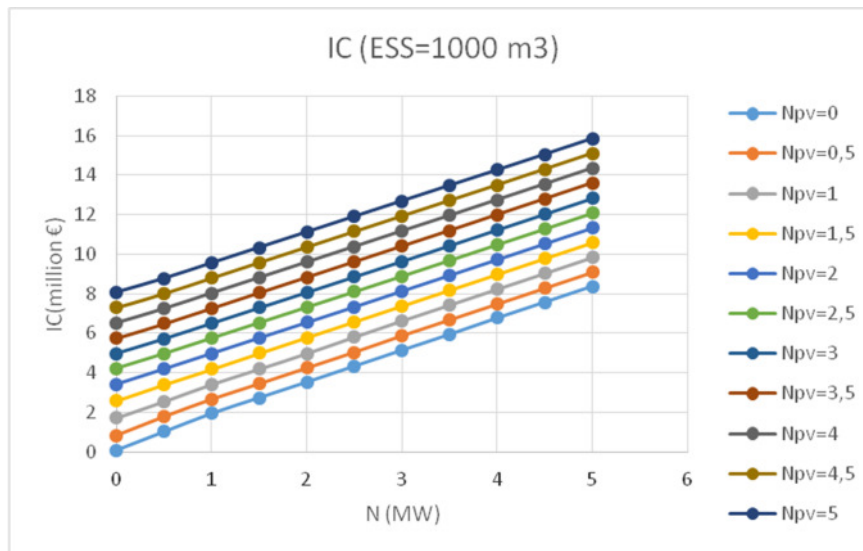
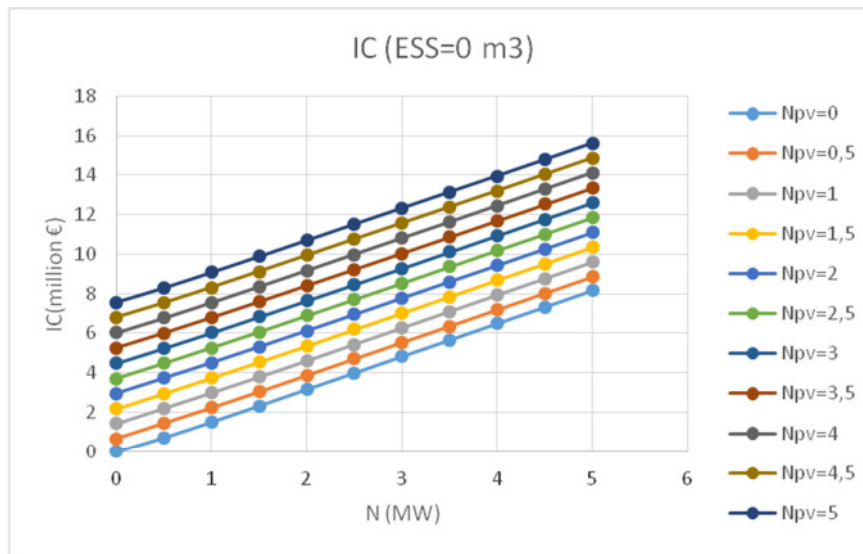


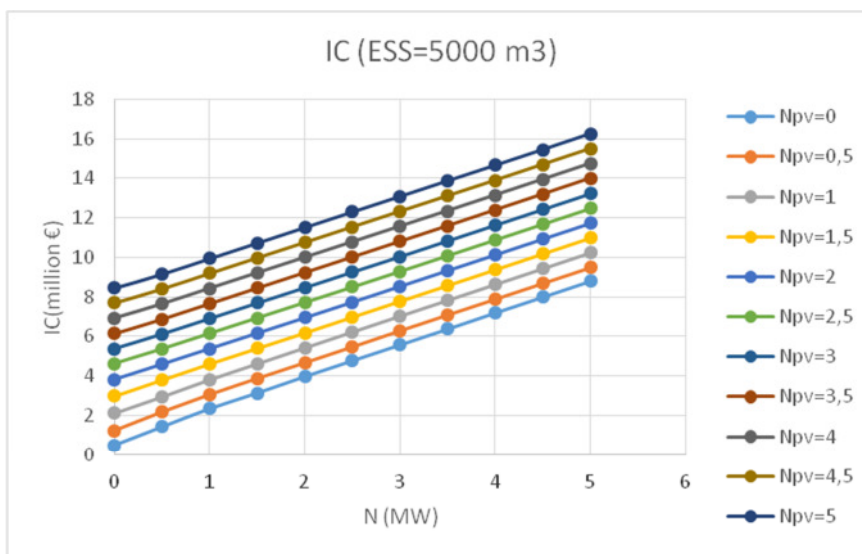
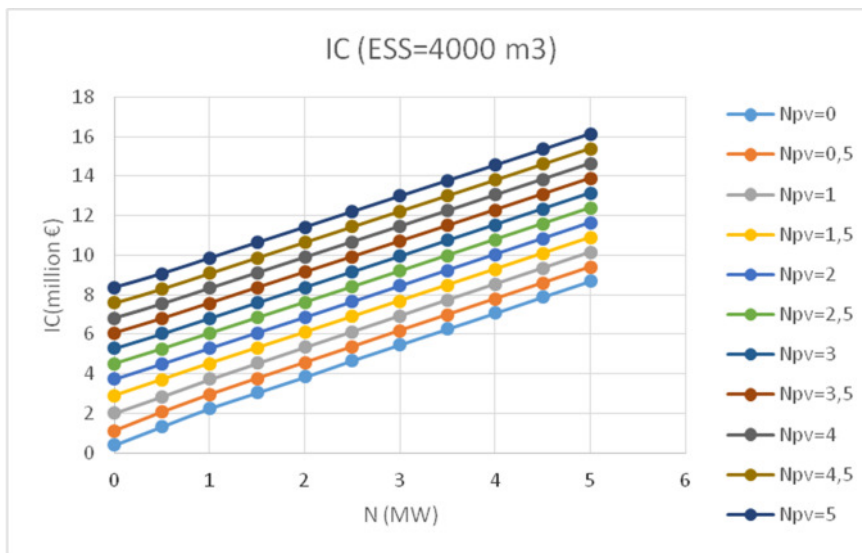
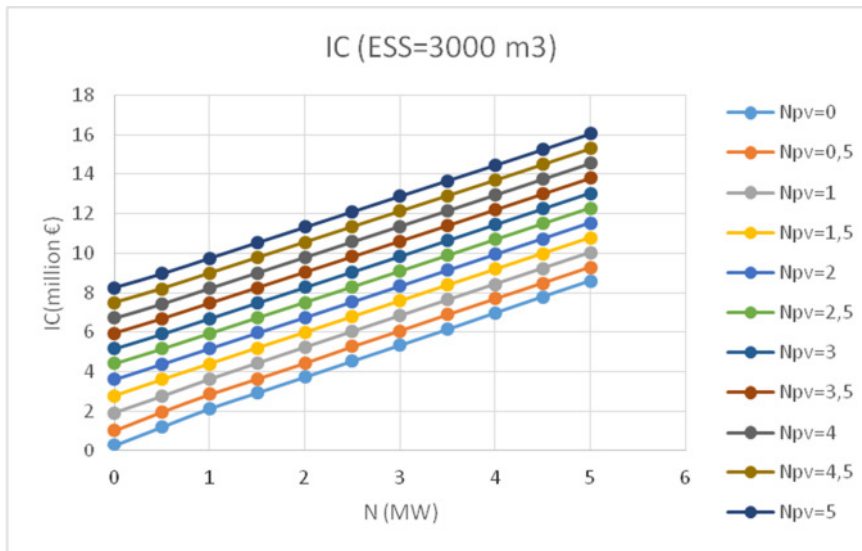


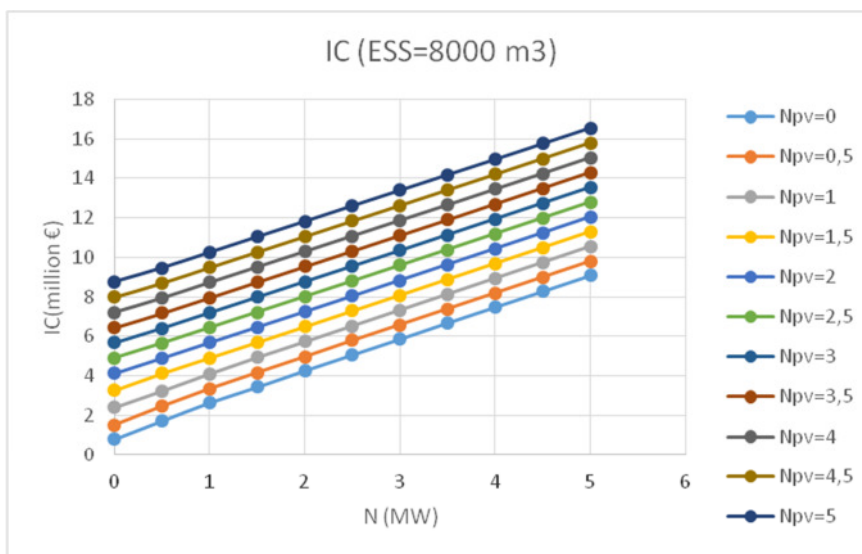
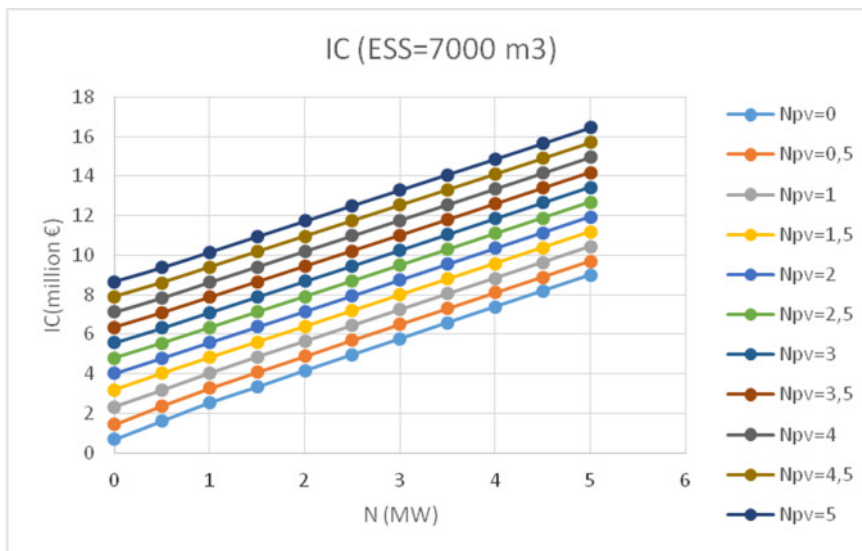
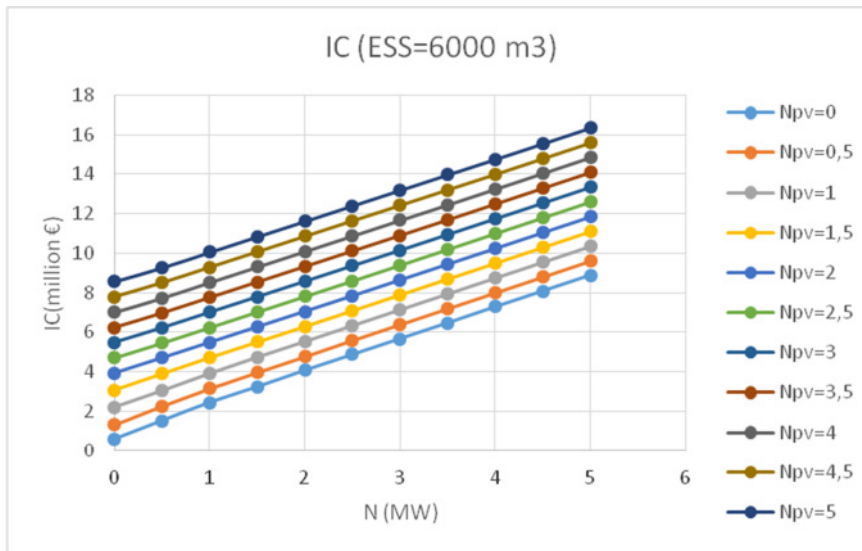


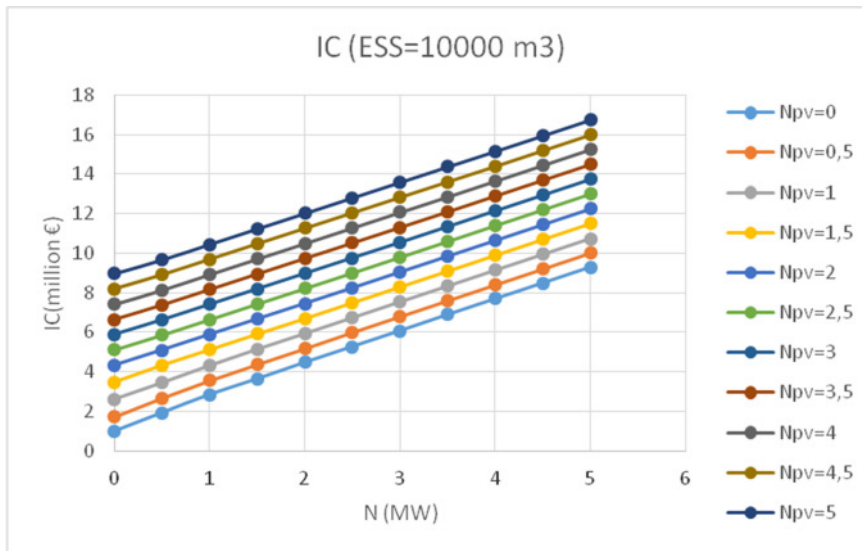
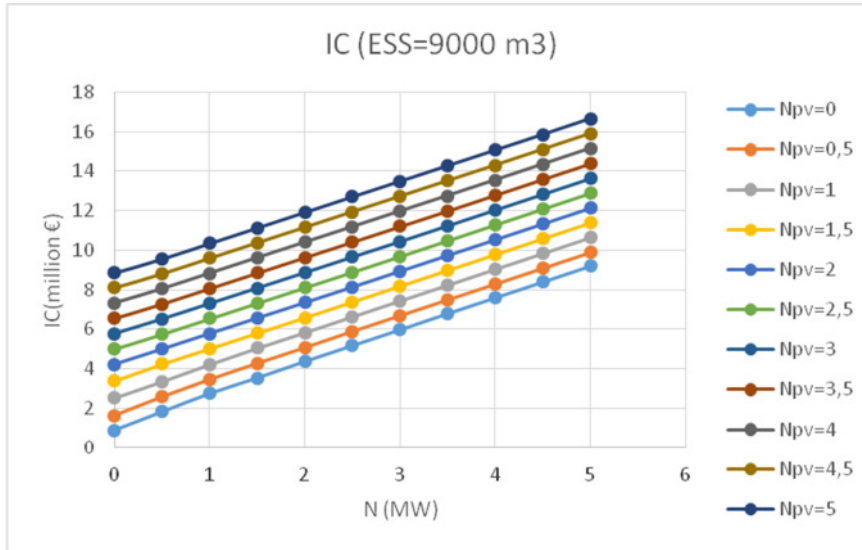


### Καστελλόριζο:

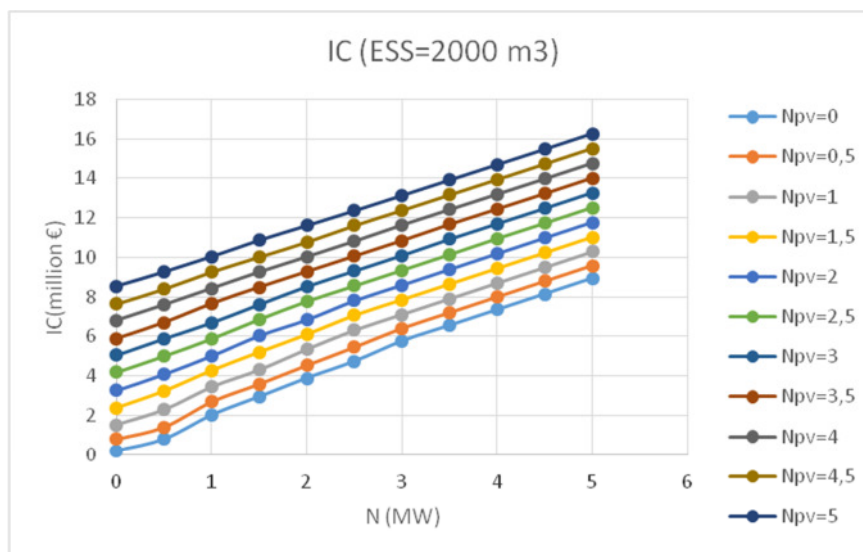
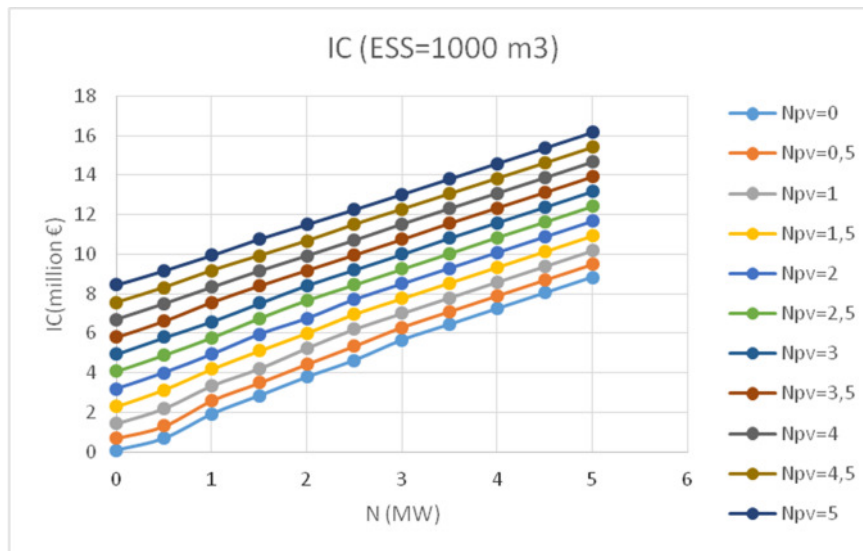
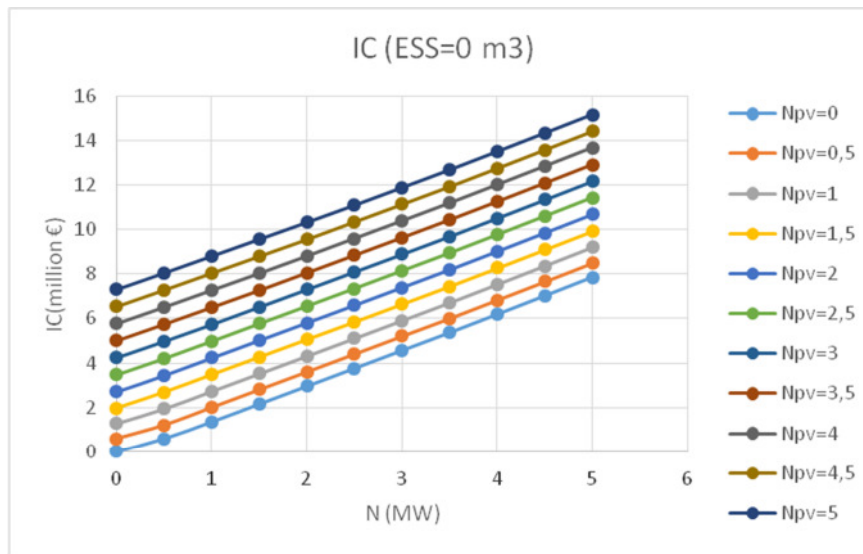


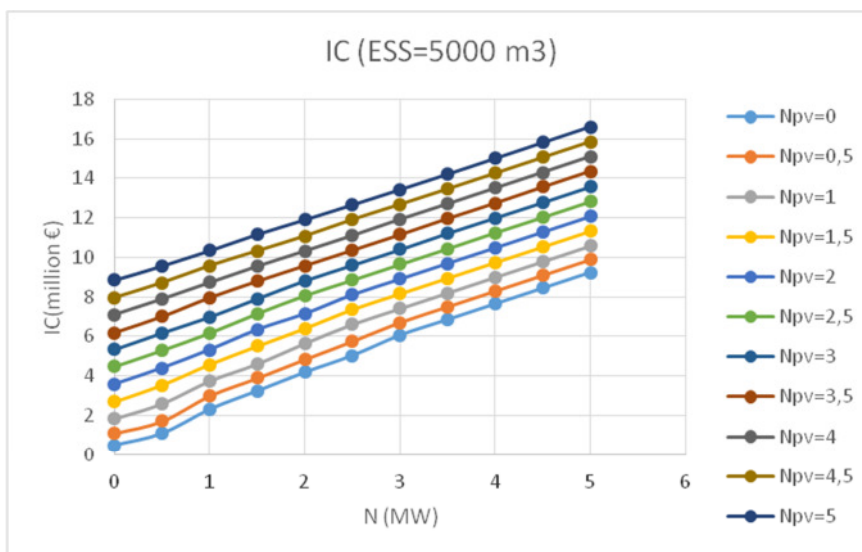
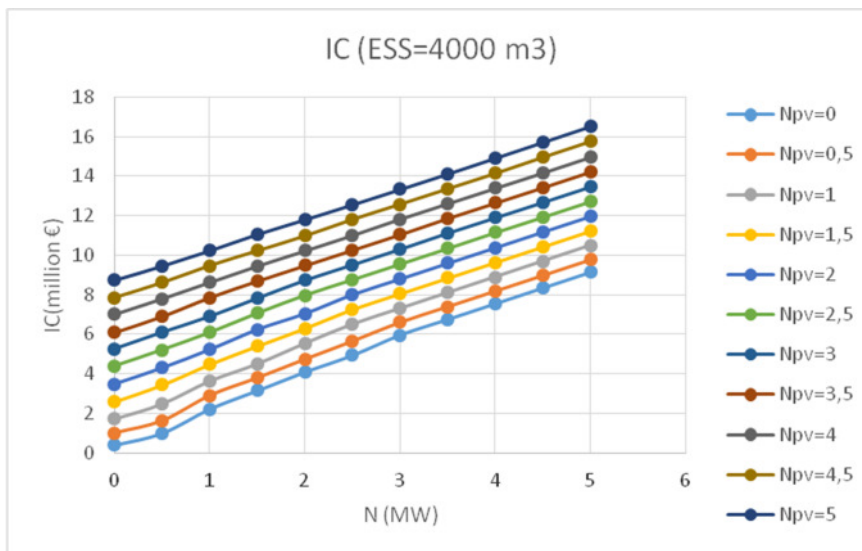
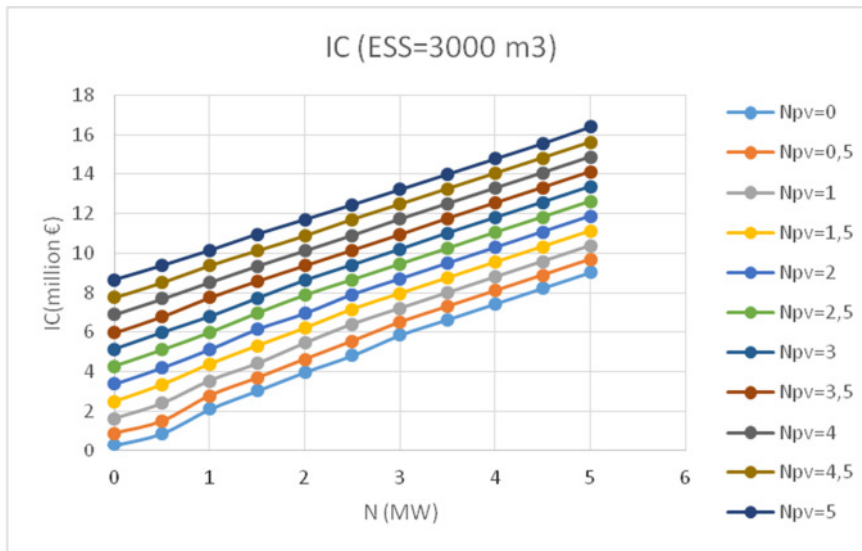


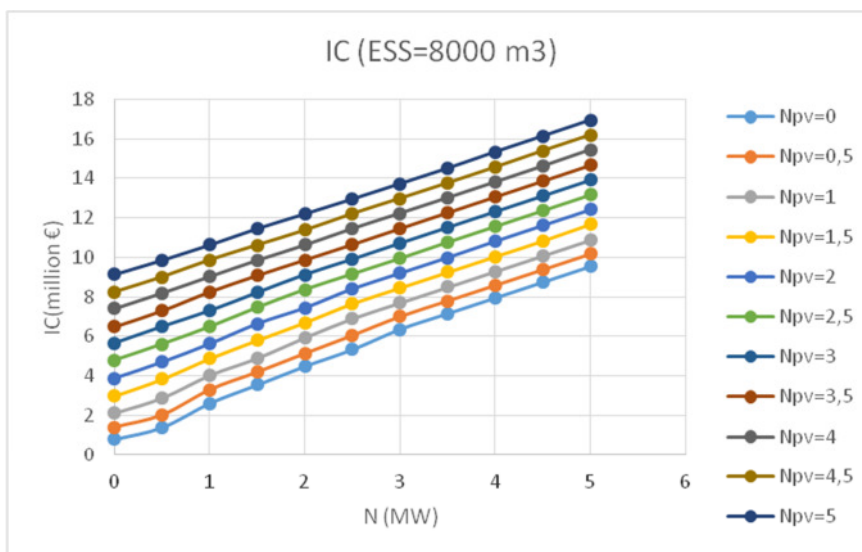
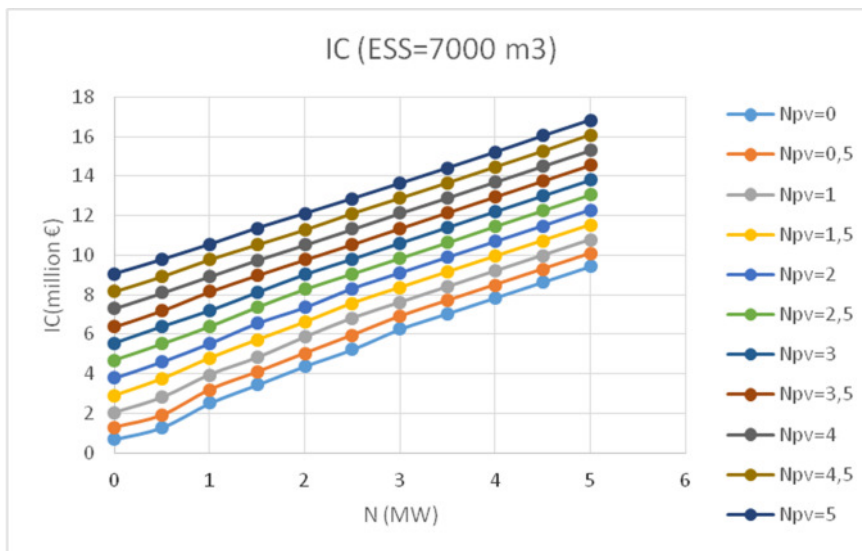
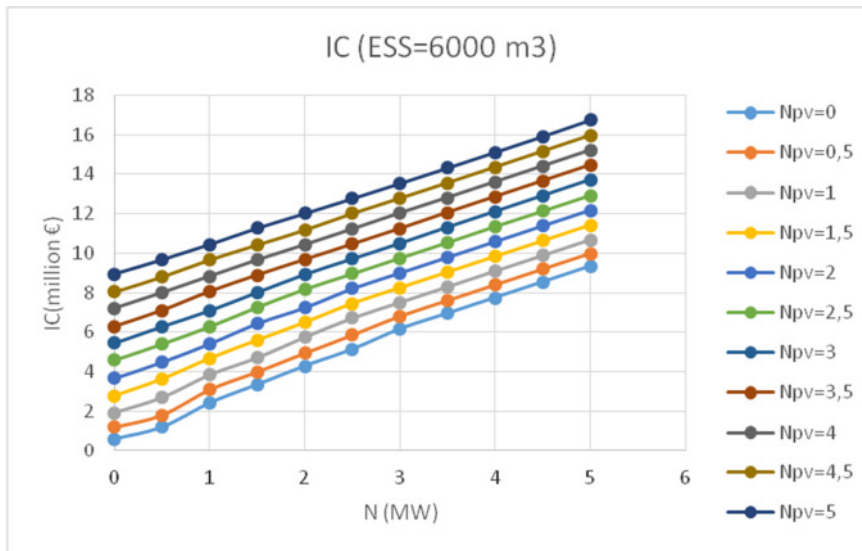




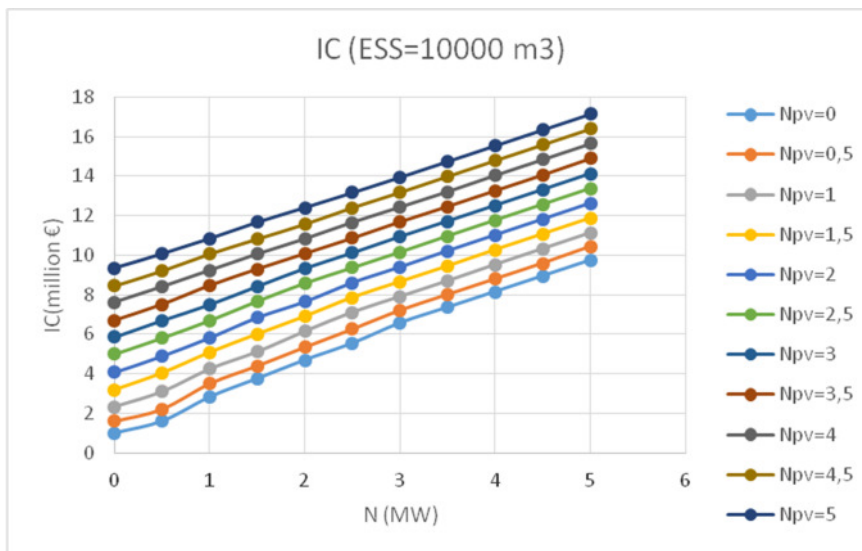
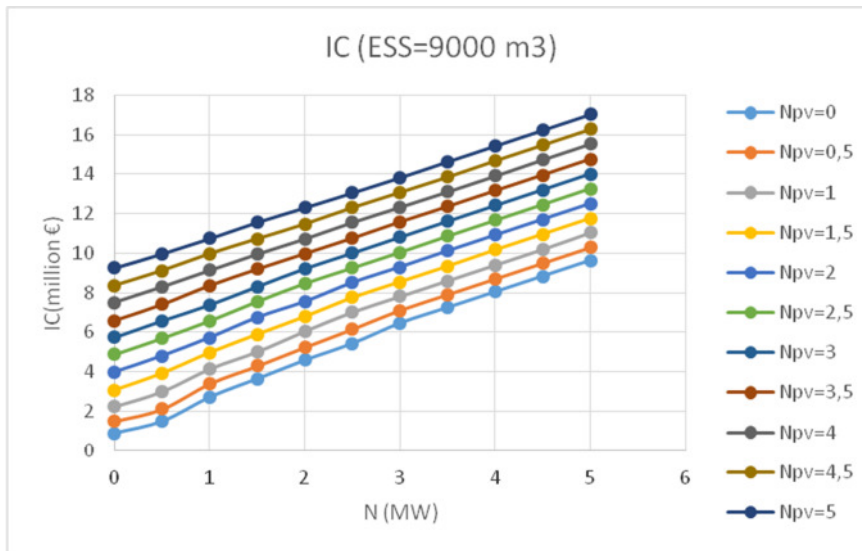
## Αμορτός:





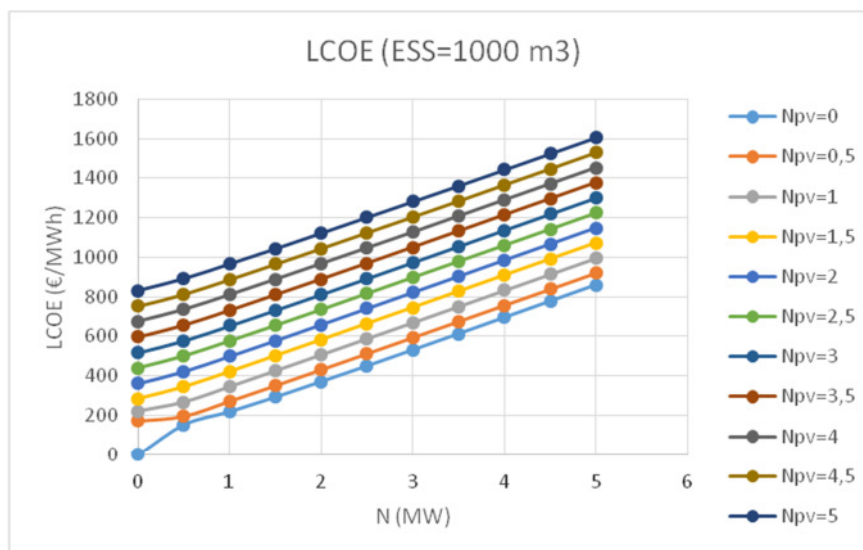
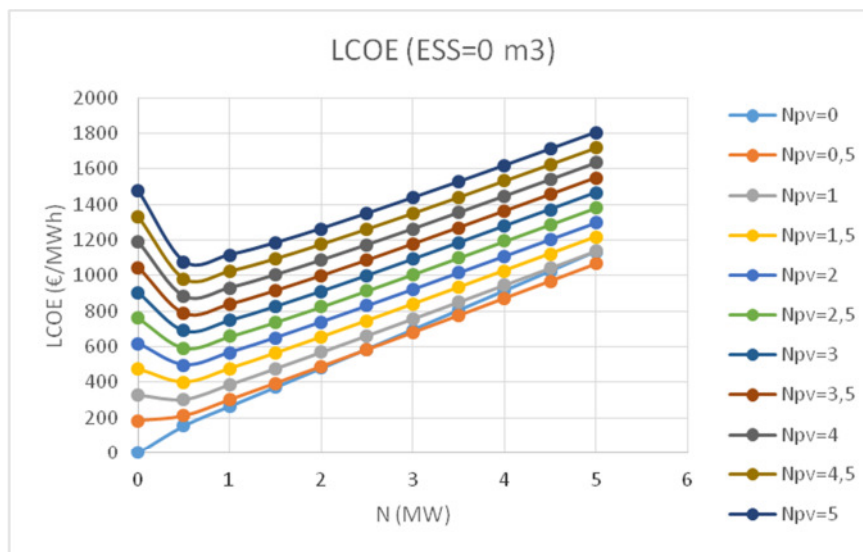


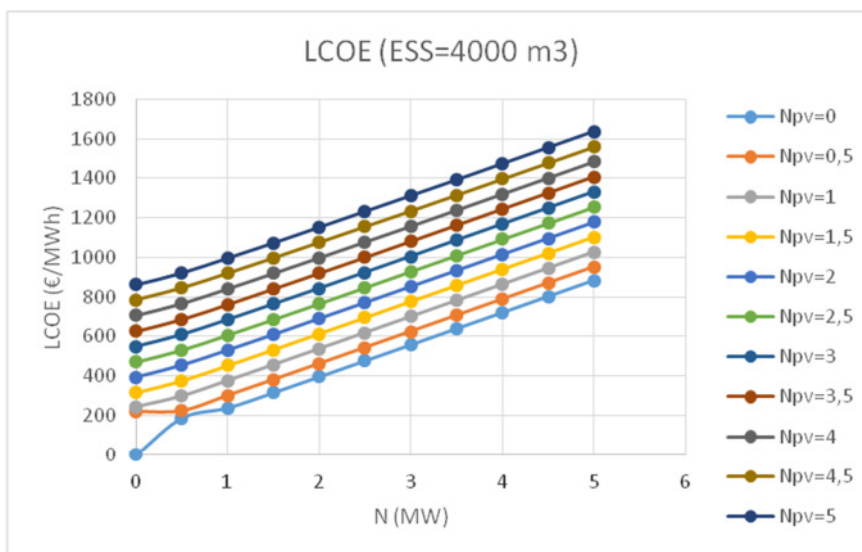
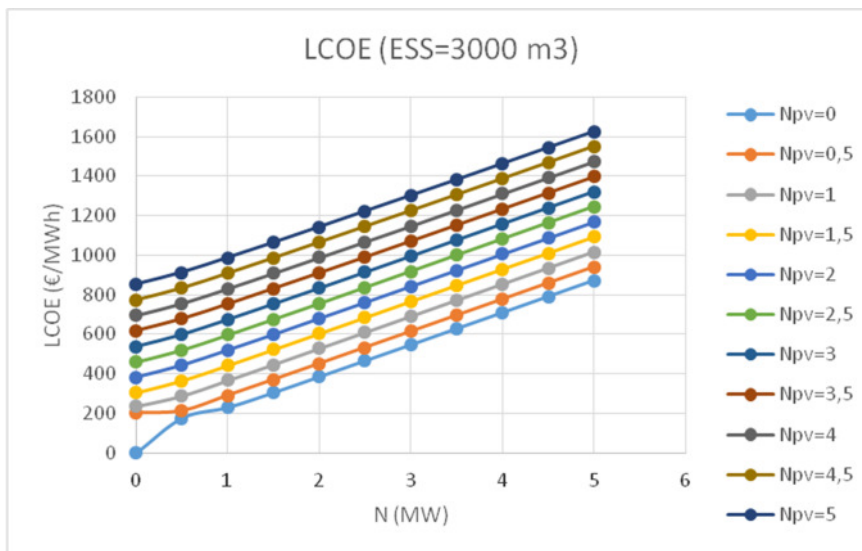
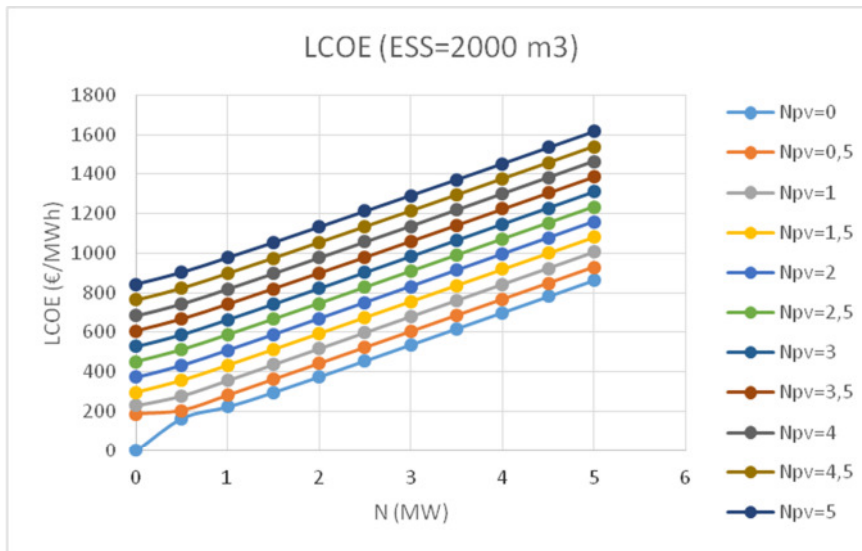


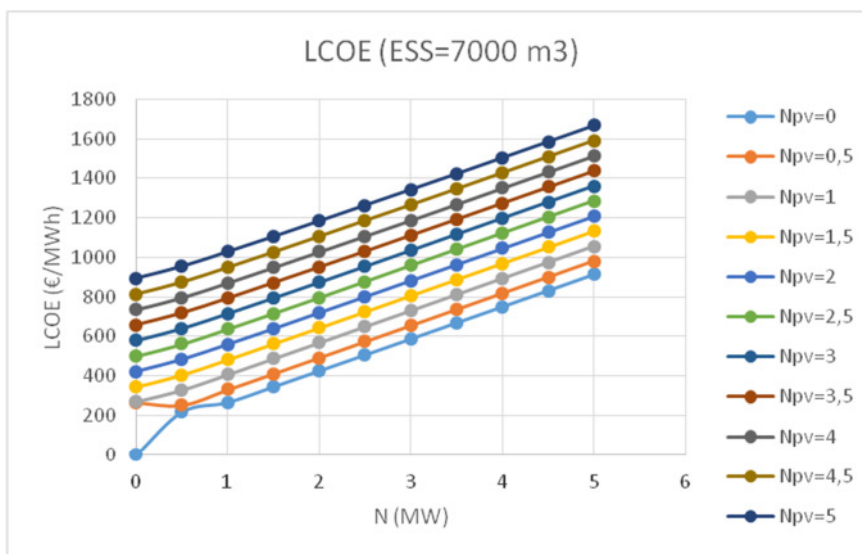
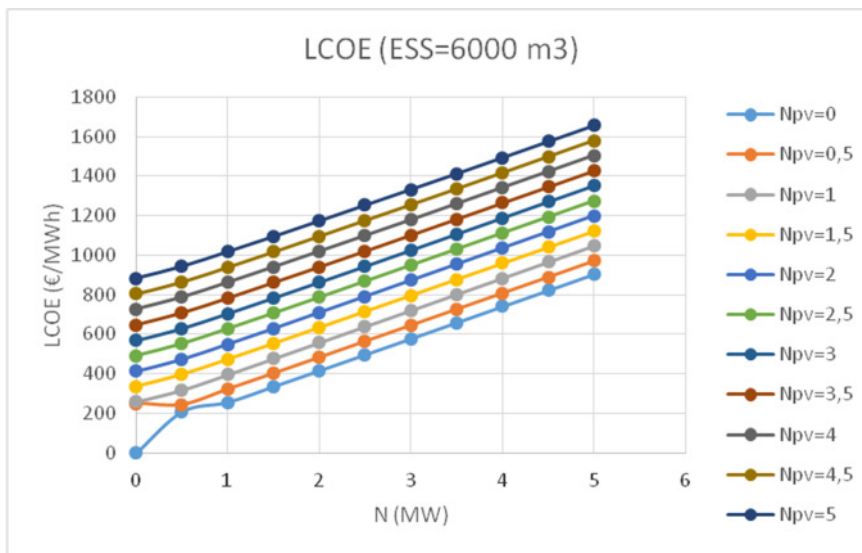
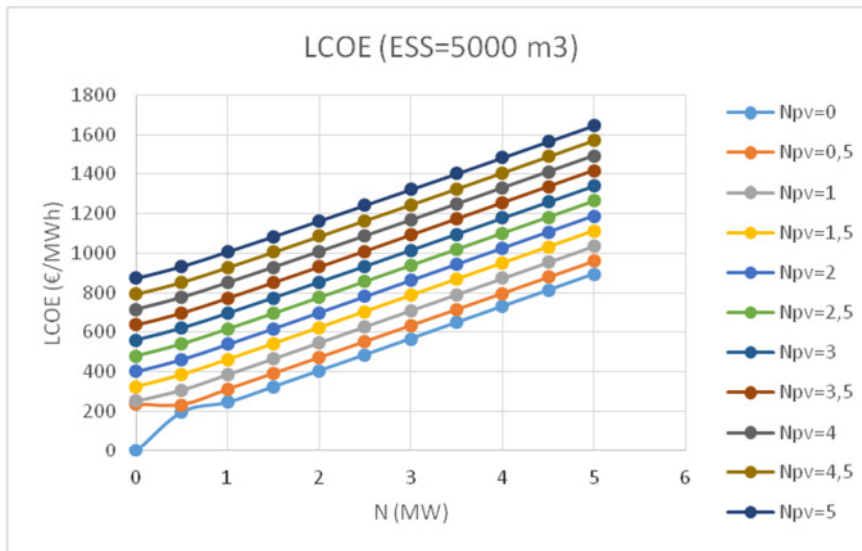


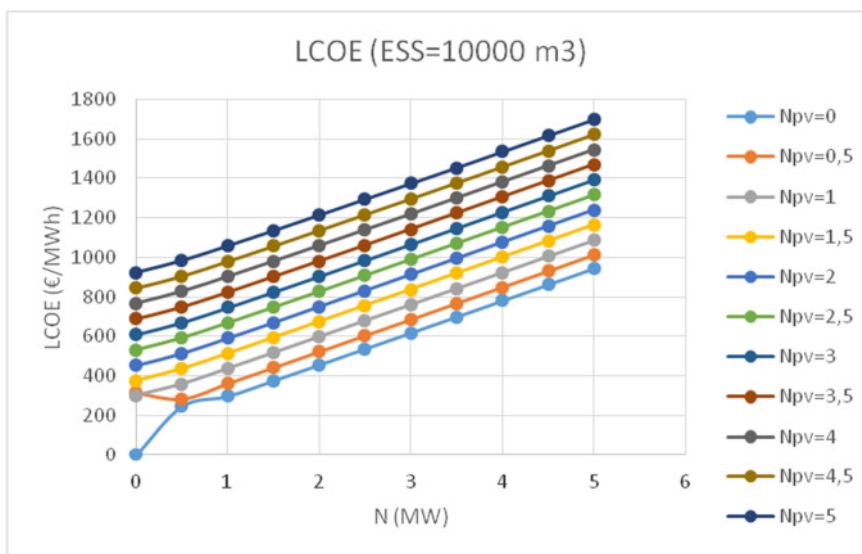
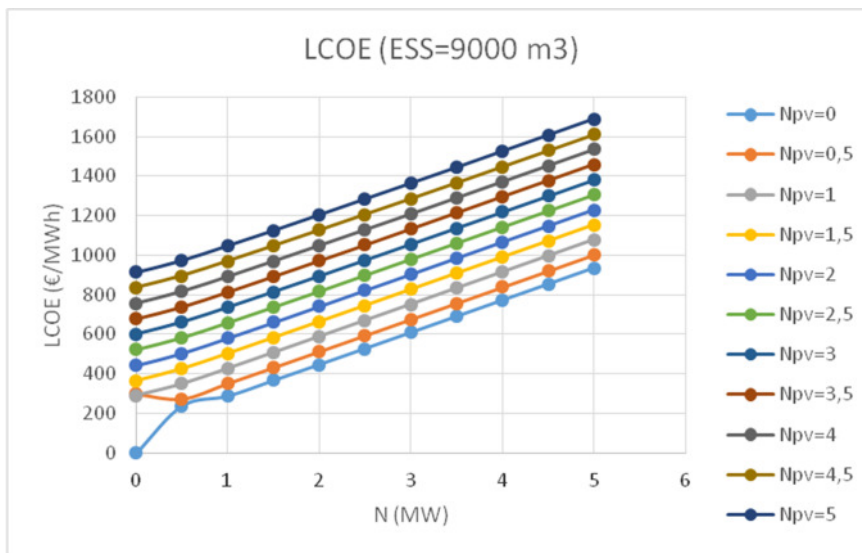
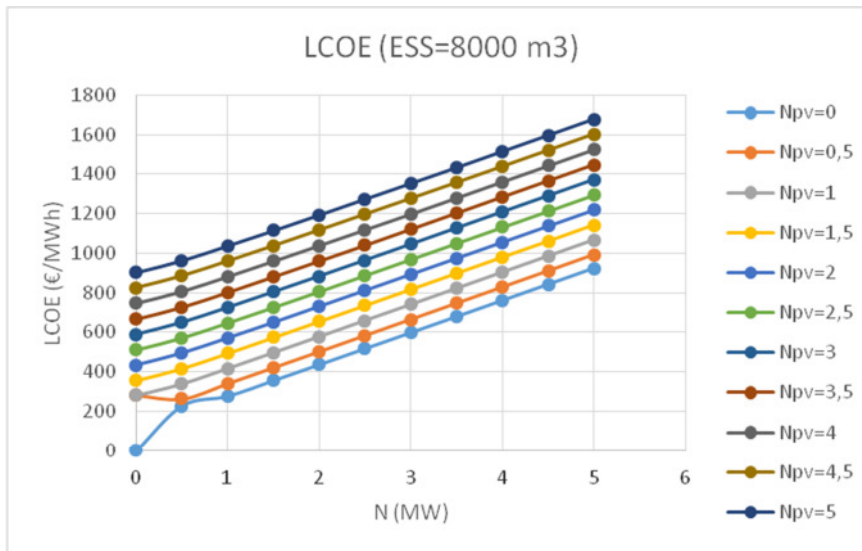
## 8.4. Διαγράμματα σταθμισμένου κόστους ενέργειας (LCOE)

Δοτούσα:

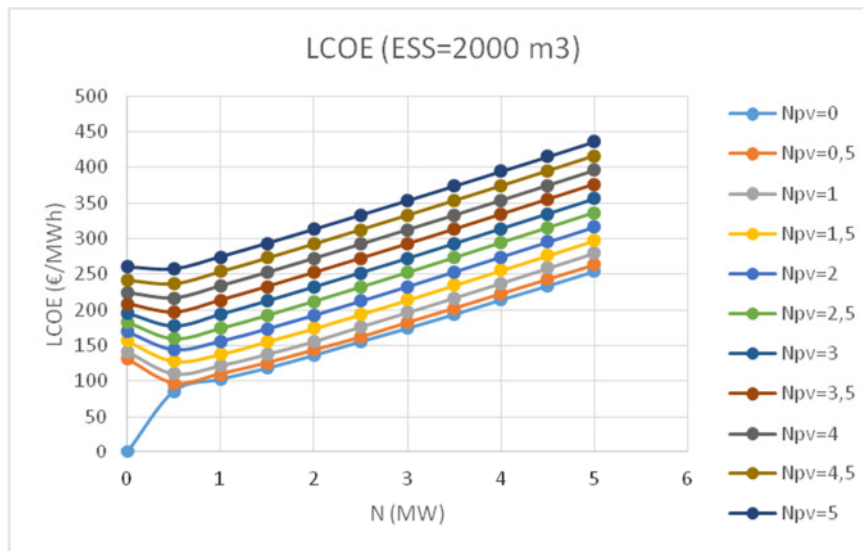
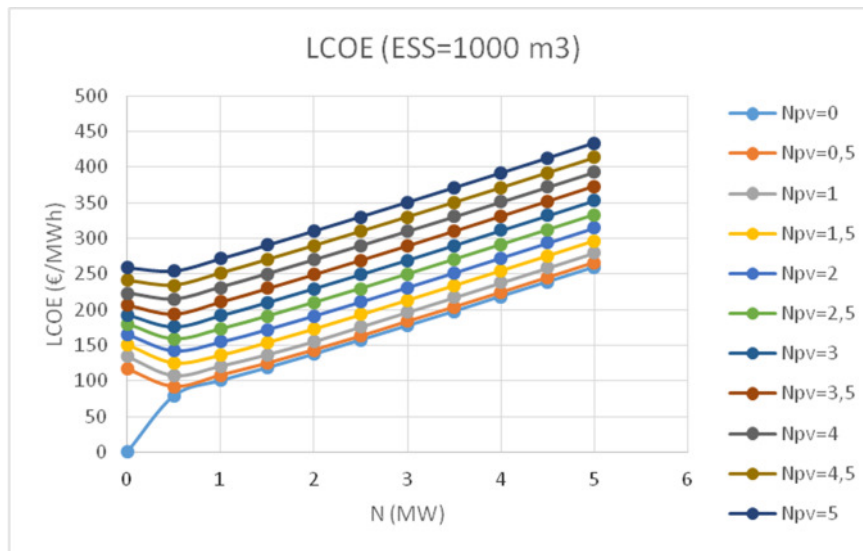
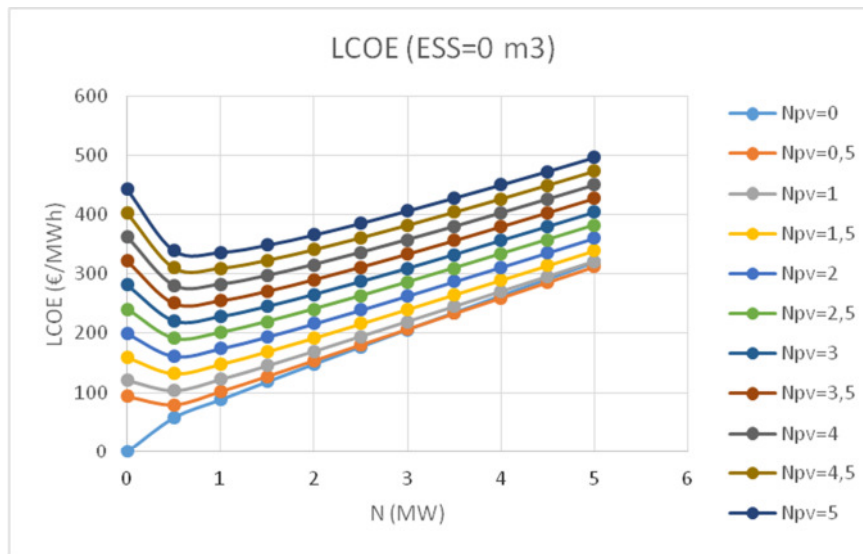


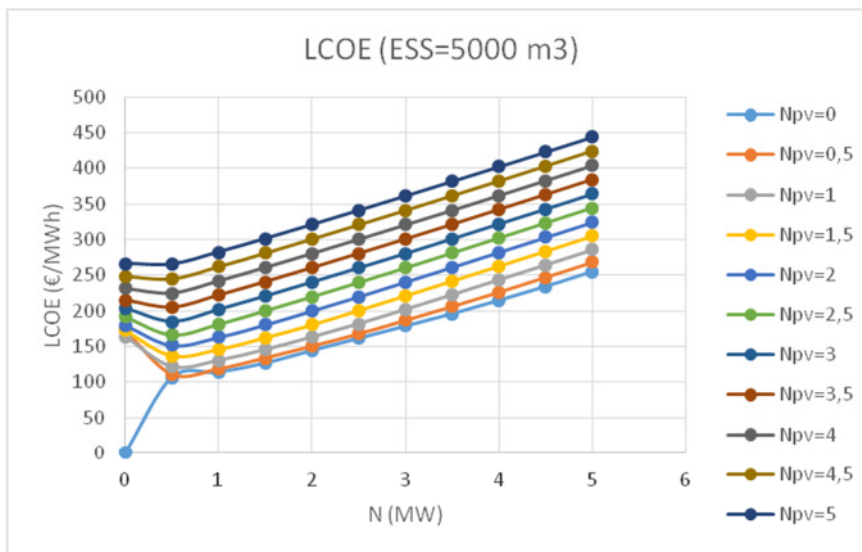
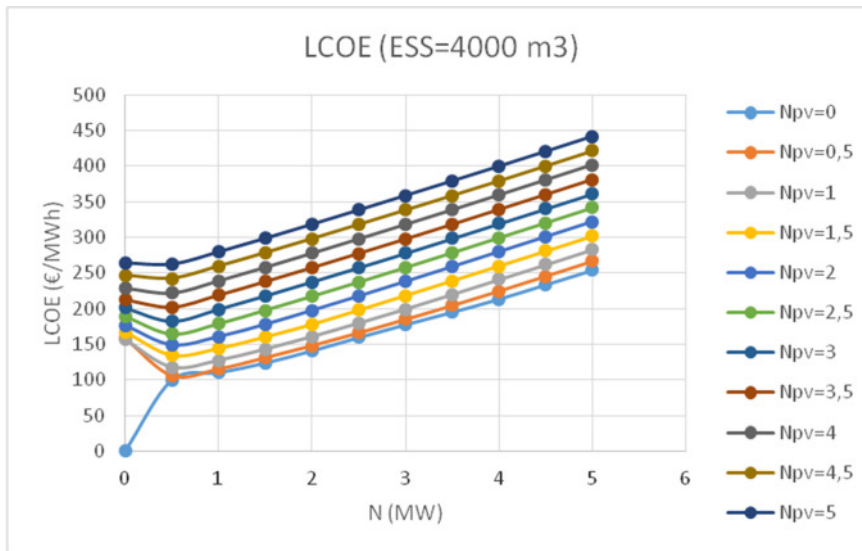
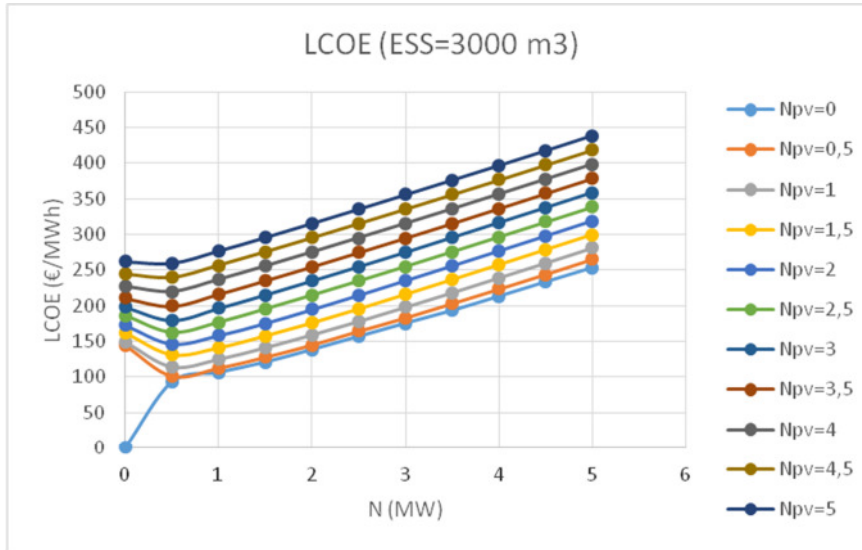


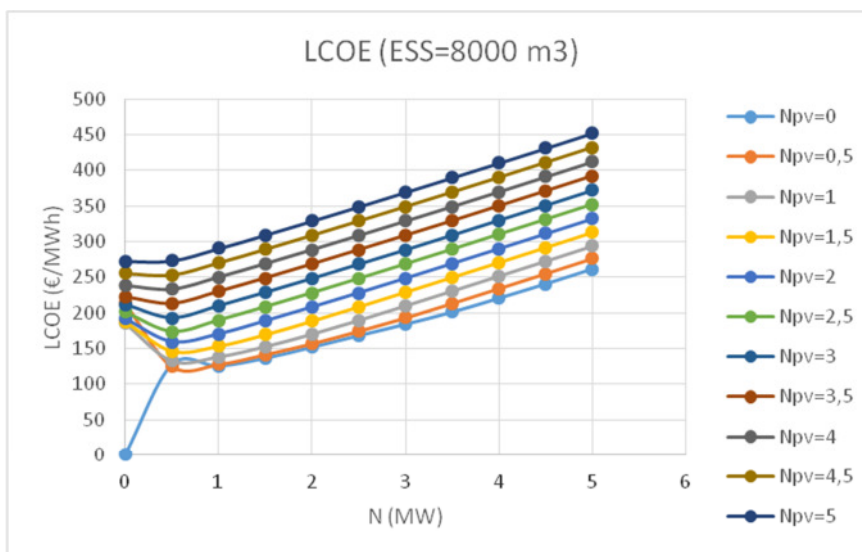
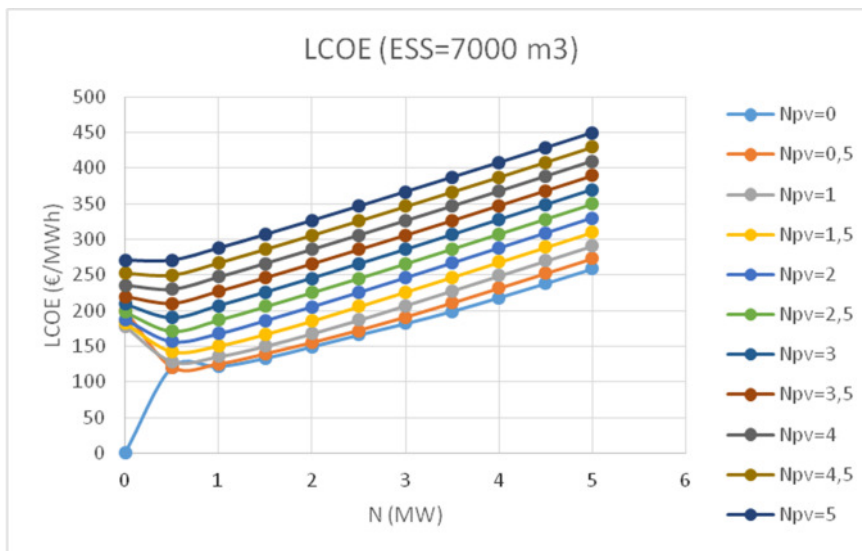
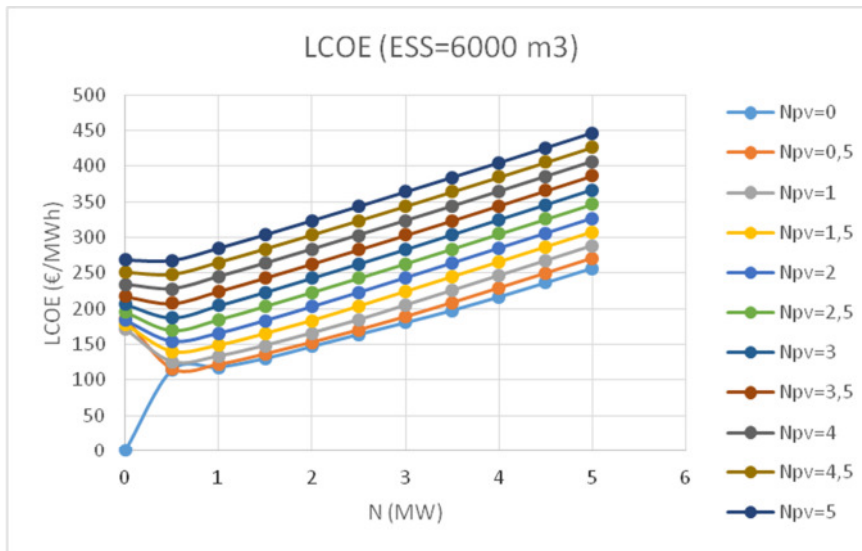




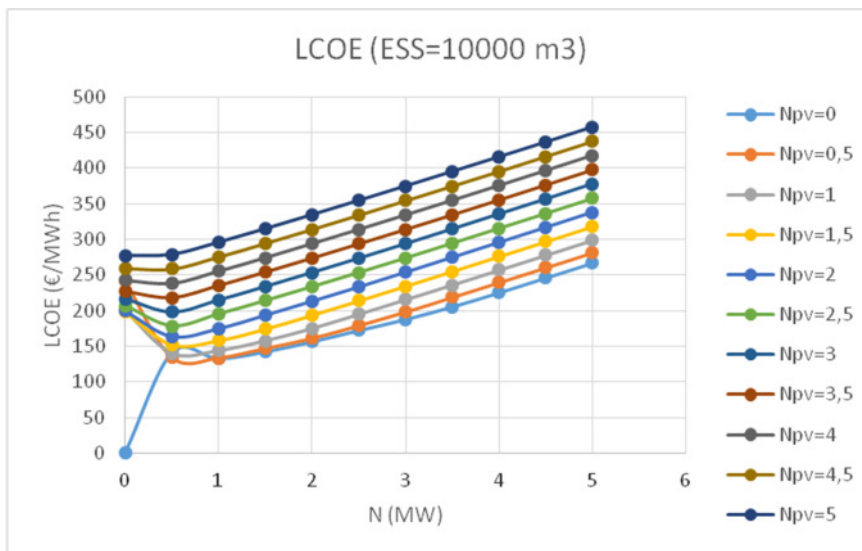
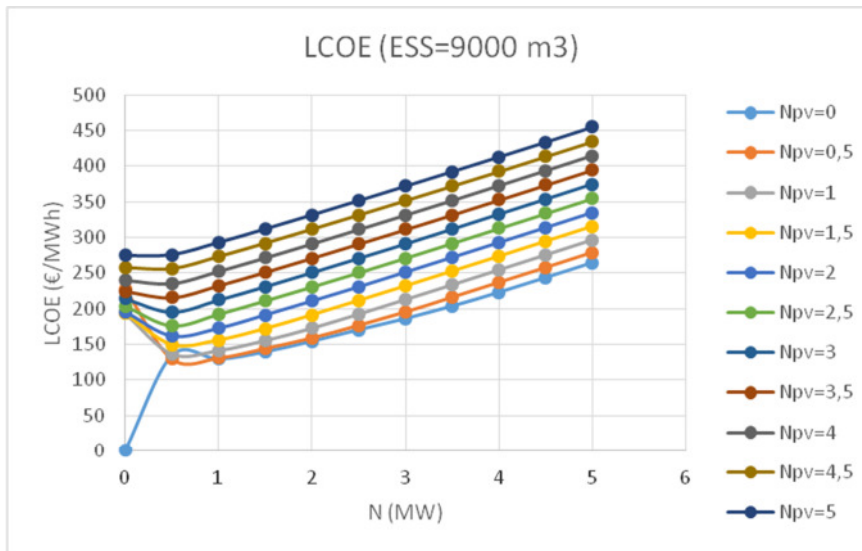
**Καστελλόριζο:**











## Αμοργός:

