ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ – ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΔΙΕΘΝΗ ΧΩΡΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΡΟΥΣΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ

Επιβλέπων : Αναγνωστόπουλος Ιωάννης, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2011

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ενώ η αιολική ενέργεια μπορεί να προσφέρει σημαντικές χρηματοοικονομικές και περιβαλλοντολογικές απολαβές, αυτή η πηγή θέτει πολλές προκλήσεις. Ανάμεσα σ' αυτές είναι το γεγονός ότι ο αέρας είναι ένα «ιδιόρρυθμο» καύσιμο, λόγω της στοχαστικής του φύσης καθώς επίσης και το γεγονός ότι είναι αδύνατον να αποθηκευθεί. Αυτή η ιδιορρυθμία προκαλεί δυσκολία στη διαχείριση των ενεργειακών συστημάτων, και απαιτείται σημαντική αύξηση των πηγών προκειμένου να είναι δυνατή η ισορροπία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ της παραγωγής και της ζήτησης.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση και καταγραφή των μελετών, εργασιών, εφαρμογών και αποτελεσμάτων που έχουν γίνει στον διεθνή χώρο πάνω στην υποστήριξη της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας με υδροηλεκτρικά συστήματα. Επίσης παρουσιάζει την παρούσα κατάσταση στην Ελλάδα και προτείνει λύσεις σύμφωνα με τα συμπεράσματα από τον διεθνή χώρο.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια γενική παρουσίαση των στοιχείων της αιολικής ενέργειας, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών, τις τάσεις στην βιομηχανία της αιολικής ενέργειας, αλλά και τους προβληματισμούς γύρω από την διείσδυση. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποιες εναλλακτικές δυνατότητες και μέθοδοι αύξησης της διείσδυσης μέσω από πιθανές τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Στο τρίτο παρουσιάζονται μελέτες και εφαρμογές από τον διεθνή χώρο που αφορούν εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας με την χρήση των υδροηλεκτρικών σταθμών. Στο τέταρτο παρουσιάζεται η κατάσταση στην Ελλάδα, καθώς και προτάσεις για την εφαρμογή της υποστήριξης των υδροηλεκτρικών συστημάτων στον ελλαδικό χώρο. Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα οικονομικά στοιχεία αυτής της εφαρμογής και κατά πόσο είναι συμφέρουσα στην χώρα μας βάσει των τιμών που διαμορφώνονται στην αγορά της ενέργειας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναλύει μελέτες και εφαρμογές που έχουν γίνει στον διεθνή χώρο πάνω στη λύση της υποστήριξης της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας με την χρήση των υδροηλεκτρικών συστημάτων και παρουσιάζει συμπεράσματα για την εφαρμογή στην Ελλάδα.

Συγκεκριμένα μελέτες και εφαρμογές από την Πορτογαλία, την Ισπανία, τον Καναδά, τις Η.Π.Α., την Ρωσία, την Τουρκία, αλλά και σε μικρότερο βαθμό την Δανία, την Φινλανδία, την Ιρλανδία, τη Νορβηγία, την Σουηδία και την Αγγλία αποδεικνύουν με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους ότι ο συνδυασμός της αιολικής ενέργειας και της υδροηλεκτρικής έχει πολλά οφέλη. Οφέλη που έχουν να κάνουν τόσο με τον ενεργειακό τομέα, όπως η υποστήριξη της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας και η σταθερότητα του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, όσο κυρίως με τον οικονομικό τομέα. Δηλαδή με τις επενδύσεις που μπορούν να γίνουν για την κατασκευή ακόμα περισσότερων υβριδικών πάρκων και με τα υψηλά κέρδη που μπορούν να αποκομίσουν οι εταιρίες εκμετάλλευσης των σταθμών αυτών, αφού η ενέργεια θα έχει μεγαλύτερη αξία σαν τιμή πώλησης. Τέλος δεν πρέπει να ξεχνάμε τα περιβαλλοντολογικά οφέλη που έχουμε από την χρήση αυτών των μεθόδων.

ABSTRACT

This dissertation analyses international projects and applications for the solution of support penetration by hydroelectric systems and presents conclusions for applications in Greece.

Specifically studies and applications from Portugal, Spain, Canada, U.S.A., Russia, Turkey, also from Denmark, Finland, Ireland, Norway, Sweeden and Engrand prove with many and deferent ways that the combination of wind and hydro energy haw many benefits. Benefits that have to do with the energy section, such as penetration support and grid stability and on the other hand with the economic section. Ie with the investments for the construction even more hybrid parks and with the high profits that agents can gain, because energy will have higher value. Finaly enviromental benefits can not be ignored by using tht kind of technology.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ. ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ – ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ, ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ 5
1.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 6
1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ 9
1.4 ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ, ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ 10
1.5 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 11
1.6 ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 16
1.7 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ 19
1.8 ΕΠΙΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ 21
1.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ 27
2.2 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 27
2.3 ΠΙΘΑΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΜΕ ΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΔΡΕΙΑ ΠΟΥ ΠΑΡΕΧΟΥΝ ΟΙ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

3.1 Η ΛΥΣΗ ΣΤΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΤΙ ΡΟΛΟ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΑΙΞΕΙ ΤΟ ΝΕΡΟ 39
3.2 ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΕ ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 43
3.3 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

4.1 Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 91
4.2 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 92
4.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ 95

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΚΟΣΤΟΛΟΓΙΣΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

5.1 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ 96
5.2 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ 100

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ 103

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΑΡΟΥΣΑ. ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ – ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ, ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι άνεμοι, δηλαδή οι μεγάλες μάζες αέρα που μετακινούνται με ταχύτητα από μία περιοχή σε κάποια άλλη, οφείλονται στην ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης από την ηλιακή ακτινοβολία. **Η αιολική ενέργεια** είναι η ενέργεια του ανέμου που προέρχεται από τη μετακίνηση αερίων μαζών της ατμόσφαιρας. Το συνολικό εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό της Ελλάδας μπορεί να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των ηλεκτρικών αναγκών της. Η κινητική ενέργεια των ανέμων είναι τόση που, με βάση τη σημερινή τεχνολογία εκμετάλλευσής της, θα μπορούσε να καλύψει πάνω από δύο φορές τις ανάγκες της ανθρωπότητας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χάνεται στα βάθη της ιστορίας. Για πολλές εκατοντάδες χρόνια η κίνηση των πλοίων στηριζόταν στη δύναμη του ανέμου, ενώ η χρήση του ανεμόμυλου ως κινητήριας μηχανής εγκαταλείπεται μόλις στα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Είναι η εποχή που εξαπλώνονται ραγδαία τα συμβατικά καύσιμα και ο ηλεκτρισμός, ο οποίος φτάνει ως τα πιο απομακρυσμένα σημεία. Η πετρελαϊκή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του 70, φέρνει ξανά στο προσκήνιο τις ΑΠΕ και την αιολική ενέργεια. Στο διάστημα μέχρι σήμερα, σημειώνεται μια αλματώδης ανάπτυξη, κάτι που ενισχύεται και από την επιτακτική ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος. Γίνεται πλέον συνείδηση σε όλο και περισσότερο κόσμο, πως ο άνεμος είναι μια καθαρή ανεξάντλητη πηγή ενέργειας.

Τα σύγχρονα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας αφορούν κυρίως μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια και ονομάζονται ανεμογεννήτριες.

Η σημαντικότερη οικονομικά εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η σύνδεσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο μιας χώρας. Στην περίπτωση αυτή, ένα αιολικό πάρκο, δηλαδή μία συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, εγκαθίσταται και λειτουργεί σε μία περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύει το σύνολο της παραγωγής του στο ηλεκτρικό σύστημα. Υπάρχει βέβαια και η δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται, μηχανικής ενέργειας για χρήση σε αντλιοστάσια, καθώς και θερμότητας. Όμως, η ισχύς που παράγεται σε εφαρμογές αυτού του είδους είναι περιορισμένη, το ίδιο και η οικονομική τους σημασία.

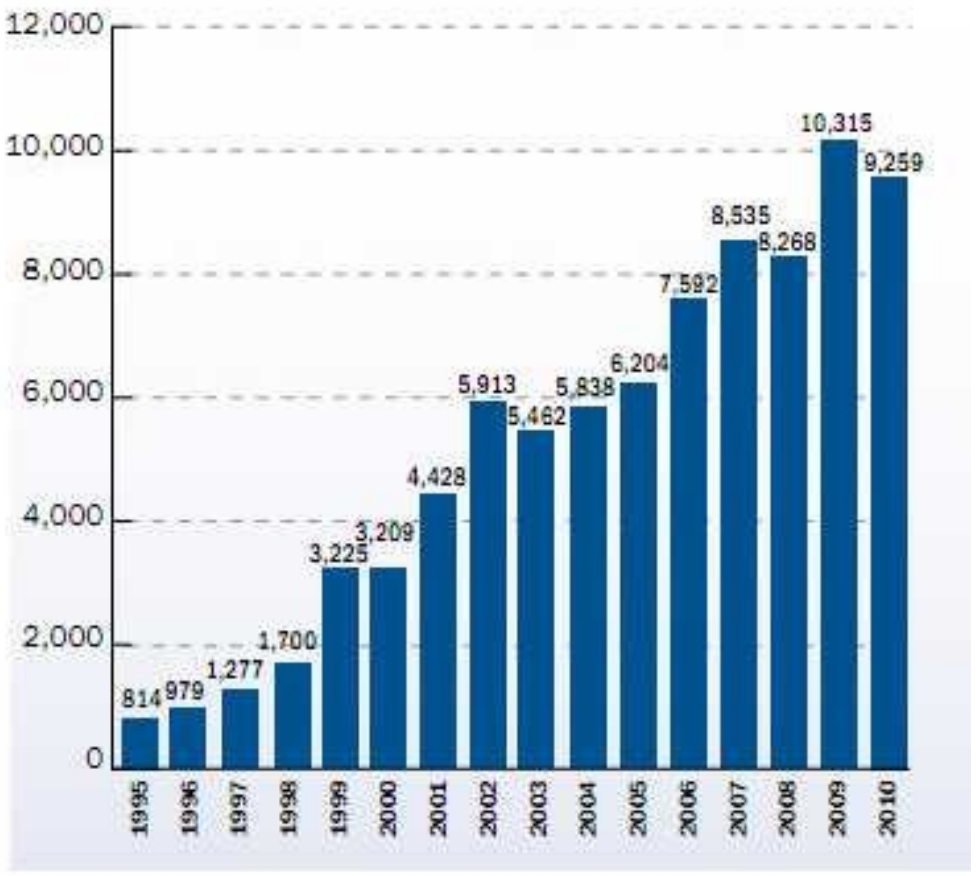
1.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η αιολική ενέργεια αποτελεί κομμάτι της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες του κόσμου. Σύμφωνα με τα EWEA (EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION) ΕΥΡΩΠΑΪΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή ένωση [1] το έτος 2010 είχαμε 9.259 MW εγκατεστημένης ισχύος σε αιολική παραγωγή στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η αιολική ενέργεια αποτελεί το 16,7% των συνολικών εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας. Περισσότερη δυναμικότητα από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εγκαταστάθηκε κατά το έτος 2010 από οποιοδήποτε άλλο έτος, αύξηση 31% σε σύγκριση με το 2009. Οι εγκαταστάσεις από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν το 41% των νέων εγκαταστάσεων κατά το έτος 2010, 22.645 MW από συνολικά 55.326 MW νέας δυναμικότητας. Περισσότερη ισχύς εγκαταστάθηκε το έτος 2010 από οποιαδήποτε άλλη χρονιά, αύξηση 102% λόγω των αυξημένων εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Τα δεδομένα για τις εγκαταστάσεις παραγωγής αιολικής ενέργειας είναι έχουν ως εξής:

Οι ετήσιες εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας αυξάνεται σταθερά τα τελευταία 15 χρόνια από 814 MW το 1995 σε 9.259 MW το 2010, μια ετήσια αύξηση της αγοράς της τάξης του 17,6%. Συνολικά έχουν εγκατασταθεί 84.074 MW στην Ευρωπαϊκή Ένωση, μια αύξηση στην εγκατεστημένη συνολικά δυναμικότητα της τάξης του 12,2%. Η Γερμανία παραμένει η χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης με την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ και ακολουθείται από την Ισπανία, Ιταλία, Γαλλία και Αγγλία. Οι αυξανόμενες

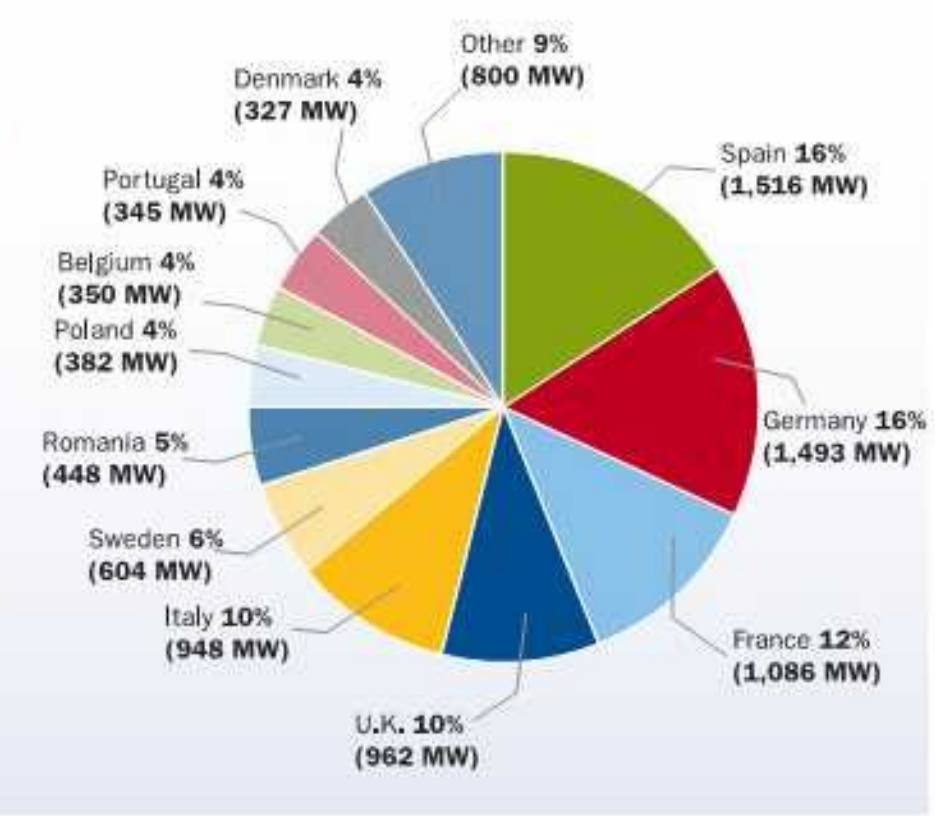
εγκαταστάσεις σε αναπτυσσόμενες αγορές της Ευρωπαϊκής Ένωσης – υπεράκτιες στην Βόριο Ευρώπη και στη στεριά στην Νότιο-Ανατολική Ευρώπη (Ρουμανία, Πολωνία και Βουλγαρία) περιόρισαν την πτώση στις πλέον ώριμες αγορές της αγοράς αιολικής ενέργειας στην στεριά στην Γερμανία, Αγγλία και Ισπανία. Το αιολικό δυναμικό που έχει εγκατασταθεί έως το τέλος του 2010 θα είναι ικανή να παράγει (σε ένα κανονικό χρόνο) 181 TWh ηλεκτρισμού, που αναπαριστά το 5,3% της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος.



Σχήμα 1. Ετήσια εγκατάσταση αιολικής ενέργειας στην Ε.Ε. σε MW

Κατά το έτος 2010, 9.883 MW αιολικής ενέργειας εγκαταστάθηκαν σε όλη την Ευρώπη, με τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης να συμμετέχουν με 9.259 MW από το σύνολο. Αυτό αναπαριστά μια πτώση των ετήσιων εγκαταστάσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης της τάξης του 10% σε σχέση με το έτος 2009. Από τα 9.259 MW εγκατεστημένα στην Ευρωπαϊκή ένωση τα 8.377 MW εγκαταστάθηκαν στη στεριά και τα 883 σε υπεράκτια πάρκα. Το

έτος 2010 οι επενδύσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση όσον αφορά τα αιολικά πάρκα ήταν 12,7 δισεκατομμύρια €. Τα αιολικά πάρκα στη στεριά προσέλκυσαν 10,1 δις € ενώ τα υπεράκτια αιολικά πάρκα 2,6 δις €. [1]



Σχήμα 2. Κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος αιολικής ενέργειας στα κράτη – μέλη της Ε.Ε.

Σε ετήσια βάση, το 2010 η Ισπανία ήταν η μεγαλύτερη αγορά σε νέες εγκαταστάσεις με 1.516 MW, συγκρινόμενη με τα 1.493 MW που εγκαταστάθηκαν στην Γερμανία. Η Γαλλία εγκατέστησε 1.086 MW ακολουθούμενη από την Αγγλία με 962 MW και την Ιταλία με 948 MW. Ισχυρή παρουσία είχαμε και από Σουηδία (604 MW), Ρουμανία (437 MW), Πολωνία (382 MW), Πορτογαλία (345 MW) και Βέλγιο (350 MW) με δύο νέα μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης να βρίσκονται μέσα στις 10 πρώτες θέσεις της αγοράς αιολικής ενέργειας.

1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Πλεονεκτήματα

Κατά αρχήν πρόκειται για ”καθαρή” ενέργεια. Η χρήση μιας τουρμπίνας 600KW, σε κανονικές συνθήκες, αποτρέπει την αποβολή 1200 τόνων CO_2 ετησίως, που θα αποβάλλονταν στο περιβάλλον αν χρησιμοποιούσαμε άλλη πηγή για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως π.χ. άνθρακας. Δεν έχει καμιά επιβάρυνση για το περιβάλλον και ο τρόπος παραγωγής έχει αδιαμφισβήτητη ασφάλεια. Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα η πιο φτηνή απ’ όλες τις υπάρχουσες ήπιες μορφές και είναι ανεξάντλητη. Η παραγωγή ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια κατά τα 20 χρόνια λειτουργίας της ισοδυναμεί με την 80πλάσια ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κατασκευή, λειτουργία και καταστροφή της όταν αυτή κριθεί ανενεργή.

Το 1999 η αιολική ενέργεια κάλυψε το 10% των αναγκών για ηλεκτρισμό στη Δανία και το 2003 αναμένεται να καλύψει το 14%. Θεωρητικά, η αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού της Ευρώπης στο μέγιστο θα μπορούσε να καλύψει όλες τις ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια. Στην Ευρώπη, στις αρχές του 1999, πάνω από 6.600MW κάλυψαν τις ανάγκες 7 εκατομμυρίων ανθρώπων.

Το συνολικό εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό της Ελλάδας μπορεί να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των ηλεκτρικών αναγκών της. Είναι γνωστό ότι η κάλυψη του 15% των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας, που αντιστοιχεί σε 6,45 Twh, το 2001 μπορεί να επιτευχθεί οικονομικά με την ανάπτυξη των Αιολικών Πάρκων.

Οι προηγμένες τεχνολογίες, εν προκειμένω, στην αεροδυναμική, στην αντοχή των υλικών και στη μετεωρολογία, έχουν συνεισφέρει σε ετήσια αύξηση 5% στην απόδοση ανά τετραγωνικό μέτρο έλικα (στατιστικά στοιχεία καταγεγραμμένα στη Δανία μεταξύ 1980 - 1995). Επίσης, έρευνες που γίνονται στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ, προσανατολίζονται στη θεαματική μείωση του κόστους παραγωγής της γύρω στο 2005.

Σήμερα, ο σχετικός τομέας στη βιομηχανία προσφέρει 40.000 θέσεις εργασίας παγκοσμίως. Οι δημοσκοπήσεις σε ευρωπαϊκές χώρες, όπως Δανία, Γερμανία, Ολλανδία, Μ. Βρετανία έδειξαν ότι το 70% του πληθυσμού προτιμά την παραγωγή και χρήση αιολικής ενέργειας. Η Δανία κατέχει την πρώτη θέση στην παγκόσμια παραγωγή. Το παραγόμενο αιολικό δυναμικό στη Δανία το 1998 ήταν 1.200 MW και το ίδιο έτος οι Δανοί κατασκευαστές κατείχαν το 50% της παγκόσμιας αγοράς σε ανεμογεννήτριες.

Μειονεκτήματα

Ένα σημαντικό μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι ότι εξαρτάται άμεσα από την ύπαρξη ικανοποιητικών ταχυτήτων ανέμου. Τι γίνεται όμως όταν δεν φυσάει άνεμος; Επειδή δεν υπάρχουν δυνατότητες για οικονομική αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, επιβάλλεται να υπάρχει εφεδρεία συμβατικών σταθμών για το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος των ανεμογεννητριών. Για ηλεκτρικά συστήματα, όπως το σύστημα της Κρήτης, όπου οι αιχμές φορτίου καλύπτονται με αεροστρόβιλους ντίζελ και με υψηλό κόστος παραγωγής, θα μπορούσε να εξεταστεί η περίπτωση συνδυασμού ανεμογεννητριών με αντλητικά υδροηλεκτρικά έργα.

Τρίπτερες ανεμογεννήτριες με ρότορα μήκους μικρότερου των 10 μέτρων έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης ασθενούς αιολικού ανέμου (ευρύ φάσμα ταχυτήτων ανέμου) και κόστος κατασκευής και συντήρησης μικρό καθώς τα προβλήματα αντοχής και δυναμικής καταπόνησης μηχανικών μερών είναι περιορισμένα στις μηχανές αυτής της κατηγορίας.

Στις μηχανές μεγάλου μεγέθους επικρατούν οι δίπτερες, με κόστος κατασκευής και συντήρησης σαφώς μικρότερο, από αυτό των τρίπτερων αντιστοίχου μεγέθους,

Η κατασκευή μηχανών της τάξεως Μεγαβάτ δεν κατάφερε να ενταχθεί στο οικονομικά και κατασκευαστικά βιώσιμο κατεστημένο. Η οικονομική υποστήριξη της κατασκευής μηχανών αυτής της κατηγορίας είναι πλέον εφικτή μόνο μέσα από Ευρωπαϊκά προγράμματα.

1.4 ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ, ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ

Τα κοινωνικά οφέλη που πηγάζουν από της εξέλιξη της αιολικής ενέργειας είναι άμεσα συνδεδεμένα με την κοινωνική ευμάρεια της περιοχής στην οποία εφαρμόζεται το σύστημα. Η κοινωνική άποψη υπονοεί την αποφυγή διαρροής χρημάτων στην περιοχή, και επίσης οδηγεί στην ποιοτική εργασία, και στην ανάπτυξη της εργασίας. Πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι η ανάμειξη της τοπικής κοινωνίας αντιπροσωπεύει το πρώτο βήμα για μια πιο συνειδητή χρήση της ενέργειας.

Ένα σύστημα ανανεώσιμης ενέργειας έχει σημαντική οικονομική διάσταση. Η εκμετάλλευση των συστημάτων ανανεώσιμης ενέργειας είναι μια πιο εφικτή λύση σε οικονομικό επίπεδο, λαμβάνοντας υπόψη την άνοδο των τιμών των ορυκτών καυσίμων. Η διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών αναμένεται να μειώσει σημαντικά τις τελικές τιμές ηλεκτρισμού.

Το πιο σημαντικό αυτό τον καιρό, είναι η περιβαλλοντολογικά άποψη που περιλαμβάνεται στα συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας. Οι εφαρμογές ανανεώσιμης ενέργειας είναι πιο φιλικές στο περιβάλλον από τα συστήματα που βασίζονται στις ορυκτές πηγές ή στην πυρηνική ενέργεια. Όμως η εφαρμογή ενός συστήματος ανανεώσιμης ενέργειας οδηγεί σε άλλα σημαντικά

περιβαλλοντολογικά θέματα. Ένα σημαντικό θέμα είναι η επιλογή των τοποθεσιών και η συγκέντρωση των συστημάτων ανανεώσιμης ενέργειας, σε περιπτώσεις όπου η περιβαλλοντολογική ζημιά θα μπορούσε να καθορίσει την εξάλειψη κάποιων ειδών ή θα μπορούσε να συνεπάγεται κάποιο θεμελιώδες αντίκτυπο για την οικονομία και τον πολιτισμό της κοινωνίας.

1.5 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στις μέρες μας, έχει εγκατασταθεί μεγάλη ποσότητα από ανεμογεννήτριες σε υπεράκτιο περιβάλλον. Η εμπειρία ως προς αυτό το σχέδιο ξεκίνησε με την τοποθέτηση 220W πολύ κοντά στα παράλια της Σουηδίας. Τα προγράμματα που ακολούθησαν μεταγενέστερα πραγματοποιήθηκαν σε σχετικά εύκρατες τοποθεσίες, με εξαίρεση την τοποθέτηση 2 ανεμογεννητριών των 2 MW που τοποθετήθηκαν στη Βόρεια Θάλασσα, 2 χιλιόμετρα πριν το λιμάνι Blyth στο Ηνωμένο Βασίλειο.
Τα μελλοντικά αιολικά πάρκα θα πραγματοποιηθούν και σε παράκτιες περιοχές, κυρίως γύρω από τη Δανία και στη Βαλτική, σε τοποθεσίες της Βόρειας Θάλασσας και σε άλλα μέρη γύρω από το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ιρλανδία. Αυτά τα αιολικά πάρκα είναι μεγαλύτερης κλίμακας, και σε ό,τι αφορά τον αριθμό των ανεμογεννητριών αλλά και ως προς το μέγεθός τους.

Σύμφωνα με την EWEA όσον αφορά την εγκατάσταση υπεράκτιων αιολικών πάρκων [5] είχαμε για το έτος 2010 τα εξής χαρακτηριστικά:

- 308 νέες ανεμογεννήτριες εγκαταστάθηκαν και συνδέθηκαν με το δίκτυο, με συνολική ονομαστική ισχύ 577 MW κατά το έτος 2009, αύξηση 54% από τον προηγούμενο χρόνο.

- 1000 MW αναμένεται να εγκατασταθούν κατά το έτος 2010, μια αύξηση της αγοράς περίπου 75% σε σχέση με το έτος 2009.
- 17 αιολικά πάρκα υπό κατασκευή, με συνολική ισχύ 3.500 MW και ακόμη 52 αιολικά πάρκα ήδη σε συμφωνία και για ισχύ περισσότερη των 16.000MW.
- Πάνω από 100 GW υπεράκτιων αιολικών πάρκων, βρίσκονται στο στάδιο του σχεδιασμού.

Τα δεδομένα της αγοράς υπεράκτιων αιολικών πάρκων έως σήμερα συγκεντρωτικά είναι:

- 828 Ανεμογεννήτριες έχουν εγκατασταθεί και συνδεθεί με το δίκτυο, με συνολική ισχύ 2.056 MW.
- Το μέσο μέγεθος ισχύος Ανεμογεννήτριας είναι τα 2,9 MW.
- Το 65% των θεμελίων είναι σε μονό πάσσαλο ενώ το 23% είναι σε θεμέλια με βαρύτητα.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν επίσης σχεδιάσει την ανάπτυξη έργων παραλιακής αιολικής ενέργειας εγκατεστημένης ισχύος 2.320 MW, ενώ η Κίνα έχει υπό κατασκευή ή σχεδιασμό μεγέθους ισχύος 520 MW. Η αυξανόμενη εστίαση στον κλάδο της παραλιακής αιολικής ενέργειας οφείλεται κυρίως στη μεγαλύτερη δυνατότητα δημιουργίας ενέργειας σ' αυτές τις περιοχές. Επίσης, οι υπεράκτιες τοποθεσίες είναι κατάλληλες για την παραγωγή αιολικής ενέργειας επειδή δεν υπάρχει χωροταξικός περιορισμός. Επιπρόσθετα, τα υπεράκτια αιολικά έργα προσφέρουν πολύπλευρα πλεονεκτήματα, π.χ. η εγκατάσταση μεγάλων ανεμογεννητριών είναι δυνατή στις υπεράκτιες περιοχές λόγω της μεγαλύτερης ταχύτητας του ανέμου, γεγονός που επιτρέπει την παραγωγή περισσότερων μονάδων ενέργειας. [12]

Σύμφωνα με στοιχεία της EWEA (EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION) [5] αναπτύσσονται οι παρακάτω τάσεις στον τομέα υπεράκτιων αιολικών πάρκων:

- Το μέσο μέγεθος ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου κατά το έτος 2009 ήταν 72,1 MW ενώ το προηγούμενο έτος το μέσο μέγεθος ήταν 62,2 MW.
- Το μέσο βάθος νερού κατά το οποίο υπήρξε εγκατάσταση υπεράκτιου αιολικού πάρκου κατά το έτος 2009 ήταν 12 μέτρα, 0,5

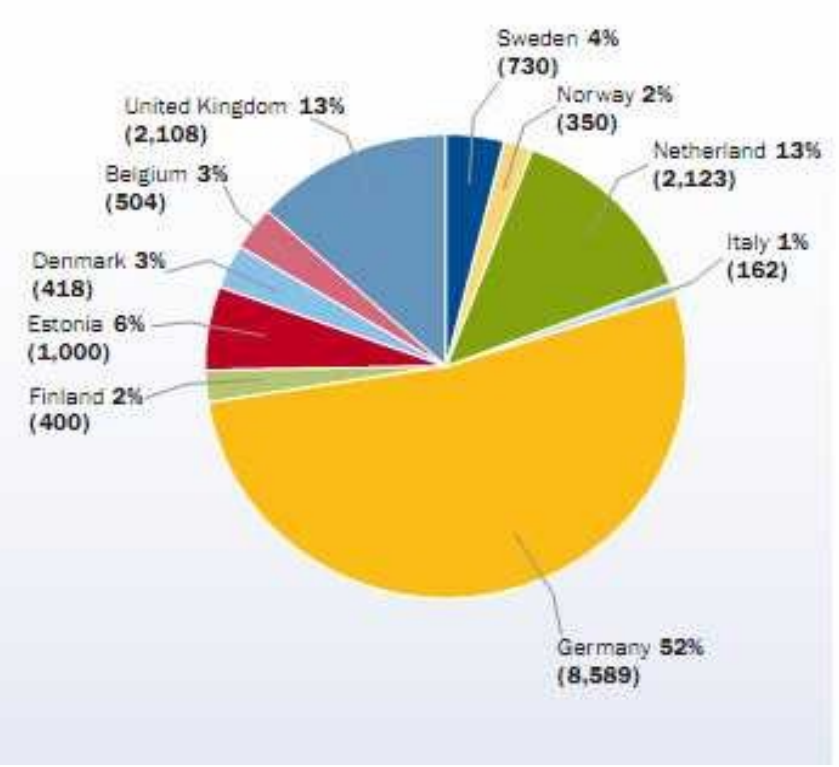
μέτρα βαθύτερα από το προηγούμενο έτος και αρκετά λιγότερο από το μέσο βάθος 21,8 μέτρα από τα αιολικά πάρκα που κατασκευάζονται αυτή τη στιγμή.

- Η μέση απόσταση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου σε σχέση με την ακτή κατά το έτος 2009 ήταν 14,4 χιλιόμετρα 3,9 χιλιόμετρα περισσότερο από το προηγούμενο έτος και αρκετά λιγότερο από τα 30,1km από τη μέση απόσταση από τα αιολικά πάρκα που κατασκευάζονται αυτή τη στιγμή.

Σημεία και δεδομένα της βιομηχανίας κατασκευής υπεράκτιων αιολικών πάρκων:

- Η κατασκευή και παροχή των ανεμογεννητριών θα αυξηθεί δραματικά από τους δύο μεγάλους κατασκευαστές μαζί με την είσοδο νέων Ευρωπαίων κατασκευαστών στην αγορά.

- Ο στόλος από τα σκάφη που χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων τείνει να αυξηθεί.



Σχήμα 3. Ποσοστά εγκατεστημένων υπεράκτιων Α/Γ στην Ευρώπη

Κατά το έτος 2009 ο τζίρος της βιομηχανίας των υπεράκτιων αιολικών πάρκων ήταν περίπου 1,5 δισεκατομμύρια ευρώ και αναμένεται να διπλασιαστεί κατά το έτος 2010 σε σχεδόν 3 δισεκατομμύρια ευρώ.

Η λειτουργία και συντήρηση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων είναι πιο δύσκολη και μεγαλύτερου κόστους από τις ισοδύναμες δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα σε παράκτια αιολικά πάρκα. Οι συνθήκες των υπεράκτιων περιοχών καθιστούν το έργο της συναρμολόγησης και τις διαδικασίες προμηθειών επαχθές. Η προσβασιμότητα δε για το καθιερωμένο σέρβις και συντήρηση των μηχανημάτων καθίσταται μεγάλο ζήτημα. Κατά τη διάρκεια των δριμείων περιόδων του χειμώνα, ένα ολοκληρωμένο αιολικό πάρκο μπορεί να μην είναι προσβάσιμο για αρκετές ημέρες λόγω την θάλασσας, του αέρα και της κακής ορατότητας. [6]

Ακόμα όμως και κατά τη διάρκεια των περιόδων που οι καιρικές συνθήκες είναι καλές, το έργο της λειτουργίας και συντήρησης είναι πιο ακριβό από εκείνο που λαμβάνει χώρα στις παράκτιες περιοχές επειδή επηρεάζεται από την απόσταση που έχουν τα Παράκτια Συστήματα Μετατροπής Αιολικής Ενέργειας (OWECS) από την ακτή και το λιμάνι, την έκθεση της τοποθεσίας, το μέγεθος των Παράκτιων Συστημάτων Μετατροπής Αιολικής Ενέργειας (OWECS), την αξιοπιστία των ανεμογεννητριών και τη στρατηγική συντήρησης κάτω από την οποία καθίστανται λειτουργικά. Οι υπεράκτιες εγκαταστάσεις απαιτούν ειδικό εξοπλισμό ανέγερσης προκειμένου να εγκατασταθούν και να αλλαχθούν τα μεγάλα εξαρτήματα. Για τα παράκτια αιολικά πάρκα, ένας τέτοιος εξοπλισμός ανέγερσης εφοδιάζεται συνήθως από την περιοχή που βρίσκεται και χωρίς να απαιτείται από πριν χρόνος. Οι δριμείες καιρικές συνθήκες που αντιμετωπίζουν τα Παράκτια Συστήματα Μετατροπής Αιολικής Ενέργειας (OWECS) επιτάσσουν την ανάγκη για εξαρτήματα υψηλής αξιοπιστίας σε συνδυασμό με κατάλληλη περιβαλλοντολογική προστασία κυριολεκτικά για όλα τα εξαρτήματα που εκτίθενται στις συνθήκες της θάλασσας. [6]

Αντί να παρατεθούν τα κόστη της λειτουργίας και συντήρηση σαν ποσοστό της επένδυσης, είναι πιο σχετικό, προκειμένου να αποκομισθεί μια πιο πλήρη εικόνα της ανάλυσης του κόστους παραγωγής παράκτιου αιολικού ηλεκτρισμού, να παρουσιαστεί σαν ποσοστό του κόστους κιλοβατώρων.

Από τη μελέτη των οπτικών Παράκτιων Συστημάτων Μετατροπής Αιολικής Ενέργειας προέκυψε ότι μια συνήθης τάξη μεγέθους είναι το ποσοστό 25% του σταθμισμένου κόστους παραγωγής. Η πληροφόρηση που αποκομίσθηκε από τα ερωτηματολόγια της συντονισμένης δραστηριότητας επιβεβαιώνει τα ευρήματα για τα προγράμματα που έχουν μέχρι στιγμής πραγματοποιηθεί. [2]

Η διαθεσιμότητα του αιολικού πάρκου, που ορίζεται σαν ποσοστό του δυνητικού χρόνου παραγωγής ηλεκτρισμού, είναι μια λειτουργία που βασίζεται στην αξιοπιστία, δυνατότητα συντήρησης και σέρβις του συνολικού ηλεκτρομηχανολογικού και λογισμικού συστήματος. Όμως για ένα παράκτιο αιολικό πάρκο, η προσβασιμότητα της περιοχής για τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό που απαιτείται για τη λειτουργία και συντήρηση καθώς και η

στρατηγική συντήρησης που υιοθετείται είναι και τα δύο της ίδιας σημαντικότητας προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο διαθεσιμότητας.

Η Vestas παρέθεσε μια σύγκριση της βαθμίδας διαθεσιμότητας μεταξύ του παραλιακού αιολικού πάρκου Fjaldene και του παράκτιου Tuno Knob [3]. Ο μέσος όρος διαθεσιμότητας που κατεγράφη για το Fjaldene είναι 99.3% κυρίως λόγω της κοντινής απόστασης του αιολικού πάρκου από το Τμήμα Κεντρικής Εξυπηρέτησης της Vestas. Ο μέσος όρος διαθεσιμότητας του Tuno Knob που κατεγράφη είναι 97.9%, 98.1% και 95.2% για τα έτη 1996 έως 1998. [4]

Η ζήτηση για σέρβις της παρούσας γενιάς των παράκτιων ανεμογεννητριών σε ό,τι αφορά τις εργατοώρες είναι της τάξεως των 40 με 80 ώρες [7]. Οι επισκέψεις για σέρβις γίνονται τακτικά, (εκτός του πρώτου χρόνου), συνήθως κάθε έξι μήνες. Κάθε πέντε χρόνια γίνεται πιο ενδελεχής έλεγχος ο οποίος απαιτεί περίπου 100 ώρες εργασίας. [8]

Η εμπειρία από το Tuno Knob δείχνει ότι ο συνολικός αριθμός επισκέψεων ήταν περίπου 35-70 το χρόνο, ένας μέσος όρος δηλαδή περίπου 5 επισκέψεων για κάθε ανεμογεννήτρια κάθε χρόνο. Ο αριθμός των επισκέψεων που ακυρώνονται (ακυρώσεις της τελευταίας στιγμής λόγω των καιρικών συνθηκών) είναι περίπου το 15% σε σχέση με τον αριθμό των επισκέψεων που πραγματοποιούνται. [9]

Η προσβασιμότητα μιας δεδομένης παράκτιας τοποθεσίας μπορεί να είναι καθοριστική για την οικονομία ενός προγράμματος. Συνήθως, οι παράκτιες τοποθεσίες στη Δανία, όπως το Vindeby και το Tuno, έχουν ένα μέσο όρο προσβασιμότητας με πλοίο της τάξεως του 85%. Για πιο δριμείες συνθήκες, όπως αυτές της Βορείου Θάλασσας, η προσβασιμότητα με ένα τυποποιημένο πλοίο μπορεί κάλλιστα να πέσει στο 60%. Συνεπώς, υπάρχει μεγάλη ζήτηση για βελτιωμένες μεθόδους πρόσβασης προκειμένου να βελτιωθεί η διαθεσιμότητα του αιολικού πάρκου και έτσι η οικονομική βιωσιμότητα.

1.6 ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Διακρίνουμε δύο είδη ανεμογεννητριών: τις δίπτερες και τις τρίπτερες. Οι τρίπτερες, με ρότορα μικρότερο των 10 μέτρων, έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης ασθενούς αιολικού δυναμικού. Στις μηχανές μεγάλου μεγέθους επικρατούν οι δίπτερες, με κόστος κατασκευής και συντήρησης μικρότερο απ' αυτό των τρίπτερων αντίστοιχου μεγέθους. Η σύγχρονη τεχνολογία χρήσης της αιολικής ενέργειας ξεκίνησε με μικρές Α/Γ δυναμικότητας 20 ως 75 KW. Σήμερα χρησιμοποιούνται Α/Γ δυναμικότητας 200 ως 2.000 KW.

Ενδιαφέρον, για την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού τους, έχουν οι περιοχές με ικανοποιητικές μέσες ταχύτητες ανέμου. Ένα πάρκο ανεμογεννητριών, το οποίο σε ταχύτητα 8 m/sec αποδίδει 1600 KW, σε ταχύτητα 4 m/sec αποδίδει μόνο 200 KW. Σημαντικό ρόλο παίζει ο τόπος εγκατάστασης των ανεμογεννητριών. Η ύπαρξη ανωμαλιών του εδάφους, κτιρίων, δέντρων ή εμποδίων γενικά μπορεί να δημιουργήσει στροβιλισμούς και να μειώσει την αποδοτικότητα. Πριν την επιλογή της περιοχής απαιτείται μελέτη στατιστικών μετεωρολογικών δεδομένων για τις κατευθύνσεις των κυρίαρχων ανέμων για περίοδο ενός χρόνου.

Παρά τη μεγάλη αύξηση και βελτίωση τις τελευταίες τρείς δεκαετίες, η βιομηχανία αιολικής ενέργειας συνεχίζει προκειμένου να επιτύχει ακόμη καλύτερη απόδοση. Οι τοποθεσίες με το μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό έχουν ήδη καταληφθεί και οι τοποθεσίες που είναι κατάλληλες μειώνονται διαρκώς, ο τομέας της αιολικής ενέργειας κινείται στην κατεύθυνση της αντικατάστασης των παλαιών και μικρών Α/Γ με νεότερες και μεγαλύτερης ισχύος.

Για να επιτευχθεί καλή σχέση αποδοτικότητας – κόστους, το πρόγραμμα αντικατάστασης θεωρεί την εφαρμογή ψηλότερων στύλων ανεμογεννήτριας προκειμένου να εκμεταλλευτούν ανέμους σε υψηλότερο στρώμα και να αυξήσουν την παραγωγή ενέργειας [10]. Στην πραγματικότητα σε ύψος πάνω από 100 μέτρα από το έδαφος, το στρώμα της ατμόσφαιρας είναι πολύ διαφορετικό σε σχέση με κοντά στο έδαφος και νέες έρευνες για το τυρβώδες περιβάλλον απαιτούνται [11]. Έως τώρα η υψηλότερη ανεμογεννήτρια βρίσκεται στη Γερμανία με ύψος 160 μέτρα με 2,5 MW με πύργο από δικτύωμα, μεταβλητών στροφών, διπλής έλικας ανεμογεννήτρια. Το πλεονέκτημα των πύργων από δικτυώματα είναι ότι είναι ελαφρύτεροι και φθηνότεροι.

Νέα σχέδια ανεμογεννητριών, πολύ μεγαλύτερου μεγέθους μελετούνται για εγκατάσταση υπεράκτια σε ρηχά ή βαθιά ύδατα, όπου το περιβάλλον είναι αρκετά διαφορετικό σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες στη στεριά. Οι

υπεράκτιες ανεμογεννήτριες είναι μεγαλύτερες (>3 MW) από αυτές στην στεριά ώστε να ανταποδώσουν το αρχικό μεγαλύτερο κόστος κατασκευής. Αύξηση στο μέγεθος της ανεμογεννήτριας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους των θεμελίων της ανεμογεννήτριας, στο κόστος μεταφοράς, στο κόστος ανάρτησης της έλικας και της γεννήτριας καθώς οι καινοτομίες στο σχεδιασμό και τα υλικά κατασκευής θα πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω ώστε να μειωθούν τα σχετικά κόστη.

Η ανάπτυξη ανεμογεννητριών πολλών MW με μόνιμους μαγνήτες με σύγχρονες γεννήτριες έχουν ισχυρό κίνητρο για εγκατάσταση σε υπεράκτια αιολικά πάρκα με τη μείωση στο κόστος και αύξηση της διαθεσιμότητας σπάνιων στη γη μόνιμων μαγνητών. Το υλικό του μόνιμου μαγνήτη έχει μια μαγνητική πυκνότητα παραπλήσια ενός ηλεκτρομαγνήτη, η οποία επιτυγχάνεται χωρίς την επιπλέον μάζα, όγκο, και κόστος του τυλίγματος του χαλκού που απαιτείται για έναν ηλεκτρομαγνήτη. Καινοτομίες επίσης αναμένονται στην τεχνολογία μετατροπής της ισχύος. Κρίσιμα θέματα σχετικά με την μετατροπή ενέργειας από την παραγόμενη αιολική ενέργεια με μεταβλητές στροφές είναι να διατηρηθεί η υψηλή απόδοση σε ένα μεγάλο εύρος ταχυτήτων ανέμου.

Η πρόοδος που συντελείται στα ηλεκτρονικά ισχύος θα επιτρέψουν τις ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών να αυξήσουν την συνολική τους απόδοση στην παροχή ηλεκτρικής ισχύος, αναδεικνύοντας ηλεκτρονικά συστήματα χρησιμοποιώντας silicon carbide (SiC), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους μετατροπείς αιολικής ενέργειας. Μετατροπείς ισχύος οι οποίοι βασίζονται στο silicon carbide μπορούν να επιτύχουν υψηλή πυκνότητα ισχύος και χαμηλό βάρος. Η τεχνολογία του μετατροπέα με χρήση SiC σε σχέση με silicon είναι αποδοτικότερος και προσφέρει χαμηλότερο βάρος και όγκο ενώ δουλεύει σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Τα ηλεκτρονικά ισχύος διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο όχι μόνο κατά την παραγωγή ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά επίσης και στη λειτουργία του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιείται ευρέως καθώς ολοένα και περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εντάσσονται στα ηλεκτρικά δίκτυα παγκοσμίως.

Δεδομένου ότι η βιομηχανία των υπεράκτιων θα κινηθεί τα επόμενα χρόνια σε όλο βαθύτερα νερά και μακρύτερα από τις ακτές η βοήθεια από τις κυβερνήσεις των κρατών μελών είναι ζωτικής σημασίας. Σήμερα οι ανεμογεννήτριες κοστίζουν 50-60% της συνολικής επένδυσης του έργου, υποθαλάσσιες κατασκευές το 25%, εγκατάσταση 15% και σύνδεση δικτύου 10%. Τελευταίες εξελίξεις στο θέμα της ανάπτυξης και εξέλιξης υπεράκτιων αιολικών πάρκων αφορούν τα θέματα των ανεμογεννητριών, του εξοπλισμού για την εγκατάσταση.

Η μελλοντική εξέλιξη των ανεμογεννητριών για χρήση στα παράκτια αιολικά πάρκα θα πρέπει να καθοδηγηθεί με περαιτέρω προσαρμογή στο δριμύ περιβάλλον της θάλασσας [6]. Σε ό,τι αφορά τη μείωση του κόστους ζωής των Παράκτιων Συστημάτων Μετατροπής Αιολικής Ενέργειας θα πρέπει να επιληφθούμε των παρακάτω ζητημάτων:

- Βελτίωση των μεθόδων προσβασιμότητας
- Ανάπτυξη μεθόδων προσβασιμότητας που θα είναι λιγότερο ευαίσθητες στις εκάστοτε συνθήκες αέρα/κύματος.
- Μείωση του χρόνου που απαιτείται για τις εργασίες στις παράκτιες περιοχές
- Σχεδιασμός της ανεμογεννήτριας με σκοπό τη μειωμένη συντήρηση. Αυτό επίσης συνεπάγεται:
    - Μείωση του συνολικού αριθμού εξαρτημάτων και απλοποίηση του σχεδιασμού.
    - Τμηματικό σχεδιασμό της ανεμογεννήτριας που διευκολύνει την ανταλλαγή των ελαττωματικών τμημάτων.
    - Χρήση εξαρτημάτων υψηλής αξιοπιστίας.
    - Επανατοποθέτηση των ηλεκτρικών μονάδων σε τμήμα της γεννήτριας που ελέγχεται περιβαλλοντολογικά.
    - Εφαρμογή τεχνολογίας για την προστασία από την παράκτια διάβρωση.
    - Ανάπτυξη αποτελεσματικής εποπτείας των συνθηκών και συστημάτων τηλεχειρισμού.

- Ανάπτυξη κατάλληλων στρατηγικών συντήρησης για σέρβις και επισκευές.
- Ανάπτυξη μιας φιλοσοφίας εσωτερικού σχεδιασμού ενός μεγάλου βαθμού Παράκτιων Συστημάτων Μετατροπής Αιολικής Ενέργειας, όπου ο σχεδιασμός των ατομικών ανεμογεννητριών ελέγχεται από τους συνολικούς στόχους των Παράκτιων Συστημάτων Μετατροπής Αιολικής Ενέργειας, και όχι από την διαδοχική προσαρμογή και την αναβάθμιση του παραλιακού σχεδιασμού. [6]

1.7 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ

Η αιολική ενέργεια ως μια πηγή παραγωγής ενέργειας έχει ειδικά χαρακτηριστικά μεταξύ των οποίων είναι η συνεχής μεταβολή της έντασης και διεύθυνσης του ανέμου και η δυσκολία στην πρόβλεψη των χαρακτηριστικών του ανέμου. Από αυτό προκύπτουν προκλήσεις όσον αφορά την ενσωμάτωση μεγάλων ποσοτήτων αιολικής ενέργειας στα ηλεκτρικά δίκτυα μιας και λόγω των παραπάνω χαρακτηριστικών δεν μπορεί να υπολογιστεί η ισχύς που μπορεί να αποδοθεί από ένα αιολικό πάρκο, συνήθως δυναμικότητας αρκετών MW.

Η αιολική ενέργεια συχνά περιγράφεται ως διακοπτόμενη πηγή ενέργειας και για αυτό το λόγο αναξιόπιστη. Στην πραγματικότητα, σε επίπεδο συστήματος παραγωγής ισχύος, η αιολική ενέργεια δεν ξεκινάει και σταματάει σε ακανόνιστα χρονικά διαστήματα και έτσι ο όρος «διακοπτόμενη» οδηγεί σε λάθος συμπεράσματα. Η παραγωγή από ένα αιολικό πάρκο συνολικά ποικίλει όπως ακριβώς και ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας. Από τη στιγμή που η αιολική παραγωγή εξαρτάται από τον άνεμο, η παραγωγή από κάθε μια ανεμογεννήτρια ποικίλει με το χρόνο υπό την επιρροή μετεωρολογικών φαινομένων. Αυτές οι διακυμάνσεις συμβαίνουν σε κλίμακα χρόνου από δευτερόλεπτα έως ώρες, ημέρες, μήνες ακόμη και χρόνια. Η κατανόηση και πρόβλεψη αυτών των διακυμάνσεων είναι απαραίτητα στοιχεία για την επιτυχή και αποτελεσματική ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας.

Η παραγωγή όπως και η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλουν καθώς τα συστήματα παραγωγής ενέργειας επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες. Κάποιοι παράγοντες μπορούν να προβλεφθούν και άλλοι συμβαίνουν τυχαία, με αποτέλεσμα το σύστημα παραγωγής ενέργειας θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να αντεπεξέλθει σε αυτούς τους παράγοντες με εργαλεία όπως ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση του τα συστήματα ελέγχου και οι διασυνδέσεις. Για παράδειγμα μια αλλαγή στον καιρό μπορεί να δημιουργήσει μια ανάγκη για περισσότερη κατανάλωση διότι ο πληθυσμός μπορεί να λειτουργήσει κλιματιστικές μονάδες, μπορεί να λειτουργήσει θερμαντικές μονάδες, φώτα κτλ.

Από την πλευρά της παραγωγής της ενέργειας, όταν ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως π.χ. ένας σταθμός πυρηνικής ενέργειας, βγει εκτός λειτουργίας από κάποιο ατύχημα ή άλλο λόγο, αυτό συμβαίνει αμέσως το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια πολλών εκατοντάδων MW. Στην αντίθετη περίπτωση, η αιολική ενέργεια δεν βγαίνει απευθείας εκτός συστήματος. Οι διακυμάνσεις είναι περισσότερο ομαλές διότι υπάρχουν δεκάδες, εκατοντάδες ή χιλιάδες μονάδες ανεμογεννητριών αντί για λίγες μεγάλες μονάδες, διευκολύνοντας τον Διαχειριστή του Συστήματος να προβλέψει και να οργανώσει τις αλλαγές στην παραγωγή. Ειδικά σε μεγάλα διασυνδεδεμένα δίκτυα υπάρχει μικρή συνολική επίπτωση εάν ο άνεμος σταματήσει σε μια συγκεκριμένη περιοχή. [13]

Η παραγωγή αιολικής ενέργειας εισάγει στο σύστημα περισσότερη αβεβαιότητα στη λειτουργία του συστήματος παραγωγής ενέργειας, διότι είναι συνεχόμενα μεταβαλλόμενη και δύσκολη στην πρόβλεψη. Για να υπάρξει μια σωστή οργάνωση αυτής της αβεβαιότητας, υπάρχει ανάγκη για περισσότερη ευελιξία του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στους τομείς της παραγωγής, κατανάλωσης αλλά και στη μεταφορά. Πόση παραπάνω ευελιξία χρειάζεται, εξαρτάται από το πόση ισχύ από ανεμογεννήτριες έχει ήδη εγκατασταθεί στην υπό εξέταση περιοχή και από την πόση ευελιξία ήδη υπάρχει στο υπό εξέταση σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.[14]

1.8 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ

Η υψηλή διείσδυση/ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας έχει επιπτώσεις οι οποίες θα πρέπει να οργανωθούν μέσω:

Α. κατάλληλης σύνδεσης των μονάδων παραγωγής

Β. ενοποίησης (ενσωμάτωσης)

Γ. σχεδιασμό μετάδοσης

Δ. λειτουργίας του συστήματος παραγωγής και αγοράς.

Το κόστος ενοποίησης -ενσωμάτωσης μπορεί να χωριστεί σε διαφορετικά τμήματα τα οποία προκύπτουν από την αύξηση στο λειτουργικό κόστος εξισορρόπησης και στο κόστος επέκτασης δικτύου. Οι μελέτες που έχουν γίνει δεν είναι εύκολο να συγκριθούν λόγω των διαφορετικών μεθοδολογιών και δεδομένων που έχουν χρησιμοποιηθεί καθώς και τα διαφορετικά συμπεράσματα λόγω των διαφορετικών δυνατοτήτων που υπάρχουν όσον αφορά τις διασυνδέσεις. Από τις μελέτες που έχουν διερευνηθεί, το κόστος λειτουργίας του συστήματος αυξάνεται με ένα ποσό από 1-4 €/Mwh. Αυτό είναι μια απώλεια της τάξης των 10% ή λιγότερο της χονδρικής αξίας της αιολικής ενέργειας. Υπάρχει επίσης ένα όφελος όταν προστίθεται αιολική ενέργεια στα συστήματα ισχύος. Μειώνει το ολικό λειτουργικό κόστος και εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα καθώς ο άνεμος αντικαθιστά τα στερεά ορυκτά καύσιμα. Η απαραίτητη αύξηση της βραχυπρόθεσμης απαίτησης εφεδρείας είχε εκτιμηθεί να είναι μικρότερη του 4% της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος σε χαμηλή διείσδυση και για ωριαία μεταβλητότητα του ανέμου, σε 5% για λάθη πρόβλεψης για 4 ώρες μπροστά και σχεδόν 10% για πρόβλεψη μιας ημέρας μπροστά.

Το κόστος της ενίσχυσης του δικτύου λόγω της αιολικής ενέργειας εξαρτάται από το που βρίσκονται εγκατεστημένα τα αιολικά πάρκα σε σχέση με την κατανάλωση και τον σχεδιασμό του δικτύου. Το κόστος ενίσχυσης του δικτύου, όπως έχουν αποδείξει οι μελέτες, ποικίλει από 35€/kW σε 160€/kW και δεν είναι συνεχές. Επίσης υπάρχουν διαφορές στο πως το κόστος αναγάγετε στην αιολική παραγωγή.

Όμως εάν σχεδιάζεται να προστεθούν μεγάλες ποσότητες αιολικής ενέργειας στο σύστημα, ενισχύσεις δικτύου και επεκτάσεις συνήθως

απαιτούνται. Και όταν κατασκευάζεται το δίκτυο απευθείας στην μελλοντική δυναμικότητα είναι συνήθως περισσότερο αποδοτικό από πλευράς κόστους παρά να κατασκευασθεί σε διαφορετικές φάσεις. Με την τρέχουσα τεχνολογία, τα αιολικά πάρκα μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να μπορούν να συμμετάσχουν στον έλεγχο και της τάσης και συχνότητας του δικτύου.

Το ποσοστό της αιολικής που μπορεί να διεισδύσει σε ένα δίκτυο μπορεί να φθάσει το 40% της εγκατεστημένης ισχύος, εάν η αιολική παραγωγή είναι υψηλή τις στιγμές της μεγάλης ζήτησης, εάν τα χαρακτηριστικά του ανέμου δεν συνεργάζονται με την κατανάλωση. Έχοντας στο σύνολο μεγαλύτερη έκταση δικτύου, μπορεί να αυξηθεί το ποσοστό διείσδυσης αιολικής ενέργειας.

Αρκετά σημεία τα οποία επηρεάζουν το ποσό της αιολικής ενέργειας που μπορεί να ενσωματωθεί έχουν ήδη αναγνωριστεί. Η εξισορρόπηση και η ενσωμάτωση μεγάλων εκτάσεων βοηθούν στην μείωση των διακυμάνσεων και των λαθών στην πρόβλεψη του ανέμου, όπως επίσης βοηθούν και στην χρήση ακόμη αποδοτικότερων (από πλευράς κόστους) μεθόδων της εξισορρόπησης. Η λειτουργία του συστήματος και οι ενεργές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας με λιγότερο από ημέρα μπροστά, βοηθούν ώστε να μειωθούν τα λάθη στην πρόγνωση του ανέμου. Η μετάδοση είναι το σημείο κλειδί για τα οφέλη της άθροισης στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και στην εξισορρόπηση μεγάλων εκτάσεων.

Το κόστος της ενσωμάτωσης της αιολικής ενέργειας θα πρέπει να συγκριθεί με κάτι χειροπιαστό όπως το κόστος της υπάρχουσας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή η χρηματιστηριακή αξία της αιολικής ενέργειας ή το κόστος ενσωμάτωσης άλλης μορφής πηγής ενέργειας.

Υπάρχει επίσης όφελος όταν προστίθεται αιολική ενέργεια στο σύστημα; μειώνονται τα συνολικά λειτουργικά κόστη και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα καθώς αντικαθίστανται τα ορυκτά καύσιμα. Πράγματι τα πλεονεκτήματα ενσωμάτωσης της αιολικής ενέργειας αναμένεται να είναι αρκετά υψηλότερα από τα κόστη. Λαμβάνοντας υπόψη μόνο την εξοικονόμηση καυσίμων είναι σχεδόν ανάλογο με την αιολική παραγωγή και μια τιμή υψηλότερα από το προβλεπόμενο κόστος εξισορρόπησης.

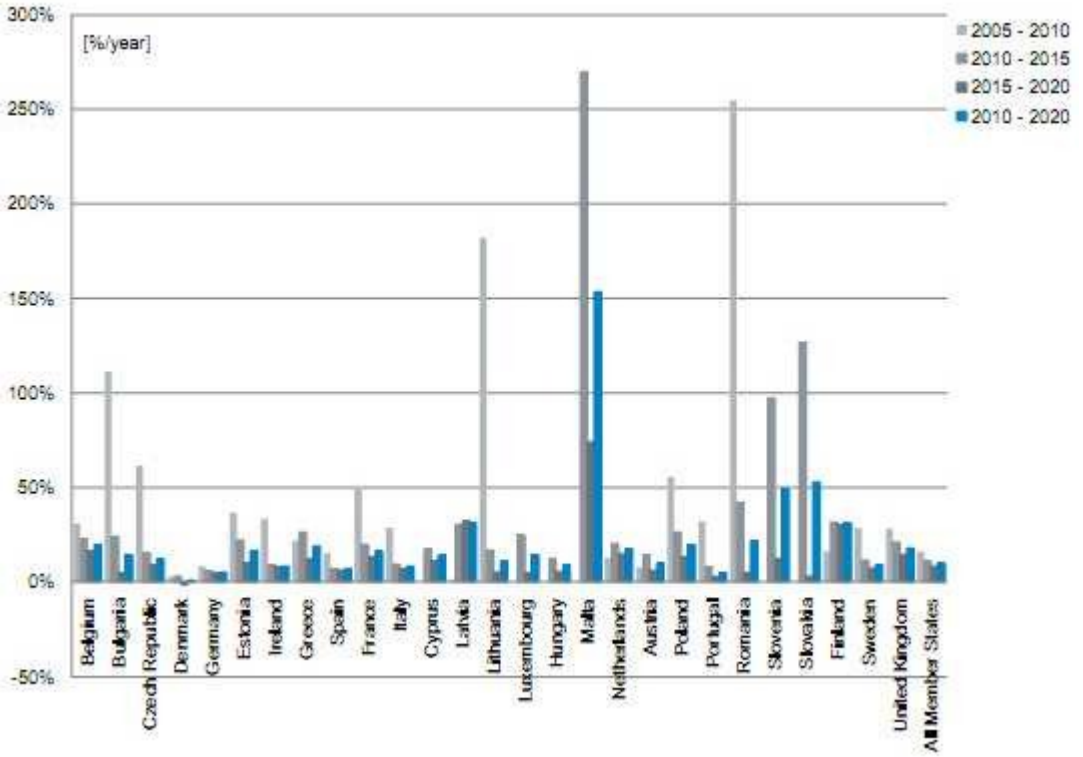
Για υψηλότερα επίπεδα διείσδυσης της αιολικής ενέργειας, θα πρέπει να ερευνηθεί περισσότερο η βελτιστοποίηση του συστήματος με την ενσωμάτωση της αιολικής. Τροποποιήσεις στη διάταξη του συστήματος και

οδηγίες για την λειτουργία ώστε να εξυπηρετηθεί η μεγάλη διείσδυση της αιολικής μπορεί να απαιτηθούν. Για υψηλότερα επίπεδα διείσδυσης της αιολικής ενέργειας, θα υπάρξει ανάγκη για αυξημένη ευελιξία στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μετάδοση σε γειτονικές περιοχές, οργάνωση κατανάλωσης ή αποθήκευση της ενέργειας με κάποια από τα συστήματα αποθήκευσης όπως συστήματα αντλησιοταμίευσης ή θερμικά συστήματα ή μπαταρίες σε ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Η ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας θα πρέπει να εξακριβωθεί σε ένα διεθνές επίπεδο ώστε να αναγνωριστούν οι ανάγκες και τα οφέλη της διασύνδεσης μεταξύ των εθνικών δικτύων παροχής ενέργειας.

Πολλές μελέτες έχουν γίνει και πολλοί υποστηρικτές της βιομηχανίας παραγωγής αιολικής ενέργειας έχουν δηλώσει ότι ένα μεγάλο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί εύκολα να απορροφήσει τις διακυμάνσεις της αιολικής που προέρχονται από μια μικρή περαιτέρω ανάπτυξη της (της αιολικής ενέργειας). Όμως ερωτήματα όπως: α. Μήπως η ανάπτυξη της αιολικής απαιτεί την κατασκευή εγκαταστάσεων εφεδρείας, η οποία μπορεί λόγω κόστους, να επηρεάσει την βιωσιμότητα της επένδυσης, και β. Μήπως η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας τελικά αυξάνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη δημιουργία και λειτουργία των εφεδρικών εγκαταστάσεων όταν δεν υπάρχει άνεμος; [15]. Οι γεννήτριες θα πρέπει να ανταποκρίνονται αμέσως στις διακυμάνσεις της ζήτησης, να διατηρούν σταθερή τάση, να σταθεροποιούν το δίκτυο κτλ. Αυτές οι υπηρεσίες ονομάζονται βοηθητικές και όλες οι μορφές παραγωγής ενέργειας δεν είναι το ίδιο ικανές ώστε να μπορούν να τις παρέχουν. Στην πραγματικότητα μόνο λίγοι τύποι μορφών ενέργειας μπορούν να εξυπηρετήσουν αυτές τις υπηρεσίες. Για παράδειγμα οι λιγνιτικοί σταθμοί ή οι αεροστρόβιλοι μπορούν να λειτουργήσουν σε λιγότερη από την μέγιστη ισχύ τους ώστε να μπορούν γρήγορα – άμεσα να παρέχουν την «γρήγορα αποδιδόμενη» εφεδρεία. Σύμφωνα με το RUTHERFORD APPLETON LABORATORY [18] μια αύξηση στη διείσδυση της αιολικής κατά 10% απαιτεί μεγαλύτερο επίπεδο «γρήγορα αποδιδόμενης» εφεδρείας, με αποτέλεσμα να μειώνει τα οφέλη της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας.

	2005 [MW]	2010 [MW]	2015 [MW]	2020 [MW]	2020 [%]
Belgium	190	733	2049	4320	2
Bulgaria	8	336	984	1256	1
Czech Republic	22	243	493	743	0
Denmark	3129	3584	4180	3960	2
Germany	18415	27676	36647	45750	21
Estonia	31	147	400	650	0
Ireland	494	2088	3151	4649	2
Greece	491	1327	4303	7500	4
Spain	9918	20155	27997	38000	18
France	752	5542	13445	25000	12
Italy	1639	5800	9068	12680	6
Cyprus	0	82	180	300	0
Latvia	26	28	104	416	0
Lithuania	1	179	389	500	0
Luxembourg	35	35	105	131	0
Hungary	n.a.	330	577	750	0
Malta	0	0	7	110	0
Netherlands	1224	2221	5578	11178	5
Austria	694	1011	1951	2578	1
Poland	121	1100	3540	6650	3
Portugal	1063	4256	6125	6875	3
Romania	1	560	3200	4000	2
Slovenia	0	2	60	106	0
Slovakia	5	5	300	350	0
Finland	80	170	670	2500	1
Sweden	536	1873	3210	4547	2
United Kingdom	1565	5430	14210	27880	13
All Member States (total)	40440	84913	142922	213379	**100**

Πίνακας 1. Συνολική υπολογιζόμενη αιολική ενέργεια χερσαίων και υπεράκτιων Α/Γ στην Ευρώπη από το 2005 μέχρι το 2020

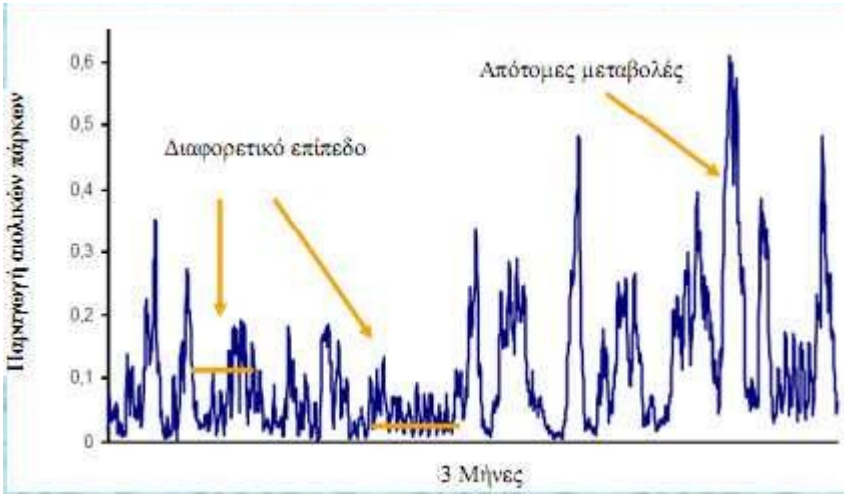


Σχήμα 4. Συνολική υπολογιζόμενη ετήσια ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη για τέσσερις περιόδους

1.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ενώ η αιολική ενέργεια μπορεί να προσφέρει σημαντικές οικονομικές και περιβαλλοντολογικές απολαβές, αυτή η πηγή θέτει πολλές προκλήσεις. Ανάμεσα σ' αυτές είναι το γεγονός ότι ο άνεμος είναι ένα ιδιόρρυθμο «καύσιμο», λόγω της στοχαστικής του φύσης καθώς επίσης και λόγω του ότι δεν μπορεί να αποθηκευτεί. Αυτή η ιδιορρυθμία προκαλεί δυσκολίες στη διαχείριση των συστημάτων ενέργειας, γεγονός που προκαλεί αύξηση των πηγών που απαιτούνται για την δημιουργία μιας ισορροπίας σε πραγματικό επίπεδο μεταξύ της ζήτησης και της παραγωγής.

Συνεπώς, είναι σημαντικό το να μπορεί να προβλεφθεί η ταχύτητα του ανέμου προκειμένου να εκτιμηθεί η μελλοντική παραγωγή. Όμως, επειδή ο άνεμος είναι πολύ μεταβλητός, η πρόβλεψη παραγωγής έχει μεγάλο περιθώριο λάθους. Ο άνεμος απαιτεί πολλές προϋποθέσεις στο ηλεκτρικό σύστημα τόσο σε μακροχρόνιο όσο και σε βραχυχρόνιο επίπεδο.



Σχήμα 5. Διακύμανση παραγωγής αιολικών πάρκων σε περίοδο τριών μηνών.

Μακροχρόνιο επίπεδο

Σε βάθος χρόνου, η πρόκληση προκύπτει από το γεγονός ότι υπάρχουν περίοδοι κατά τις οποίες η μεγάλη ζήτηση συμπίπτει με την παραγωγή χαμηλού επιπέδου αιολικής ενέργειας και το αντίθετο. Για παράδειγμα, για την αιολική παραγωγή της Ισπανικής ηπειρωτικής χώρας, το επίπεδο του μέσου φορτίου για την περίοδο 2005-2007 ήταν περίπου 21%. Κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου, ο συντελεστής φορτίου – η αναλογία μεταξύ της καθαρής ποσότητας ηλεκτρισμού που παράγεται με την καθαρή παραγωγή μεγέθους – είχε σημαντικές διακυμάνσεις, με τιμές που κυμάνθηκαν μεταξύ του 2.5% και του 70%. Συνεπώς οι σταθμοί αιολικής ενέργειας μπορεί να μην είναι διαθέσιμοι τη στιγμή που είναι πραγματικά αναγκαίοι για το ηλεκτρικό σύστημα. Αυτό απαιτεί την εγκατάσταση επιπρόσθετης ενέργειας βασισμένης

σε άλλες τεχνολογίες, που αντικαθιστά την αιολική ενέργεια κατά τη διάρκεια των περιόδων χαμηλής παραγωγής ηλεκτρισμού μέσω του ανέμου.

Βραχυχρόνιο επίπεδο

Σε βραχυχρόνιο επίπεδο, είναι ξεκάθαρη η επίδραση της παραγωγής αιολικής ενέργειας στην ισορροπία μεταξύ της αγοράς και των συστημάτων ηλεκτρισμού. Οι χρονικοί ορίζοντες ενδιαφέροντος περιλαμβάνουν τον εβδομαδιαίο, ημερήσιο και πραγματικό χρόνο.

Λόγω της διαφοράς ζήτησης μεταξύ των εργάσιμων ωρών και των αργιών, κάθε εταιρεία παραγωγής παράγει ένα πρόγραμμα εβδομαδιαίας λειτουργίας που σχεδιάζει τον χρόνο εκκίνησης και τερματισμού για κάθε εγκατάσταση (η επονομαζόμενη «δέσμευση μονάδας»). Οι θερμικοί σταθμοί έχουν υψηλό κόστος που συνδέεται με την εκκίνηση και τον τερματισμό έτσι οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν τις πιο ευέλικτες εγκαταστάσεις, όπως τις συμβατικές υδρο-εγκαταστάσεις και τις εγκαταστάσεις συμπιεσμένης αποθήκευσης. Σ' αυτό το πλαίσιο η παρουσία της ουσιώδους παραγωγής αιολικής ενέργειας έχει σημαντική επίδραση στο εβδομαδιαίο πρόγραμμα της λειτουργίας. Λόγω της στοχαστικής φύσης της ταχύτητας του ανέμου, η αβεβαιότητα για τον εβδομαδιαίο σχεδιασμό ανέρχεται σε ποσοστό +/- 25% του εγκατεστημένου μεγέθους, με επίπεδο εμπιστοσύνης της τάξεως του 70%. Με την αιολική ενέργεια στην Ισπανία να ανέρχεται σε 13.836 MW, το επίπεδο αβεβαιότητας με εβδομαδιαίο χρονικό ορίζοντα είναι +/- 3,460 MW. Προκειμένου να απορροφηθεί αυτή η αβεβαιότητα θα απαιτηθεί ο τερματισμός ή η εκκίνηση περίπου 400 MW.

Μια σημαντική εργασία για τη διόρθωση της ανισορροπίας μπορεί να λάβει χώρα σε οργανωμένες αγορές με λιγότερη από μια μέρα μπροστά (συνήθως τρεις με 24 ώρες). Όμως η εναπομένουσα ανισορροπία θα πρέπει να διαχειριστεί σε πραγματικό χρόνο από άλλες ομάδες συστημάτων, το οποίο απαιτεί αύξηση των υπηρεσιών που δεσμεύονται γι' αυτό το αντικείμενο. Χρησιμοποιώντας το σύστημα ενέργειας της Ισπανική ηπειρωτικής χώρας σαν παράδειγμα, υπάρχουν δύο πρωταρχικοί μηχανισμοί για να επιλυθούν αυτές οι ανισορροπίες:

- Ένα δευτερεύον αποθεματικό σύστημα, στο οποίο οι εγκαταστάσεις προσφέρουν ένα πεδίο διακύμανσης για την αύξηση και τη μείωση της παραγωγής, που ελέγχεται σε πραγματικό χρόνο από το χειριστή του συστήματος δευτερευούσης ενέργειας/ρύθμισης της συχνότητας του κυκλώματος, και
- τριτοβάθμιος αποθεματικός μηχανισμός, που αποτελείται από εκκίνηση/τερματισμό μιας σειράς εγκαταστάσεων. [16]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Από όλα όσα αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο συμπεραίνουμε ότι υπάρχει μεγάλη ανάγκη για να βρεθούν οι κατάλληλοι τρόποι ώστε να γίνει εφικτή η αποτελεσματική και αξιόπιστη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

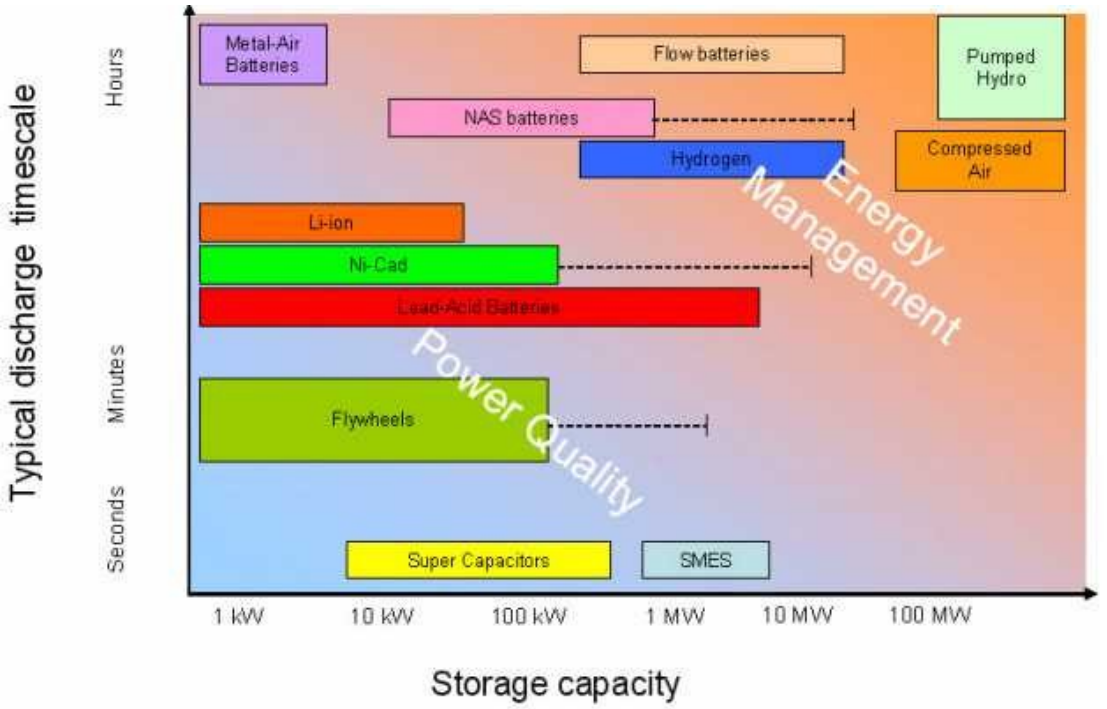
Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τρόποι προκειμένου να επιτευχθεί μεγάλη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της περισσότερο υποσχόμενης τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της αιολικής ενέργειας.

2.2 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πολλές έρευνες και μελέτες έχουν καταλήξει σε σημαντικά συμπεράσματα για την αύξηση της ενσωμάτωσης της αιολικής ενέργειας. Όλα αυτά τα συμπεράσματα δείχνουν την αποθήκευση ενέργειας σαν την πιο ενδεδειγμένη.

Σε αυτό τον στόχο η Ευρωπαϊκή ένωση έχει αναγνωρίσει ότι οι τεχνολογίες αποθήκευσης της ενέργειας είναι ένας τομέας που πρέπει να διερευνηθεί περισσότερο, δεδομένου της χρήσης τους στην ενεργειακή ασφάλεια καθώς επίσης και για τη μείωση των εκπομπών ρύπων διοξειδίου του άνθρακα. Για το λόγο αυτό, πέρα από τον τομέα της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, η Ευρωπαϊκή ένωση έχει ασχοληθεί με την αποθήκευση της ενέργειας και στον τομέα των μεταφορών αφού έως σήμερα η εξάρτηση αυτού του τομέα από τα υγρά καύσιμα είναι μεγάλη [19]

Στον τομέα της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να βοηθήσει εφαρμογές ποιότητας της ισχύος, ή άλλες εφαρμογές διαχείρισης ενέργειας ή και τα δύο όπως δείχνει το σχήμα 6.



Σχήμα 6. Χωρητικότητα συναρτήσει του χρόνου αποφόρτησης

Το πιο πάνω διάγραμμα δείχνει την καταλληλότητα διαφόρων διατάξεων αποθήκευσης, ανάλογα με το χρονικό ορίζοντα και τη ισχύ τους. Φαίνεται ότι οι πυκνωτές έχουν χαμηλή πυκνότητα ενέργειας και η διάρκεια αποφόρτισης τους είναι κάποια λεπτά. Ενώ η αντλισιοτεμίευση έχει υψηλή χωρητικότητα και διαρκεί μεγάλο χρονικό διάστημα. Ενδιάμεσα από αυτές τις δύο «ακραίες» εφαρμογές υπάρχουν οι υπόλοιπες, μπαταρίες, σφόνδυλοι, υδρογόνο, συμπιεσμένος αέρας, που ανάλογα με την χρήση της αποθήκευσης χρησιμοποιούνται. Στον πιο κάτω πίνακα φαίνεται μια σύνοψη των εφαρμογών και των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων τους στην αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. [19]

Αποθηκευτική Διάταξη	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Εφαρμογές Ισχύος	Εφαρμογες Ενέργειας	Συνήθης εφαρμογή
Μπαταρίες ροής (flow): PSB, VRBr, ZnBr	Υψηλή χωρητικότητα, ανεξάρτητη εκτίμηση ισχύος - ενέργειας	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας	/	|	Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών
Μολύβδου – οξέος	Χαμηλό αρχικό κόστος	Περιορισμένος κύκλος ζωής σε βαθιά εκφόρτιση	|	–	Εξομάλυνση αιχμών
Ni – Cd	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, απόδοση		|	/	Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών-λεπτών
Li – ion	Υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, υψηλή απόδοση	Υψηλό κόστος παραγωγής, απαιτεί ειδικό κύκλωμα φόρτισης	|	–	Κινητή τηλεφωνία, υποσταθμοί ενέργειας
NaS	Υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, υψηλή απόδοση	Κόστος παραγωγής, μέτρα ασφαλείας (λόγω σχεδιασμού)	|	|	Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών-λεπτών
Σφόνδυλοι (flywheels)	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας	|	–	Εξομάλυνση ισχύος για λίγα λεπτά
SMES (Υπεραγώγιμη Μαγνητική Αποθήκευση),	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας, υψηλό κόστος παραγωγής	|		Εφαρμογές ποιότητας ισχύος, διανομή
E.C Capacitors[22]	Μεγάλος κύκλος ζωής, υψηλή απόδοση	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας	|	/	Εφαρμογές ποιότητας ισχύος, διανομή
Αντλησιοταμίευση (pumped storage)	Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία		|	Εξομάλυνση ζήτησης σε μεγάλο χρονικό διάστημα
Ενεργειακή Αποθήκευση Συμπιεσμένου αέρα CAES	Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία για τις χρησιμοποιούμενες κοιλότητες		|	Εξομάλυνση ζήτησης σε μεγάλο χρονικό διάστημα

| : πλήρως κατάλληλο και λογικό
/ : λογικό για αυτή την εφαρμογή
_: εφικτό αλλά όχι αρκετά πρακτικό ή οικονομικό
κανένα σύμβολο: μη εφικτό ή μη οικονομικό

Τα διάφορα δεδομένα των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας διαφέρουν κατά πολύ. Μέσα στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, την δομή των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και τον τρόπο που λειτουργούν και ρυθμίζονται, αποτελούν στοιχεία κλειδιά για την αξία και τα οικονομικά οφέλη της κάθε μιας ξεχωριστά τεχνολογίας αποθήκευσης ενέργειας.

Για κάποιες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας υπάρχουν περιορισμοί και όρια τα οποία αφορούν περιβαλλοντικά θέματα (όπως η χρήση μπαταριών με κάδμιο ή νικέλιο) αλλά σε γενικές γραμμές η εξέλιξη τους υπαγορεύεται από οδηγίες περί των περιβαλλοντικών θεμάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

2.3 ΠΙΘΑΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η παρακάτω παράγραφος χωρίζει τις τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας όπως φαίνονται στο διάγραμμα στους εξής κύριους τομείς.

2.3.1 Μπαταρίες

2.3.2 Μηχανικά συστήματα (σφόνδυλοι)

2.3.3 Ηλεκτρομαγνητικά συστήματα (πυκνωτές)

2.3.4 Συστήματα συμπιεσμένου αέρα

2.3.5 Τεχνολογίες χρήσης υδρογόνου

2.3.6 Αντλησιοταμίευση – υποστήριξη από υπάρχοντες ΗΥΣ

Λίγο πιο αναλυτικά:

2.3.1 Μπαταρίες

Οι μπαταρίες είναι οι πιο διαδεδομένες παγκοσμίως. Για το ένα τρίτο του πληθυσμού της γης που δεν είναι ακόμη συνδεδεμένο με το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας η μπαταρία παραμένει ο βασικός φορέας ενεργειακής αποθήκευσης. Ο περιορισμένος κύκλος ζωής των μπαταριών (ειδικά σε συνθήκες βαθιάς εκφόρτισης), εξισορροπείται με το χαμηλό κόστος τους, αν και καταβάλλονται σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες για την κατανόηση των μηχανισμών γήρανσης τους και την πρόταση τεχνικών αντιμετώπισης της. Τα συστήματα μολύβδου – οξέος βελτιώνονται σταδιακά και με διάφορους τρόπους. Μια από τις βελτιώσεις αυτές είναι η χρήση ηλεκτρολυτών gel, αντί για υγρό, είχε ως αποτέλεσμα να μπορούν οι μπαταρίες να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε θέση χωρίς να χρειαστεί να ανεφοδιαστούν και να είναι ανθεκτικές σε κραδασμούς. Στις ρυθμιζόμενες από βαλβίδα μπαταρίες μολύβδου – οξέος (VRLA) η διαφυγή αερίου ρυθμίζεται από ευαίσθητες βαλβίδες πίεσης. Η απόδοση και ο χρόνος ζωής βελτιώνονται από τις καινοτομικές τεχνικές φόρτισης, όπως οι παλμικές μέθοδοι φόρτισης. [17]

Οι μπαταρίες νικελίου – καδμίου παρόλο που είναι ακριβότερες από τις μολύβδου – οξέος, έχουν διπλάσιο χρόνο ζωής και επειδή δεν απαιτείται παρακολούθηση κατά την λειτουργία τους μπορούν να τοποθετηθούν σε απομακρυσμένες περιοχές με δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες και στην κυριολεξία να ξεχαστούν. Στα μειονεκτήματα τους εκτός από το κόστος ανήκουν και η μεγάλη διάρκεια ζωής των τοξικών αποβλήτων (ύστερα από την χρήση της μπαταρίας) καθώς και η πεπερασμένη ποσότητα καδμίου στον πλανήτη. Η πιο χαρακτηριστική εγκατάσταση αυτού του είδους των μπαταριών είναι η Αλάσκα για μια τοπική εταιρία και η οποία περιλαμβάνει 13.760 μπαταρίες νικελίου – καδμίου (Ni – Cd) και μπορεί να παρέχει 27 MW για 15 λεπτά και 46 MW για 4 μόλις λεπτά. [20]

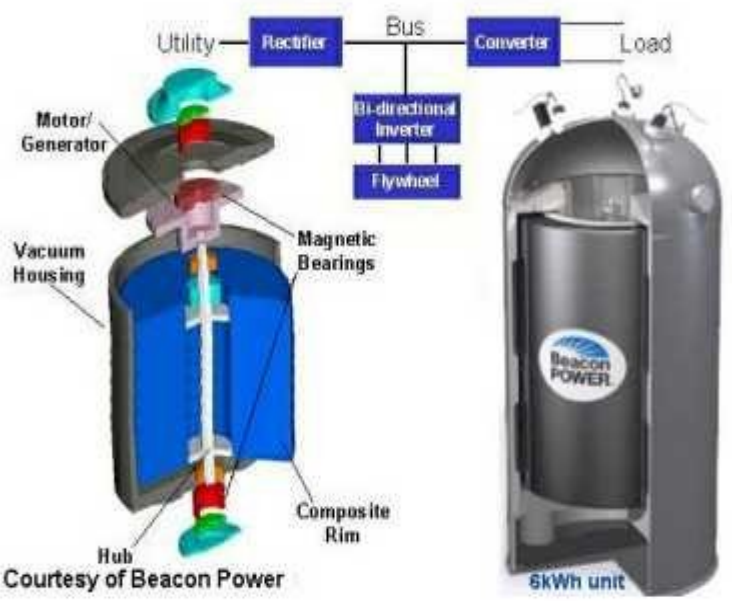
Ως εναλλακτική πρόταση για αυτές τις μπαταρίες είναι οι μπαταρίες Ni – MH (Nickel – metal hybride) οι οποίες έχουν λιγότερο τοξική συμπεριφορά, μεγάλη πυκνότητα ενέργειας και μεγάλο χρόνο ζωής. [21]

Οι μπαταρίες λιθίου – ιόντος έχουν μεγάλη πυκνότητα ενέργειας (300-400 kwh/m^3 λιθίου) υψηλότατη απόδοση μετατροπής και μεγάλο κύκλο ζωής (περίπου 3.000 κύκλοι για βάθος εκφόρτισης περίπου 80%). Επειδή το λίθιο είναι το ελαφρύτερο στερεό στοιχείο, οι μπαταρίες που βασίζονται σε αυτό μπορεί να είναι κατά πολύ ελαφρύτερες από τις συνηθισμένες. Για αυτό το λόγο και λόγω της μεγάλης απόδοσης τους βρίσκουν πολλές εφαρμογές στα κινητά τηλέφωνα και στους φορητούς υπολογιστές. Πρόσφατα έχει αρχίσει η χρήση αυτών των μπαταριών και σε εφαρμογές συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας με μια πρώτη εγκατάσταση στη χώρα μας στην πειραματική εγκατάσταση συμπαραγωγής του Ε.Μ.Π. και της Ε.Π.Α. Αττικής. [22]

2.3.2 Μηχανικά συστήματα (σφόνδυλοι)

Οι στρεφόμενες μάζες ή σφόνδυλοι flywheels αναμένεται να έχουν εφαρμογές ισχύος και ενέργειας για μικρά χρονικά διαστήματα και κυρίως για την παροχή εφεδρείας και όχι τόσο για την παροχή ενέργειας. Η ενέργεια που αποθηκεύεται από την περιστροφή μάζας με υψηλή ταχύτητα μπορεί να μετατραπεί ξανά σε ηλεκτρική με τη σύνδεση της μάζας με μια γεννήτρια. Το ποσό ενέργειας μου μπορεί να αποθηκευτεί σε στρεφόμενη μάζα είναι ανάλογο της μάζας του στροφέα και του τετραγώνου της ταχύτητας του στροφέα. Τα τελευταία χρόνια στο σχεδιασμό των στρεφόμενων μαζών η έμφαση έχει μετατοπιστεί από τον σχεδιασμό της γεωμετρίας της μάζας στην προσπάθεια να επιτευχθούν υψηλές περιστροφικές ταχύτητες. Ταχύτητες μέχρι 40.000 rpm έχουν ήδη επιτευχθεί, ενώ μέχρι 60.000 rpm προβλέπεται για τις επόμενες γενεές.

Ο χρόνος εκφόρτισης αυτών των διατάξεων κυμαίνεται από λίγα sec μέχρι και 15-30 λεπτά, βοηθώντας περισσότερο από τις μπαταρίες σε εφαρμογές ισχύος παρά ενέργειας. Αντίθετα από τις μπαταρίες οι σφόνδυλοι δεν είναι ευαίσθητοι στην θερμοκρασία και η απόδοση τους μπορεί να φτάσει έως το 80-90 % χωρίς ιδιαίτερη πτώση της απόδοσης τους με τον χρόνο ζωής τους να φτάνει τα 15-20 χρόνια με μικρή συντήρηση και εγκατάσταση.



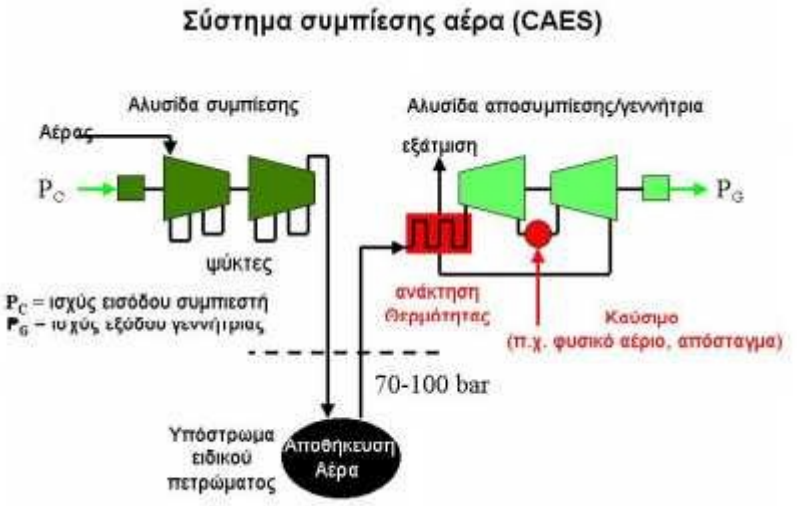
2.3.3 Ηλεκτρομαγνητικά συστήματα (πυκνωτές)

Οι μονάδες υπερ-πυκνωτών έχουν χωρητικότητα ισχύος και ενέργειας χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από αυτή των συμβατικών πυκνωτών και είναι ικανοί να παρέχουν ισχύ της τάξης των 100 kw, ενώ η ενέργεια τους είναι δυνατόν να διοχετευτεί σε κλάσματα δευτερολέπτου ως και μέσα σε ένα λεπτό. Οι κυριότερες εφαρμογές τους αφορούν υποστήριξη τάσης, βελτίωση του συντελεστή ισχύος και υποστήριξη ενεργού και άεργου ισχύος. [23]

2.3.4 Συστήματα συμπιεσμένου αέρα (CAES)

Η βασική ιδέα αυτής της μεθόδου είναι ότι ο αέρας μπορεί να συμπιεστεί στα 800 έως 1600 psi σε ειδικές γεωλογικές δομές και να αποσυμπιεστεί, ώστε κινώντας αεροστρόβιλο, να παράγει ηλεκτρισμό.Συμπίεση του αέρα μπορεί να γίνει π.χ. κατά την διάρκεια κοιλάδων του φορτίου και αποσυμπίεση κατά την διάρκεια των αιχμών του φορτίου.

Πρόσφατη είναι και η προσπάθεια μείωσης της απαιτούμενης ισχύος και της πιο ευέλικτης εφαρμογής τέτοιων διατάξεων με τη μορφή transportable-CAES ή micro-CAES [31] για την εκμετάλλευση της αιολικής παραγωγής, ενώ νέες εγκαταστάσεις αυτής της μορφής εγκαθίστανται στις Η.Π.Α.



2.3.5 Τεχνολογίες χρήσης υδρογόνου

Μία αναπτυσσόμενη τεχνολογία στον τομέα της ενέργειας είναι η χρήση του υδρογόνου σε κυψέλες καυσίμου (fuel cell) είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είτε για μεταφορές. Το υδρογόνο έχει πάρα πολύ μεγάλη θερμογόνο δύναμη, ενώ σημαντική έρευνα έχει πραγματοποιηθεί για την ασφαλή αποθήκευση του σε μεταλλικά δοχεία ή ράβδους διαφόρων σχημάτων με την χρήση νερού ή αέρα για την ψύξη του και υπάρχουν ήδη διαθέσιμα σχετικά εμπορικά προϊόντα. [25]

Η παραγωγή του υδρογόνου γίνεται με διάφορες φυσικοχημικές μεθόδους από τους υδρογονάνθρακες, αλλά μπορεί να παραχθεί και με την βοήθεια ηλεκτρικής ενέργειας με την ηλεκτρόλυση του νερού. Αν υπάρχει περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας, π.χ. αυξημένη παραγωγή από Α.Π.Ε. τότε μπορεί να αξιοποιηθεί στην παραγωγή υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης και η παραγόμενη ποσότητα να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια και ως καύσιμο στον τομέα των μεταφορών.

Υπάρχουν εργασίες που παρουσιάζουν μεθοδολογίες για την βελτίωση λειτουργίας ενός αιολικού πάρκου και ηλεκτρόλυσης είτε για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε για παραγωγή υδρογόνου, είτε και για τις δύο εφαρμογές, είτε σε αυτόνομη, είτε σε διασυνδεδεμένη με το δίκτυο λειτουργία. Επίσης υπάρχουν ήδη εργασίες για τον προγραμματισμό λειτουργίας μιας μονάδας παραγωγής υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης συνεργαζόμενης με αιολική παραγωγή και δυνατότητα συμμετοχής στην αγορά ηλεκτρισμού. [26]

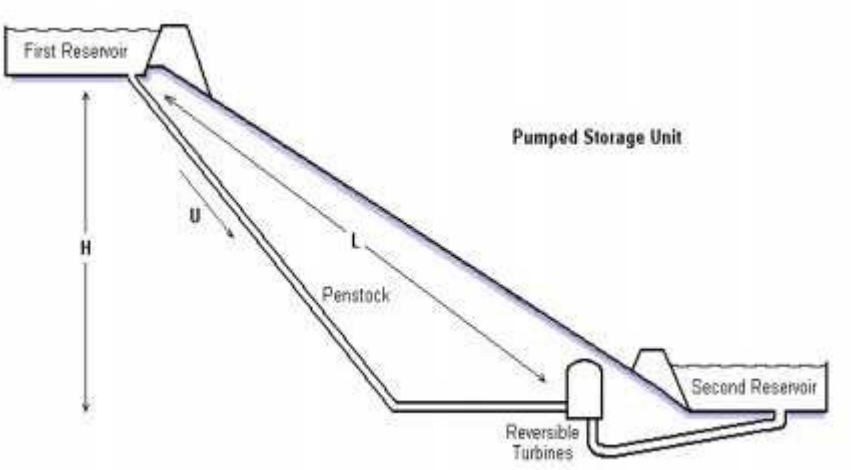
2.3.6 Αντλησιοταμίευση – υποστήριξη από υπάρχοντες ΗΥΣ

Η πιο διαδεδομένη ιδέα για την μαζική αποθήκευση ενέργειας είναι η χρήση μονάδων αντλισιοταμίευσης. Η γενική ιδέα της αντλισιοταμίευσης είναι η εξής: σε μια δεξαμενή βρίσκεται αποθηκευμένη μια ποσότητα νερού. Όταν ζητηθεί ισχύς, το νερό μπορεί να πέσει σε μια χαμηλότερα τοποθετημένη (δεύτερη) δεξαμενή με τη βοήθεια υδροστροβίλου, ενώ όταν δεν υπάρχει πια ζήτηση ισχύος μπορεί με αντλίες να οδηγηθεί ξανά πίσω στην πρώτη (ψηλότερη) δεξαμενή.

Ένα σύστημα αντλισιοταμίευσης αποτελείται από τα εξής μέρη: μια ανώτερη δεξαμενή (first reservoir), αγωγοί νερού (penstock), αντλία, υδροστρόβιλος, ή σε συνδυασμό στρόβιλοι αντιστρέψιμης φοράς reversible turbines και μια κατώτερη δεύτερη δεξαμενή (second reservoir) η οποία μπορεί να είναι ακόμη και η θάλασσα.

Παρόλο όμως που η αντλησιοταμίευση μπορεί να δώσει υψηλή χωρητικότητα ενέργειας σε χαμηλό κόστος δεν χρησιμοποιείται όσο θα ήταν αναμενόμενο. Ο λόγος είναι αφενός η εξειδικευμένη περιοχή που χρειάζεται για να κατασκευαστεί η εγκατάσταση και αφετέρου ο χρόνος που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία και να απελευθερωθεί η αποθηκευμένη ενέργεια, αφού αν η αντλία δεν λειτουργεί ήδη χρειάζεται χρόνος ένταξης. Για αυτό ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις ενέργειας μεγάλης

κλίμακας. Παγκοσμίως είναι διαθέσιμα πάνω από 90GW ισχύος από αντλησιοταμίευση και σε μερικές περιπτώσεις σε συνδυασμό με φράγματα [27].



Γενικά οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας θα συνεισφέρουν στην Ευρωπαϊκή ενεργειακή ασφάλεια εάν μπορέσουν να καταστήσουν δυνατή την διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας – η εγκατάσταση των οποίων αυξάνεται όπως αναλύθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο- κυρίως των μη αδιάλειπτων πηγών – στη ευρωπαϊκή αγορά ενέργειας. Ο τρόπος με τον οποίο η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να βοηθήσει στην ενεργειακή ασφάλεια, εξαρτάται από τη φύση των ανανεώσιμων πηγών και την ανάπτυξη τους (μεγάλης ή μικρής κλίμακας) και στην αγορά ενέργειας στην οποία αναπτύχθηκαν.

Η μεγάλη εξάπλωση των «διακοπτόμενων» ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οδηγεί σε μια απαίτηση για εφεδρικές πηγές ισχύος για τις οποίες η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να αποτελέσει μια λύση. Η ανάπτυξη ενός εύρους τεχνολογιών, με καλή απόδοση κόστους- απόδοσης, ευέλικτων συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας είναι πολύ πιθανό να επιτρέψει την υλοποίηση των στόχων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με ένα συνολικά μειωμένο κόστος και με αυξημένη ευελιξία δικτύου. Παρόλα αυτά, σε κλίμακα δικτύου, η αποθήκευση ενέργειας δεν είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη των στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Οι τρόποι με τους οποίους λειτουργεί η Ευρωπαϊκή αγορά ενέργειας, το πώς ρυθμίζεται καθώς και η φύση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντικά στοιχεία από τα οποία θα καθορισθεί το είδος της αποταμίευσης ενέργειας που θα βοηθήσει αποδοτικά στην ενεργειακή ασφάλεια και στη μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων διοξειδίου του άνθρακα. Σήμερα η Ευρωπαϊκή αγορά ενέργειας παραμένει διασπασμένη. Οι ασυνεπείς λειτουργικές και ρυθμιστικές προσεγγίσεις και οι διαφορετικές αγορές έχουν ποικίλες επιπτώσεις στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Συγκεκριμένα υπάρχει μικρό κίνητρο για ενεργειακή αποθήκευση, ώστε να εισαχθεί σε διάφορες Ευρωπαϊκές αγορές ενέργειας στις οποίες δεν υπάρχει απελευθέρωση του τομέα ενέργειας καθώς και διαφάνεια στις διαδικασίες.

Στις 10 Ιανουαρίου 2007 η Ευρωπαϊκή ένωση εξέδωσε μια οδηγία για την στρατηγική της ενεργειακής πολιτικής λαμβάνοντας υπόψη διάφορα δεδομένα μετρήσεων και σχέδια ώστε να επιτευχθεί η ενεργειακή ασφάλεια και επάρκεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στην πορεία για μια ασφαλή, αποδοτική και αειφόρο μορφή των ενεργειακών πηγών και χρήσης της ενέργειας, η Ευρωπαϊκή Ένωση δήλωσε ότι η αποθήκευση ενέργειας είναι μια μεγάλη «σπαζοκεφαλιά» και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στα μελλοντικά συστήματα παραγωγής ενέργειας.

Ως μια από τις Ευρωπαϊκές Βιομηχανικές αρχές πρότεινε την δημιουργία μιας αρχής για το Ευρωπαϊκό Ηλεκτρικό Δίκτυο, το οποίο θα επικεντρωθεί στην ανάπτυξη του «έξυπνου» ηλεκτρικού συστήματος, το οποίο θα περιλαμβάνει συστήματα αποθήκευσης και τη δημιουργία Ευρωπαϊκού Κέντρου για την εφαρμογή ενός ερευνητικού προγράμματος για την ανάπτυξη του Ευρωπαϊκού Δικτύου Μεταφοράς.

Επιπρόσθετα, σαν κομμάτι του οράματος της Ε.Ε το έτος 2050 να έχει σταματήσει η χρήση καυσίμων που περιέχουν άνθρακα, ένα από τα 7 σημεία κλειδιά για τα επόμενα 10 χρόνια έχει αναγνωρισθεί ως «επίτευξη καινοτομίας στον τομέα της απόδοσης των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας »

Το να βρεθούν λύσεις στις προκλήσεις των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, έχει αναγνωρισθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση ως σημαντικό συστατικό προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης σύμφωνα με τις οδηγίες της στον τομέα της ενέργειας.

Ο λόγος για τον πρωταγωνιστικό ρόλο της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι διότι είναι ουσιαστικά συνδεδεμένη με τη φύση των περισσότερων μορφών παραγωγής ενέργειας με μηδενικές εκπομπές ρύπων και διαφέρουν από τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα που κυριαρχούν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι παραδοσιακές μορφές παραγωγής ενέργειας αποθηκεύουν την ενέργεια στο σημείο παραγωγής με τη μορφή αποθήκης (πχ άνθρακας, δεξαμενές με υγρά καύσιμα, πυρηνικά καύσιμα ή νερό πίσω από φράγμα). Το δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος που υπάρχει σε όλες τις ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες, απαιτεί η παραγωγή της ενέργειας να ακολουθεί πάντα την κατανάλωση σε κλίμακα χρόνου δευτερολέπτου. Ο κρίσιμος ρόλος του ηλεκτρικού δικτύου και οι χειριστές του συστήματος μεταφοράς είναι να έχουν εφεδρείες ώστε να εξασφαλίσουν αυτή την ανωτέρω απαίτηση. Οι συνέπειες της αποτυχίας στα δίκτυα, ώστε να διασφαλίσουν την παραπάνω απαίτηση, μπορεί να είναι καταστροφικά με την μορφή ενός μπλάκ άουτ, χάσιμο βιομηχανικής παραγωγής αλλά και πιθανή απώλεια ζωής.

Έως τώρα η παραδοσιακή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας βασίζονταν σε καύσιμα τα οποία πωλούνταν και γενικά εμπορεύονταν ως βασικό προϊόν/αγαθό τα οποία χρησιμοποιούνταν για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια ώστε να καλύψει την κατανάλωση. Η αποθήκευση είχε πάντοτε σημαντικό ρόλο στα παραδοσιακά συστήματα παραγωγής ενέργειας. Το κάρβουνο, τα υγρά καύσιμα ή τα αέρια καύσιμα εμπορεύονταν με τρόπους όπως άλλα υλικά όπως τα διάφορα μέταλλα, ο καφές κτλ. Η φύση των συστημάτων παραγωγής ενέργειας εναλλασσόμενου ρεύματος μέχρι πρόσφατα είχε ως αποτέλεσμα να εμπορεύονται ως ειδικές περιπτώσεις. Η τάση προς την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας έχει οδηγήσει τις κυβερνήσεις να επανεξετάσουν αυτό το ειδικό καθεστώς στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και τώρα πλέον εμπορεύεται ως βασικό προϊόν/αγαθό όπως όλα τα άλλα το οποίο είναι κρίσιμο για την οικονομία κάθε χώρας.

Οι δύο περισσότερο επικρατούσες μορφές παραγωγής ενέργειας με ελάχιστες ή μηδενικές εκπομπές βασίζονται γύρω στις ανανεώσιμες πηγές και στην πυρηνική ενέργεια. Οι ανανεώσιμες πηγές (κυρίως η αιολική και η ηλιακή- φωτοβολταϊκά ως κύρια παραδείγματα) είναι όπως παρουσιάστηκε

και στο προηγούμενο κεφάλαιο κατά μεγάλο ποσοστό κυμαινόμενες, ενώ η παραγωγή ενέργειας από πυρηνικούς σταθμούς γενικά σχεδιάζεται να λειτουργεί με σταθερή παραγωγή ισχύος.

Ένα μελλοντικό σύστημα παραγωγής ενέργειας το οποίο να αποτελείται μόνο από μια πηγή παραγωγής ενέργειας ή σε μεγάλο ποσοστό από μια πηγή, είναι κατανοητό ότι δύσκολα μπορεί να καλύψει την θεμελιώδη απαίτηση που υπάρχει στα σύγχρονα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος.

Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να προσφέρει τη δυνατότητα να αποθηκευτεί ηλεκτρική ενέργεια η οποία έχει δημιουργηθεί από ανανεώσιμες πηγές με ελάχιστες ή μηδενικές εκπομπές διοξειδίου άνθρακα, με συνέπεια να μπορεί να εξασφαλισθεί η απαίτηση σύγχρονων συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Με αυτό τον τρόπο η αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να εμπορευθεί όπως άλλα βασικά προϊόντα/ αγαθά όπως το κάρβουνο και το υγρά ή αέρια καύσιμα.

Πριν την ευρεία ανάπτυξη και χρήση των τεχνολογιών με ελάχιστες ή μηδενικές εκπομπές ρύπων διοξειδίου του άνθρακα – οι οποίες συνήθως είναι και λιγότερο «ευέλικτες», η αποταμίευση ηλεκτρικής ενέργειας με τη μορφή της αντλησιοταμίευσης και των σταθμών πεπιεσμένου αέρα αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την οργάνωση της παραγωγής στους διαχειριστές του συστήματος σε συνεργασία με τις παραδοσιακές (με χρήση ορυκτών καυσίμων) μονάδες για ισχύ κατά τις ώρες αιχμής και για εφεδρεία. Οι παραπάνω τεχνολογίες και οι υπηρεσίες στο σύστημα επιτρέπουν στους διαχειριστές του δικτύου να οργανώσουν το σύστημα μέσα στην απαιτούμενη τάση και όρια συχνότητας ώστε συνεχώς να τηρείται το ζητούμενο ώστε η παραγωγή να ακολουθεί την κατανάλωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΜΕ ΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΔΡΕΙΑ ΠΟΥ ΠΑΡΕΧΟΥΝ ΟΙ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

3.1 Η ΛΥΣΗ ΣΤΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΤΙ ΡΟΛΟ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΑΙΞΕΙ ΤΟ ΝΕΡΟ

Όλα τα μειονεκτήματα που υπογραμμίστηκαν για την αιολική ενέργεια δεν υφίστανται για την ενέργεια που παράγεται από το νερό. Η ενέργεια που παράγεται από το νερό είναι η πιο ελκυστική πηγή ενέργειας, όχι μόνο από οικονομικής απόψεως (είναι η οικονομικότερη ενέργεια), ή από οικολογικής άποψης, αλλά από την άποψη της διαθεσιμότητας. Συνεπώς, αν συνδυαστεί ο άνεμος με την ενέργεια που παράγεται από το νερό, τα μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας θα μπορούσαν να μετατραπούν σε οφέλη.

Ένα σύστημα αιολικής ενέργειας-ενέργειας που παράγεται από το νερό είναι δυνατόν να μεταχειριστεί με τρεις τρόπους με βάση το μέγεθος του που ποικίλλει, μεταξύ: μικρού μεγέθους (τοπικά), μετρίου μεγέθους και μεγάλου μεγέθους. Οι διαφορές μεταξύ αυτών των τύπων των συστημάτων θα αναλυθούν παρακάτω.

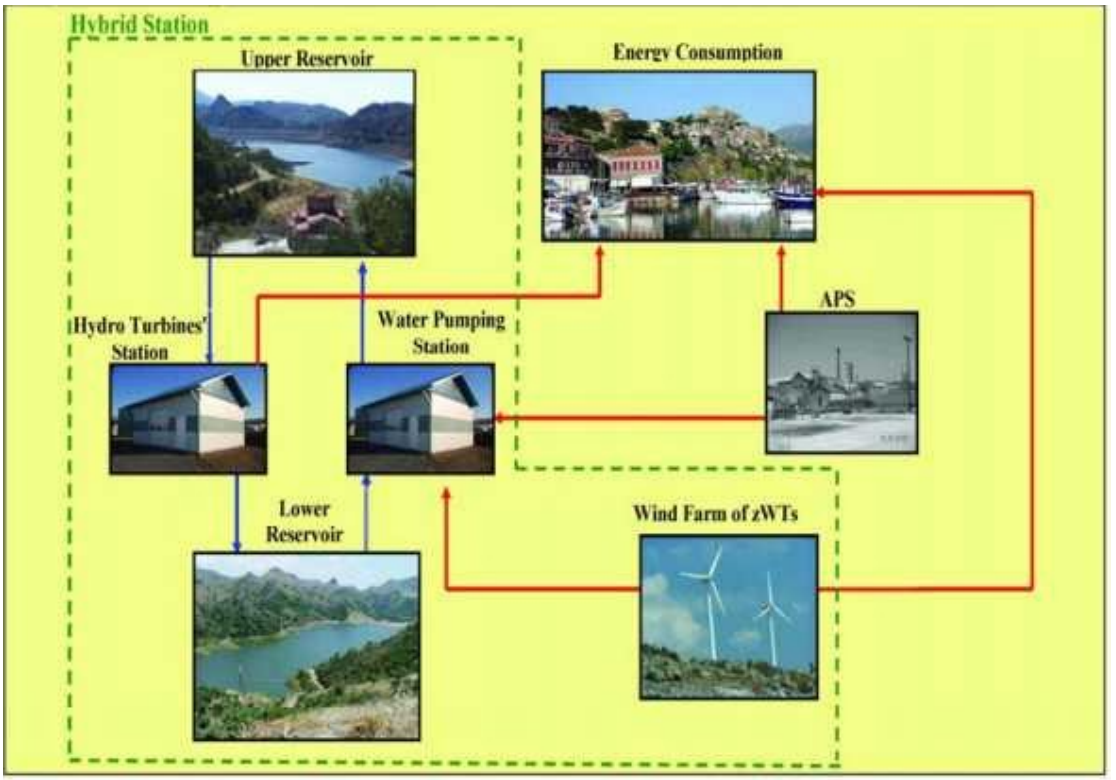
Το όφελος από τη συνεργασία μεταξύ της αιολικής ενέργειας και της ενέργειας που προέρχεται από το νερό έχει γίνει αντικείμενο εκμετάλλευσης σε διάφορα επίπεδα διαστάσεων τοποθεσιών. Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι εφαρμογές υβριδικών συστημάτων είναι συγκεκριμένης τοποθεσίας και εξαρτώνται άμεσα από τις διαθέσιμες πηγές και τη ζήτηση φορτίου στην περιοχή.

Αναφορικά με τα υβριδικά συστήματα μικρής κλίμακας, όταν μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας δεν είναι υποχρεωτικό να χρησιμοποιείται ακριβός εξοπλισμός και μεγάλα κεφάλαια προκειμένου να παραχθεί ενέργεια. Σε κάποιες περιπτώσεις, τα συστήματα υβριδικής ενέργειας που συχνά χρησιμοποιούνται σε υβριδικές διατάξεις περιλαμβάνουν μικρές ανεμικές τουρμπίνες, φωτοβολταϊκά συστήματα, μικρό-υδάτινα, γεννήτριες ντήζελ, κ.λ.π. Για την αποθήκευση της ενέργειας συχνά χρησιμοποιούνται μπαταρίες, όμως υπάρχουν κι άλλες επιλογές που εξετάζονται όπως οι σφόνδυλοι ή τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας που παράγεται από το νερό. Ο σκοπός αυτών των συστημάτων μικρού μεγέθους είναι η προσφορά ενέργειας για νοικοκυριά, επί παραδείγματι, όπου σ' αυτήν την περίπτωση η κατανάλωση ενέργειας που καταγράφεται για μια οικογένεια είναι σχετικά μικρή (η χρήση αφορά μόνο το μαγείρεμα, τη θέρμανση του χώρου και τη χρήση θερμοσίφωνα). Ο άριστος σχηματισμός υβριδικού συστήματος εξαρτάται από την ιδιαίτερη ομάδα τεχνικών και οικονομικών συνθηκών που επιβάλλονται από την επιλεγμένη τοποθεσία.

Ένα παράδειγμα ενός μικρού μεγέθους υβριδικού συστήματος παρουσιάζεται στα βιβλία του Ding και Buckeridge, 2000 [28], Tariq Iqbal, 2002 [29] και σχεδιάζεται για την παροχή ενέργειας για το φωτισμό των δρόμων το βράδυ.

Εξετάζοντας ένα υβριδικό σύστημα μεσαίου μεγέθους, ένα κλασσικό παράδειγμα είναι η εφαρμογή ενός συστήματος σε κάποιο νησί. Τα χαρακτηριστικά του νησιού προσφέρουν διάφορα πλεονεκτήματα σε εργαστηριακό επίπεδο για τη μελέτη των διαφόρων ειδών συστημάτων. Οι μικρής κλίμακας τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας των νησιών αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής παραγωγής ενέργειας. Τα νησιά αντιπροσωπεύουν ένα απομονωμένο, ανεξάρτητο, κλειστό σύστημα που υποφέρει από την έλλειψη νερού, με υψηλή, παρόλα αυτά, αιολική δυνατότητα, που πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Η ηλιακή, ανεμική ενέργεια, η ενέργεια που παράγεται από το νερό και τον ωκεανό είναι άφθονες πηγές ενέργειας σε όλα τα νησιά. Σ' αυτήν την περίπτωση, η ενσωμάτωση των τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας είναι μια οικονομικά εφικτή λύση, ανεξαρτήτως των υψηλών τιμών ενέργειας που επιβάλλονται. (Παπαθανασίου 2003 [30], Πρωτόπαππας και Παπαθανασίου 2004 [31]).

Αλλά και στα συστήματα μεγάλου μεγέθους αιολικής ενέργειας – ενέργειας που παράγεται από το νερό υπάρχει εφαρμογή. Η καινοτομία που εισάγεται απ' αυτόν τον τύπο των συστημάτων είναι ότι συνδυάζει την πιο ελκυστική μορφή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την πιο ιδιόρρυθμη, το αποτέλεσμα δεν είναι ένα σύστημα με μέτριες δυνατότητες. Το αποτέλεσμα είναι ένα έγκυρο σύστημα πράσινης ενέργειας. Η εκτίμηση είναι ότι ο αριθμός αυτών των συστημάτων θα αυξηθεί δραματικά και σημαντικά, εξελισσόμενο σ' έναν γενικό τύπο συστήματος. Επιπλέον, με την επανάντληση του νερού στον ανώτερο αποθηκευτικό χώρο, κατά τη διάρκεια της ημέρας που υπάρχει διαθεσιμότητα είναι οδηγεί στην βελτίωση της ενεργητικότητας. Με άλλα λόγια, με την επανάντληση του νερού στο ανώτερο επίπεδο του χώρου αποθήκευσης με τη βοήθεια της αιολικής ενέργειας, τιθασεύεται το «ιδιόρρυθμο» της φύσης της ενέργειας, με την εξομάλυνση της, και καθίσταται διαθέσιμη σε περιόδους ανάγκης. Συνεπώς, το σύνολο της ενέργειας που παράγεται από το νερό και της αιολικής ενέργειας είναι εξαιρετικά ελκυστικό σε περιοχές που έχουν καθοδική υδρο-ενεργετική διάταξη ενώ είναι ήδη προετοιμασμένες. Και προϋποθέτει σαν επενδυτική εργασία μόνο την εγκατάσταση σταθμών άντλησης. Οι επενδύσεις που γίνονται σε σταθμούς άντλησης είναι σημαντικές, και είναι υποχρεωτικές στο ενεργειακό σύστημα, όπως το σύστημα της Ρουμανίας (Institutul National de Statistica, 2006) ή το ηπειρωτικό σύστημα της Ευρώπης. [32]



Σχηματική διάταξη του υβριδικού συστήματος με συνδυασμό αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Για να βγουν ασφαλή συμπεράσματα όμως λαμβάνονται υπόψη τρεις παράγοντες: η ικανότητα εκκίνησης και τερματισμού, η ρύθμιση της ταχύτητας (σε ποσοστό φορτίου ανά λεπτό) και το ελάχιστο τεχνικό φορτίο (σε ποσοστό μέγιστου φορτίου). Οι υδρο-εγκαταστάσεις, εξετάζοντας αυτούς τους παράγοντες, έχουν διάφορα πλεονεκτήματα. Καταρχάς, είναι οι πλέον ευέλικτες από όλες τις άλλες τεχνολογίες σε ότι αφορά την εκτέλεση συνεχόμενων εκκινήσεων και τερματισμών χωρίς να υπάρχει σημαντική αρνητική επίδραση στον κύκλο ζωής του εξοπλισμού. Κατά δεύτερον, η ταχύτητα διακύμανσης φορτίου είναι υψηλή. Για παράδειγμα, είναι πιθανό να υπάρχει διακύμανση ενέργειας σε ποσοστό 100% το λεπτό. Και τρίτον, το ελάχιστο φορτίο είναι χαμηλό, συχνά λιγότερο από 10% της προσδιορισμένης χωρητικότητας. Επιπροσθέτως, το κόστος καυσίμων είναι μηδενικό και δεν παράγουν καθόλου λειτουργικές εκπομπές που συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Όμως, αυτός ο τύπος τεχνολογίας περιορίζεται σε σχέση με την υδραυλική διαχείριση των ποταμών που επηρεάζεται αποφασιστικά από το μέγεθος της αποθήκευσης των αποθεματικών στο βαθύπεδο που είναι τοποθετημένη κάθε εγκατάσταση. Κατά τη διάρκεια των ετών που έχει ξηρασία, το επίπεδο του αποθεματικού μπορεί να μειωθεί σημαντικά, περιορίζοντας τη διαθέσιμη υδραυλική ενέργεια.

Παρόλα αυτά, η συμβατική μέθοδος με τη χρήση νερού είναι η πιο ελκυστική επιλογή για την σταθεροποίηση της μεταβλητότητας στη χωρητικότητα του ανέμου, κι αυτό για δύο σημαντικούς λόγους. Πρώτον, είναι η τεχνολογία με το χαμηλότερο κόστος και δεύτερον είναι η πιο καθαρή, δεδομένου ότι το επίπεδο λειτουργικής εκπομπής αέρος που προκαλεί φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μηδενικό. Δυστυχώς, στα εξελιγμένα συστήματα, σχεδόν όλη η υδροηλεκτρική δυνατότητα τιθασεύεται. Αυτό καθιστά δύσκολη την αύξηση της εγκατεστημένης ενέργειας για την παροχή υπηρεσιών ρύθμισης δικτύου. Συνεπώς, υπάρχει ανάγκη άλλων τεχνολογιών για να εξυπηρετήσουν την ισορροπία.

Από τεχνικής άποψης, οι σταθμοί άντλησης έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τις συμβατικές υδρο-εγκαταστάσεις. Επιπλέον, η λειτουργία τους δεν περιορίζεται στην εκμετάλλευση του βαθυτόπου όπου είναι εγκατεστημένες. Συνεπώς, η ενέργεια που παράγουν είναι πάντα διαθέσιμη, ακόμη και κατά τη διάρκεια των περιόδων ξηρασίας όταν το συμβατικό νερό είναι περιορισμένο.

Ένα μειονέκτημα της αποθήκευσης μέσω άντλησης, συγκρινόμενη με τη συμβατική υδάτινη, είναι ότι είναι αναγκαίο να αντληθεί το νερό στο ανώτερο αποθεματικό προκειμένου να παραχθεί ηλεκτρισμός. Αυτό το κόστος της διαδικασίας είναι η τιμή του ηλεκτρισμού διαιρεμένη με την αποτελεσματικότητα του κύκλου (περίπου 75%).

Από περιβαλλοντολογικής άποψης, αυτοί οι σταθμοί επιτρέπουν μια σημαντική μείωση στις εκπομπές του ηλεκτρικού συστήματος με την παραγωγή ηλεκτρισμού χαμηλών εκπομπών κατά τη διάρκεια των περιόδων χαμηλής ζήτησης και αντικαθιστούν τις τεχνολογίες που είναι περισσότερο μολυσματικές (όπως τις εγκαταστάσεις ορυκτών καυσίμων) κατά τη διάρκεια των περιόδων της υψηλής ζήτησης ηλεκτρισμού. [33]

Δεν πρέπει όμως μην λαμβάνεται υπόψη και η βοήθεια που μπορεί να δώσει η αιολική ενέργεια στα υδροηλεκτρικά φράγματα. Η μεταβλητότητα των εισροών ενέργειας, δηλ. των εισροών νερού σε φράγματα και εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, είναι το κύριο θέμα στη λίστα ρίσκου μιας εταιρείας υδρο-ενέργειας. Μια έλλειψη εισροής νερού καθίσταται ζημιά για το κέρδος, ή αν είναι ιδιαίτερα σοβαρή, ζήτημα διασφάλισης της ενέργειας. Οι μεγάλοι ταμιευτήρες νερού μπορούν να εξομαλύνουν την εποχική μεταβλητότητα, αλλά δεν μπορούν να αντικαταστήσουν το νερό που δεν υπάρχει. Η διαφοροποίηση της πρωταρχικής πηγής ενέργειας, π.χ. η προσθήκη θερμικών εργοταξίων ή, όπως προτείνεται, των αιολικών πάρκων στο υδρο-σύστημα, μπορεί να είναι μια ενδιαφέρουσα λύση προκειμένου να επιτευχθεί η μείωση του ρίσκου των ελλείψεων της υδρο-ενέργειας. [34]

3.2 ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΕ ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Υπάρχουν πολλές μελέτες για τα συστήματα αποθήκευσης αιολικής και υδρο-ενέργειας μέσω άντλησης. Πολλοί ερευνητές έχουν εξετάσει τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας από πολλές απόψεις. Μερικοί απ' αυτούς τους ερευνητές ενδιαφέρονται για τη βελτίωση τα συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας και άλλοι ενδιαφέρονται για το σχεδιασμό και ανάλυση των συστημάτων αποθήκευσης.

Ο Cristorafi κ.α. [33] όρισαν άλλη μεθοδολογία προκειμένου να καταδείξουν τη σχέση μεταξύ της βελτίωσης του κόστους και τη διάσταση της συνδυασμένης ανεμογεννήτριας με το υδρο-σύστημα μέσω άντλησης, χρησιμοποιώντας πραγματικά στοιχεία για τον άνεμο και το φορτίο. Ο Guan κ.α. [34] πρότειναν μέθοδο βασισμένη στη βελτίωση για τη λειτουργία του υδρο-θερμικού συστήματος με χρόνο και πρόγραμμα χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της προσέγγισης Lagrange. Αυτή η εργασία επικεντρώνεται στη μεθοδολογία λύσης για τις μονάδες αποθήκευσης μέσω άντλησης. Οι μονάδες αποθήκευσης μέσω άντλησης μπορούν να λειτουργήσουν στην παραγωγή, στην άντληση και χωρίς φορτίο. Ο Κατσαπρακάκης κ.α. [35] πρότειναν ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας για το νησί της Αστυπάλαιας. Η Αστυπάλαια, ένα μικρό νησί του Αιγαίου, δεν είναι συνδεδεμένο με το διασυνδεδεμένο δίκτυο. Η παραγωγή ενέργειας βασίζεται μόνο στην αυτόνομη θερμοηλεκτρική εγκατάσταση. Το 2003 η μέγιστη ετήσια ζήτηση φορτίου του νησιού ήταν περισσότερο από 1,78 MW και το κόστος παραγωγής ενέργειας ήταν περισσότερο από 0,20 Euro/Kwh. Στο προτεινόμενο σύστημα ο σκοπός είναι η μέγιστη ωφέλεια από την αιολική ενέργεια και να μειωθεί στην ελάχιστη τιμή η χρήση του εισαγόμενου ορυκτού καυσίμου που καταναλώνεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο Μπάκος [36] έκανε μια έρευνα για την λειτουργία του υβριδικού αιολικού συστήματος και υδρο-συστήματος ενέργειας για την παραγωγή χαμηλού κόστους ηλεκτρισμού. Μια ειδική εφαρμογή έγινε για το νησί της Ικαρίας στην Ελλάδα και παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα. Ο Castronuovo και Lopes [37] πρότειναν μια μεθοδολογία για συνδυασμένη παραγωγή αιολικής ενέργειας και συστήματος αποθήκευσης ύδατος. Η αυξανόμενη τάση της ιδέας της συνδυασμένης χρήσης της παραγωγής αιολικής ενέργειας και του συστήματος αποθήκευσης ύδατος αποτέλεσε την αιτία για την εφαρμογή της προσέγγισης της λειτουργικής βελτιστοποίησης. Ο Castronuovo και Lopes [38] πρότειναν τη χρήση της διαθεσιμότητας της αποθήκευσης νερού και για τη μείωση της μεταβλητότητας της παραγωγής της ενεργής ενέργειας που προέρχεται από την συνέχιση της αιολικής ενέργειας, και για να υπάρχει οικονομικό εισόδημα ενώ λειτουργεί το αιολικό πάρκο. Προτάθηκε ένας αλγόριθμος διακριτής βελτιστοποίησης.

Ο Καλδέλλης [39] πρότεινε ένα σύστημα παραγωγής υδρο-αιολικής ενέργειας για να αντιμετωπιστούν οι ανάγκες των νησιών του Αιγαίου. Εφήρμοσε παραμετρική ανάλυση του συστήματος προκειμένου να αντιμετωπιστεί η ζήτηση των νησιών, έχοντας αρκετά καλές δυνατότητες τοπικού ανέμου. Ο Καλδέλλης και ο Καββαδίας [40] ανέπτυξαν ένα μοντέλο υπό την ιδιότητα της πρότασης προκειμένου να εξαλείψουν την έλλειψη του νερού και να αντιμετωπίσουν τις ενεργειακές ανάγκες των νησιών του Αιγαίου.

Δεδομένου ότι τα νησιά έχουν αρκετά καλές δυνατότητες ανέμου, το μοντέλο είχε σκοπό να εξαλείψει τις διακοπές του ηλεκτρισμού και την έλλειψη καθαρού νερού με την κατασκευή σταθμών παραγωγής συνδυασμένης υδρο-αιολικής ενέργειας. Σ' αυτήν την μελέτη η σκέψη ήταν ότι ακόμα κι αν οι δυνατότητες για άνεμο είναι καλές, δε θα μπορούσε να αντιμετωπίσει τις ανάγκες για ενέργεια αυτόνομα (μόνο από τον άνεμο), συνεπώς αυτό το μοντέλο επιβεβαιώνεται. Άρα ο Καλδέλλης και ο Καββαδίας ανέπτυξαν μια μεθοδολογία για βέλτιστη υδρο-αιολική λύση και εφήρμοσαν αυτή τη μεθοδολογία στα νησιά του Αιγαίου. Πραγματικά στοιχεία χρησιμοποιούνται στους αριθμητικούς υπολογισμούς, μακροπρόθεσμες μετρήσεις ταχύτητας ανέμου, ηλεκτρικά φορτία που ζητήθηκαν και λειτουργικά χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων του συστήματος. Ο Wei He παρουσίασε ένα μοντέλο προσομοίωσης προκειμένου να αποτιμήσει τα οφέλη της λειτουργίας του Tianhuangping υδρο-εργοταξίου αποθήκευσης ενέργειας μέσω άντλησης στο ηλεκτρικό δίκτυο της Σαγκάης [41]. Στο Tianhuangping υδρο-εργοτάξιο αποθήκευσης ενέργειας η μέση κατανάλωση άνθρακα μειώθηκε κατά 5.1 g/Wh και επιτεύχθηκε επιπλέον μέγεθος αιχμής ύψους 600 MW για το ηλεκτρικό δίκτυο της Σαγκάης. Ο Sobrabi πρότεινε ένα δυναμικό μοντέλο για την αποτίμηση της αποθήκευσης μέσω άντλησης [42]. Σ' αυτό το μοντέλο καθορίστηκε η βέλτιστη τακτική ανάπτυξης και βασιζόμενος πάνω σ' αυτό το μοντέλο έγινε αντιληπτό ότι το σύστημα αποθήκευσης μέσω άντλησης με μπάρα είναι πιο οικονομικό όταν διαφορετικά εναλλακτικά συστήματα αποτιμώνται μαζί. Ο Hosseini κ.α. [43] επικεντρώθηκαν σε μια μέθοδο πάνω σ' αυτήν τη μελέτη. Αναπτύχθηκε ένα ηλεκτρονικό πρόγραμμα για τον υπολογισμό της ενέργειας για να εκτιμήσει τους πιο σημαντικούς δείκτες της υδρο-ηλεκτρικού εργοταξίου παραγωγής ενέργειας, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της ανάλυσης της ευαισθησίας. Ο Nanahara και Takimoto [44] όρισαν μια μεθοδολογία για να καθορίσουν το μέγεθος του ταμιευτήρα στα συστήματα αποθήκευσης μέσω άντλησης. Σ' αυτήν τη μελέτη παρουσιάστηκε η μέθοδος προσομοίωσης Monte Carlo, εξετάζοντας το αόριστο της πηγής σε σχέση με το μέγεθος της ζήτησης και τη σύμπραξη του συστήματος αποθήκευσης μέσω άντλησης σε ημερήσια και εβδομαδιαία βάση. Όταν γίνεται χειρισμός της μεθόδου υπό το πρίσμα της αξιοπιστίας του συστήματος, είναι απαραίτητο να οριστεί το μέγεθος του ταμιευτήρα. Εξετάστηκαν σε μελέτη εργασίας το προφίλ του φορτίου και η ευαισθησία του μήκους του ταμιευτήρα ως προς την παραγωγή. Ο Αναγνωστόπουλος και Παπαντώνης [45] σχεδίασαν μια μονάδα άντλησης σε ένα υβριδικό υδρο-αιολικό εργοτάξιο παραγωγής ενέργειας και πραγματοποίησαν ποσοτική ανάλυση του βέλτιστου μεγέθους. Ο σκοπός είναι η μείωση της ποσότητας της ενέργειας που παράγεται από τον άνεμο και που μπορεί να μετατραπεί σε υδραυλική ενέργεια σαν αποτέλεσμα της συγκράτησης της λειτουργίας της ισχύς της αντλίας και της μικρής ενδιάμεσης λειτουργίας. Ο Καλδέλλης [46] ερεύνησαν την πιθανότητα ενός συνδυασμένου υδρο-αιολικού εργοταξίου στο Αρχιπέλαγος, ένα μεσαίου μεγέθους νησί στο Αιγαίο πέλαγος. Οι μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο και τα αποτελέσματα των υπολογισμών που αποκομίστηκαν, βασιζόμενα σε πρωτότυπα στοιχεία, αποδεικνύουν την προτεινόμενη λύση.

3.3 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Παρακάτω θα παρουσιαστούν κάποια σχέδια και μελέτες που έχουν γίνει ή γίνονται σε χώρες του εξωτερικού, ώστε να γίνει πιο σφαιρική η ιδέα της χρήσης αιολικής ενέργειας και υδροηλεκτρικών φραγμάτων. Συγκεκριμένα οι χώρες που αναφέρονται είναι η Πορτογαλία, η Ισπανία, ο Καναδάς, οι Η.Π.Α., η Ρωσία, η Τουρκία, και κάποιες άλλες Ευρωπαϊκές χώρες. Σε αυτές τις χώρες γίνεται αναφορά και ανάλυση τόσο της αντλισιοταμίευσης, όσο και της συνδυασμένης λειτουργίας των δύο μορφών ενέργειας.

3.3.1 ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ

Σ' αυτήν τη μελέτη αξιοποιείται η έννοια της συνδυασμένης χρήσης της παραγωγής αιολικής ενέργειας και αποθήκευσης / παραγωγής νερού, μέσω της ανάπτυξης μιας προσέγγισης λειτουργικής βελτιστοποίησης που εφαρμόστηκε σ' ένα αιολικό πάρκο με μικρή δυνατότητα αποθήκευσης νερού. Το μοντέλο βελτιστοποίησης ορίζει την λειτουργική στρατηγική που θα πρέπει να ακολουθηθεί για τις ώρες πριν από έναν σταθμό άντλησης και μια υδραυλική γεννήτρια ενσωματωμένη σε μια αιολική/υδρο-κατασκευή άντλησης, χρησιμοποιώντας τους Πορτογαλικούς κανόνες αποζημίωσης για την ενέργεια.

Εξετάζονται εδώ τα χαρακτηριστικά της αποζημίωσης του Πορτογαλικού νόμου, αναφορικά με το Ειδικό Πλαίσιο Παραγωγής (που είναι η περίπτωση της παραγωγής αιολικής ενέργειας). Αφού χρησιμοποιείται μόνο αιολική ενέργεια για σκοπούς άντλησης, όλη η ενέργεια που διανέμεται στο δίκτυο (αιολική και υδρο-ενέργεια χρησιμοποιώντας το αποθηκευμένο νερό) αποζημιώνεται σαν αιολική ενέργεια.

Σ' αυτήν εδώ τη μελέτη, διαμορφώνεται μόνο διαχείριση ενεργής ενέργειας. Όμως, θα μπορούσαν εύκολα να εξεταστούν και οι στόχοι της παραγωγής άεργης ισχύος. Ένας πρωταρχικός γραμμικός διπλού εσωτερικού σημείου αλγόριθμος λύνει το θέμα της βελτιστοποίησης του προβλήματος.

1. *Το αιολικό πάρκο μικρού μεγέθους*

Η μελέτη προτείνει τη βελτίωση του ελέγχου της παραγωγής αιολικής ενέργειας (WG) μέσω της προσθήκης μιας μικρού μεγέθους εγκατάστασης αποθήκευσης νερού. Γι' αυτόν το σκοπό απαιτούνται οι ακόλουθες συσκευές:

α) Μια μικρή υδροηλεκτρική εγκατάσταση ενέργειας (mHPP) με μια ηλεκτρική γεννήτρια
β) Ένα WPS (Σταθμός Άντλησης Νερού)
γ) Χαμηλότερου και υψηλότερου επιπέδου ταμιευτήρες νερού
δ) Υδροφράκτης και αγωγοί άντλησης

Οι εξοπλισμοί (α) και (β) μπορούν να αντικατασταθούν από αναστρέψιμη υδρο-μονάδα. Το WPS αντλεί νερό από μια πηγή (π.χ. ποτάμι, λίμνη, ή άλλο ταμιευτήρα) στον πάνω ταμιευτήρα νερού, χρησιμοποιώντας μόνο την

ηλεκτρική ενέργεια που έχει παραχθεί από την παραγωγής αιολικής ενέργειας. Όμως τα συστατικά του νερού και το αιολικό πάρκο μπορεί να είναι τοποθετημένα σε διαφορετικά μέρη. Στην παρούσα εργασία υποτίθεται ότι υπάρχει εγγύτητα μεταξύ αυτών. Μια επέκταση αυτού του μοντέλου, που δεν αναλύεται σ' αυτήν τη μελέτη αφορά τη χρήση ενός σταθμού άντλησης για τον έλεγχο μια ομάδας αιολικών πάρκων.

2. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης διαμορφώθηκε εδώ προκειμένου να μεγιστοποιηθεί το κέρδος των αιολικών πάρκων στη λειτουργία του συστήματος αιολικής ενέργειας και υδρο-ενέργειας. Σ' αυτήν τη διαμόρφωση είναι επίσης πιθανό να περιληφθεί ένας επιπρόσθετος λειτουργικός περιορισμός που έχει σχέση με το ενδιαφέρον να ακολουθηθεί μια καμπύλη ζήτησης ελάχιστης ενεργής ενέργειας για τις επόμενες ώρες, τέτοια που θα μπορούσε να γίνει αντικείμενο αγοράς σαν ένα είδος πάγιας συναλλαγής ενέργειας. Όταν αυτό δεν φαίνεται να είναι δυνατόν, υπολογίζει το επιπρόσθετο μέγεθος του ταμιευτήρα νερού (ή το αρχικό επίπεδο του ταμιευτήρα) που απαιτείται για να ακολουθηθεί η καμπύλη ζήτησης, αν αυτή υπάρχει.

Τα δεδομένα του προβλήματος βελτιστοποίησης είναι εδώ: καμπύλη της προβλεπόμενης αιολικής ενέργειας, καμπύλη της ελάχιστης ζήτησης που πρέπει να προσφερθεί, καμπύλη της μέγιστης επιτρεπτής ανταλλαγής ενέργειας με το σύστημα, καμπύλη της τιμής της ενεργής ενέργειας για πώληση στο δίκτυο και άντληση λειτουργικού κόστους.

Έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός τεχνικών για να δώσει προβλέψεις για την διαθέσιμη αιολική ενέργεια για βραχυπρόθεσμους και μεσοπρόθεσμους χρονικούς ορίζοντες [47]. Στην πραγματικότητα οι τεχνικές πρόβλεψης του ανέμου και της αιολικής ενέργειας έχουν ήδη φτάσει σε ένα σημαντικό σημείο ωρίμανσης. Αυτές οι προσεγγίσεις είναι σημαντικές για την αναγνώριση των βέλτιστων στρατηγιών που πρέπει να ακολουθηθούν για τη λειτουργία του συστήματος. Χρησιμοποιώντας τις προβλέψεις του ανέμου, μπορεί να αποκομισθεί το χαρακτηριστικό της καμπύλης αιολικής ενέργειας και της διαθεσιμότητας των αιολικών γεννητριών και η καμπύλη της προβλεπόμενης διαθέσιμης ηλεκτρικής αιολικής ενέργειας. Η πρόβλεψη της αιολικής ενέργειας μπορεί να εκτελεστεί άμεσα για 48 ώρες πριν, με αρκετή ακρίβεια [48]. Στην παρούσα εργασία παίρνουμε την παραδοχή της διαθεσιμότητας μιας σειράς προβλεπόμενων αξιών αιολικής ενέργειας για περίοδο δύο ημερών πριν.

Σε μερικές περιπτώσεις, η ενέργεια που αποθηκεύεται στο πάνω μέρος του ταμιευτήρα νερού επιτρέπει την προσφορά της απαιτούμενης ζήτησης ακόμα κι αν η διαθέσιμη αιολική ενέργεια βρίσκεται χαμηλότερα. Συνεπώς, μπορεί να οριστεί μια καμπύλη της ελάχιστής ζήτησης που μπορεί να προσφερθεί. Επί του παρόντος στην Πορτογαλία η χρησιμότητα διανομής και ο χειριστής του συστήματος μετάδοσης είναι υποχρεωμένοι να αποδεχθούν όλη την ενέργεια που παράγεται από τις εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας,

επειδή θεωρούνται σαν εγκαταστάσεις που δεν έχουν τη δυνατότητα διανομής.

Λόγω μερικών λειτουργικών συνθηκών του δικτύου που είναι αποτέλεσμα κυρίως των περιορισμών των τμημάτων του συστήματος, δεν μπορεί να διεισδύσει στο σύστημα όλη η ενέργεια που παράγεται από τα αιολικά πάρκα. Τότε, θα μπορούσε να οριστεί μια καμπύλη της μέγιστης επιτρεπόμενης ανταλλαγής ενέργειας με το σύστημα, διαμορφώνοντας τους περιορισμούς στη διείσδυση της αιολικής ενέργειας στο δίκτυο.

Στην Πορτογαλία, η τιμή της ενεργής αιολικής ενέργειας ορίζεται από κυβερνητικούς νόμους [49]. Σε άλλες χώρες, η καμπύλη της ενεργής ενέργειας ορίζεται από την τρέχουσα αγορά και θα πρέπει να προβλέπεται, λαμβάνοντας υπόψη την αναμενόμενη συμπεριφορά της αγοράς. Για τη λύση του προβλήματος, έχει διακριθεί ημερήσια λειτουργία για περιόδους 24 ωρών. Για κάθε χρονικό διάστημα, η προσέγγιση που αναπτύχθηκε δίνει τα ακόλουθα αποτελέσματα: τη συνολική ενεργή ενέργεια που προβλέπεται να διανεμηθεί στο δίκτυο, την ενέργεια που αναμένεται να παραχθεί και από τον άνεμο και από τις υδρο-γεννήτριες, την κατανάλωση ενέργειας από τη μονάδα άντλησης και το επίπεδο του ανώτερου ταμιευτήρα νερού.

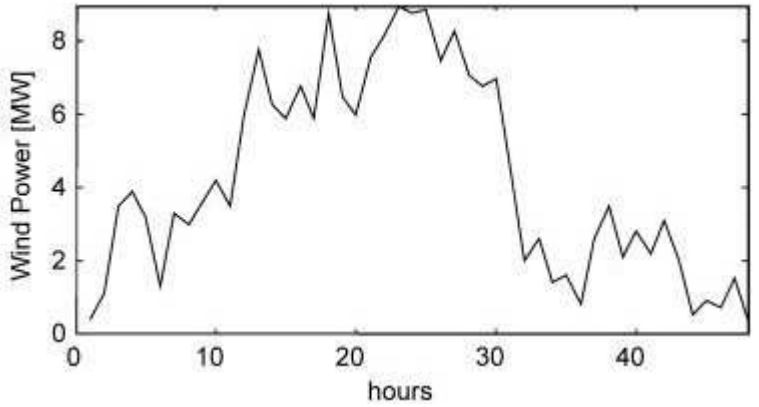
Ο ορισμός της ημερήσιας λειτουργίας της αιολικής-υδρο εγκατάστασης προσδιορίζεται από το ακόλουθο πρόβλημα βελτιστοποίησης.

Η αντικειμενική συνάρτηση αποτελείται από τρία συστατικά. Το πρώτο επιζητά τη μεγιστοποίηση του κέρδους στην ενεργή ενέργεια που διανέμεται από την αιολική-υδρο-εγκατάσταση στο δίκτυο. Το δεύτερο συστατικό είναι ότι έχει δύο στόχους: για τον υφιστάμενο ταμιευτήρα, υπολογίζει την ελάχιστη ποσότητα (αν είναι απαραίτητο) του αυξητικού μεγέθους αποθήκευσης για να ακολουθηθεί η συγκεκριμενοποιημένη καμπύλη ζήτησης. Στο στάδιο σχεδιασμού, λαμβάνει το χαμηλότερο μέγεθος αποθήκευσης του ταμιευτήρα για να ακολουθήσει μια προκαθορισμένη καμπύλη ζήτησης, για μια συγκεκριμενοποιημένη καμπύλη αιολικής ενέργειας. Το τρίτο συστατικό της αντικειμενικής συνάρτησης αναζητά τη σύγκλιση του προβλήματος βελτιστοποίησης όταν η απαιτούμενη ζήτηση είναι μεγαλύτερη της διαθέσιμης ενέργειας. Για τους υφιστάμενους ταμιευτήρες, όταν η επιπλέον χωρητικότητα του ανώτερου επιπέδου του ταμιευτήρα σε σχέση με τη χωρητικότητα αποθήκευσης του ταμιευτήρα είναι μεγαλύτερη από το 0 ή η επιπλέον αρχική ενέργεια στον ταμιευτήρα σε σχέση με τα αρχικά επίπεδα είναι μεγαλύτερο από το 0 υποδηλώνει πρόβλημα χωρίς πραγματική λύση.

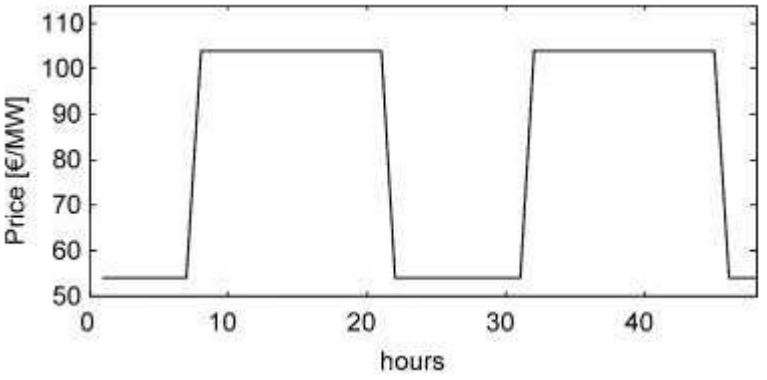
3. Αποτελέσματα

3.1. Ημερήσια λειτουργία

Στα σχήματα 7 και 8, παρουσιάζονται οι καμπύλες εισροής που περιγράφουν την προβλεπόμενη διαθέσιμη αιολική ενέργεια και την τιμή της ενεργής ενέργειας, για χρονικό ορίζοντα 2 ημερών.



Σχήμα 7. Διαθέσιμη αιολική ενέργεια για 2 μέρες



Σχήμα 8. Τιμή ενεργής ενέργειας για 2 μέρες

Το σχήμα 7 είναι μια κλασσική καμπύλη αιολικής ενέργειας ενός αιολικού πάρκου χωρητικότητας 11 MW που είναι εγκατεστημένη στην ενδοχώρα της Πορτογαλίας. Η καμπύλη του σχήματος 8 περιγράφει την αποζημίωση που ορίζεται στους νόμους της Πορτογαλίας για τα αιολικά πάρκα, αν είναι αντικείμενο εκμετάλλευσης ο συντελεστής μορφοποίησης.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται άλλα χαρακτηριστικά της αιολικής-υδρο-εγκατάστασης. Στον Πίνακα 2, η παγκόσμια αποτελεσματικότητα του υδρο-δικτύου περιγράφεται με το $\eta L = \eta_h \eta_p$, και το εγκατεστημένο μέγεθος αιολικών πάρκων δίνεται με P^M_g.

Wind–hydro plant characteristics

P_g^M (MW)	P_h^M (MW)	P_p^M (MW)	η_L	c_p (€/MW h)	E^M (MW h)	E_1^{exp} (MW h)	E_{n-1}^{exp} (MW h)	c_{E^M} (€/MW h)	c_{E_1} (€/MW h)
11	2	2	0.75	2	22	0	0	199	299

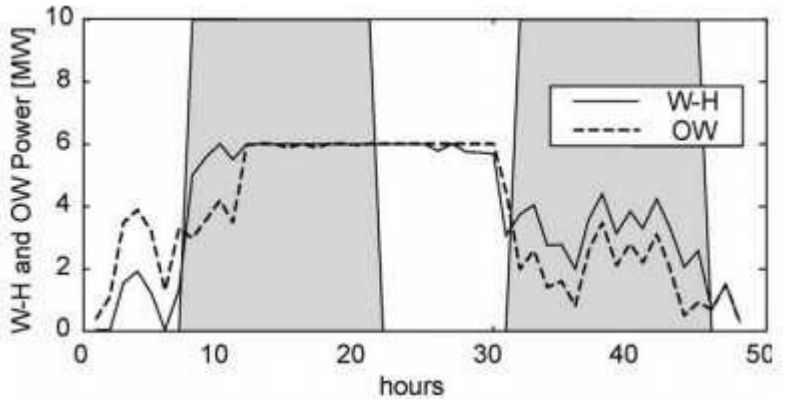
Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά αιολικής-υδρο εγκατάστασης

Για να μειωθεί το κόστος επένδυσης, το εγκατεστημένο μέγεθος του σταθμού άντλησης και η υδρο-γεννήτρια κατέχουν λιγότερο από το 20% του εγκατεστημένου μεγέθους του αιολικού πάρκου. (2MW). Η χωρητικότητα αποθήκευσης ορίστηκε ότι είναι 22 MWh, το οποίο αντιστοιχεί σε 2 ώρες λειτουργίας σε ονομαστική αιολική παραγωγή ενέργειας. Στις πρώτες

προσομοιώσεις, ο ταμιευτήρας στην αρχική και στις τελευταίες περιόδους. Το κόστος της άντλησης θεωρείται μικρής αξίας, αντιπροσωπεύοντας μ' αυτόν τον τρόπο μόνο το εσωτερικό λειτουργικό κόστος. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι για τη μορφοποίηση εξετάστηκαν ειδικά η αποτελεσματικότητα και η κατανάλωση ενεργής ενέργειας του σταθμού άντλησης.

Στην πρώτη περίπτωση, η μέγιστη επιτρεπτή ανταλλαγή ενέργειας με το σύστημα θεωρείται σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια των περιόδων (P_{exi} = 6 MW). Δεν ορίστηκε ελάχιστο προφίλ παραγωγής. Αυτή η λειτουργία αναζητά το μέγιστο δυνατό κέρδος σε λειτουργικές συνθήκες, κάνοντας την παραδοχή ότι δεν έχει διευθετηθεί καμιά σύμβαση συναλλαγής.

Στο σχήμα 9 φαίνονται οι εκροές ενεργής ενέργειας από την λειτουργία του υδρο-αιολικής εγκατάστασης. Παρουσιάζεται επίσης η αμιγώς αιολική λειτουργία της εγκατάστασης. Στις περιόδους με χαμηλές τιμές (λευκά κουτιά) η αμιγώς αιολική λειτουργία (διακεκομμένη γραμμή) είναι γενικά μεγαλύτερη από αυτής της υδρο-αιολικής λειτουργίας, το νερό αντλείται στον ανώτερο ταμιευτήρα, για να αυξήσει την ενεργή ενέργεια για να παραδοθεί στο δίκτυο κατά τη διάρκεια των περιόδων με υψηλότερες τιμές (γκρι κουτιά).

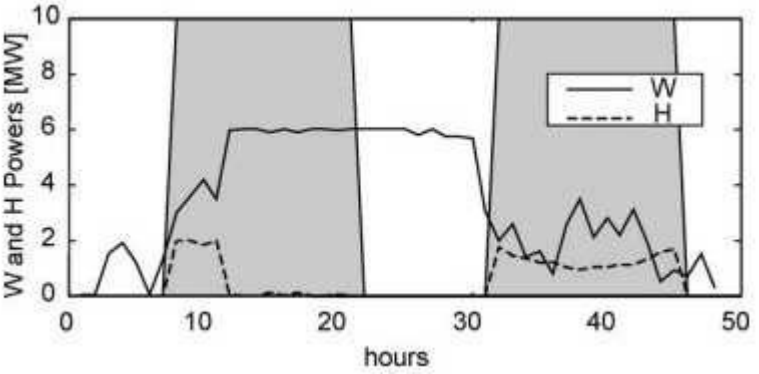


Σχήμα 9. Εκροές ενεργής ενέργειας από την λειτουργία του υδρο-αιολικής εγκατάστασης

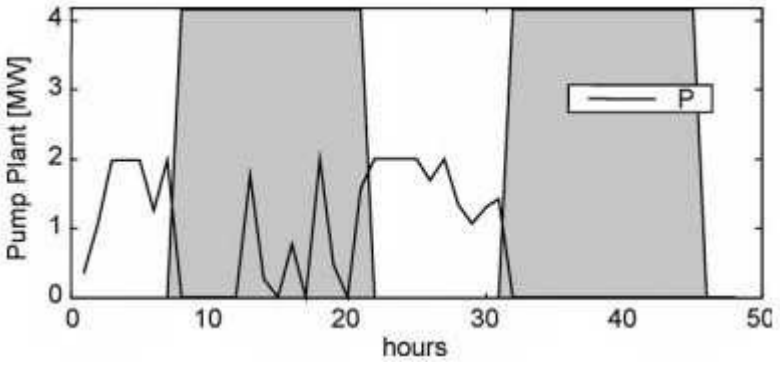
Μπορεί να παρατηρηθεί από το σχήμα 9 ότι η επιρροή του ορίου της μέγιστης επιτρεπόμενης ανταλλαγής ενέργειας με το σύστημα (13-30 ώρες). Στην αμιγώς αιολική λειτουργία, προσομοιώνεται η ύπαρξη των περίσσιων φορτίων προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η εκροή ενέργειας διατηρείται κάτω από το αποδεκτό επίπεδο από το δίκτυο, δηλαδή όταν η παραγωγή ενέργειας με το σύστημα φτάσει το μέγιστο. Αυτή η παραδοχή όμως είναι αισιόδοξη δεδομένου ότι συνήθως η συμβατική τακτική για αιολική ενέργεια έγκειται στην αποσύνδεση των αιολικών γεννητριών, προκειμένου να αποφευχθεί η υπέρβαση της μέγιστης ανταλλαγής ενέργειας με το δίκτυο. Οι διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων της στρατηγικής σύνδεσης-αποσύνδεσης και η χρησιμοποιηθείσα στρατηγική της αμιγούς αιολικής ενέργειας (η διακεκομμένη γραμμή στο σχ.9) θα έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη αύξηση για την υδρο-αιολική λειτουργία, αφού η αποσύνδεση των αιολικών γεννητριών θα προκαλέσει, γενικά μια απώλεια παραγωγής μεγαλύτερη από το αποτέλεσμα του περίσσιου φορτίου. Η μελέτη δεν εξετάζει αυτήν την εκτίμηση. Από την άλλη πλευρά, θα πρέπει να τονισθεί ότι στην υδρο-αιολική λειτουργία η

παραγωγή από τους αιολικούς στροβίλους δεν περικόπτεται κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, αφού δεν σημαντικό κομμάτι του πλεονάσματος της εναπομείνασας αιολικής ενέργειας αποθηκεύεται τώρα στον ανώτερο ταμιευτήρα μέσω του σταθμού άντλησης.

Το σχήμα 10 δείχνει τη συμμετοχή της παραγωγής των υδρο-αιολικών γεννητριών στην υδρο-αιολική εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας.
Όπως φαίνεται στο σχ.10, η υδρο-γεννήτρια, (διακεκομμένη γραμμή) λειτουργεί μόνο τις περιόδους που επικρατούν υψηλές τιμές. Η μικρή υδροηλεκτρική εγκατάσταση ενέργειας λαμβάνει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα χρήσης (68%) στο δεύτερο επίπεδο υψηλής τιμής, μετά την περίοδο υψηλής αιολικής τιμής. Στο σχήμα 11, παρουσιάζεται η λειτουργία του σταθμού άντλησης νερού.



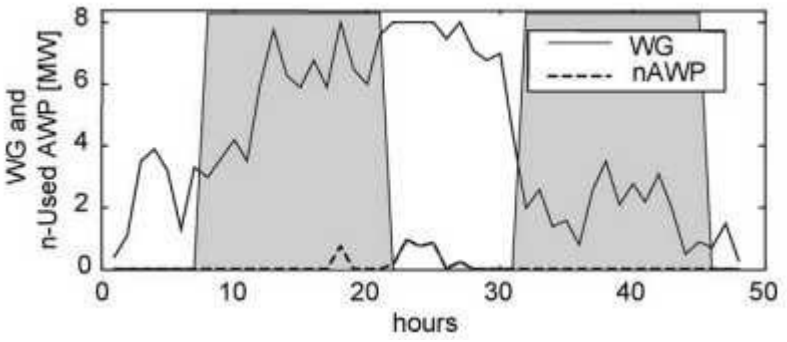
Σχήμα 10. Συμμετοχή της παραγωγής των υδρο-αιολικών γεννητριών



Σχήμα 11. Ισχύς σταθμού άντλησης

Από το σχήμα 11 γίνεται αντιληπτό ότι ο σταθμός άντλησης νερού χρησιμοποιείται κυρίως στις περιόδους χαμηλού κόστους. Η αποτελεσματικότητα χρήσης του και στις δύο αυτές περιόδους είναι υψηλή (88 και 92% αντίστοιχα). Στο πρώτο στάδιο υψηλής τιμής, αγγίζεται το όριο της μέγιστης επιτρεπτής ανταλλάξιμης ενέργειας με το σύστημα. (Σχ.9) και υπάρχει μέγεθος μη-χρησιμοποιημένης αιολικής ενέργειας (Σχ. 7). Σ' αυτήν την περίπτωση το νερό αντλείται αντί για τη μείωση στην παραγωγή της αιολικής ενέργειας.

Στο σχήμα 12, παρουσιάζονται η συνολική παραγωγή αιολικής ενέργειας και η διαθέσιμη μη-χρησιμοποιημένη αιολική ενέργεια.

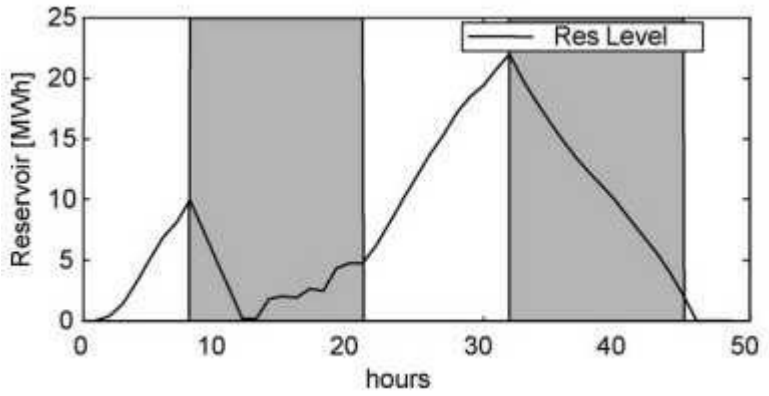


Σχήμα 12. Συνολική παραγωγή αιολικής ενέργειας και η διαθέσιμη μη-χρησιμοποιημένη αιολική ενέργεια

Η παραγωγή των ανεμογεννητριών είναι το σύνολο της άμεσης συνεισφοράς για την ενεργή ενέργεια που παραδίδεται στο δίκτυο μαζί με την παραγωγή του σταθμού άντλησης νερού, σε κάθε περίοδο. Από τα σχήμα 10 και 12 μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι ανεμογεννήτριες παράγουν παραπάνω από το μέγιστη επιτρεπόμενη ενέργεια για ανταλλαγή με το σύστημα, μειώνοντας, μ' αυτόν τον τρόπο τη διαθέσιμη αιολική ενέργεια που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί. Η εγκατάσταση υδρο-αιολικής ενέργειας δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει 3.79 MW h (1.85%) της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας. Αντ' αυτού, η τακτική της αμιγούς λειτουργίας αιολικής ενέργειας δεν χρησιμοποιεί 24.94 MW h (12.2%) της διαθέσιμης αιολικής πηγής ενέργειας.

Από το σχήμα 12 μπορεί να γίνει αντιληπτό ότι η διαθέσιμη αιολική ενέργεια δεν χρησιμοποιείται στην υδρο-αιολική εγκατάσταση όταν αγγίζονται τα όρια κατανάλωσης (6+2=8 MW) (δηλ. η μέγιστη επιτρεπτή ανταλλάξιμη ενέργεια με το σύστημα, - ενέργεια που παραδίδεται στο δίκτυο – μαζί με το ανώτερο όριο του σταθμού άντλησης).

Στο σχήμα 13, παρουσιάζονται τα επίπεδα αποθήκευσης στον ανώτερο ταμιευτήρα για όλες τις περιόδους του χρονικού ορίζοντα της μελέτης.
Κατά της διάρκεια των περιόδων με χαμηλές τιμές ο ανώτερος ταμιευτήρας πάντοτε αυξάνει το επίπεδο αποθήκευσης (σχ.7). Στην πρώτη περίοδο υψηλής τιμής, η αποθήκευση μπορεί να αυξηθεί λόγω της εναπομείνασας διαθέσιμης αιολικής ενέργειας. Η αποθήκευση του ταμιευτήρα φτάνει τις υψηλότερες τιμές ξεκινούν οι περίοδοι υψηλών τιμών. Ακριβώς πριν από το τέλος της δεύτερης περιόδου χαμηλών τιμών, το επίπεδο αποθήκευσης φτάνει το μέγιστο επίπεδο (22 MW h).



Σχήμα 13. Επίπεδα αποθήκευσης στον ανώτερο ταμιευτήρα

Στον πίνακα 3, συγκρίνονται τα κέρδη μεταξύ της υδρο-αιολικής λειτουργίας και της αμιγούς αιολικής λειτουργίας.

Wind–hydro plant vs. only wind operation-profit

Only wind (€)	Wind–hydro (€)	Two-days gain		Annual gain (€)
		(€)	(%)	
14,767	16,721	1954	13.2	356,560

Πίνακας 3

Τα κέρδη που περιγράφονται στον Πίνακα 3 αποκομίσθηκαν για τις εκροές ενεργής ενέργειας και των τακτικών λειτουργίας.(Σχ.9) χρησιμοποιώντας την καμπύλη τιμών του σχήματος 8 (σε στρατηγική υδρο-λειτουργίας, μείον τα κόστη άντλησης λόγω της κατανάλωσης του σταθμού άντλησης νερού. Σχ.11). Στην εξεταζόμενη περίοδο, η λειτουργία της αιολικής εγκατάστασης με μέγεθος αποθήκευσης νερού αυξάνει το κέρδος σε 13.22%. (Πίνακας 3). Κάνοντας την παραδοχή ότι οι συγκεκριμένες συνθήκες είναι ίδιες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, το ετήσιο κέρδος στη λειτουργία θα ανερχόταν στο ποσό των €356.560.

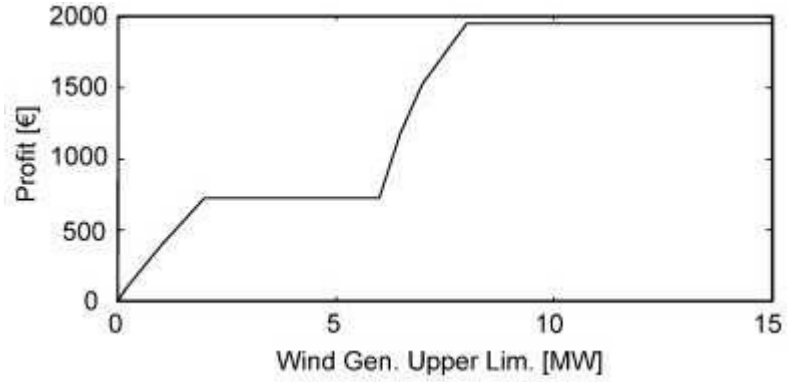
Στον Πίνακα 4, παρουσιάζονται οι αριθμοί των ισότιμων ωρών λειτουργίας σε ονομαστική ενέργεια των αιολικών στροβίλων, για στρατηγικές αμιγούς αιολικής λειτουργία και υδρο-αιολικής λειτουργίας. Κάνοντας την παραδοχή ότι η επανάληψη του προφίλ των 48 h για την αιολική ενέργεια είναι έγκυρο καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, η αύξηση στο ποσό της αιολικής ενέργειας, που είναι το αποτέλεσμα από τη χρήση της στρατηγικής της υδρο-αιολικής λειτουργίας, επιτρέπει μια αύξηση του 7.6% στον αριθμό των ετήσιων ισότιμων ωρών σε ονομαστική ενέργεια για την εγκατάσταση.

Wind–hydro plant vs. only wind operation—equivalent hours at nominal power

Two-days				Annual		
Only wind (h)	Wind–hydro (h)	Gain (h)	(%)	Only wind (h)	Wind—hydro (h)	Gain (h)
16.32	17.56	1.24	7.6	2978	3204	226

Πίνακας 4. Αριθμοί των ισότιμων ωρών λειτουργίας σε ονομαστική ενέργεια των αιολικών στροβίλων

Στο σχήμα 14, συγκρίνονται τα κέρδη που αποκομίζονται μεταξύ της υδρο-αιολικής λειτουργίας και της αμιγούς αιολικής λειτουργίας, όταν το εγκατεστημένο μέγεθος του αιολικού πάρκου αλλάζει από 0 σε 15 MW.



Σχήμα 14. Κέρδος συναρτήσει εγκατεστημένης ισχύς

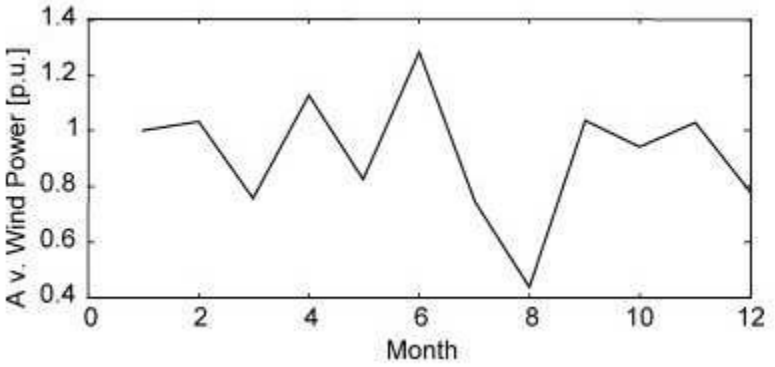
Από το σχήμα 14, παρατηρούνται τέσσερις διαφορετικές συμπεριφορές αναφορικά με τα λειτουργικά κέρδη μεταξύ της υδρο-αιολικής λειτουργίας και της αμιγούς αιολικής λειτουργίας, όταν αλλάζει το ανώτερο όριο της αιολικής γεννήτριας (P^M_g). Αυτή η εικόνα παρουσιάζει δύο εναλλακτικές για την αύξηση του κέρδους σε μια υδρο-αιολικής λειτουργία. Στην πρώτη φάση ($0 < P^M_g < P^M_g$), η προτεινόμενη στρατηγική επιτρέπει την αύξηση του κέρδους λόγω των διαφορών στην τιμή της ενεργής ενέργειας σε ωριαία βάση. Το κέρδος εξαρτάται από την χρήση της ικανότητας αποθήκευσης και γίνεται σταθερό όταν φτάσουμε στο μέγιστο μέγεθος της υδραυλικής συμμετοχής. Το δεύτερο όφελος προκύπτει όταν υπάρχουν περιορισμοί σε κάποιες περιόδους που επηρεάζουν την παραλαβή όλης της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας στο δίκτυο. Σ' αυτήν την περίπτωση η αμιγώς αιολική λειτουργία θα πρέπει να αποβάλλει ένα μέρος της διαθέσιμης ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, η υδρο-αιολική στρατηγική μπορεί να αποθηκεύσει αυτήν την ενέργεια για να την πωλήσει αργότερα, αν είναι οικονομικά ενδιαφέρον.

Όπως εξηγήθηκε παραπάνω, στον ορισμό του προβλήματος βελτιστοποίησης, η προτεινόμενη αντιπροσώπευση της υδρο-αιολικής λειτουργίας επιτρέπει τον υπολογισμό του μεγίστου μεγέθους αποθήκευσης στον ανώτερο ταμιευτήρα, για προκαθορισμένες συνθήκες λειτουργίας και

προβλεφθείσα διαθεσιμότητα αιολικής ενέργειας. Αυτή η εκτίμηση επιτυγχάνεται με το να οριστεί πρόστιμο μικρής αξίας (C_{EM}) για το μέγεθος της αποθήκευσης που είναι πάνω από την αξία της προκαθορισμένης E^M . Στην τωρινή περίπτωση, χρησιμοποιείται το C_{EM}=0. Η άριστη αξία για τη δυνατότητα αποθήκευσης προκύπτει από τη μέγιστη αξία που απαιτείται σε όλες τις περιόδους. Για τις παρούσες συνθήκες, το βέλτιστο μέγεθος αποθήκευσης του ταμιευτήρα είναι 31.91 MW h.

4.2 Ετήσια λειτουργία

Πραγματοποιήθηκε προσομοίωση 12 μηνών υποθέτοντας ότι το προφίλ του ανέμου άλλαξε από εποχικές διαμορφώσεις. Το σχήμα 15 δείχνει τις τυπικές διακυμάνσεις της μέσης αιολικής ταχύτητας στην περιοχή της Βορείου Πορτογαλίας για διαφορετικούς μήνες του χρόνου. Αυτές οι τιμές παρουσιάζονται ανά μονάδα σε σχέση με τιμές του Ιανουαρίου του 2002.
Το πρόβλημα βελτιστοποίησης επεκτάθηκε για ένα ολόκληρο χρόνο, εξετάζοντας το προφίλ της αιολικής ενέργειας 365/2 των 48 h (Σχ.7), συμπεριλαμβάνοντας την εποχική αιολική διακύμανση σε κάθε μήνα πολλαπλασιάζοντας τις τιμές της ωριαίας αιολικής ενέργειας με την εποχική διαμόρφωση ανά μονάδα (Σχ.15).



Σχήμα 15. Ταχύτητα ανέμου στο χρόνο

Τα αποτελέσματα της ετήσιας προσομοίωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5 (α) και (β).

Yearly simulations—profit

Month	Profit			Seasonal Modulation (p.u.)
	Month		Annual (k€)	
	(€)	(%)		
1	1953.75	13.22	356.56	1.00
2	2065.25	13.77	376.91	1.03
3	869.23	7.31	163.75	0.76
4	2051.54	13.21	374.41	1.13
5	1170.70	8.93	213.65	0.83
6	1998.66	12.18	364.75	1.28
7	860.52	7.11	157.04	0.74
8	644.26	8.96	117.58	0.44
9	2064.81	13.75	376.83	1.04
10	1758.07	12.31	320.85	0.94
11	2062.06	13.77	376.33	1.03
12	966.93	7.70	176.46	0.78
Average	1541.15	11.92	281.26	0.92

Πίνακας 5$^{\alpha}$. Κέρδος στον χρόνο

Yearly simulation—mean power and storage

Month	Maximum storage capacity (MW h)	Mean power		Seasonal modulation (p.u.)
		W–H (MW)	OW (MW)	
1	22.00	4.00	3.74	1.00
2	22.00	4.11	3.79	1.03
3	21.67	3.06	3.15	0.76
4	22.00	4.24	3.92	1.13
5	21.67	3.35	3.36	0.83
6	22.00	4.46	4.13	1.28
7	21.33	3.01	3.12	0.74
8	21.29	1.72	1.86	0.44
9	22.00	4.11	3.80	1.04
10	21.95	3.80	3.63	0.94
11	22.00	4.10	3.79	1.03
12	21.57	3.15	3.22	0.78
Average	21.77	3.59	3.46	0.92

Πίνακας 5$^{\beta}$. Ισχύς τον χρόνο

Στους πίνακες 5 (α) και (β) η γραμμή *Μέσες* τιμές προκύπτει από τον υπολογισμό του αριθμητικού μέσου της αξίας των στοιχείων της αντίστοιχης πάνω στήλης. Το τέλειο κέρδος, όμως, προέκυψε μέσω του σταθμισμένου αριθμητικού μέσου της αξίας. Τα κέρδη που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5(α) αφορούν τις ωφέλειες από την υδρο-αιολική λειτουργία έναντι της αμιγούς αιολικής λειτουργίας.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5(α), η μεγαλύτερη διαθεσιμότητα παραγωγής αιολικής ενέργειας έχει γενικά σαν αποτέλεσμα τα μεγαλύτερα ποσοστιαία κέρδη σε μηνιαία βάση. Όμως, δεν υπάρχει γραμμική σχέση ανάμεσα σ' αυτές τις αξίες λόγω της συγκεκριμένης υδρο-αιολικής λειτουργίας που εφαρμόστηκε κάθε μήνα. Στην παρούσα προσομοίωση, η μεγαλύτερη εποχική διαμόρφωση είναι στον μήνα 6 (1.28 (ανά μονάδα), 12.18%), όμως το μεγαλύτερο ποσοστιαίο κέρδος αντιστοιχεί στους μήνες 2 και 11 (1.03 (ανά μονάδα), 13.77%). Η εποχική διακύμανση της αιολικής ενέργειας που περιγράφεται στο Σχ.9 υποδηλώνει μια ετήσια μείωση ύψους 8% στη μέση διαθέσιμη αιολική ενέργεια. Όμως, αυτή η μείωση μεταφράζεται σε υψηλότερη ετήσια μείωση του κέρδους, από € 365.560 (μήνας 1) σε € 281.260 (21.11%) στο χρόνο.

Στον Πίνακα 5(β), περιγράφονται το χρησιμοποιηθέν μέγιστο μέγεθος και ο μέσος όρος από τις ενεργές ενέργειες που παραδόθηκαν στο δίκτυο. Για τα χαμηλότερα προφίλ διαθέσιμης αιολικής ενέργειας, η δυνατότητα αποθήκευσης έχει πλήρως χρησιμοποιηθεί.

Η αξία της ετήσιας μέσης ενεργής ενέργειας που παραδόθηκε στο δίκτυο (Πίνακας 5(β), όταν υιοθετείται η υδρο-αιολική λειτουργία (3.56 MW), είναι λίγο μεγαλύτερη από εκείνη της αμιγούς αιολικής ενέργειας(3.46 MW). Όμως αναζητιέται σαν μέγιστο λειτουργικό κέρδος σ' αυτήν την προσέγγιση βελτιστοποίησης, αντί για τη μεγιστοποίηση της ενεργής ενέργειας που μπορεί να παραδοθεί στο σύστημα, σε μερικούς μήνες όπου η υδρο-αιολική λειτουργία παρέχει λιγότερη ενεργή ενέργεια στο σύστημα από την τακτική της αμιγούς αιολικής ενέργειας. Στους μήνες 3,5,7,8 και 12, η υδρο-αιολική λειτουργία παρέχει αξίες ενεργής ενέργειες κατώτερες από εκείνες που παραδίδονται μέσω της αμιγούς αιολικής ενέργειας., παρέχοντας αυξήσεις κέρδους της τάξεως του 7.31,8.93,7.11,8.96 και 7.10 αντίστοιχα.

4. Συμπεράσματα

Περιγράφηκε εδώ μια προσέγγιση βελτιστοποίησης για να συνδράμει στην αναγνώριση της καλύτερης στρατηγικής για τη λειτουργία μιας συνδυασμένης υδρο-αιολικής αποθηκευτικής εγκατάστασης μέσω άντλησης. Από τη λύση του προβλήματος βελτιστοποίησης είναι δυνατόν να καθοριστεί η ωριαία λειτουργία του σταθμού άντλησης νερού, της μίνι υδρο-γεννήτριας και της ανεμογεννήτριας, έτσι ώστε να αυξηθεί το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης ενέργειας. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή αυτής της προσέγγισης σε άμεσα πραγματικές συνθήκες. Επιπλέον, το προτεινόμενο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συνδράμει στον υδραυλικό σχεδιασμό της υδρο-αιολικής εγκατάστασης, υπολογίζοντας τις βέλτιστες προδιαγραφές του εξοπλισμού. Εξετάστηκαν δύο στρατηγικές που είχαν ως σκοπό την αποκομιδή κερδών στην υδρο-αιολική λειτουργία: α) μέσω ενέργειας που μεταφέρεται μεταξύ των περιόδων με διαφορετικές τιμές, και β) μέσω της αποθήκευσης της διαθέσιμης παραγωγής αιολικής ενέργειας όταν είναι μεγαλύτερη από το όριο αποδοχής της ενέργειας που μεταδίδεται και επιβάλλεται από το δίκτυο.

Παρουσιάζεται σ' αυτήν τη μελέτη μια ετήσια προσομοίωση, που εξετάζει τα στοιχεία του ανέμου στη Βόρεια Πορτογαλία. Αποκομίζονται ενδιαφέρουσες

ωφέλειες όταν συγκρίνεται η υδρο-αιολική στρατηγική λειτουργίας (ορίζεται μέσω της προσέγγισης βελτιστοποίησης που περιγράφεται στη μελέτη) έναντι της αμιγούς αιολικής λειτουργίας. [50]

3.3.2 ΙΣΠΑΝΙΑ

Σ' αυτήν τη μελέτη, παρουσιάζεται μια συνδυασμένη στρατηγική για την πλειοδοσία και τη λειτουργία της ανταλλαγής ενέργειας. Εξετάζει το συνδυασμό της εταιρίας παραγωγής αιολικής ενέργειας WGENCO και εταιρείας παραγωγής υδρο-ενέργειας (HGENCO). Παρουσιάζονται οι μαθηματικές φόρμουλες για τις βέλτιστες προσφορές τιμής και για τη βέλτιστη λειτουργία, καθώς επίσης και τα αποτελέσματα των ρεαλιστικών περιπτώσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μελέτη δεν αναφέρεται σε περίπτωση αντλισιοταμίευσης και αποθήκευσης του νερού, αλλά στην ταυτόχρονη – συνδυασμένη λειτουργία των δύο τρόπων παραγωγής ενέργειας.

Η μεγάλη ποσότητα μη-διανεμόμενης αιολικής ενέργειας που συνδέεται με το δίκτυο οδήγησε τις κανονιστικές αρχές στην Ισπανία να προωθήσουν την ενσωμάτωση αυτού του είδους την ενέργεια στην αγορά ηλεκτρισμού. Οι κανόνες που πρέπει να ακολουθήσουν αυτοί οι παραγωγοί είναι οι ίδιοι όπως για όλους τους άλλους. Αυτό σημαίνει ότι η εταιρεία παραγωγής αιολικής ενέργειας θα πρέπει να κάνει ένα πρόγραμμα αγοράς μια μέρα πριν, και ότι θα πληρωθεί πρόστιμο αν δεν τηρηθεί το πρόγραμμα.

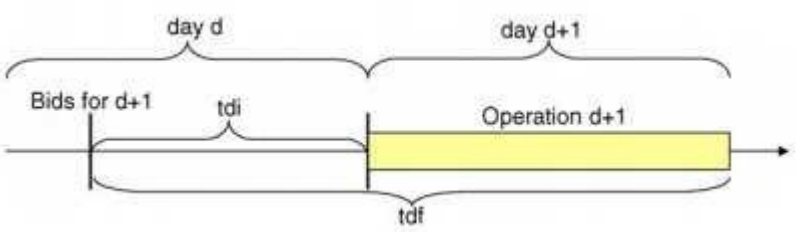
Αυτή η μελέτη παρουσιάζει δύο μεθόδους για την ελαχιστοποίηση αυτών των προστίμων, λαμβάνοντας υπόψη τη στοχαστική φύση της πρωταρχικής πηγής ενέργειας, του ανέμου. Η πρώτη μέθοδος βασίζεται στη στατιστική ανάλυση των πιθανότητας της προσδοκώμενης παραγωγής προκειμένου να μετριασθεί ο κίνδυνος της πρόβλεψης μια μέρα πριν.

Η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιεί μια υδρο-εγκατάσταση (HGENCO), προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το πρόστιμο για πρόκληση ανισορροπίας.
Και στις δύο περιπτώσεις, γίνεται η παραδοχή ότι η εταιρείες (WGENCO και HGENCO) είναι αυτές που παίρνουν τιμή.

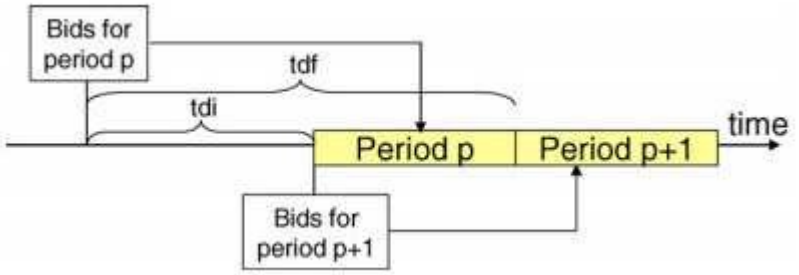
1. *Συμμετοχή στο κεφάλαιο*

Η μελέτη που παρουσιάζεται εδώ έχει σχεδιαστεί για ένα κεφάλαιο αγοράς, όπου οι προσφορές στις τιμές πρέπει να γίνονται μια φορά την ημέρα και να διορθώνονται σε αγορές μέσα στην ημέρα. Δεν λαμβάνονται υπόψη διμερή συμβόλαια.

Μελετώνται δύο διαφορετικές υποθέσεις. Η πρώτη εξετάζει μια μεμονωμένη ημερήσια δημοπρασία, δηλαδή οι προσφορές τιμής μπορούν να παρουσιαστούν μόνο μια φορά την ημέρα. Η άλλη εξετάζει διάφορες ημερήσιες δημοπρασίες (SA). Μια απεικόνιση αυτών των δύο περιπτώσεων παρουσιάζεται στα σχήματα 16 και 17.



Σχήμα 16. Μεμονωμένη ημερήσια δημοπρασία



Σχήμα 17. Διάφορες ημερήσιες δημοπρασίες

Στο παράδειγμα θα χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες τιμές: tdi = 14 ώρες, tdf = 38 ώρες για μια μεμονωμένη ημερήσια δημοπρασία (1^A) και tdi = 4 ώρες, tdf = 8 ώρες για διάφορες δημοπρασίες (SA, 6 δημοπρασίες την ημέρα σ' αυτήν την περίπτωση).

2. Πρόστιμο για ανισορροπίες

Σύμφωνα με τους ισπανικούς κανόνες [51], οι εταιρίες που προκαλούν ανισορροπίες θα πρέπει να πληρώσουν το κόστος αυτής της ανισορροπίας. Αυτή η αξία πρόκειται να εκφρασθεί σ' αυτήν τη μελέτη σαν πρόστιμο αναλογικό με την τιμή αγοράς της ενέργειας. αυτή η προσέγγιση είναι έγκυρη αν το ποσοστό εκτιμάται με κάποιο τρόπο από πριν.

Προκειμένου να υπολογιστεί το αναμενόμενο πρόστιμο είναι απαραίτητο να προβλεφθούν μια μέρα πριν οι τιμές της ενέργειας. Σ' αυτήν τη μελέτη θα γίνει η παραδοχή της τέλειας πρόβλεψης τιμής.

3. Πρόβλεψη αιολικής ενέργειας

Προκειμένου να μειωθεί το ποσό του προστίμου για την ανισορροπία είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί εργαλείο βραχυχρόνιας πρόβλεψης της αιολικής ενέργειας [52]. Το πιο απλό εργαλείο είναι η διατήρηση. Αυτή η μέθοδος κάνει την παραδοχή ότι η μελλοντική παραγωγή είναι η ίδια όπως η τωρινή. Η διατήρηση χρησιμοποιείται συνήθως σαν βοήθημα που πρέπει να βελτιωθεί από οποιοδήποτε πρακτικό εργαλείο πρόβλεψης.

Σ' αυτήν τη μελέτη, οι προβλέψεις θα γίνουν με μεγαλύτερη ακρίβεια, ακολουθώντας τα αποτελέσματα που αντλήθηκαν από το πρόγραμμα SIPREOLICO. Αυτό το πρόγραμμα παίρνει την ταχύτητα του ανέμου και τις προβλέψεις για την κατεύθυνση από το αριθμητικό πρόγραμμα πρόβλεψης

καιρού HIRLAM, καθώς επίσης και μετρήσεις ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, και παρέχει ωριαίες προβλέψεις μέχρι 42 ώρες πριν. Το SIPREOLICO έχει αναπτυχθεί από το Πανεπιστήμιο Carlos III της Μαδρίτης για Red Electrica της Ισπανίας, το Ισπανικό TSO, όπου λειτουργεί από το 2002. Η ακρίβεια του SIPREOLICO έχει ελεγχθεί με άλλα εργαλεία πρόβλεψης, και είναι παρόμοιο με εκείνο της προηγμένης τεχνολογίας. [53]

Στην επόμενη ενότητα, παρουσιάζονται οι εξισώσεις για τη μείωση του κόστους της ανισορροπίας της WGENCO και η μεγιστοποίηση των εσόδων της HGENCO. Τα αποτελέσματα της ρεαλιστικής υπόθεσης παρουσιάζονται στην ενότητα 4.

4. Ανεξάρτητος προγραμματισμός

Σ' αυτήν την ενότητα θα βρεθεί η βέλτιστη ενέργεια που θα πρέπει να δηλωθεί για προσφορά τιμής. Η WGENCO θα προσπαθήσει να βρει το μικρότερο αναμενόμενο κόστος ανισορροπίας ενέργειας και η HGENCO θα προσπαθήσει να βρει το μέγιστο αναμενόμενο έσοδο.

5. Παράδειγμα

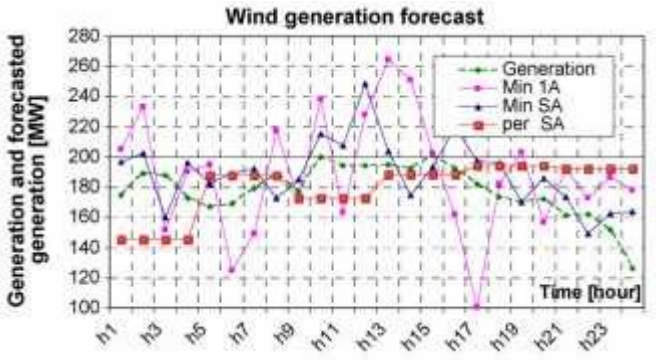
Για να τρέξουμε ένα παράδειγμα, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ρεαλιστικά στοιχεία. Αντλήθηκαν από πραγματική παραγωγή ενός συνόλου 13 ισπανικών αιολικών πάρκων, με συνολική ενέργεια ύψους 796.42 MW.

Οι προβλέψεις για αιολική ενέργεια έχουν παραχθεί χρησιμοποιώντας τη διατήρηση, και για διαφορετικές ακρίβειες μέσα στο εύρος της λειτουργίας του SIPREOLICO κατά μήκος της Ισπανίας. Γι' αυτό το λόγο οι προσομοιώσεις έτρεξαν για μέγιστη, ελάχιστη και μέση ακρίβεια. Αυτές οι προβλέψεις παρουσιάζονται στον πίνακα 5. Σ' αυτόν τον πίνακα η παραγωγή αυτού του συνόλου παρουσιάζεται μαζί με τις προβλέψεις για μέγιστη, ελάχιστη και μέση ακρίβεια για χρονικό ορίζοντα μεταξύ των 14 και 38 ωρών πριν.(μοναδική ημερήσια δημοπρασία) και με 4 και 8 ώρες πριν (6 δημοπρασίες την ημέρα SA). Η τελευταία στήλη δείχνει την τιμή της αγοράς και η στήλη «κατά SA» δείχνει τις προβλέψεις που αντλήθηκαν χρησιμοποιώντας τη διατήρηση, με αρκετές δημοπρασίες. Μερικά από τα στοιχεία του πίνακα 5 παρουσιάζονται στο σχήμα 18.

WGENCO forecasting for different markets

Time [h]	Generation [MWh]	Forecast [MWh]							λ [€/MWh]
		1A, *tdi* = 14, *tdf* = 38			SA, *tdi* = 4, *tdf* = 8				
		Minimum 1A	Average 1A	Maximum 1A	Minimum SA	Average SA	Maximum SA	Per SA	
1	174.7	204.8	177.6	187.1	196.7	173.3	189.5	145.2	15
2	189.0	233.4	206.9	210.0	202.5	187.6	198.4	145.2	14
3	187.5	151.9	194.0	173.4	160.4	171.7	170.2	145.2	14
4	172.9	190.2	183.7	181.7	195.9	181.8	185.4	145.2	14
5	167.6	194.8	174.9	182.2	182.8	180.3	177.5	187.8	14
6	169.0	125.2	170.2	151.5	189.3	185.5	181.5	187.8	14
7	179.3	149.2	155.9	166.6	192.5	169.4	186.7	187.8	15
8	188.6	217.1	246.1	201.2	173.1	181.4	179.1	187.8	15
9	177.8	172.5	181.5	179.7	181.1	200.5	182.1	172.9	15
10	199.9	238.2	204.7	223.9	215.6	208.7	209.2	172.9	22
11	193.9	163.6	194.8	183.4	207.4	218.0	201.1	172.9	24
12	194.3	228.4	244.6	209.8	248.6	209.4	229.1	172.9	24
13	194.8	264.7	155.9	226.0	203.6	182.9	202.0	188.6	24
14	192.3	251.3	192.8	223.0	174.9	186.7	182.2	188.6	21
15	201.1	202.5	225.3	204.5	193.2	221.6	195.0	188.6	15
16	192.4	162.3	182.5	178.3	219.7	173.3	210.1	188.6	14
17	182.1	100.7	201.2	146.7	197.6	195.8	192.2	194.3	14
18	173.8	181.8	203.2	179.9	195.9	156.0	187.4	194.3	14
19	170.2	203.2	192.7	189.3	170.2	173.9	169.1	194.3	15
20	172.7	157.2	184.4	164.4	185.9	181.0	179.3	194.3	27
21	161.7	191.8	138.5	178.0	173.8	180.4	169.5	192.4	33
22	162.0	173.3	185.1	165.5	149.2	170.9	152.6	192.4	25
23	151.9	186.5	158.8	169.3	162.8	150.6	160.1	192.4	15
24	126.1	177.8	111.0	158.4	164.1	134.0	149.7	192.4	17
Total up deviation		272.1	110.5	112.7	80.7	91.4	53.4	244.5	
Total down deviation		−519.1	−301.3	−271.1	−346.1	−190.7	−217.0	−294.2	

Πίνακας 5. Προβλέψεις για αιολική ενέργεια



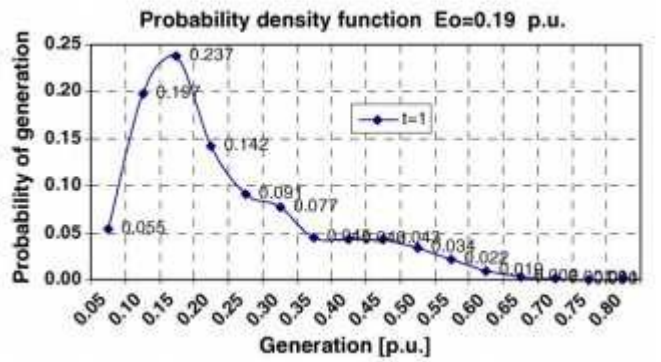
Σχήμα 18. Προβλέψεις για αιολική ενέργεια

Η προσομοίωση που παρουσιάστηκε εδώ έτρεξε για τιμές μιας μέρας (2002/1/02). Όμως εξετάστηκε ότι η μέθοδος συμπεριφέρεται σωστά και για άλλες μέρες, και η ημέρα αυτή επιλέχθηκε σαν αντιπροσωπευτική των γενικών τάσεων στην Ισπανική αγορά. [54]

6. Έσοδο από τη συγκέντρωση των αιολικών πάρκων λειτουργώντας ξεχωριστά

Προκειμένου να αποκομισθεί το υψηλότερο έσοδο, δεν είναι πάντοτε η καλύτερη επιλογή η προσφορά τιμής για την πιο πιθανή αξία ή την αναμενόμενη αξία της πρόβλεψης. Εξαρτάται από τη διαφορά μεταξύ των προστίμων για την παραπάνω ή παρακάτω παραγωγή (ψ_{up}/ ψ_{down}). Στην μελέτη που διεξήχθη, έγινε η παραδοχή διαφορετικών σχέσεων της αναλονίας

(ψ_{up}/ ψ_{down}). Η πιθανότητα ότι η παραγωγή του αιολικού πάρκου είναι pwr_N , όταν ο χρόνος ήταν t ώρες πριν ήταν pwr_0, $\rho(pwr_N/ pwr_0, tdi + t)$, έχει αντληθεί από ιστορικά αρχεία παραγωγής στο αιολικό πάρκο κατά τη διάρκεια 8 μηνών. Σαν παράδειγμα, η συνάρτηση πυκνότητας της πιθανότητας της παραγωγής του αιολικού πάρκου 14 ωρών (η πρώτη περίοδος της σχετικής ώρας λειτουργίας) μετά τη στιγμή που η παραγωγή ήταν 0.19p.u. δίνεται στο σχήμα 19. Οι τιμές αυτών των συναρτήσεων πιθανότητας για τις πρώτες 20 ώρες χρόνου λειτουργίας, και για την αξία pwr_0 = 0.19 p.u. δίνονται στον πίνακα 6. Οι πιο πιθανές τιμές σημειώνονται με έντονα γράμματα.



Σχήμα 19. Συνάρτηση πυκνότητας της πιθανότητας της παραγωγής του αιολικού πάρκου 14 ωρών

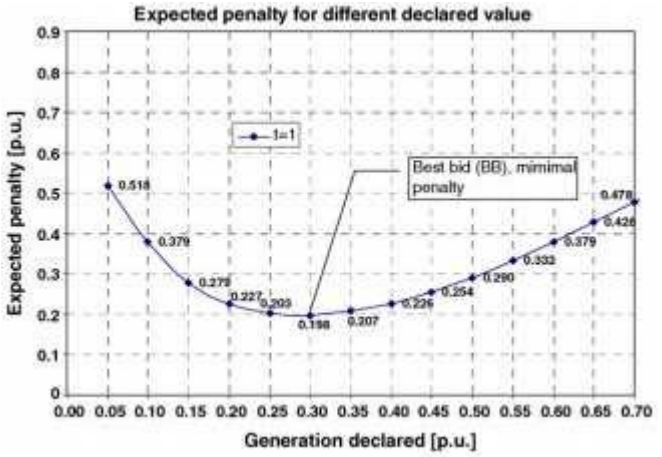
Probability density function for different time horizons

Generation (p.u.)	Probability of generation (pwr_0 = 0.19 p.u.)											
	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	t = 9	t = 10	t = 11	t = 12	t = 17	t = 18	t = 19	t = 20
0.05	0.055	0.055	0.055	0.060	0.080	0.090	0.090	0.085	0.071	0.062	0.060	0.056
0.10	0.197	0.203	**0.209**	**0.212**	0.201	0.193	0.196	0.202	**0.214**	**0.207**	0.187	0.185
0.15	**0.237**	**0.223**	0.208	0.202	**0.219**	**0.226**	**0.231**	**0.227**	0.195	0.195	**0.202**	**0.195**
0.20	0.142	0.142	0.150	0.146	0.133	0.123	0.114	0.114	0.097	0.106	0.111	0.116
0.25	0.091	0.107	0.106	0.109	0.099	0.105	0.112	0.114	0.124	0.113	0.117	0.109
0.30	0.077	0.074	0.083	0.074	0.074	0.075	0.069	0.068	0.073	0.084	0.075	0.083
0.35	0.045	0.046	0.044	0.050	0.049	0.045	0.052	0.056	0.066	0.073	0.079	0.078
0.40	0.043	0.032	0.027	0.029	0.034	0.035	0.034	0.032	0.043	0.044	0.050	0.051
0.45	0.043	0.040	0.035	0.035	0.043	0.039	0.038	0.035	0.041	0.035	0.039	0.043
0.50	0.034	0.038	0.044	0.041	0.035	0.029	0.022	0.022	0.018	0.022	0.018	0.022
0.55	0.022	0.024	0.023	0.026	0.012	0.016	0.013	0.015	0.015	0.013	0.016	0.016
0.60	0.010	0.009	0.010	0.007	0.006	0.004	0.010	0.009	0.013	0.012	0.011	0.017
0.65	0.002	0.002	0.000	0.000	0.004	0.007	0.005	0.007	0.010	0.013	0.016	0.013
0.70	0.001	0.002	0.004	0.002	0.001	0.000	0.001	0.000	0.009	0.009	0.009	0.006
0.75	0.000	0.001	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001	0.004	0.006	0.004	0.007
0.80	0.001	0.001	0.002	0.002	0.007	0.006	0.007	0.007	0.007	0.005	0.007	0.004
0.85	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	0.005	0.005	0.005	0.001	0.001	0.000	0.000
0.90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.95	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Expected value	0.2226	0.2234	0.2238	0.2239	0.2203	0.2187	0.2175	0.2439	0.2322	0.2363	0.2403	0.2439

pwr_0 = 0.19 p.u.

Πίνακας 6. Τιμές των συναρτήσεων πιθανότητας για τις πρώτες 20 ώρες χρόνου λειτουργίας

Όταν γίνει γνωστή η συνάρτηση πυκνότητας της πιθανότητας, η καλύτερη προσφορά τιμής (αυτή με το μικρότερο πρόστιμο) για κάθε ώρα υπολογίζεται μια μέρα πριν. Το σχήμα 20 δείχνει τα πρόστιμα που αναμένονται για διαφορετικές αξίες για την πρώτη ώρα της επόμενης ημέρας (δηλ. για την πρόβλεψη των 14 ωρών). Οι αξίες των προστίμων στο σχήμα 20 είναι ανά μονάδα (p.u.) τιμή προστίμου και βασική ενέργεια (S_b). Σημαίνει ότι είναι αναγκαίο να πολλαπλασιασθούν οι τιμές με την τιμή του προστίμου και τη βασική ενέργεια του κάθε συγκεκριμένου συστήματος που εξετάζεται. Από το σχήμα μπορεί να συναχθεί ότι το ελάχιστο αναμενόμενο πρόστιμο θα προκύψει για τη δήλωση παραγωγής 0.3 ανά μονάδα, ενώ η πιο πιθανή αξία είναι 0.237 ανά μονάδα και η αναμενόμενη αξία 0.2226 ανά μονάδα. Οι αξίες είναι ανά μονάδα και η βασική ενέργεια είναι S_b = 796 MVA.



Σχήμα 20. Αξίες των προστίμων

Ο πίνακας 7 δείχνει τη σύγκριση - για μια συγκεκριμένη ημέρα – μεταξύ των προσφορών τιμής ακολουθώντας τρεις στρατηγικές: μέγιστης πιθανότητας, αναμενόμενης αξίας, και ελάχιστου προστίμου. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι για την ημέρα που εξετάστηκε, τα στοιχεία και η υπόθεση που εξετάστηκε, τα πραγματικά πρόστιμα ήταν 7.84, 4.12 και 5.18 για HP, BB και EV αντίστοιχα. [54]

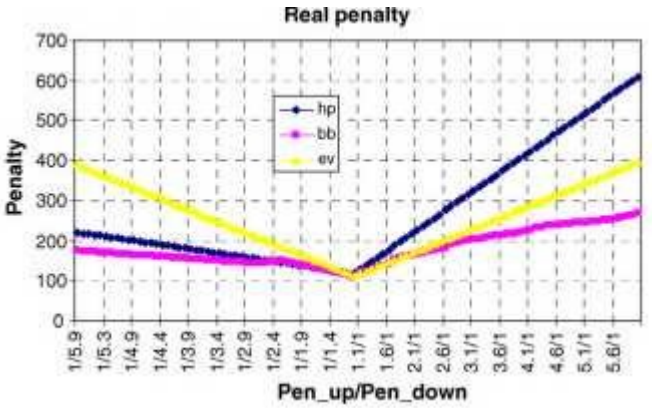
Optimal bids according to three different strategies, only 1 bid per day, $\psi_{up}/\psi_{down} = 3$

Time [h]	Highest probability (HP)		Best bid (BB)		Expected value (EV)	
	Bid [p.u.]	Real penalty [p.u.]	Bid [p.u.]	Real penalty [p.u.]	Bid [p.u.]	Real penalty [p.u.]
1	0.15	0.1191	0.30	0.1103	0.20	0.0103
2	0.15	0.0447	0.30	0.1351	0.20	0.0351
3	0.10	0.26019	0.30	0.11327	0.20	0.01327
4	0.10	0.35517	0.30	0.08161	0.20	0.05517
5	0.10	0.23178	0.30	0.12274	0.20	0.02274
6	0.10	0.16437	0.30	0.14521	0.20	0.04521
7	0.15	0.00669	0.30	0.15669	0.20	0.05669
8	0.15	0.02535	0.30	0.17535	0.20	0.07535
9	0.15	0.04796	0.30	0.19796	0.20	0.09796
10	0.15	0.064103	0.30	0.214103	0.20	0.114103
11	0.15	0.050942	0.30	0.200942	0.20	0.100942
12	0.15	0.03961	0.30	0.18961	0.20	0.08961
13	0.15	0.05608	0.30	0.20608	0.20	0.10608
14	0.15	0.03019	0.30	0.18019	0.20	0.08019
15	0.10	0.08313	0.30	0.17229	0.20	0.07229
16	0.10	0.14949	0.30	0.15017	0.20	0.05017
17	0.10	0.30399	0.30	0.09867	0.20	0.00399
18	0.10	0.4737	0.30	0.0421	0.20	0.1737
19	0.10	0.77883	0.30	0.17883	0.20	0.47883
20	0.15	0.80244	0.35	0.20244	0.20	0.65244
21	0.15	0.85107	0.35	0.25107	0.20	0.70107
22	0.15	0.80736	0.35	0.20736	0.20	0.65736
23	0.10	0.97656	0.35	0.22656	0.20	0.67656
24	0.10	1.12047	0.35	0.37047	0.20	0.82047
Total day		7.843275		4.129115		5.189595

Πίνακας 7. Σύγκριση - για μια συγκεκριμένη ημέρα – μεταξύ των προσφορών τιμής

Προκειμένου να αντληθεί ένα πιο γενικό αποτέλεσμα διενεργήθηκε διαδικασία βελτιστοποίησης για 44 ημέρες που ακολούθησε τη συνθήκη pwr_0 = 0.19 p.u. Για τη σχέση ψ_{up}/ψ_{down} = 3, τα πραγματικά πρόστιμα για τις 44 ημέρες είναι 315.14, 202.22 και 226.52 ανά μονάδα για HP, BB και EV αντίστοιχα.

Στο σχήμα 21 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις 44 ημέρες που εξετάστηκαν και κάτω από διαφορετικές συνθήκες προστίμου.
Αυτά τα αποτελέσματα εξαρτώνται κυρίως από τη σχέση ψ_{up}/ψ_{down} και από τη συνάρτηση πυκνότητας της πιθανότητας της πρόβλεψης.



Σχήμα 21. Πρόστιμο.

7. Συνδυασμένη έναντι μεμονωμένης λειτουργίας

Οι πράκτορες WGENCO και HGENCO μπορούν να λειτουργούν μαζί ή ξεχωριστά. Η πρώτη περίπτωση θα συνέβαινε αν και οι δύο γεννήτριες είχαν τον ίδιο ιδιοκτήτη, που προσπαθεί να μεγιστοποιήσει το συνδυασμένο έσοδο. Στην μελέτη αναλύονται και οι δύο καταστάσεις.

8. Αιολικό πάρκο που λειτουργεί μεμονωμένα

Αν η WGENCO λειτουργεί ξεχωριστά, θα πρέπει να πληρώσει όλη την απόκλιση μεταξύ της προγραμματισμένης και της πραγματικής παραγωγής. Το πληρωτέο ποσό εξαρτάται από την ακρίβεια της πρόβλεψης. Προκειμένου να ποσοτικοποιήσει τις ζημιές λόγω της ανισορροπίας μ' ένα δεδομένο εργαλείο πρόβλεψης, το σχετικό έσοδο ορίζεται στην ακόλουθη εξίσωση.

$$\text{Σχετικό έσοδο} = \frac{\text{Έσοδο με πραγματική πρόβλεψη}}{\text{Έσοδο με τέλεια πρόβλεψη}}$$

Σχήμα 22

Στο σχήμα 22, το σχετικό έσοδο δίνεται για διαφορετική υπόθεση πρόβλεψης. Από αυτό το σχήμα, μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η χρήση της διατήρησης σαν εργαλείο πρόβλεψης φέρει μεγαλύτερη απώλεια εσόδου. Για παράδειγμα, σε μια αγορά με έξι δημοπρασίες και ένα πρόστιμο ανισορροπίας 1.75 φορές την τιμή της αγοράς, τα σχετικά έσοδα είναι 0.89 και 0.82 για μέγιστη και ελάχιστη ακρίβεια πρόβλεψης, αντίστοιχα, ενώ για τη διατήρηση είναι 0.77.
- Σε μια αγορά με μια μόνο δημοπρασία ο χρόνος πριν την πρόβλεψη είναι μεγαλύτερος από την αγορά που έχει αρκετές δημοπρασίες και φέρει μεγαλύτερες απώλειες. Για παράδειγμα, με ένα πρόστιμο της τάξεως των 1.75 φορές την τιμή αγοράς, και ελάχιστη ακρίβεια, η απώλεια εσόδου είναι 0.67 για μια μόνο δημοπρασία και 0.825 για έξι ημερήσιες δημοπρασίες.

9. Η συνδυασμένη λειτουργία της GENCO

Στην συνδυασμένη λειτουργία, η υδρο-εγκατάσταση θα κάλυπτε τις αποκλίσεις της WGENCO από το συνδυασμένο πρόγραμμα, προκειμένου να μεγιστοποιήσει το συνολικό έσοδο. Το σχήμα 23 παρουσιάζει την αλλαγή στο έσοδο της HGENCO και της WGENCO έναντι του προστίμου που πληρώνεται όσες φορές επί της τιμής αγοράς. Προφανώς, η αύξηση στο έσοδο της WGENCO θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από τις ζημιές της HGENCO για τη συνδυασμένη λειτουργία. Επίσης δείχνει την ανισορροπία που παρουσιάζει το συνδυασμένο σύστημα σαν συνάρτηση του προστίμου που πληρώνεται. Όταν το πρόστιμο είναι μηδέν, οι ανισορροπίες δεν αποζημιώνονται καθόλου, και είναι 272.1 και 519.1 MWh με αποκλίσεις πάνω και κάτω, αντίστοιχα, όπως είναι σ' αυτήν την περίπτωση. Σ' αυτό το σχήμα παρουσιάζεται επίσης το ποσό των ανισορροπιών που επιτρέπεται στο αιολικό πάρκο να υποστεί. Όταν το πρόστιμο είναι χαμηλό, είναι καλύτερο να επιτρέπονται ανισορροπίες παρά να τροποποιηθεί ο προγραμματισμός του νερού. Αφού σ' αυτό το παράδειγμα η τιμή του νερού είναι υψηλή, οι ανισορροπίες αποζημιώνονται πλήρως όταν τα πρόστιμα είναι επίσης πολύ υψηλά.

Σχήμα 23. Αλλαγή εσόδου συναρτήσει προστίμου

Τα υψηλά πρόστιμα ενθαρρύνουν την υδρο-γεννήτρια να καλύπτει τις αποκλίσεις του ανέμου. Αυτή η κάλυψη επίσης εξαρτάται από την μελλοντική τιμή του νερού. Στο παράδειγμα, για μια μελλοντική τιμή νερού της τάξεως των € 60 MWh^{-1}, η υδρο-εγκατάσταση θα καλύψει ολοκληρωτικά μόνο την υπολειπόμενη παραγωγή του αιολικού πάρκου αν το πρόστιμο είναι πολύ υψηλό (1.75 φορές την τιμή περιθωρίου).

Το σχήμα 24 δείχνει τη συνολική (WGENCO και HGENCO μαζί) αύξηση του εσόδου για διαφορετική υπόθεση αγοράς και ακρίβεια πρόβλεψης. Συγκρίνοντας, τις διάφορες δημοπρασίες χρησιμοποιώντας μέγιστη ακρίβεια και διατήρηση "SA max" και "SA per", αντίστοιχα, η υψηλότερη βελτίωση είναι εναντίον της διατήρησης. Συγκρίνοντας τη μία δημοπρασία και τις αρκετές δημοπρασίες (και τις δύο με μέγιστη ακρίβεια) η υψηλότερη βελτίωση είναι για την μία δημοπρασία.

Σχήμα 24. Αύξηση κέρδους συναρτήσει προστίμου

Οι αριθμητικές αξίες αυτής της ωφέλειας κάτω από διαφορετικές παραδοχές δίνονται στον πίνακα 8 για αξίες ψ= ψ $_{up}$= ψ_{down}. Παραδείγματος χάριν, για ψ = 1.5, με ελάχιστη ακρίβεια της δύσκολης πρόβλεψης του ανέμου, και με αρκετές δημοπρασίες (SA), οι αποκλίσεις που πληρώνονται από την WGENCO είναι € 11.580,39. Η εξοικονόμηση με τη συνδυασμένη λειτουργία είναι € 5.355.90, δηλαδή ποσοστό 46.25%. [54]

Percentage of wind penalties save with the combined operation

	Penalty						
	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75
Difference between separated operation and combined							
1A							
Minimum	212.15	1079.01	2247.08	3437.30	5851.91	9141.15	12686.09
Medium	137.37	981.80	2071.35	3242.14	4865.31	6623.88	8395.35
Maximum	147.26	577.30	1126.49	1695.78	2657.24	3968.05	5491.74
SA							
Minimum	177.04	725.91	1457.66	2246.42	3542.45	5355.90	7285.96
Maximum	124.05	478.56	956.29	1466.33	2139.77	3086.40	4068.55
Per	287.32	1488.85	2892.90	4357.39	6534.61	8871.55	11318.99
Penalty for the WGENCO operating alone							
1A							
Minimum	3588.66	7177.33	10765.99	14354.65	17943.31	21531.98	25120.64
Medium	1935.78	3871.56	5807.33	7743.11	9678.89	11614.67	13550.45
Maximum	1746.33	3492.66	5238.99	6985.31	8731.64	10477.97	12224.30
SA							
Minimum	1930.06	3860.13	5790.20	7720.26	9650.33	11580.39	13510.46
Maximum	1220.44	2440.88	3661.33	4881.77	6102.21	7322.66	8543.10
Per	2447.44	4894.88	7342.33	9789.77	12237.21	14684.66	17132.10
Percentage of wind penalty recovered by combined operation							
1A							
Minimum	5.91	15.03	20.87	23.95	32.61	42.45	50.50
Medium	7.10	25.36	35.67	41.87	50.27	57.03	61.96
Maximum	8.43	16.53	21.50	24.28	30.43	37.87	44.92
SA							
Minimum	9.17	18.81	25.17	29.10	36.71	46.25	53.93
Maximum	10.16	19.61	26.12	30.04	35.07	42.15	47.62
Per	11.74	30.42	39.40	44.51	53.40	60.41	66.07

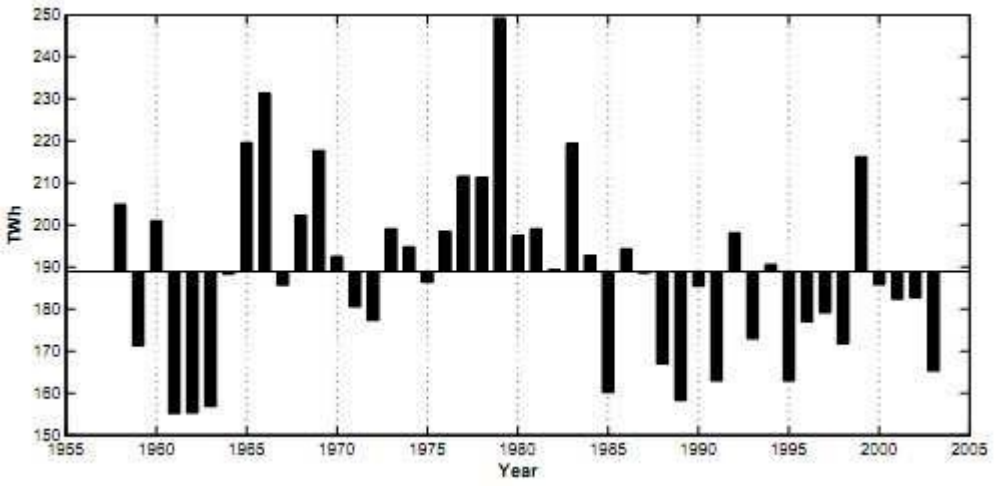
Πίνακας 8. Αριθμητικές αξίες της ωφέλειας κάτω από διαφορετικές παραδοχές δίνονται

3.3.3 ΚΑΝΑΔΑΣ

Η μελέτη εστιάζει στην επαρχία του Κεμπέκ, στον ανατολικό Καναδά. Το Κεμπέκ έχει άφθονες πηγές υδρο-ενέργειας, και ισόποσο άφθονες – αλλά ανεκμετάλλευτες –πηγές αιολικής ενέργειας.
Η προσέγγιση σχεδιασμού, δηλ. ο σύνδεσμος, διαχωρίζει τη διαχείριση της διανομής περιθωρίου – των εισροών νερού και εισροών ανέμου – από τον σχεδιασμό της εξάρτησής τους. Συνεπώς, παρέχονται στοιχεία και λεπτομέρειες του μοντέλου για τις δύο εισροές και την εξάρτηση σε τρεις ξεχωριστές υποενότητες. Επίσης σε αυτή την μελέτη δεν εξετάζεται η αποθήκευση του νερού, δηλαδή η αντλισιοταμίευση, αλλά η συνδυασμένη - ταυτόχρονη λειτουργία.

1. Εισροές νερού

Η συγκέντρωση στοιχειών για τις εισροές νερού σε ένα συγκεκριμένο συγκρότημα εγκαταστάσεων μπορεί να είναι δύσκολο έργο, επειδή τα στοιχεία είναι πολύ σπάνια διαθέσιμα στο κοινό. Είναι ακόμα πιο δύσκολο αν κάποιος χρειάζεται να εξάγει συμπέρασμα για παλαιές εισροές σε φράγματα, πριν αυτά ακόμα είχαν κατασκευαστεί, δηλ. με βάση τις μετεωρολογικές και εδαφολογικές μελέτες. Αυτή η χρονοσειρά εισροών ήταν διαθέσιμη στο κοινό μέσω της Συνόδου για την ενέργεια στο Κεμπέκ το 2004. Η σειρά υπολογίστηκε από το Υδρο-Κεμπέκ και δίνει τις ετήσιες εισροές από το 1954 έως το 2003, σε τερα-βατόρες, για όλες τις υδρο-ηλεκτρικές εγκαταστάσεις που λειτουργούσαν το 2003. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι αναγκαίο να ανταποκρίνεται η ετήσια εισροή στην ενέργεια που παράχθηκε εκείνη τη χρονιά. Το νερό, παραδείγματος χάριν, μπορεί να χρησιμοποιήθηκε από την προηγούμενη χρονιά ή να φυλάχτηκε για την επόμενη. Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διαδικασία της Συνόδου ήταν ανοιχτή μόνο για να επιληφθεί των ζητημάτων ασφάλειας της ενέργειας του Υδρο-Κεμπέκ και πρότεινε λύσεις. Στοιχεία μεγαλύτερης συχνότητας δεν ήταν διαθέσιμα. Όμως τα φράγματα είναι αρκετά μεγάλα για να μετριάσουν σημαντικά το ενδιαφέρον για την εποχική συμπληρωματικότητα και αυτή που προκύπτει μέσα στο χρόνο.
Το σχήμα 25 δείχνει τη σειρά σαν πλεονάσματα και ελλείμματα έναντι της μέσης σειράς που είναι περίπου 189 τερα-βατόρες. Θα γίνει αναφορά, όπως προαναφέρθηκε, σε ένα συγκρότημα υδρο-ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, σαν «σύστημα υδρο-ενέργειας». [55]



Σχήμα 25. Σειρά σαν πλεονάσματα και ελλείμματα έναντι της μέσης σειράς που είναι περίπου 189 τερα-βατόρες

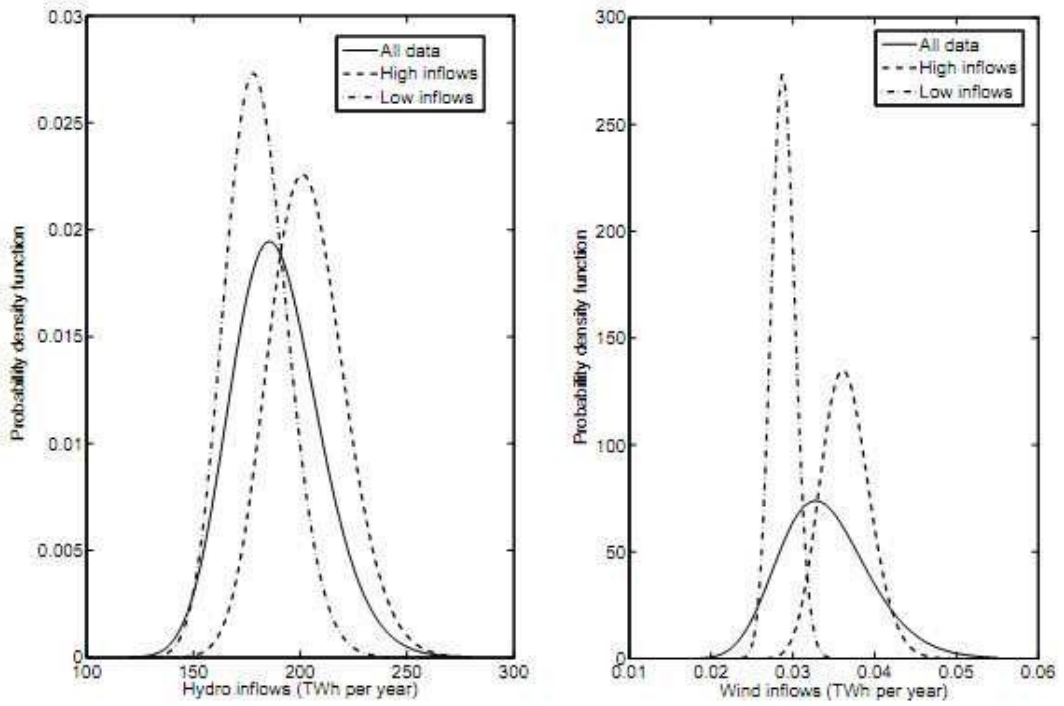
Διακρίνονται δύο περίοδοι: Από το 1965 έως το 1983 ο μέσος όρος ήταν πάνω από 203 τερα-βατόρες, ενώ από το 1984 έως το 2003 ο μέσος όρος ήταν λιγότερος από 180 τερα-βατόρες. Θα εστιαστεί η προσοχή σ' αυτές τις δύο υπο-περιόδους, οι οποίες θα αναφέρονται σαν περίοδοι «υψηλών εισροών» και «χαμηλών εισροών». Στην πραγματικότητα θα χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία για να οριστούν τρία σενάρια: το πρώτο θα βασίζεται σε «όλα τα στοιχεία»¨(1958-2003), ένα σε «υψηλές εισροές» (1965-1983), και ένα για τις «χαμηλές εισροές» (1984-2003).

Πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση στα στοιχεία για να βρεθεί μια κατάλληλη διανομή και οι παράμετροι αυτής. Χρησιμοποιήθηκε μια τυποποιημένη προσέγγιση μέγιστης πιθανότητας, και προσαρμόστηκε ολόκληρη η σειρά καθώς επίσης και οι δύο υπο-περίοδοι που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι διανομές που εξετάστηκαν ήταν η κανονική, η λογαριθμική-κανονική κατανομή και η γάμα κατανομή. Σε όλες τις περιπτώσεις η λογαριθμική-κανονική κατανομή είχε την καλύτερη προσαρμογή. Οι παράμετροι για κάθε περίοδο παρουσιάζονται στον πίνακα 9.

Period	All data 1958–2003	High inflows 1965–1983	Low inflows 1984–2003
Average inflow	188.9 TWh	203.3 TWh	179.7 TWh
Std deviation	20.8 TWh	17.8 TWh	14.7 TWh
μ	5.235	5.311	5.188
σ	0.1099	0.0875	0.0818

Πίνακας 9. Παράμετροι για κάθε περίοδο

Επιβεβαιώθηκε η καταλληλότητα των προσαρμογών μέσω σχεδίων τεταρτημορίου - τεταρτημορίου (δεν παρουσιάζεται). Η πιθανότητα συναρτήσεων πυκνότητας για το 1958-2003 και για τις δύο υπο-ενότητες παρουσιάζονται στην αριστερή πλευρά του σχήματος 26. Ένα φυσιολογικό ερώτημα του εγείρεται είναι το γιατί τα στοιχεία διαμορφώθηκαν με στατική μορφή κι όχι σαν χρονοσειρά. Διενεργήθηκαν τέστ αυτό-συσχέτισης πάνω στη σειρά. Μόνο η χρονική υστέρηση 1 στο τεστ του Pearson ήταν σημαντική στο επίπεδο του 5%, με τιμή πιθανότητας (p-value) 3.6%. Τα τεστ του Kendall και του Spearman για τη χρονική υστέρηση 1 αυτό-συσχέτισης είχαν και τα δύο τιμή πιθανότητας (p-value) 6%. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μελέτη του Perreault κ.α. το 1996 ανέφερε ότι παρόμοια αποτελέσματα με (μικρή) σημαντική υστέρηση 1 αυτό-συσχέτισης για τις συνολικές εισροές σε οχτώ υδρο-σταθμούς του Κεμπέκ. Σε κάθε περίπτωση, μια μικρή σειρά με μικρή αυτό-συσχέτιση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα σημαντικό μοντέλο χρονοσειράς. Το ίδιο επιχείρημα ωθεί στο στατικό σχεδιασμό των εισροών αιολικής ενέργειας, που ακολουθεί παρακάτω.



Σχήμα 26

2. Εισροές ανέμου

Το μοντέλο βασίζεται σε στοιχεία για την ωριαία ταχύτητα του ανέμου κατά την περίοδο 1958-2003. Προκειμένου να είναι απλό το μοντέλο δεν λήφθηκε υπόψη άλλος παράγοντας παρά μόνο η ωριαία ταχύτητα. Η κατεύθυνση, η υγρασία, η θερμοκρασία κ.λ.π. δεν λήφθηκαν υπόψη στο μοντέλο. Το μετεωρολογικό συνθήκη που ακολουθήθηκε από το Περιβάλλον του Καναδά είναι η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου σε ύψος 10 μέτρων, και δεν βρέθηκαν στοιχεία απόκλισης από αυτήν την τακτική. Τα στοιχεία για μια συγκεκριμένη ώρα και μια συγκεκριμένη εγκατάσταση είναι συνήθως το μέσο για τουλάχιστον μερικές παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια αυτής της ώρας. Το

μοντέλο κάνει την παραδοχή ότι ο άνεμος φυσούσε συνέχεια μ' αυτήν τη μέση ταχύτητα, καθ' όλη τη διάρκεια της ώρας. Σημειώνεται ότι οι ταχύτητες του ανέμου προσαρμόστηκαν μετά για να ληφθεί υπόψη και το ύψος της ανεμογεννήτριας (περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω). [55]

Επιλέχθηκαν 10 εγκαταστάσεις στην περιοχή της επαρχίας, με βάση τη διαθεσιμότητα των στοιχείων, την ποιότητα των στοιχείων και τη σχετικότητα της γεωγραφικής περιοχής με την παραγωγή αιολικής ενέργειας. Οι εγκαταστάσεις δεν είναι αιολικά πάρκα , οι περισσότερες μάλιστα είναι αεροδρόμια. Όμως δεν υπάρχουν αλλού διαθέσιμες μεγάλες στατιστικές σειρές. Σε δύο περιπτώσεις, έπρεπε να γεφυρωθούν τα στοιχεία από δύο διαφορετικές περιοχές για να συμπληρωθεί η σειρά. Τα κενά στην σειρά, που είναι αναπόφευκτα σε τόσο μεγάλες βάσεις δεδομένων, αντικαταστάθηκαν από άλλα κοντινής αξίας (προγενέστερα ή μεταγενέστερα). Οι λεπτομέρειες εμφανίζονται στον πίνακα 10, που περιλαμβάνει τις χρονιές που υπήρχε διαθεσιμότητα στοιχείων, τα νούμερα εξακρίβωσης κλίματος από το Περιβάλλον του Καναδά και η πυκνότητα της αιολικής ενέργειας σε βατ για κάθε τετραγωνικό μέτρο, όπως υπολογίστηκαν από τον Illinca κ.α. (2003). Η πυκνότητα της αιολικής ενέργειας δεν είναι διαθέσιμη για όλες τις εγκαταστάσεις.

Sites	Years	Climate ID	WPD
Bagotville	1953–2003	7060400	166
Kuujjuarapik	1957–2003	7103536	269
La Grande			
Nitchequon	1953–1985	7095480	176
La Grande IV	1985–2003	7093GJ3	—
Maniwaki			
Maniwaki	1953–1993	7034480	20
Maniwaki	1993–2003	7034482	20
Mont-Joli	1953–2003	7055120	356
Roberval	1958–2003	7066685	144
Rouyn	1954–2003	7086720	76
Sept-Iles	1953–2003	7047910	—
Schefferville	1953–2003	7117825	—
Val-d'Or	1955–2003	7098600	—

Πίνακας 10. Στοιχεία περιοχών.

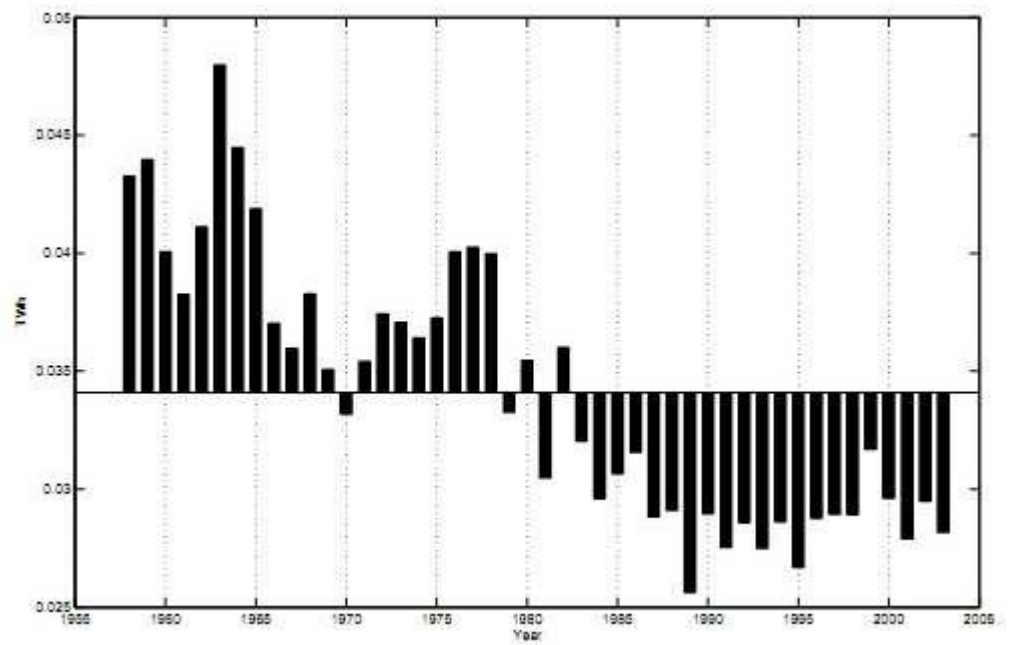
Η εισροή ενέργειας για κάθε εγκατάσταση προήλθε από την καμπύλη ενέργειας του Vestas V80 IEC Κατηγορία 1 γεννήτριας, μια συσκευή που τοποθετήθηκε στο Κεμπέκ πρόσφατα. Ο προσδιορισμός της καλύτερης ανεμογεννήτριας για κάθε εγκατάσταση είναι πολύπλοκο έργο, που απαιτεί στοιχεία τα οποία δεν υπάρχουν. Χρησιμοποιήθηκε απλά ο ίδιος στρόβιλος για όλες τις εγκαταστάσεις. Η καμπύλη ενέργειας του V80 είναι διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη σελίδα της Vestas. Η ελάχιστη ταχύτητα όπου μπορεί να παραχθεί ενέργεια από τον άνεμο και η μέγιστη ταχύτητα κατά την οποία δεν μπορεί να παραχθεί ενέργεια από τον άνεμο είναι 4 και 25 μέτρα / δευτερόλεπτο αντίστοιχα. Η πυκνότητα του αέρα θεωρήθηκε ότι είναι σταθερή

στα 1.225 kg/m^3. Η ταχύτητα του ανέμου υπολογίστηκε κατά προσέγγιση σε ένα κομβικό ύψος 67 μέτρων, που είναι ένα κλασσικό ύψος για το V80. Ο υπολογισμός κατά προσέγγιση έγινε με το νόμο της ενέργειας με εκθέτη 1/7, δηλαδή οι ταχύτητες του ανέμου στα 67 μέτρα είναι οι ταχύτητες του ανέμου στα 10 μέτρα πολλαπλασιασμένες με 67/10 εις τη δύναμη του 1/7, ίση περίπου με 1.312. Για περισσότερες λεπτομέρειες για την προσέγγιση του ύψους μπορούμε να ανατρέξουμε στον Illinca κ.α (2003).

Οι ετήσιες εισροές για τις διάφορες εγκαταστάσεις, υπολογίστηκαν κατά μέσο όρο σε περισσότερα από 46 χρόνια, και, φυσιολογικά, είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους, με εξαίρεση ίσως αυτής της Maniwaki. Η εγκατάσταση Mont-Joli έδωσε την υψηλότερη εισροή και αυτής της Maniwaki τη χαμηλότερη, με μια αναλογία 13 προς 1. Άλλες εισροές ήταν πολύ κοντά σ' αυτήν του Mont-Joli, με υψηλότερη αναλογία της τάξεως του 3.6.

Η συνολική εισροή ενέργειας του συστήματος 10 ανεμογεννητριών, σε τεραβατόρες, παρουσιάζεται στο σχήμα 27 σαν πλεονάσματα και ελλείμματα έναντι του μέσου όρου της σειράς της τάξεως των 0.0341 τεραβατόρες. Το σύστημα αυτό θα αναφέρεται σαν «σύστημα αιολικής ενέργειας».

Η εισροή στο σύστημα αιολικής ενέργειας είναι, προφανώς, πολύ μικρότερης κλίμακας από εκείνη του συστήματος υδρο-ενέργειας (σύγκριση του σχ.25 και του σχ.27). Θα γίνει αναφορά σ' αυτό αργότερα δεδομένου ότι δεν επηρεάζει την ανάλυση του συνδέσμου εξάρτησης της επόμενης ενότητας.



Σχήμα 27. Μεταβολή στη διάρκεια των ετών.

Στο σχήμα 27, είναι αξιοσημείωτη η προφανής «μεταβολή τάξεως» που λαμβάνει χώρα την περίοδο 1980-1981. Η μέση ετήσια εισροή για την περίοδο 1958-1980 είναι 0.039 τεραβατόρα, σε σύγκριση με τη 0.029 τεραβατόρα της περιόδου 1981-2003. Αυτό το αποτέλεσμα είχε παρατηρηθεί πρωτύτερα, αλλά δεν είχε εξηγηθεί (Lauzon, 2003). Έκπληξη επίσης προκαλεί η σχεδόν ακριβής ισοτιμία των «υψηλών-χαμηλών» περιόδων ανέμου με εκείνες του νερού. Ενώ δεν υπάρχει ειδίκευση για να μεταφραστούν αυτές οι στατιστικές από την μετεωρολογική άποψη, αυτό το φαινόμενο θα διερευνηθεί στην ανάλυση κινδύνου. Αποφασίστηκε να τεθεί ένα κοινό σημείο κοπής, μετά το 1983, της σειράς εισροών της υδρο-ενέργειας και της αιολικής ενέργειας, και να χρησιμοποιηθούν οι «υψηλές εισροές» που είχαν εισαχθεί νωρίτερα (1965-1983) και οι «χαμηλές εισροές» (1984-2003) και για τις δύο σειρές. Το «όλα τα στοιχεία» πάντοτε αναφέρεται στην περίοδο 1958-2003, το οποίο προσθέτει εφτά επιπλέον χρόνια στις δύο υπο-περιόδους.

Τα στοιχεία εισροών αιολικής ενέργειας αναλύθηκαν, ξανά με την προσέγγιση της μεγαλύτερης πιθανότητας, που ταίριαζε στην κανονική, λογαριθμική-κανονική κατανομή και στην γάμα κατανομή. Και οι τρεις κατανομές απέδωσαν παρόμοιες τιμές πιθανότητας. Χρησιμοποιήθηκε και για τις τρεις περιπτώσεις η λογαριθμική-κανονική κατανομή επειδή εξηγεί πιο φυσιολογικά τις αναγκαίες θετικές αξίες, καθώς και για λόγους απλότητας. Οι παράμετροι είναι αυτοί που παρουσιάζονται στον πίνακα 11.

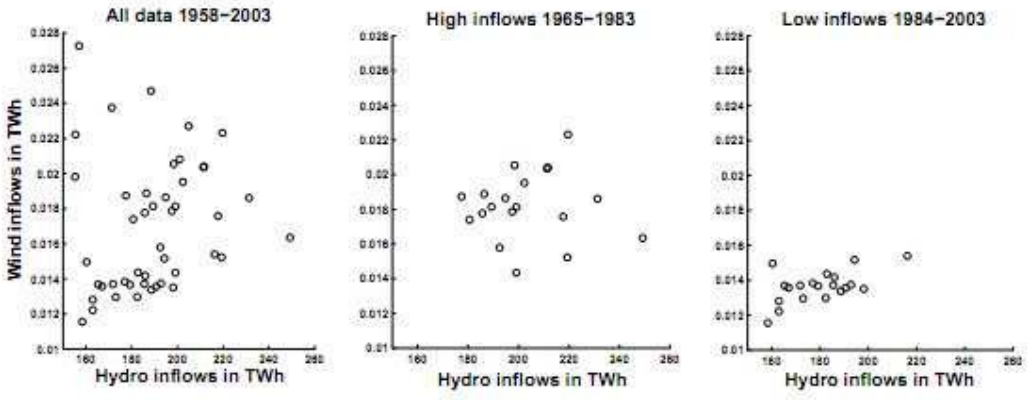
Period	**All data** 1958–2003	**High inflows** 1965–1983	**Low inflows** 1984–2003
Average inflow	0.0341 TWh	0.0365 TWh	0.0288 TWh
Std deviation	0.0056 TWh	0.0030 TWh	0.0015 TWh
μ	−3.392	−3.315	−3.547
σ	0.1626	0.0816	0.0507

Πίνακας 11. Στοιχεία εισροών αιολικής ενέργειας

Η πιθανότητα συναρτήσεων πυκνότητας προέρχεται από τις προσαρμοσμένες διανομές που παρουσιάζονται στο σχήμα 26.

3. Εξάρτηση των εισροών υδρο-ενέργειας και αιολικής ενέργειας

Το σχήμα 28 δίνει μια πρώτη ματιά στα διμετάβλητα στοιχεία, όπου παρουσιάζονται επίσης οι περίοδοι υψηλών και χαμηλών εισροών.



Σχήμα 28. Περίοδοι υψηλών και χαμηλών εισροών

Ο σύνδεσμος επιτρέπει να κατανοήσει καλύτερα τη δομή εξάρτησης των τυχαίων μεταβλητών που δεν ακολουθούν τις κατανομές guassian. Επίσης επιτρέπει το χαρακτηρισμό της εξάρτησης ξεχωριστά από τις περιθωριακές κατανομές έτσι ώστε τα δύο βήματα να γίνονται διαδοχικά.
Τα βασικά τεχνικά αποτελέσματα του πολύ-μεταβλητού σχεδιασμού με το σύνδεσμό εμφανίζεται στο προσάρτημα Α. Σ' αυτήν την ενότητα αναλύεται ότι είναι σχετικό με την μελέτη. [55]

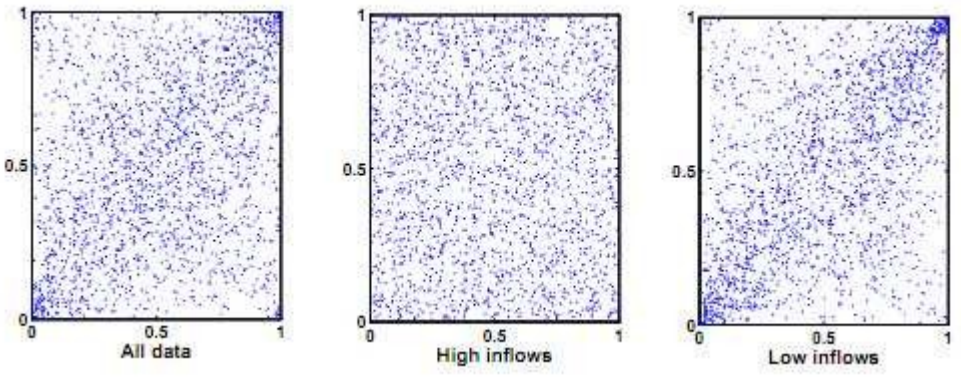
Εξετάστηκαν πέντε κλασσικοί σύνδεσμοι: ο Clayton, ο Frank, ο Gumbel, ο Normal και ο t σύνδεσμός. Όλοι μαζί καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα δομών εξάρτησης. Ο Favre κ.α. (2004) χρησιμοποίησε τους συνδέσμους Clayton και Frank στο σχεδιασμό της υδρολογικής ροής και όγκου, και ο Coles και Tawn (1994) χρησιμοποίησαν το σύνδεσμο Gumbel. Αυτός ο τελευταίος σύνδεσμος αποτελεί επίσης μέλος της πολυμεταβλητής τάξης των ακραίων τιμών, ο μόνος ανάμεσα στους πέντε. Οι σύνδεσμοι Normal και t είναι παραδείγματα ελλειπτικών συνδέσμων, και βρέθηκε ότι είναι πολύ χρήσιμοι στις χρηματοοικονομικές εφαρμογές όπου μερικά θέματα σχεδιασμού αντικατοπτρίζουν εκείνα των υδρολογικών εφαρμογών, ιδέ McNeil κ.α. (2005). Η επιλογή ενός συγκεκριμένου συνδέσμου και των παραμέτρων του εκτελέστηκε με την εκτίμηση της μέγιστης πιθανότητας, μέσω της προσέγγισης «εξαγωγής συμπεράσματα για τις συναρτήσεις από τα περιθώρια»

Οι σύνδεσμοι πηγαίνουν πιο πέρα από τη συνηθισμένη συσχέτιση (δηλ. τη γραμμική συνάρτηση Pearson) για να περιγράψουν την εξάρτηση. Παρόλα αυτά εξακολουθεί να είναι χρήσιμο να υπάρχει κάποια αριθμητική μέτρηση του βαθμού εξάρτησης που εφαρμόζεται εξ ίσου σε όλα τα σύνολα των στοιχείων και δεν εξαρτάται από τις διανομές περιθωρίου (ιδέ Embrechts κ.α. 2002). Ο συντελεστής τ του Kendall και η ιεραρχική συνάρτηση του Spearman είναι οι πιο κοινές μετρήσεις και τρέχουν και οι δύο από το 1 (τέλεια εξάρτηση) στο 0 (μη-εξάρτηση), στο -1 (τέλεια έλλειψη εξάρτησης).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έχουν ως ακολούθως. Σε ό,τι αφορά την πιθανότητα, ο σύνδεσμος *t* ήταν ο καλύτερος και για τις δύο περιόδους, δηλαδή την περίοδο με «όλα τα στοιχεία» και την περίοδο των χαμηλών εισροών. Ο σύνδεσμος Normal ταίριαξε καλύτερα στα στοιχεία της περιόδου των υψηλών εισροών. Οι λεπτομέρειες των παραμέτρων εμφανίζονται στον πίνακα 12. Ο πίνακας επίσης παρέχει τις τιμές του συντελεστής *τ* του Kendall. Η περίοδος με «όλα τα στοιχεία» παρουσιάζει μέτρια θετική εξάρτηση, και η περίοδος των «χαμηλών εισροών» λίγη περισσότερη. Στην περίοδο των υψηλών εισροών η σειρά δείχνει πολύ μικρή, αρνητική εξάρτηση. Αυτή η μικρή αρνητική εξάρτηση είχε απήχηση μέσω των προσαρμοσμένων παραμέτρων για τους συνδέσμους Clayton και Gumbel στο 0.0001 και 1.0000 αντίστοιχα. Μπορεί να αποκτήσει κάποιος διαίσθηση της δομή εξάρτησης, από μια γενική ματιά στα γραφήματα διασποράς του σχήματος 29. Κάθε τελεία αντιπροσωπεύει την προσομοίωση ενός ζευγαριού συντονισμένων, κατανεμημένων ομοιόμορφα τυχαίων μεταβλητών, με δομή εξάρτησης σαν αυτή που παρουσιάζεται στον πίνακα 12 (Δεδομένου ότι η επίδραση του περιθωρίου κατανομής έχει εξαλειφθεί, κανένας από τους δύο άξονες δεν αντιπροσωπεύει την υδρο-ενέργεια ή την αιολική ενέργεια). Είναι αξιοσημείωτο το σχήμα «X» του συνδέσμου t (περίοδοι με όλα τα στοιχεία και χαμηλών εισροών), και την ομοιόμορφη κάλυψη του κανονικού συνδέσμου (περίοδος υψηλών εισροών) λόγω του πολύ χαμηλού επιπέδου εξάρτησης.

Period	All data 1958–2003	High inflows 1965–1983	Low inflows 1984–2003
Copula	$t(\rho, \nu)$	Normal(ρ)	$t(\rho, \nu)$
ρ	0.3722	−0.0350	0.5943
ν	2.37	—	2.35
Kendall's τ	0.243	-0.022	0.405

Πίνακας 12



Σχήμα 29

4. Ανάλυση κινδύνου βασισμένη στην προσομοίωση

Ο στόχος της στατιστικής ανάλυσης ήταν να επιτραπεί η ανάλυση κινδύνου με προσομοίωση των χαρτοφυλακίων παραγωγής κεφαλαίων, με μεταβαλλόμενες αναλογίες ανέμου και νερού: χαρτοφυλάκιο κεφαλαίων που αποτελείται αμιγώς από νερό, αμιγώς από άνεμο ή αναμεμειγμένο με όποια στάθμιση. Μπορεί επίσης κάποιος να βρει την αναλογία νερού και ανέμου που ελαχιστοποιεί κάθε μέτρηση κινδύνου. Πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για τα τρία σενάρια που προέκυψαν από τις τρεις περιόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω: «περίοδος με όλα τα στοιχεία» (1958-2003), «περίοδος υψηλών εισροών» (1965-1983), και «χαμηλών εισροών» (1984-2003).

Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί εμφατικά ότι όλα τα χαρτοφυλάκια, ανεξάρτητα από το συντελεστή στάθμισης ανέμου / νερού, θα πρέπει να έχουν την ίδια μέση ετήσια εισροή ενέργειας. Είναι ο μόνος τρόπος για να υπάρχει σημαντική σύγκριση κινδύνου; Η σύγκριση των τεταρτημορίων των χαρτοφυλακίων με διαφορετικό μέσο όρο εισροών είναι άτοπη. Θα απαιτηθεί κάποια αλλαγή κλίμακας στην παραγωγή κεφαλαίων, στην οποία θα γίνει αναφορά σύντομα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν λαμβάνεται υπόψη το κόστος της μεταβολής του χαρτοφυλακίου, π.χ. το κόστος κατασκευής μεγέθους αιολικής ενέργειας. Το ενδιαφέρον εστιάζεται στην αξία των χαρτοφυλακίων (διαχείριση κινδύνων) και όχι στην τιμολόγηση του κόστους της μεταβολής στάθμισης

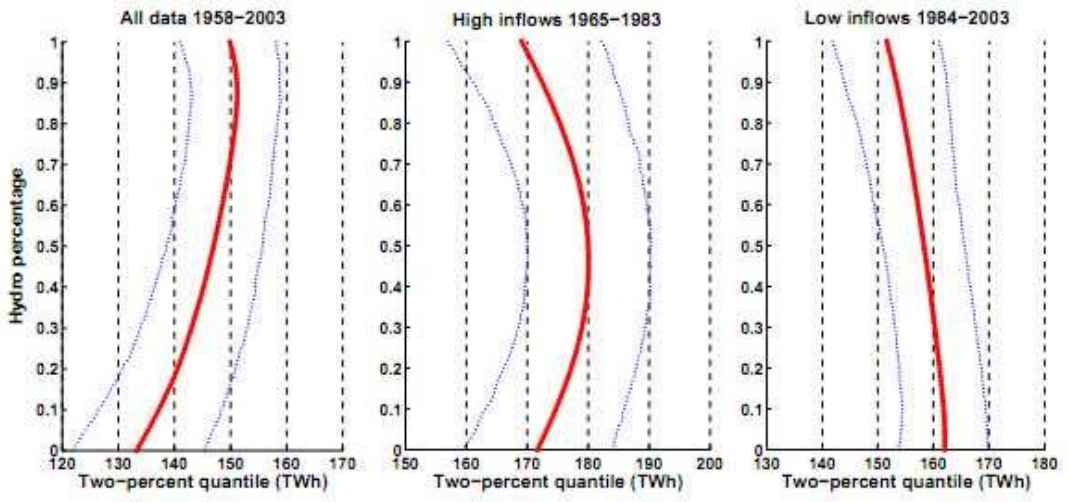
5. Προσομοίωση των εισροών ενέργειας για ένα χαρτοφυλάκιο υδρο-ενέργειας/αιολικής ενέργειας

Προκειμένου να γίνει προσομοίωση της εισροής ενέργειας για ένα χαρτοφυλάκιο παραγωγής κεφαλαίων από υδρο-ενέργεια και αιολική ενέργεια, για ένα χρόνο και για ένα από τα σενάρια, θα ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία. Καταρχάς, δημιουργούνται δύο (σύνδεσμοι) εξαρτώμενες, ομοιόμορφα κατανεμημένες μεταβλητές. Δεύτερον, μέσω της αντιστροφής των σχετικών περιθωριακών συναρτήσεων σωρευτικής κατανομής, στις ομοιομορφίες δίνονται οι κατάλληλες περιθωριακές κατανομές που είναι συνδεδεμένες με το νερό και τον αέρα. Και τα δύο βήματα πραγματοποιούνται εύκολα χρησιμοποιώντας ενσωματωμένες συναρτήσεις από μια μεγάλη ποικιλία λογισμικών (χρησιμοποιήθηκε το Mathwork's MATLAB). Η διαδικασία προσφέρει δύο προσομοιωμένες τιμές εισροής ενέργειας: μία γι' αυτό που καλείται υδροενεργειακό σύστημα όλων των κεφαλαίων που παράγονται από υδρο-ενέργεια και εγκαταστάθηκαν στο Κεμπέκ το 2003, και μια για το σύστημα αιολικής ενέργειας που αποτελείται από δέκα ανεμογεννήτριες σε δέκα περιοχές της επαρχίας. Οι δύο τιμές είναι «σωστά εξαρτώμενες», δηλαδή, ακολουθεί τα ιστορικά στοιχεία. Όμως, είναι απαραίτητη η αλλαγή κλίμακας της αιολικού συστήματος προκειμένου να διασφαλιστεί ότι κάθε χαρτοφυλάκιο που περιλαμβάνει αιολική ενέργεια παρέχει κατά μέσο όρο την ίδια εισροή ενέργειας με αυτή του υδρο-συστήματος. Συνεπώς, κάθε προσομοιωμένη εισροή αιολικής ενέργειας αλλάζει κλίμακα μέσω της κατάλληλου, σταθερού συντελεστή που είναι η αναλογία της μέσης εισροής

του υδρο-συστήματος με εκείνη του αιολικού συστήματος. Όταν εξεταστούν όλα τα στοιχεία, ο συντελεστής είναι 188.9/0.0341. Για τα σενάρια των υψηλών εισροών και των χαμηλών εισροών είναι 203.3/0.0365 και 179.7/0.0288 αντίστοιχα. Αυτό στην πραγματικότητα διασφαλίζει ότι οποιοδήποτε χαρτοφυλάκιο υδρο-ενέργειας και αιολικής ενέργειας προσφέρει 188.9 τεραβατόρες (αντίστοιχα 203.3 και 179.7 τεραβατόρες) κατά μέσο όρο. Αξιοσημείωτη είναι η απλοποιημένη παραδοχή ότι οι περισσότερες ανεμογεννήτριες στις εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων θα παρήγαγαν περισσότερη ενέργεια σε ακριβή αναλογία με τον αριθμό των στροβίλων. [55]

Προσθέτοντας την εισροή υδρο-ενέργειας και την αυξανόμενη κλιμακωτά εισροή αιολικής ενέργειας, κάθε μια πολλαπλασιασμένη με τον αντίστοιχο συντελεστή στάθμισης στο χαρτοφυλάκιο, παρέχει μια προσομοίωση της εισροής ενέργειας στο χαρτοφυλάκιο των παραγόμενων κεφαλαίων. Και για τα τρία σενάρια, έγινε προσομοίωση σε πολλές εισροές ενέργειας, ενός έτους για διάφορα χαρτοφυλάκια με συντελεστή στάθμισης νερού 0%, 1%, 2%, …100%, η ισορροπία βεβαίως έρχεται μέσω της εισροής αιολικής ενέργειας. Χίλιες προσομοιώσεις ενός-έτους για κάθε χαρτοφυλάκιο ήταν αρκετές για να αντληθούν σταθερά αποτελέσματα.

Για κάθε ομάδα στατιστικών παραμέτρων και κάθε χαρτοφυλάκιο, αναγνωρίστηκε το τεταρτημόριο του 2%, δηλαδή, το χαμηλότερο σε 50 χρόνια εισροής ενέργειας. Αυτή είναι η μέτρηση κινδύνου. Οι χρονιές με υψηλές εισροές δεν αποτελούν ζήτημα διαχείρισης κινδύνου, όχι από την ετήσια διάσταση, δεδομένου ότι το Κεμπέκ πουλάει εύκολα τα πλεονάσματα στα γειτονικά κράτη και επαρχίες. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 30. Τα τεταρτημόρια για τις 101 σταθμίσεις που εξετάστηκαν εμφανίζονται στο ίδιο γράφημα, ένα γράφημα για κάθε σενάριο. Για κάθε καμπύλη περιλαμβάνεται διάστημα εμπιστοσύνης 95%.



Σχήμα 30. Αποτελέσματα μέτρησης κινδύνου

6. Εξέταση των αποτελεσμάτων

Καταρχάς θα δοθεί μια διαισθητικά άποψη των αποτελεσμάτων και μετά θα εξεταστούν λεπτομερειακά.

Θα πρέπει να γίνει υπενθύμιση ότι το τεταρτημόριο είναι η μέτρηση του ρίσκου, όσο υψηλότερο, δηλ. καλύτερο, αυτή η χειρότερη εισροή σε 50 χρόνια, τόσο χαμηλότερος είναι ο κίνδυνος για την παραγωγή χαρτοφυλακίου. Με άλλα λόγια, τα τεταρτημόρια αντιπροσωπεύουν το όριο για την εισροή ενέργειας: υπάρχει 2% πιθανότητα ότι για κάθε δεδομένο χρόνο η πραγματική εισροή ενέργειας θα είναι χαμηλότερη από το τεταρτημόριο, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί σημαντικό έλλειμμα σε ό,τι αφορά το μέσο όρο ετήσιων εισροών. Όσο υψηλότερο είναι το τεταρτημόριο, τόσο πιο κοντά είναι στο μέσο όρο εισροής (που είναι σταθερή από κατασκευής) και τόσο πιο βέβαιο είναι ότι θα παρατηρηθούν «αποδεκτά» επίπεδα εισροών ενέργειας.

Και στα τρία σενάρια, ο ελάχιστος κίνδυνος είναι (δηλ. η υψηλότερη τιμή του τεταρτημορίου) προέρχεται από το αναμεμειγμένο χαρτοφυλάκιο που περιλαμβάνει παραγωγή υδρο-ενέργειας και αιολικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές μεταβλητότητας (δηλ. την τυπική απόκλιση διαιρεμένη με τον μέσο όρο στον πίνακα 9 και 11)και τη μέτρηση εξάρτησης στον πίνακα 12, μπορούμε να πούμε ότι:

«Όλα τα στοιχεία»: Η σχετικά ασθενής εξάρτηση μεταξύ του ανέμου και του νερού ευνοεί την επίπτωση της διαφοροποίησης, όμως οι μακριές άκρες της κατανομής της εισροής της αιολικής ενέργειας φέρουν τον κίνδυνο που έχει κάθε χαρτοφυλάκιο που περιέχει το στοιχείο του ανέμου σε μεγάλη ποσότητα.

«Υψηλές εισροές»: Οι εισροές υδρο-ενέργειας και αιολικής ενέργειας είναι πανομοιότυπα αβέβαιες, και η κοντινή εξάρτηση ευνοεί την επίπτωση της διαφοροποίησης, έτσι ώστε τα λιγότερο επικίνδυνα χαρτοφυλάκια να περιλαμβάνουν ισομερώς υδρο-ενέργεια και αιολική ενέργεια.

«Χαμηλές εισροές»: Το κύριο φαινόμενο είναι ότι η αιολική ενέργεια είναι λιγότερο αβέβαιη από την υδρο-ενέργεια, συνεπώς τα χαρτοφυλάκια με περισσότερη αιολική ενέργεια είναι λιγότερο επικίνδυνα. Η επίπτωση της διαφοροποίησης είναι μικρότερη επειδή υπάρχει σχετικά μεγαλύτερη θετική εξάρτηση (συντελεστής τ του Kendall στο 0.40) συνεπώς παρατηρείται λιγότερη κυρτότητα.

Σημειώνεται ότι ο κίνδυνος που είναι συνδεδεμένος με το σενάριο «όλα τα στοιχεία» (1958-2003) είναι μεγαλύτερος από τα άλλα δύο σενάρια, όπως καταδεικνύουν οι χαμηλές τιμές του τεταρτημορίου (κυρίως κάτω των 150 τεραβατόρων). Αυτό είναι απολύτως αναμενόμενο, δεδομένης της φύσης των δύο υπο-περιόδων, οι οποίες επιλέχθηκαν ακριβώς επειδή οι εισροές είναι σχετικά παρόμοιες.

Τα μη-αμελητέα πλάτη των διαστημάτων εμπιστοσύνης αποτρέπουν κάθε αριθμητική ανάλυση. Όμως, μέσα σ' αυτούς τους περιορισμούς, μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις. Σημειώνεται ότι κάθε χαρτοφυλάκιο που περιέχει ποσοστό αιολικής ενέργειας πάνω από 20% ή 25% δεν είναι ρεαλιστικό για οποιοδήποτε λογικό χρονικό ορίζοντα, δεδομένης της πραγματικής κατάστασης στο Κεμπέκ.

«Όλα τα στοιχεία»: Ο κίνδυνος μειώνεται με περίπου 12% άνεμο και με τεταρτημόριο των 2% να βελτιώνεται κατά 1 τεραβατόρες, έναντι της πλήρους έλλειψης του ανέμου. Οποιοδήποτε ποσοστό ανέμου μεταξύ 1% και 29% είναι καλύτερο από το να μην υπάρχει καθόλου παρουσία ανέμου, αναφορικά με τη μέτρηση του κινδύνου. Με οποιοδήποτε όμως ποσοστό αιολικής ενέργειας μεγαλύτερο του 30% το χαρτοφυλάκιο καθίσταται πιο επικίνδυνο ή πολύ πιο επικίνδυνο.

«Υψηλές εισροές»: Ο κίνδυνος μειώνεται για χαρτοφυλάκια με περίπου 52-56% άνεμο και με τεταρτημόριο των 2% να βελτιώνεται κατά 10 τεραβατόρες. Οποιοδήποτε ποσοστό είναι καλύτερο από το να μην υπάρχει καθόλου παρουσία ανέμου, αναφορικά με τη μέτρηση του κινδύνου.

«Χαμηλές εισροές»: Ο κίνδυνος μειώνεται για χαρτοφυλάκια με περίπου 95-100% άνεμο και με τεταρτημόριο των 2% να βελτιώνεται κατά 10 τεραβατόρες. Οποιοδήποτε ποσοστό είναι καλύτερο από το να μην υπάρχει καθόλου παρουσία ανέμου, αναφορικά με τη μέτρηση του κινδύνου.

Ένα σημείο που πρέπει να τονισθεί είναι ότι κάποια από αυτά τα συμπεράσματα είναι άχρηστα, με την έννοια ότι τα χαρτοφυλάκια με μεγάλες αναλογίες αιολικής ενέργειας, για λειτουργικούς και άλλους λόγους, δεν είναι εφικτό να δημιουργηθούν. Συνεπώς είναι πιο διαφωτιστικό να υπολογίσουμε τις κλίσεις στα γραφήματα του σχ. 30, δηλ. το βαθμό βελτίωσης της μέτρησης του κινδύνου στο χαμηλότερο σημείο διείσδυσης της αιολικής ενέργειας, ας πούμε 0-20%. Οι κλίσεις (στις τέμνουσες γραμμές μέσω κάθε υπο-διαστήματος) είναι ως ακολούθως:

«Όλα τα στοιχεία»: Για κάθε ποσοστό ανέμου μεταξύ 0% και 10%, το τεταρτημόριο βελτιώνεται κατά 0.12 τεραβατόρες. Το τεταρτημόριο είναι σταθερό μεταξύ 10-15% αιολικής ενέργειας. Μεταξύ 15% και 20% αιολικής ενέργειας, οποιοδήποτε ποσοστό επιπλέον αιολικής ενέργειας καθιστά το τεταρτημόριο 0.05 τεραβατόρες χειρότερα..

«Υψηλές εισροές»: Για κάθε ποσοστό ανέμου μεταξύ 0% και 10%, το τεταρτημόριο βελτιώνεται κατά 0.31 τεραβατόρες.

«Χαμηλές εισροές»: Για κάθε ποσοστό ανέμου μεταξύ 0% και 20%, το τεταρτημόριο βελτιώνεται κατά 0.16 τεραβατόρες.

Αυτά τα νούμερα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν κατά το σχεδιασμό της ενεργειακής πολιτικής για την διείσδυση της αιολικής ενέργειας σε μια υδρο-ενεργειακή περιοχή. Το κύριο σημείο είναι το ακόλουθο. Σε μια πολιτική διαχείρισης κινδύνων που βασίζεται στο τεταρτημόριο, θα πρέπει να

φυλάσσεται, σαν εφεδρεία, μια συγκεκριμένη ποσότητα νερού προκειμένου να αντιμετωπιστεί μια αναπόφευκτη ανομβρία. Το υπόλοιπο μπορεί να πωληθεί για την αποκόμιση κέρδους. Αυτή η ποσότητα εφεδρείας βασίζεται στη διακύμανση των εισροών (και εν τέλει σε άλλους παράγοντες, όπως η ζήτηση). Με τη δημιουργία ενός αναμεμειγμένου χαρτοφυλακίου με την προσθήκη ποσότητας αιολική ενέργειας, η διακύμανση είναι χαμηλότερη, η απαραίτητη εφεδρεία είναι χαμηλότερη, και η επιπλέον ενέργεια μπορεί να πουληθεί στην αγορά. Ένα δεύτερο σημείο είναι ότι οι εισροές ενέργειας που διέπονται από λιγότερη διακύμανση καθιστούν δυνατές τις πιο επικερδείς πωλήσεις.

7. Συμπεράσματα

Σ' αυτήν τη μελέτη, πραγματοποιήθηκε μια μακροχρόνια στατιστική ανάλυση της μεταβλητότητας της αιολικής ενέργειας για ένα συγκρότημα πλασματικών αιολικών πάρκων στο Κεμπέκ. Χρησιμοποιώντας τις εισροές υδρο-ενέργειας που δόθηκαν από το, δημοσίου συμφέροντος, Υδρο-Κεμπέκ, δόθηκε η δυνατότητα της προσομοίωσης των εισροών ενέργειας σε χαρτοφυλάκια κεφαλαίων που περιλαμβάνουν υδρο-ενέργεια και αιολική ενέργεια. Η μεταβλητότητα αυτών των εισροών σε ό,τι αφορά την αναλογία της αιολικής ενέργειας και της υδρο-ενέργειας, ήταν ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα.

Έκπληξη προκαλεί το γεγονός ότι, με κάποιο τρόπο η αιολική ενέργεια και υδρο-ενέργεια παρουσίασαν μια κοινή κυκλική μορφή για δύο περιόδους των 20 ετών η κάθε μια, κατά τις οποίες και η αιολική ενέργεια και η υδρο-ενέργεια ήταν πολύ μεγαλύτερης ποσότητας από το μέσο όρο («υψηλές εισροές» 1965-1983), και μετά πού μικρότερης ποσότητας από το μέσο όρο («χαμηλές εισροές» 1984-2003). Αναλύθηκαν τρία σενάρια, δύο βασίστηκαν στις τελευταίες περιόδους καθώς επίσης και στο σενάριο που χρησιμοποιήθηκαν όλα τα διαθέσιμα στοιχεία (1958-2003). Ένα ανέλπιστο συμπέρασμα της μελέτης είναι ότι αν βασιστούμε στα «τελευταία 20 έτη» τα στοιχεία των εισροών μπορεί να είναι αποπροσανατολιστικά, αν υπάρχουν μακροχρόνιοι κύκλοι.

Και στα τρία σενάρια, η αιολική ενέργεια παρείχε ένα ουσιαστικό αποτέλεσμα διαφοροποίησης, και βελτίωσε την εικόνα του χαρτοφυλακίου απέναντι στον κίνδυνο για κάθε διείσδυση της αιολικής ενέργειας μέχρι 30%. Η «αξία του κινδύνου» της αιολικής ενέργειας, για διείσδυση μέχρι 15% και στο τεταρτημόριο 2% της ετήσιας εισροής ενέργειας, κυμάνθηκε από 0.12 μέχρι 0.31 τεραβατόρες για κάθε δεκαδικό ποσοστού, ανάλογα με το σενάριο.(Οι αξίες της μέσης παραγωγής ενέργειας κυμάνθηκαν μεταξύ 180 και 203 τεραβατόρες, ανάλογα με το σενάριο).

Η περιοδικότητα της αιολικής ενέργειας αποτελεί ένα σημαντικό λειτουργικό μειονέκτημα έναντι της μεγάλης ευελιξίας της υδρο-ενέργειας, όταν πρέπει να παρασχεθεί μέγεθος οποιαδήποτε στιγμή.

Όμως, φαίνεται ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της διακύμανσης της εισροής ενέργειας, ακόμα και σε περιπτώσεις όπου η

διακύμανσή της είναι υψηλότερη από εκείνη της υδρο-ενέργειας. Προτείνεται να ληφθεί υπόψη η αξία της επίδρασης της διαφοροποίησης όταν υπολογίζεται το καθαρό κόστος της εφαρμογής της αιολικής ενέργειας. [55]

3.3.4 Η.Π.Α.

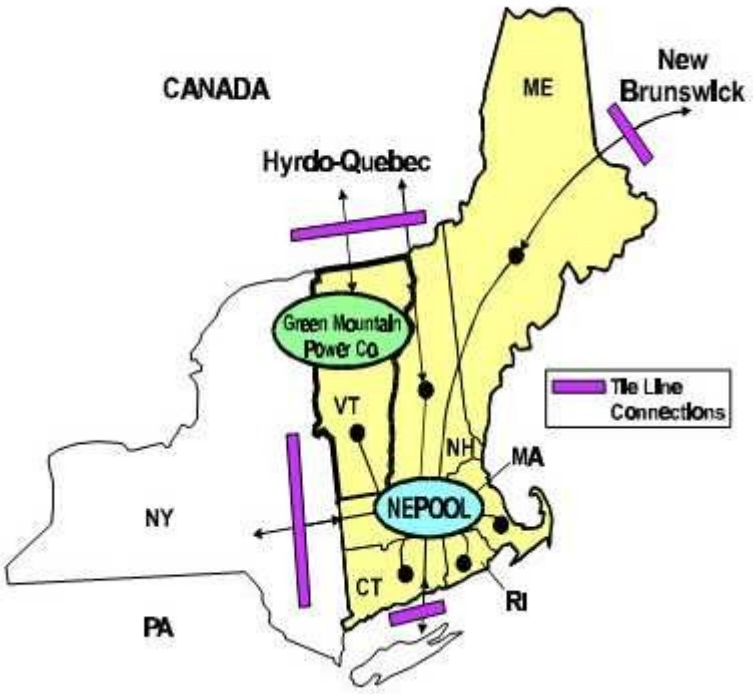
Στις Η.Π.Α. μια μελέτη του συστήματος ενέργειας στο Κράτος του Vermont κατέδειξε ότι δεν υπάρχουν μεγάλοι περιορισμοί στο ηλεκτρικό σύστημα ενσωμάτωσης που να αποτρέπουν την αιολική ενέργεια από το κατέχει μεγάλο μερίδιο στο σύστημα παραγωγής του κράτους. Οι προσομοιώσεις έδειξαν ότι θα μπορούσαν να συνδεθούν με το δίκτυο του Vermont 810 MW χωρητικότητα αιολικών εγκαταστάσεων μέχρι το 2010, χωρίς να απαιτούνται σημαντικές αναβαθμίσεις ή ενισχύσεις στο σύστημα μετάδοσης και διανομής. Σ' αυτό το επίπεδο, δεν αναμένεται να προκύψει συμφόρηση στις κύριες εσωτερικές και εξωτερικές γραμμές πρόσδεσης. Επιπλέον, η ενσωμάτωση της δυνητικής αιολικής παραγωγής ενέργειας από το Vermont με το υδρο-σύστημα που λειτουργεί στο Υδρο-Κεμπέκ του Καναδά, θα μπορούσε προκαλέσει την αύξηση της αξίας του ανέμου μέχρι 22% περισσότερο από την πώληση στις τρέχουσες τιμές της αγοράς, αν η αιολική ενέργεια εξαγόταν κατά τις περιόδους που υπάρχει υψηλή ζήτηση στο Κεμπέκ, και αν η αιολική ενέργεια του Vermont ήταν τέλεια συσχετισμένη με το φορτίο του Υδρο-Κεμπέκ. Επιπρόσθετα, τα αιολικά πάρκα θα μπορούσαν να εξομαλύνουν τους λειτουργικούς περιορισμούς των εγκαταστάσεων υδρο-ενέργειας που βρίσκονται σε κρύες κλιματολογικές συνθήκες παρέχοντας ενέργεια κατά τις περιόδους του χειμώνα όταν η ροή των ποταμών είναι χαμηλή, που κατά κύριο λόγο είναι οι περίοδοι με τους υψηλότερους ανέμους και υπάρχει υψηλή ζήτηση ενέργειας. [56]

Υπάρχει αυξανόμενη αναγνώριση των ωφελειών από τις συνέργειες της αιολικής ενέργειας και της υδρο-ενέργειας, κυρίως στις περιοχές με κρύες κλιματολογικές συνθήκες, όμως δεν έχει πραγματοποιηθεί μεγάλη ανάλυση προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η έκταση αυτών των ωφελειών. Επιπρόσθετα, κάθε περιοχή παρουσιάζει μια μοναδική ομάδα τεχνικών και οικονομικών συνθηκών που επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα. Αυτή η μελέτη κάνει έναν απολογισμό της υπάρχουσας εξειδίκευσης μ' αυτά τα συστήματα, και της πρόσφατης ανάλυσης και των στοιχείων που εξετάζουν και ποσοτικοποιούν τα δυνητικά οφέλη. Η μελέτη επίσης υπογραμμίζει τους παράγοντες που θα πρέπει να εξεταστούν για να πραγματοποιηθεί ένας αναλυτικός προσδιορισμός των ωφελειών από αυτά τα συστήματα.

Ένα παράδειγμα όπου αναγνωρίζεται η αξία της αιολικής ενέργειας σε συνδυασμό με την υδρο-ενέργεια είναι η Βορειοδυτική πλευρά των Η.Π.Α. Παρόλο που εκεί υπάρχουν μερικές από τις πιο χαμηλές τιμές ενέργειας της χώρας, το μέγεθος των αιολικών εγκαταστάσεων στις περιοχές της Ουάσιγκτον και του Όρεγκον αυξήθηκε από, λιγότερο από 25 MW που ήταν στο τέλος του 2000 σε περίπου 450 MW στο τέλος του 2002. Η μείωση των τιμών της αιολικής ενέργειας, η έλλειψη νερού και η αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια στην περιοχή, και κυρίως στη γειτονική Καλιφόρνια, ήταν μερικοί από

τους παράγοντες που οδήγησαν σ' αυτήν την ανάπτυξη, παράλληλα με το ότι αναγνωρίζεται περισσότερο το γεγονός ότι η αιολική ενέργεια και η υδρο-ενέργεια είναι δύο μεταβλητές πηγές που μπορούν να συμπληρώσουν η μία την άλλη.

Η υδρο-ενέργεια και οι αιολικές πηγές είναι επίσης άφθονες στις εννέα πολιτείες της Βορειοδυτικής πλευράς των Η.Π.Α., όμως ο άνεμος είναι αργός για να αναπτυχθεί εκεί. Δεδομένου ότι μέχρι το τέλος του 2002 είχαν εγκατασταθεί στην Νέα Αγγλία, τη Νέα Υόρκη και την Πενσυλβάνια λιγότερη από 100 MW χωρητικότητα αιολικής ενέργειας, υπάρχει τεράστια δυνατότητα για τον άνεμο να βοηθήσει ώστε να αντιμετωπιστούν οι ανάγκες ζήτησης της δεξαμενής ζήτησης της Νέας Αγγλίας (NEPOOL) και για να βελτιωθεί η ποιότητα του ανέμου σ' αυτήν την περιοχή. Επιπρόσθετα, υπάρχει δυνατότητα αποθήκευσης στους ταμιευτήρες υδρο-ενέργειας χωρητικότητας 35.000 MW του γειτονικού συστήματος ενέργειας του Κεμπέκ του Καναδά/Labrador. Αυτά τα φράγματα καταλαμβάνουν περίπου το 61% της συνολικής χωρητικότητας παραγωγής υδρο-ενέργειας του Καναδά. [56]



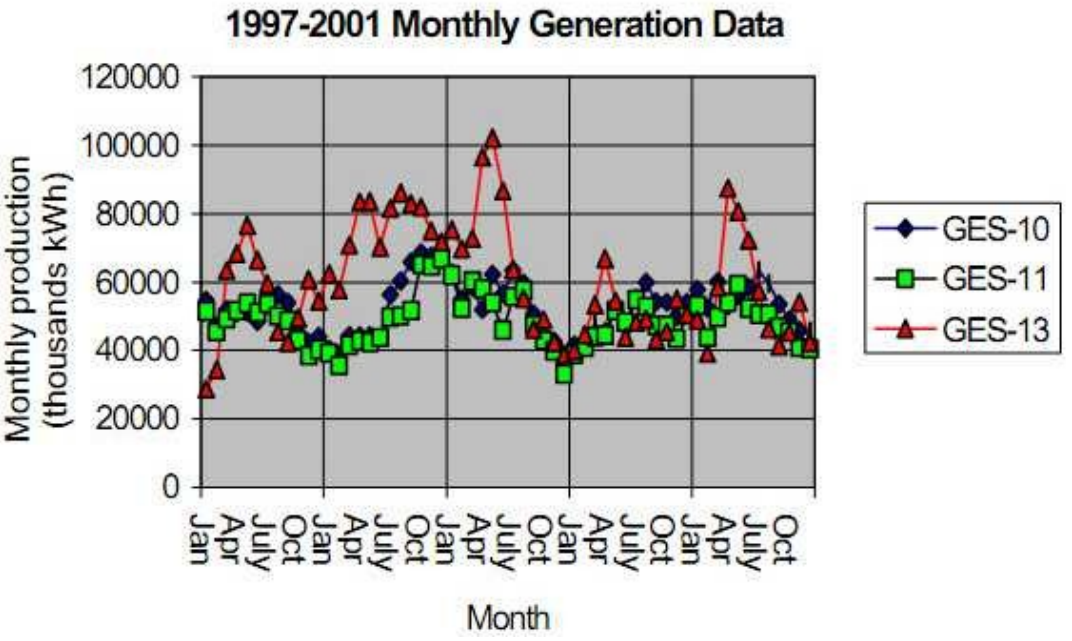
Ο μοναδικός συνδυασμός των πηγών και η αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια, οδήγησε σ' αυτήν τη μελέτη που εστιάζει στην πολιτεία του Vermont των Η.Π.Α. όπου υπάρχει ενδιαφέρον για την ανάπτυξη της αιολικής και άλλων ανανεώσιμων πηγών και επίσης υπάρχουν συμφωνίες συνεργασίας και συμβόλαια ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ των εκτός συνόρων εταιρειών παραγωγής ενέργειας. Η μεθοδολογία της μελέτης και τα αποτελέσματα είναι το κύριο θέμα αυτής της μελέτης. [56]

3.3.5 ΡΩΣΙΑ

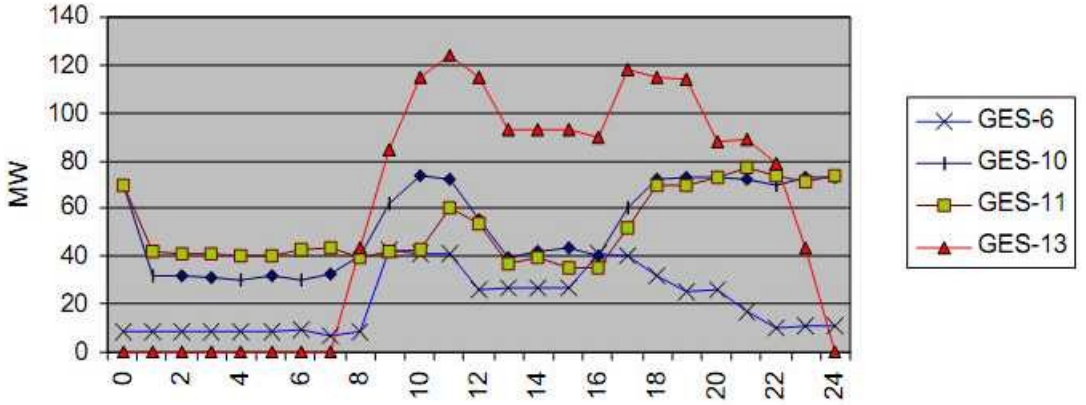
Υπάρχουν πολλές ομοιότητες και μερικές σημαντικές διαφορές μεταξύ της κατάστασης των Η.Π.Α./Καναδά και των ευκαιριών για αιολική ενέργεια και υδρο-ενέργεια που υπάρχουν στη Βορειοδυτική Ρωσία. Αυτό βασίζεται στα στοιχεία της αιολικής πηγής και της πηγής του νερού που συλλέχθηκαν στο Leningrad Oblast και στην περιοχή που περιβάλλει το Saint Petersburg σαν μέρος της μελέτης ως προς το αν είναι εφικτή η εγκατάσταση 75 MW εμπορικού εργοταξίου αιολικής ενέργειας.

Η υδρο-ενέργεια καταλαμβάνει περίπου το 6% του παραγόμενου μεγέθους στο σύστημα Lenenergo. Υπάρχουν έξι μεγάλοι ταμιευτήρες με συνολική χωρητικότητα 655 MW. Οι εγκαταστάσεις που αναγνωρίστηκαν σαν GES-10 και GES-11 είναι στον ποταμό Vuoksa βόρεια του Vyborg. GES-13 βρίσκεται στον ποταμό Narva κοντά στην Εσθονία και GES-9 στον ποταμό Svir. Αυτές οι εγκαταστάσεις κατασκευάστηκαν αρχικά για την παραγωγή ενέργειας και επίσης για να βοηθήσουν στον έλεγχο των πλημμύρων. Η παραγωγή υδρο-ενέργειας είναι σημαντική στο συνολικό σύστημα ενέργειας επειδή η μεγαλύτερη πηγή ηλεκτρισμού, οι μεγάλες θερμικές εγκαταστάσεις που συνδυάζουν τη θερμότητα και την ενέργεια, είναι πάρα πολύ φορτωμένες κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών. [56]

Ο ηλεκτρισμός από τις υδρο-εγκαταστάσεις θα μπορούσε να υποστηριχθεί με εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας. Το εξαιρετικά κρύο κλίμα του χειμώνα στο Leningrad Oblast και η απομόνωση του νερού σε πάγο και χιόνι προκαλεί μεγάλες αλλαγές στη μηνιαία παραγωγή ενέργειας από τις κύριες υδρο-εγκαταστάσεις. Πέντε χρόνια μηνιαίας παραγωγής ενέργειας από τρεις υδρο-εγκαταστάσεις κατέδειξαν ότι η εποχική μεταβλητότητα στην παραγωγή ενέργειας θα μπορούσε ν' αλλάξει μ' έναν συντελεστή από δύο και πάνω, από το χειμώνα μέχρι το καλοκαίρι (σχ. 31). Κατά τη διάρκεια των περιόδων υψηλής ζήτησης τους χειμωνιάτικους μήνες μερικές από αυτές τις εγκαταστάσεις λειτουργούν σαν μονάδες αιχμής και κλείνουν κατά τη διάρκεια των περιόδων μη-αιχμής προκειμένου να αποταμιευθεί νερό (σχ.32). Η ετήσια ζήτηση αιχμής ημερησίως σ' αυτήν την περιοχή προκύπτει συνήθως στο τέλος του Δεκέμβρη ή στις αρχές του Ιανουαρίου. Οι αιολικές εγκαταστάσεις θα μπορούσαν συχνά να προσφέρουν υποστήριξη κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων δεδομένου ότι οι μήνες που παρατηρείται περισσότερος άνεμος είναι ο Δεκέμβρης και ο Απρίλιος, όταν η ροή νερού είναι στο χαμηλότερο επίπεδο και η ζήτηση για θερμότητα και ενέργεια στο υψηλότερο επίπεδο. Αυτό θα βελτιώσει επιπλέον την αξία της αιολικής ενέργειας στην περιοχή.[57]



Σχήμα 31. Μηνιαία παραγωγή των εγκαταστάσεων



Σχήμα 32. Παραγωγή στους μήνες αιχμής

3.3.6 ΤΟΥΡΚΙΑ

Σ' αυτό το άρθρο διερευνάται διεξοδικά η δυνατότητα που έχει η Τουρκία για υδρο-ενέργεια και αιολική ενέργεια. Επιπλέον, εξετάζεται αναλυτικά το πόσο σημαντικά και αναγκαία είναι για την Τουρκία τα συστήματα αποθήκευσης ανέμου και ύδατος μέσω άντλησης και τέλος δίνεται έμφαση στην συνεισφορά των συστημάτων αποθήκευσης ανέμου και ύδατος μέσω άντλησης για την αντιμετώπιση της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια στην Τουρκία.

Η Τουρκική οικονομία έχει παρουσιάσει αύξηση ανάπτυξης περίπου 7-10% από το 2000. Η οικονομική ανάπτυξη προκάλεσε επικέντρωση στα εργοτάξια παραγωγής φυσικού αερίου προκειμένου να αντιμετωπιστεί η

ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Επειδή η Τουρκία δεν έχει αρκετές πηγές φυσικού αερίου, εισήγαγε το απαιτούμενο φυσικό αέριο. Επειδή η Τουρκία είναι πιο κατάλληλη χώρα σε σχέση με άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, αναφορικά με τις δυνατότητες που έχει για αιολική ενέργεια και υδροενέργεια, θα πρέπει να χρησιμοποιήσει αυτές τις δυνατότητες αντί για το φυσικό αέριο, και είναι αναγκαίο η ζήτηση για ενέργεια στην Τουρκία να αντιμετωπίζεται μέσω των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα παράλια της Κεντρικής Μαύρης Θάλασσας είναι η πιο κατάλληλη περιοχή για να χτιστούν υδρο-αιολικά συστήματα αποθήκευσης μέσω άντλησης λόγω των βουνών που βρίσκονται παράλληλα των παραλίων, η Μαύρη Θάλασσα είναι βροχερή όλες τις εποχές του χρόνου και είναι η πιο βροχερή περιοχή στην Τουρκία, είναι μια από τις πλουσιότερες περιοχές από την άποψη των ποταμών. Ο ποταμός με το μεγαλύτερο μήκος είναι ο Kizilirmak που βρίσκεται στην κεντρική Μαύρη Θάλασσα. Συνεπώς η περιοχή της Μαύρης Θάλασσας είναι η πιο κατάλληλη για εφαρμογές συστημάτων αποθήκευσης μέσω άντλησης. Παρόλο που υπάρχουν πολλά μικρά εργοτάξια παραγωγής υδρο-ενέργειας στην περιοχή, αυτά τα εργοτάξια δεν χρησιμοποιούνται με σκοπό τα συστήματα της αποθήκευσης μέσω άντλησης.

Η ενέργεια που μεταδίδεται από το σύστημα μετάδοσης της Τουρκίας, ύψους 380 kv παρουσιάζεται στην πιο πάνω εικόνα. Μέσω της ευρείας χρήσης των υδρο-ηλεκτρικών εργοταξίων μεταδίδεται περισσότερη ενέργεια με μακρύτερες γραμμές μετάδοσης. Τα τρία κύρια υδρο-ηλεκτρικά εργοτάξια του Τουρκικού συστήματος μετάδοσης είναι το Keban, το Ataturk και το Karakaya και παρουσιάζονται στο σχήμα 6, σημείο Α. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται μεταδίδεται μέσω μιας σειράς πυκνωτών σε κέντρα φορτίων που βρίσκονται στη δυτική πλευρά της χώρας σημείο Β. Το 2006 η μέγιστη παραχθείσα ενέργεια μετρήθηκε και ήταν 27.664,4 MW και η ελάχιστη 13.700,6 MW, που σημαίνει 50% διακύμανση φορτίου μέσα στο χρόνο. Το φορτίο ισχύος του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας παρέχεται από μεγάλα εργοτάξια υδρο-ενέργειας. Μετά τη χρήση των συστημάτων αποθήκευσης μέσω άντλησης οι απώλειες κατά τη μετάδοση θα μειωθούν. [32]

3.3.7 ΑΛΛΕΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΧΩΡΕΣ

Έχουν γίνει πολλές περιπτωσιολογικές μελέτες από διαφορετικά συστήματα ενέργειας και θα γίνουν κι άλλες μέχρι το πέρας του έργου. Οι εθνικές περιπτωσιολογικές μελέτες εγκύπτουν σε διαφορετικά ζητήματα: ισορροπία, συμφόρηση δικτύου, ενίσχυση και σταθερότητα, επάρκεια ενέργειας, αντίκτυπο της τεχνολογίας του αιολικού πάρκου και σταθερότητα ελέγχου, αυξανόμενη ευελιξία και αξία του DSM/αποθήκευσης, εμπειρία μοντέλου προβλέψεων, αλληλεπίδραση του ανέμου και του νερού, μείγμα παραγωγής και μεθοδολογίες λειτουργίας για να υποστηριχθεί η υψηλή διείσδυση της αιολικής ενέργειας.

1. Δανία

Οι υφιστάμενες δημοσιεύσεις για την ενσωμάτωση του ανέμου έχουν γίνει από το TSO Energinet.dk, Ris, το Πανεπιστήμιο του Alborg [58]. Το Ris αναφέρει ότι από τα έργα της Ευρωπαϊκής Ένωσης Άνεμος, (εργαλεία πρόβλεψης), SUPWIND (σχεδιασμός συστήματος ενέργειας) και Nightwind (αποθήκευση).

Η Ris είναι ένας από τους κύριους χρήστες και εκείνους που έχουν αναπτύξει το εργαλείο Wilmar Planning που επιτρέπει τη λεπτομερή ανάλυση του σχεδιασμού της δέσμευσης της μονάδας και την αποστολή των εγκαταστάσεων ενέργειας στην αγορά μια μέρα πριν υπό τον όρο της στοχαστικής πρόβλεψης λαθών της αιολικής ενέργειας και την αντίστοιχο επανασχεδιασμό στις μεταγενέστερες ημερήσιες και ρυθμισμένες αγορές ενέργειας. Αυτή η δουλειά συνεχίστηκε στο έργο SUPWIND της Ευρωπαϊκής Ένωσης του 2006-2008.

Η εθνική έρευνα για την αυξανόμενη ευελιξία του συστήματος ενέργειας συνεχίζεται σε εξακολουθητική βάση (από την άποψη της ζήτησης και αποθήκευσης), για παράδειγμα οι μπαταρίες Vanadium στο σύστημα ενέργειας. Αυτά τα έργα δεν εστιάζουν μόνο στα ζητήματα ισορροπίας αλλά και στη σταθερότητα του συστήματος και στα ζητήματα δικτύου. [59]

2. Φινλανδία

Οι μελέτες που γίνονται περιλαμβάνουν μια διδακτορική διατριβή για το μεγάλο μερίδιο που κατέχει ο άνεμος και η ανανεώσιμη πηγή ενέργειας στο Φιλανδικό ενεργειακό σύστημα και περιπτωσιολογικές μελέτες που προσομοίωσαν τις επιδράσεις της μεγάλης ποσότητας αιολικής ενέργειας στη Βόρεια Νορβηγία και τη Φιλανδία σε καταστάσεις επιβράδυνσης της Βόρειας και Νότιας Φιλανδίας και που επίσης προσομοίωσαν την επίδραση των λαθών πρόβλεψης της αιολικής ενέργειας σε κάποιον παραγωγό ενέργειας με περιορισμένη ποσότητα υδρο-ενέργειας [60]. Η εθνική έρευνα περιλαμβάνει επίσης δραστηριότητες που σχετίζονται με την ανάλυση της ροής του φορτίου διαφορετικών επιλογών εγκατάστασης ποσότητας 4000 MW αιολικής ενέργειας στη Φιλανδία και στις γειτονικές περιοχές. Επίσης θα αναλυθεί το αντίκτυπο των διαφορετικών τεχνολογιών αιολικής ενέργειας στο σύστημα σταθερότητας, μαζί με το VTT και το Τεχνικό Πανεπιστήμιο του Ελσίνκι. [59]

3. Ιρλανδία

Το Ιρλανδικό σύστημα ενέργειας (Δημοκρατία της Ιρλανδίας και Βόρειας Ιρλανδίας) παρουσιάζει συγκεκριμένες προκλήσεις για την ενσωμάτωση μεγάλου μεγέθους αιολικής ενέργειας λόγω του σχετικά μικρού μεγέθους του και το χαμηλό επίπεδο διασυνδέσεων με άλλα συστήματα. Τα χαρακτηριστικά του συστήματος που παρουσιάζουν προκλήσεις είναι η χαμηλή αδράνεια του συστήματος, οι έξοδοι μεγάλης συχνότητας, τα στενά περιθώρια μεγέθους, η υψηλή αναλογία του μέσου μεγέθους εγκατάστασης παραγωγής με το συνολικό μέγεθος του συστήματος και οι τοπικοί περιορισμοί του δικτύου.

Οι έρευνες για τα αποτελέσματα της ενσωμάτωσης της αιολικής ενέργειας στο Ιρλανδικό ηλεκτρικό σύστημα και τα όρια στη διείσδυση της αιολικής ενέργειας ξεκίνησαν το 1990. Πολλές από τις μελέτες που είχαν γίνει νωρίτερα για την αιολική ενέργεια στο Ιρλανδικό σύστημα ενέργειας ερεύνησαν μόνο ζητήματα μετάδοσης δικτύου και όχι τα αποτελέσματα στο σύστημα παραγωγής. Όσο η διείσδυση της αιολικής ενέργειας στο Ιρλανδικό σύστημα μεγάλωνε, υπήρχε μεγαλύτερη ανάγκη για την εξέταση των αποτελεσμάτων στο συνολικό σύστημα. Ακολουθεί μια περίληψη των πιο πρόσφατων μελετών μέχρι τώρα και τα κύρια ευρήματα αυτών:

- 2004 ESBNG Αναφορά «Το αντίκτυπο της Παραγωγής Αιολικής Ενέργειας στην Ιρλανδία για τη λειτουργία μιας Συμβατικής Εγκατάστασης» [61]. Η μεθοδολογία προσδιορισμού της εισροής ανέμου που χρησιμοποιήθηκε ήταν άμεση αλλαγή κλίμακας των στοιχείων παραγωγής από τα υφιστάμενα WPP σε συνδυασμό με κάποια στοιχεία σχεδιασμένης αιολικής εγκατάστασης προκειμένου να δημιουργηθεί μια χρονοσειρά ενέργειας. Η μεθοδολογία προσδιορισμού του συστήματος ήταν προσομοίωση του συστήματος παραγωγής χρησιμοποιώντας μια μονάδα δέσμευσης και προσομοιωτή διάθεσης. Βρέθηκε ότι μια υψηλή διείσδυση αιολικής ενέργειας αύξησε πολύ τον αριθμό των εκκινήσεων και τις αναδιατάξεις για την παραγωγή στροβίλων αερίου στο σύστημα και ότι το κόστος για τη χρήση αιολικής ενέργειας και την μετρίαση της χρήσης διοξειδίου του άνθρακα στο Ιρλανδικό σύστημα είναι € 120/τόνο.

- 2004 SEI ILEX/UMIST/UCD/QUB Αναφορά «Ανάγκες για λειτουργικές εφεδρείες όσο αυξάνεται η διείσδυση της αιολικής ενέργειας στο Ιρλανδικό σύστημα ηλεκτρισμού» [62]. Η μεθοδολογία του προσδιορισμού της εισροής ανέμου σ' αυτήν τη μελέτη ήταν η χρήση χρονοσειράς που δημιουργήθηκε από τον στατιστικό χειρισμό των ιστορικών στοιχείων αιολικού πάρκου. Η μεθοδολογία προσδιορισμού του συστήματος ήταν η προσομοίωση του συστήματος παραγωγής χρησιμοποιώντας ένα αποκλειστικό σύστημα δυναμικού μοντέλου. Τα ευρήματα της μελέτης ήταν ότι το κόστος καυσίμου και η εξοικονόμηση διοξειδίου του άνθρακα μέχρι 1500 MW διείσδυσης αιολικής ενέργειας στο σύστημα ROI ήταν σε άμεση αναλογία με τη διείσδυση της αιολικής ενέργειας. Βρέθηκε ότι ενώ ο άνεμος μείωσε το συνολικό λειτουργικό

κόστος του συστήματος θα μπορούσε να προκαλέσει μια μικρή αύξηση στο κόστος λειτουργικών εφεδρειών.

- 2004 ESBI Αναφορά για SEI «Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την Ιρλανδία το 2010 και 2020». Η μεθοδολογία του προσδιορισμού της εισροής ανέμου σ' αυτήν τη μελέτη ήταν η χρήση της οικονομικά βιώσιμης πηγής βασιζόμενη στον αιολικό άτλαντα του 2003 (SEI). Η μεθοδολογία προσδιορισμού του συστήματος χρησιμοποίησε αποτελέσματα από τη μελέτη ESBNG 2004 που αναλύθηκε παραπάνω για να βρει όρια στη διείσδυση αιολικής ενέργειας της τάξεως των 1000 MW το 2010 και 1250 MW το 2020. Στην αναφορά επίσης αναφέρεται ότι αν η εγκατάσταση που αντικατέστησε τη συμβατική που αποσύρεται το 2016 ήταν αεροπαραγωγική OCGT αντί για CCGT το 2020 το όριο θα γινόταν 3500 MW.

- 2004 SEI Brattle Group Αναφορά για SEI «Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας στη νέα αγορά Ιρλανδικού Ηλεκτρισμού. Η μεθοδολογία του προσδιορισμού της εισροής ανέμου ήταν μια χρονοσειρά από τη μελέτη SEI στις ρυθμιζόμενες εφεδρείες. Η μεθοδολογία προσδιορισμού του συστήματος χρησιμοποίηση προσομοίωση του συστήματος διανομής (Henwood) για να εξετάσει τις επιδράσεις στη συμβατική εγκατάσταση. Βρέθηκε ότι το κόστος της αναδιάταξης και των εκκινήσεων ήταν λογικό διείσδυση αιολικής ενέργειας ύψους 1500 MW.

- 2004 IWEA Milborrow/Duggan Αναφορά – Οι παρουσιάσεις αυτής της μελέτης υποδηλώνουν ότι η διείσδυση ύψους 3500 MW αιολικής ενέργειας είναι δυνατή στο Ιρλανδικό σύστημα ηλεκτρισμού με ένα κατάλληλο συμβατικό μείγμα παραγωγής. Η αναφορά αυτής της μελέτης παραμένει αδημοσίευτη.

Το 2005 μια μελέτη για το Δίκτυο όλων των Νησιών ζήτησε από τις Κυβερνήσεις της Ιρλανδίας και της Βόρειας Ιρλανδίας να ενημερώσουν για την πολιτική ανανεώσιμης ενέργειας μέχρι το 2020. Δεδομένου ότι η αιολική ενέργεια θα είναι η επικρατούσα ανανεώσιμη τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρισμού στην Ιρλανδία μέχρι το 2020, η μελέτη εστιάζει πρωταρχικά στις επιδράσεις της υψηλής διείσδυσης του ανέμου στο σύστημα. Εκτελέστηκε με τέσσερεις σταθερές ή επίπεδα εργασίας τα οποία θα λειτουργούν κατά την ίδια χρονική στιγμή και θα είναι συμβεβλημένα με ανεξάρτητους επιθεωρητές. Το Επίπεδο Εργασίας 1 εξετάζει τις πηγές ανανεώσιμης ενέργειας μέχρι το 2020, προκειμένου να σχεδιαστούν τα αποτελέσματα στο σύστημα λειτουργίας. Συγκεκριμένη εστίαση δόθηκε στην χωροταξική διανομή των αιολικών πάρκων για την βέλτιστη εκμετάλλευση της αιολικής πηγής. Δημιούργησε έναν αριθμό σεναρίων για την χωροταξική ανάπτυξη λαμβάνοντας υπόψη τις καμπύλες κόστους της αιολικής ενέργειας. Το Επίπεδο Εργασίας 2 αποτελείται από δύο στάδια, (α) ένα αρχικό στάδιο υψηλού επιπέδου σχεδιασμού για να αναγνωρισθεί το προφίλ του μείγματος του χαμηλότερου κόστους ανανεώσιμων πηγών για να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη ομάδα στόχων

διείσδυσης δυνητικών ανανεώσιμων πηγών στην ηλεκτρική παραγωγή το 2020, (β) ένα αναλυτικό στάδιο σχεδιασμού που θα περιλαμβάνει προσομοιώσεις της πραγματικής δέσμευσης εγκατάστασης παραγωγής και διανομή για το 2020 με διάφορα προβλεπόμενα σενάρια διείσδυσης. Είναι μέρος του σκοπού της μελέτης η πρόταση μιας νέας μεθοδολογίας για τη μελλοντική υψηλή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών. Το Επίπεδο Εργασίας 3 διερευνά τις επιλογές ανάπτυξης του ηλεκτρικού δικτύου για ένα εύρος επιπέδων διείσδυσης παραγωγής ανανεώσιμων πηγών. Το Επίπεδο Εργασίας 4 διερευνά το οικονομικό αντίκτυπο και τις ωφέλειες των διάφορων ανανεώσιμων επιπέδων παραγωγής. Συνδυάζει τα τρία πρώτα έργα για να καθορίσει το αντίκτυπο του βαθμού διείσδυσης της ανανεώσιμης ενέργειας στο κόστος για τις διάφορες ομάδες μετόχων του ηλεκτρικού κλάδου. Το έργο επίσης συστήνει πιθανές/αναγκαίες αλλαγές στους μηχανισμούς της αγοράς για να διευκολυνθούν τα διάφορα επίπεδα της διείσδυσης. [59]

4. Νορβηγία

Οι πρόσφατες μελέτες και αυτές που βρίσκονται σε εξέλιξη περιλαμβάνουν:

- Ανάπτυξη αριθμητικών μοντέλων αιολικών πάρκων για χρήση προσομοίωσης του συστήματος ενέργειας. Τα μοντέλα περιλαμβάνουν ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας με γεννήτρια εισαγωγής με θαλαμίσκο, ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας με γεννήτρια εισαγωγής διπλής τροφοδότησης και ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας με πλήρους κλίμακας μετατροπέα συχνότητας. Η εργασία προετοιμάστηκε σαν μέρος του IEA Wind R&D Προσάρτημα 21 με τη χρηματοδότηση του Συμβουλίου Έρευνας της Νορβηγίας, αλλά επίσης κατόπιν σύμβασης με βιομηχανίες και χειριστές του συστήματος. [63]
- Οι μελέτες της σταθερότητας του συστήματος ενέργειας προετοιμάστηκαν σε συνδυασμό με το σχεδιασμό μεγάλων αιολικών πάρκων σε διάφορες τοποθεσίες της Νορβηγίας, όμως προετοιμάστηκαν και άλλες μελέτες γενικού τύπου σαν μέρος των εργασιών για το Συμβούλιο Έρευνας της Νορβηγίας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης. [64]
- Οι μελέτες για την ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας και της υδρο-ενέργειας εστίασαν στο σχεδιασμό και λειτουργία μεγάλων αιολικών πάρκων σε περιοχές με περιορισμένο μέγεθος μεταφοράς ενέργειας. Οι μελέτες περιλάμβαναν προσδιορισμό της λειτουργίας του συστήματος, τις διακυμάνσεις του ανέμου και του νερού, προσομοιώσεις σε ωριαία βάση. Οι μελέτες έδειξαν ότι, αναπάντεχα, πολύ μεγάλες ποσότητες αιολικής ενέργειας μπορούν να ενσωματωθούν δίχως δαπανηρές ενισχύσεις του δικτύου, αλλά χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες ελέγχου των μοντέρνων αιολικών πάρκων. Οι μελέτες προετοιμάστηκαν για το IEA Wind R&D, Προσάρτημα 24, είναι όμως επίσης σχετικές με το IEA Wind R&D Προσάρτημα 25.

Σχεδιάζεται μια νέα μελέτη για τον προσδιορισμό της επίδρασης μεγάλης κλίμακας αιολικής ενέργειας στο σύστημα επάρκειας σε έναν τοπικό σταθμό ενέργειας που βασίζεται στο νερό που έχει ισχνές διασυνδέσεις. Άλλα σχετικά θέματα της μελέτης είναι α) ο υπολογισμός της απαιτούμενης εθνικής ρύθμισης μεγέθους ανάλογα με το μερίδιο της αιολικής ενέργειας, β) οι λύσεις της αγοράς για την αποτελεσματική από άποψη κόστους ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας και γ) η χρήση του Σκανδιναβικού νερού για την ισορροπία της αιολικής ενέργειας της Βορείου Ευρώπης. [59]

5. Σουηδία

Δημοσιεύτηκε το 2005 μια μελέτη για ποσότητα 4000 MW αιολικής ενέργειας στη Σουηδία. [65]

Η διδακτορική διατριβή που βρίσκεται σε εξέλιξη αφορά:

- την αιολική ενέργεια σε περιοχές με περιορισμένες δυνατότητες εξαγωγών: Ποιες μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα απορυθμισμένο πλαίσιο για να προκληθεί το ενδιαφέρουν των ιδιοκτητών υδρο-ενέργειας να ισορροπήσουν την αιολική ενέργεια; Πώς η αβεβαιότητα πρόβλεψης της ταχύτητας του ανέμου επηρεάζει τις δυνατότητες ισορρόπησης της αιολικής ενέργειας με την υδρο-ενέργεια; Πώς το δασμός δόμησης επηρεάζει το ενδιαφέρον των ιδιοκτητών υδρο-ενέργειας; Ποιες είναι οι πιθανότητες χρήσης αποθήκευσης μέσω άντλησης στο υδρο-σύστημα για να επέλθει ισορροπία της αιολικής ενέργειας; Μπορεί η επιμήκυνση του δικτύου να παρακινηθεί επίσης από το ενδιαφέρον της χρήσης της υδρο-ενέργειας σαν εφεδρική ενέργεια;
- Το μοντέλο πλειοδοσίας της υδρο-ενέργειας κάτω από σημαντική αβεβαιότητα: Τα μοντέλα αναπτύσσονται για τον τρόπο που πλειοδοτείται η ενέργεια, και σε αγορά που λειτουργεί με συνθήκες μιας μέρας πριν και σε ρυθμιζόμενη αγορά, όταν η ποσότητα των αβεβαιοτήτων που προκαλούνται από την αιολική ενέργεια, αυξηθούν.
- Έλεγχος συχνότητας σε σύστημα με μεγάλες ποσότητες αιολικής ενέργειας: σε ποιο επίπεδο αιολικής ενέργειας είναι απαραίτητο να συμμετάσχει η αιολική ενέργεια για ισορρόπηση. Στο ΚΤΗ αναπτύχθηκε ένα μοντέλο που προσομοιώνει με συγκριτικά λεπτομερή τρόπο πώς το TSO θα κρατήσει ισορροπία στο σύστημα που έχει μεγαλύτερο μερίδιο αιολικής ενέργειας. Ο σκοπός του μοντέλου είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους ανισορροπίας για το TSO. [59]

6. Ηνωμένο Βασίλειο

Έχουν δημοσιευτεί αρκετές μελέτες για την ποσοτικοποίηση του κόστους ενσωμάτωσης της αιολικής ενέργειας. Το Ηνωμένο Βασίλειο έχει ενεργοποιηθεί πολύ στα ακόλουθα σχετικά θέματα:

- Επάρκεια του δικτύου: σχεδιασμός του δικτύου μετάδοσης και πρότυπα λειτουργίας για τα συστήματα με μεγάλη συνεισφορά της αιολικής παραγωγής ενέργειας και ανάπτυξη μεθοδολογιών για την αναβάθμισή τους.
- Αποτίμηση της συνεισφοράς της αιολικής ενέργειας στην ασφάλεια παραγωγής. [66]
- Ό ρόλος και η αξία της αποθήκευσης και από την πλευρά της ζήτησης για τη διαχείριση της διακοπών. [67]
- Ο ρόλος και η αξία της πρόβλεψης του ανέμου
- Η επίδραση της τεχνολογίας ανεμογεννητριών και έλεγχος της σταθερότητας του συστήματος. [59]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

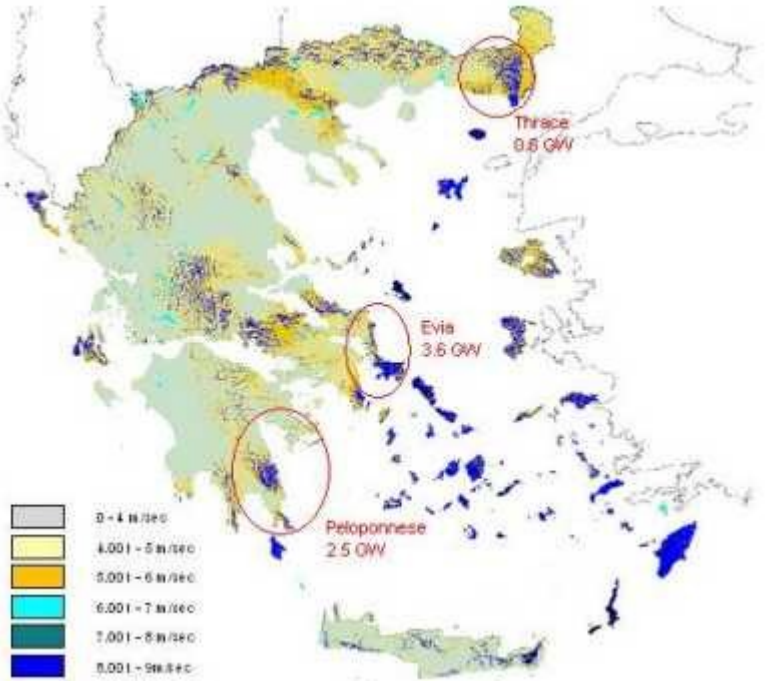
4.1 Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η ανάγκη αποθήκευσης μέρους της ενέργειας που προέρχεται από την παραγωγή αιολικών πάρκων γίνεται τόσο πιο επιτακτική, ακόμη και σε ισχυρά διασυνδεδεμένα δίκτυα, όσο η συμμετοχή της αιολικής ενέργειας αρχίζει να πλησιάζει κάποια όρια πέρα από τα οποία προκαλείται αστάθεια στο ηλεκτρικό δίκτυο. Ήδη κάποιες χώρες έχουν φθάσει στο όριο αυτό οπότε η περαιτέρω ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας μπορεί να γίνει μόνο μέσω αποθήκευσης.

Στην Ελλάδα σήμερα με εγκατεστημένη ισχύ περί τα 14.000 MW, η ισχύς των αιολικών πάρκων είναι περί τα 900 MW (από αυτά τα 700 MW τροφοδοτούν το διασυνδεδεμένο δίκτυο).

Για το 2020 ο στόχος είναι να έχουν εγκατασταθεί 5.000-8.000 MW αιολικών πάρκων όποτε θα αρχίζουμε να έχουμε πρόβλημα διείσδυσης. Επίσης στις χρονικές περιόδους υψηλού φορτίου (υψηλού φορτίου) και ιδιαίτερα στις αιχμές του φορτίου είναι ιδιαίτερα επιθυμητή στον διαχειριστή ενός δικτύου η διαθεσιμότητα μεγάλης ισχύος σε σύντομο χρονικό διάστημα. Από τα προηγούμενα προκύπτει η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας τις ώρες που υπάρχει αυτή διαθέσιμη και η δυνατότητα πρόσδοσης ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο κατά τις περιόδους αιχμής.

Οι παρακάτω δύο πίνακες δείχνουν το αιολικό δυναμικό και το υδροδυναμικό στην Ελλάδα.



Αιολικό δυναμικό

Υδροδυναμικό

Με μια πρώτη ματιά θα μπορούσε να πει κάποιος ότι οι περιοχές της Ελλάδας που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την εγκατάσταση ενός υβριδικού σταθμού παραγωγής ενέργειας είναι οι περιοχές που συνδυάζουν αιολικό δυναμικό και υδροδυναμικό.

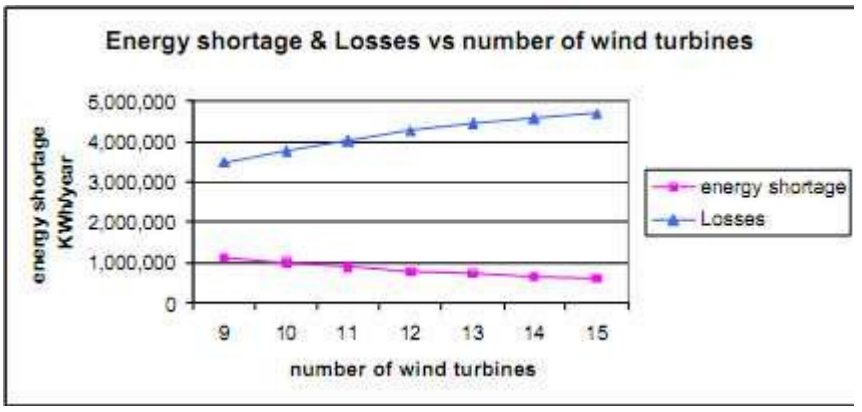
4.2 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Για να γίνει κάποια έρευνα στην Ελλάδα για τον συνδυασμό αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητα πειράματα και μελέτες με πολλά και διαφορετικά δεδομένα, ώστε να παρουσιαστούν όσο πιο ρεαλιστικά γίνεται τα αποτελέσματα.

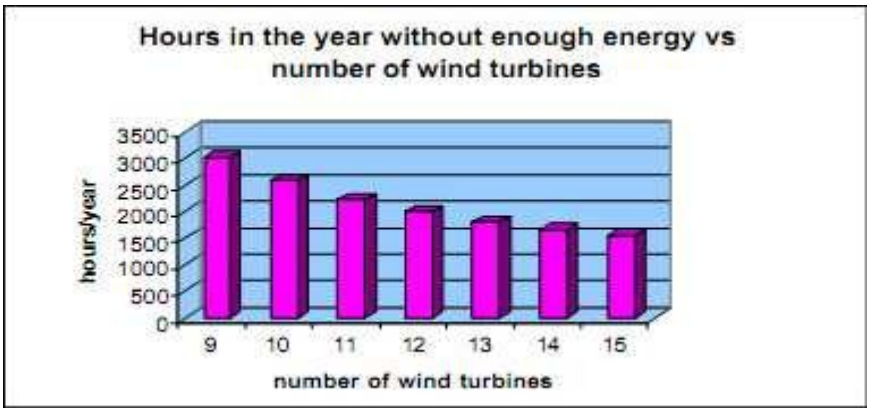
Υπάρχουν παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα του έργου. Οι κύριοι είναι: η ταχύτητα του αέρα σε ετήσια βάση, οι ετήσιες τιμές βροχοπτώσεων, το μέγεθος και η σταθερότητα του δικτύου. Εκτός από αυτούς, υπάρχουν πολλοί άλλοι όπως ο αριθμός ημερών που η ένταση του αέρα είναι συνέχεια χαμηλή, το μέγεθος του αιολικού και υδροηλεκτρικού πάρκου η απαίτηση ενέργειας. Είναι πολύ δύσκολο να βγουν γενικοί κανόνες οι οποίοι θα χρησιμοποιούνται παντού (για όλες τις μελέτες), εξαιτίας των συγκεκριμένων απαιτήσεων καθεμίας από αυτές.

Ο κύριος σκοπός είναι να δοθούν απαντήσεις σε τρεις ερωτήσεις: 1) Πόσο επηρεάζει το μέγεθος του αιολικού και υδροηλεκτρικού πάρκου (υβριδικό πάρκο) τη λειτουργία ολόκληρου του συστήματος ενέργειας. 2) Πόση πρέπει να είναι η αιολική ενέργεια ώστε το δίκτυο να λειτουργεί χωρίς προβλήματα αν υπάρχει υδροηλεκτρική εγκατάσταση και 3) Αν ο συνδυασμός αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας θα ήταν μια βιώσιμη λύση.

Για να υπολογιστεί ο βαθμός επιρροής του μεγέθους του υβριδικού πάρκου λειτουργώντας σωστά χρησιμοποιήθηκαν πολλές και διαφορετικές αναλογίες αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας. Τα αποτελέσματα των συνδυασμών αυτών παρουσιάζονται στα πιο κάτω διαγράμματα. Το διάγραμμα 1 παρουσιάζει την μείωση ενέργειας κατά τη διάρκεια λειτουργίας του σταθμού σε σχέση με το μέγεθος του αιολικού πάρκου (αριθμός Α/Γ). Το διάγραμμα 2 δείχνει τις ώρες ενός έτους όταν το υβριδικό δεν παράγει αρκετή ενέργεια και δεν καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες σε σχέση με τον αριθμό των Α/Γ.

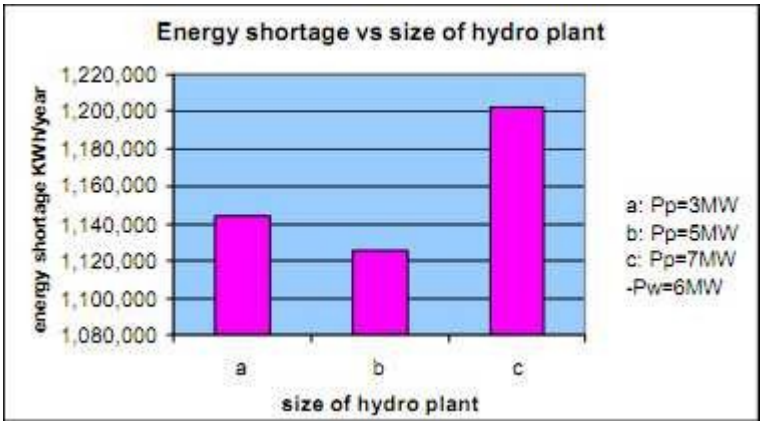


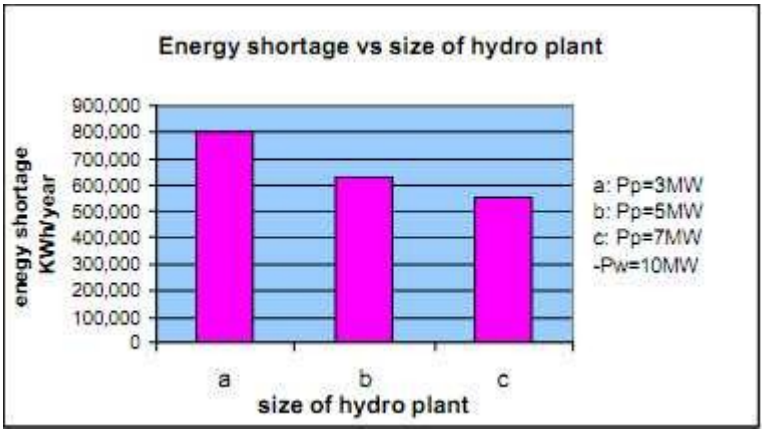
Διάγραμμα 1. Μείωση ενέργειας κατά τη διάρκεια λειτουργίας του σταθμού σε σχέση με το μέγεθος του αιολικού πάρκου



Διάγραμμα 2. Ώρες ενός έτους όταν το υβριδικό δεν παράγει αρκετή ενέργεια και δεν καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες σε σχέση με τον αριθμό των Α/Γ.

Στα διαγράμματα 3 και 4 φαίνεται η επιρροή του μεγέθους του υδροηλεκτρικού φράγματος στο υβριδικό πάρκο. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται η μείωση ενέργειας κατά τη λειτουργία τριών διαφορετικών ενεργειακών πάρκων και ο καλύτερος συνδυασμός (η μικρότερη μείωση ενέργειας). Σύμφωνα με τα διαγράμματα ο καλύτερος συνδυασμός είναι η τρίτη περίπτωση του διαγράμματος 4, δηλαδή αιολικό πάρκο 10 MW και υδροηλεκτρικό φράγμα 7 MW.





Είναι φανερό ότι το μέγεθος αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζει τη σωστή λειτουργία ενός υβριδικού πάρκου. Εκτός από αυτό υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν ένα υβριδικό πάρκο και θα ήταν μια ενδιαφέρουσα μελέτη για περαιτέρω έρευνα.

4.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σαν συμπέρασμα λοιπόν θα μπορούσαμε να πούμε ότι ένα υβριδικό θα ήταν μια αξιόπιστη λύση για νησιά. Δεν θα παρείχε 100% αυτονομία και σίγουρα δεν θα ήταν η φθηνότερη λύση, αλλά χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως κύρια πηγή ενέργειας και τις συμβατικές (λιγνίτης και πετρέλαιο) ως δευτερεύουσες θα ήταν μια σωστή λύση με περιβαλλοντολογικά και οικονομικά κέρδη.

Αλλά και στο διασυνδεδεμένο σύστημα που μπορεί άμεσα να μην παρουσιάσει προβλήματα διείσδυσης στην Ελλάδα, η υποστήριξη με υδροηλεκτρικά συστήματα, όπως αναφέρθηκε εκτενώς στα προηγούμενα κεφάλαια, για τον διεθνή χώρο, αποφέρει σημαντικά κέρδη. Οι επενδύσεις πάνω στην κατασκευή περισσοτέρων τέτοιων σταθμών αυξάνονται, αφού η απόσβεση γίνεται σε λίγα χρόνια και τα κέρδη είναι συγκριτικά κατά πολύ περισσότερα. Η αξία της τιμής της αιολικής ενέργειας γίνεται μεγαλύτερη και το δίκτυο της χώρας, ειδικά σε περιόδους αιχμής, γίνεται πιο αξιόπιστο παρέχοντας σιγουριά στους καταναλωτές.

Εκτός όμως από την υποστήριξη που μπορούν να παρέχουν τα υδροηλεκτρικά συστήματα, είναι δυνατόν να γίνει και αντίστροφα. Δηλαδή σε περιόδους που τα υδροηλεκτρικά φράγματα μπορεί να έχουν προβληματική λειτουργία, η αιολική ενέργεια μπορεί να τα υποστηρίξει επαρκώς, χωρίς να δημιουργηθεί αναταραχή στο δίκτυο. Τέτοιες περίοδοι στην Ελλάδα είναι οι καλοκαιρινές που εμφανίζεται σημαντική μείωση της στάθμης των νερών στα ποτάμια.

Το μέλλον χρειάζεται προηγμένες κατασκευές αποθήκευσης για να εξυπηρετήσει την ανερχόμενη διείσδυση της αιολικής ενέργειας. Οι λύσεις της υδρο/αιολικής ενέργειας όχι μόνο εγγυάται τη συνεχή δυνατότητα κάλυψης της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια του τοπικού δικτύου, αλλά ελαχιστοποιεί την εξάρτηση σε εισαγόμενα καύσιμα και επίσης μειώνει τα αρνητικά σημεία που προκύπτουν από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΚΟΣΤΟΛΟΓΙΣΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

5.1 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι περισσότερες μελέτες που έχουν γίνει για τη διείσδυση της αιολικής ενέργειας δεν λαμβάνουν υπόψη τα κόστη που η αιολική ενέργεια θέτει στο δίκτυο. Τα κόστη αφορούν στο να διατηρηθεί η δυνατότητα και η στρεφόμενη εφεδρεία, κυρίως σε θερμικούς σταθμούς στην περίπτωση όπου το αιολικό πάρκο σταματήσει να παράγει ενέργεια. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, οι σταθμοί παραγωγής θα πρέπει να είναι έτοιμοι να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια τη στιγμή όπου δεν υπάρχει άνεμος και άρα έχει σταματήσει η παραγωγή από το αιολικό πάρκο. Εάν η εφεδρεία παράγεται από λιγνιτικούς σταθμούς, για παράδειγμα, απαιτείται ο σταθμός να λειτουργεί συνεχόμενα (και πιθανώς με ένα τμήμα της δυναμικότητας του) καταναλώνοντας καύσιμο του οποίου η ενέργεια δεν μεταφέρεται στο δίκτυο. Η απόδοση του σταθμού, χρησιμοποιώντας μόνο τμήμα της δυναμικότητας του, είναι μειωμένη τουλάχιστον βραχυπρόθεσμα, διότι ο θερμικός σταθμός λειτουργεί κάτω από το ιδανικό σημείο λειτουργίας του, οδηγώντας σε υψηλό κόστος παραγωγής και αυξημένες εκπομπές ρύπων διοξειδίου του άνθρακα.

Εάν η εφεδρεία παρέχεται από σταθμό παραγωγής που χρησιμοποιείται για την κάλυψη της ζήτησης αιχμής όπως ανοικτού κύκλου αεριοστρόβιλος ή γεννήτρια με καύσιμο πετρέλαιο, συχνότερα σταματήματα και εναύσεις λόγω της μεταβλητότητας του ανέμου προσθέτουν επίσης κόστος στη λειτουργία του συστήματος. Οι σταθμοί παραγωγής τείνουν να είναι αναποτελεσματικοί (με βαθμό απόδοσης κάτω από 30%) το οποίο οδηγεί δε υψηλή κατανάλωση καυσίμου και αυξημένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα συγκρινόμενες με μονάδες παραγωγής της βάσης. [68]

Μελετάται η συνολική οικονομική επίπτωση της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας και να ερευνηθούν οι συμβιβασμοί από την διείσδυση της αιολικής ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο αλλά και να υπολογιστούν τα κόστη από την μείωση των ρύπων διοξειδίου του άνθρακα.

Για να επιλυθεί το ανωτέρω πρόβλημα, κατασκευάστηκε ένα μη γραμμικό πρόγραμμα βελτιστοποίησης με περιορισμούς που λαμβάνει υπόψη θερμικούς σταθμούς παραγωγής, υδροηλεκτρικά έργα, αιολική ενέργεια αλλά και σύστημα αντλησιοταμίευσης με σκοπό την εύρεση της καλύτερης δυνατής κατανομής των παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη οργάνωση των όγκων νερού των δεξαμενών και των εκροών τους σε ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης.

Το πρόγραμμα- μοντέλο χρησιμοποιείται για να μπορέσει να παρέχει καλή κατανόηση των σχέσεων μεταξύ των διαφορετικών τύπων παραγωγής ενέργειας αλλά και της χωρητικότητας των δεξαμενών της αντλησιοταμίευσης, σε διαφορετικά σενάρια διείσδυσης της αιολικής παραγωγής και να καθοριστεί πως διαφορετικοί παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας χρειάζεται να αλλάξουν το πρόγραμμα λειτουργίας τους προκειμένου να αμβλύνουν τις επιπτώσεις από την αιολική διείσδυση.

Όπως και στην περίπτωση στην Ελλάδα τρία σενάρια αιολικής διείσδυσης εξετάστηκαν, για το δίκτυο της ALBERTA, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

Σενάριο βάσης (χωρίς αιολική διείσδυση): Σε αυτό το σενάριο η ενέργεια παράγεται από τρεις παραγωγούς- λιγνιτική μονάδα ισχύος 4700MW, συνδυασμένος κύκλος με καύσιμο φυσικό αέριο ισχύος 4000MW, και από υδροηλεκτρικό έργο 1000MW. Η λιγνιτική μονάδα καθώς και ο σταθμός με καύσιμο φυσικό αέριο είναι μονάδες βάσης. Επιπρόσθετα για να ικανοποιηθεί η αιχμή σε οποιαδήποτε ώρα, υπάρχει η περίπτωση να υπάρχει νέα μονάδα (ΜΕΚ με πετρέλαιο ή αεριοστρόβιλος ανοικτού κύκλου) σε περίπτωση όπου η ενέργεια από το υδροηλεκτρικό έργο δεν αρκεί να ικανοποιήσει την αιχμή . Όταν η νέα μονάδα απαιτείται να μπει στο σύστημα ενεργοποιείται από μέσα από το μοντέλο.

Σενάριο ήπιο (με αιολική διείσδυση): Ανεμογεννήτριες εισάγονται για να αντικαταστήσουν 1000MW από το λιγνιτικό σταθμό. Για να επιτευχθεί αυτό περισσότερη εγκατεστημένη ισχύ σε αιολικό πάρκο απαιτείται, λόγω της διακοπτόμενης φύσης της αιολικής ενέργειας, μόνο ένα ποσοστό 36% της μέγιστης ονομαστικής μιας ανεμογεννήτριας μπορεί να διατεθεί στο δίκτυο, με

αποτέλεσμα για να αντικατασταθούν 1000MW λιγνιτικού απαιτούνται περίπου 2800MW αιολικού πάρκου, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα ένα επίπεδο διείσδυσης 32% (ανοιγμένο στην αιχμή). Στην περίπτωση των δύο αιολικών πάρκων, θα υπήρχε απαίτηση για 1478 ανεμογεννήτριες, 778 με ονομαστική ισχύ 1,8MW και 700 με ονομαστική ισχύ 2,0MW. Επιπροσθέτως, με την εισαγωγή της αιολικής ενέργειας, έγινε αξιολόγηση για την ανάγκη της εισαγωγής της νέας μονάδας για να καλύψει την αιχμή της ζήτησης στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει άνεμος και η υδροηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να καλύψει το φορτίο.

Σενάριο υψηλής αιολικής διείσδυσης: Ένα δεύτερο σενάριο με διείσδυση αιολικής παραγωγής αντικαθιστά 2000MW από το λιγνιτικό σταθμό. Σε αυτή την περίπτωση, διπλασιάζεται η ισχύς από αιολικά σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται παρακάτω:

Στα σενάρια με δύο αιολικά πάρκα, ο λιγνιτικός σταθμός παρέχει ισχύς για τη βάση και λειτουργεί με την πλήρη δυναμικότητα του όλο το χρονικό διάστημα. Στο σενάριο υψηλής διείσδυσης όμως η γεννήτρια του λιγνιτικού σταθμού απαιτείται να μεταβάλει πάνω και κάτω την παραγωγή ισχύος ώστε να λειτουργεί με μερικό φορτίο αρκετές φορές μέσα σε ένα χρόνο. . Αυτό αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου καθώς η απόδοση καυσίμου μειώνεται καθώς ο λιγνιτικός σταθμός λειτουργεί με μερικό φορτίο κοντά στην πλήρη λειτουργία.

Η παρουσία της μη κατανεμημένης αιολικής ενέργειας έχει το μεγαλύτερο επίπτωση στο σταθμό με συνδυασμένο κύκλο φυσικού αερίου. Λόγω της διακοπτόμενης φύσης της αιολικής η γεννήτρια του σταθμού συνδυασμένου κύκλου πρέπει να ρυθμίζεται συνέχεια. Στην περίπτωση ενός αιολικού πάρκου, τα αποτελέσματα στο σταθμό συνδυασμένου κύκλου αποκαλύπτει ότι ο σταθμός σβήνει 34 φορές κατά το ήπιο σενάριο και 209 φορές κατά την υψηλή διείσδυση. Ο σταθμός συνδυασμένου κύκλου λειτουργεί συχνότερα όταν η αιολική παραγωγή είναι μοιρασμένη σε δύο πάρκα σε διαφορετικές περιοχές- σβήνει 4 φορές όλο το χρόνο στο ήπιο σενάριο διείσδυσης και 29 φορές κατά την υψηλή διείσδυση.

Σαν αποτέλεσμα παρέχει αρκετά παραπάνω ηλεκτρική παραγωγή συγκρινόμενο με ένα αιολικό πάρκο (27,1TWh αντί 24,8TWh όλο το χρόνο κατά το ήπιο σενάριο). Ο λόγος που ο σταθμός συνδυασμένου κύκλου λειτουργεί συχνότερα στην περίπτωση των δύο διαφορετικών αιολικών πάρκων είναι ότι η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι λίγο μικρότερη από αυτήν του ενός αιολικού πάρκου, αν και η μεταβλητότητα και η διακοπτόμενη λειτουργία του ανέμου είναι μειωμένη. ¨όπως στην περίπτωση του λιγνιτικού σταθμού, κάθε αύξηση στην συχνότητα ρύθμισης του σταθμού συνδυασμένου κύκλου αυξάνει το κόστος διότι γίνεται μη αποδοτική χρήση του καυσίμου και τα κόστη συντήρησης από απρογραμμάτιστα κλεισίματα τα οποία ίσως και να απαιτούν επανασχεδιασμό της λειτουργίας του σταθμού συνδυασμένου κύκλου. Τέτοια κόστη δεν ελήφθησαν υπόψη σε αυτή την ανάλυση. Στο βασικό σενάριο ο λιγνιτικός σταθμός παρέχει ισχύ για τη βάση, ενώ η απαίτηση για μέση και υψηλή ζήτηση καλύπτεται από τον συνδυασμένου κύκλου και το υδροηλεκτρικό αντίστοιχα. Στα σενάρια όπου έχουμε διείσδυση αιολική, η ενέργεια που παράγεται από τις προηγούμενες μονάδες μπορεί να μην είναι αρκετή για να εξισορροπεί –οφσετ- τις επιπτώσεις στο δίκτυο που παρέχει η διακοπτόμενη λειτουργία του ανέμου. Για το λόγο αυτό η νέα μονάδα θα πρέπει να συνεργαστεί στο δίκτυο. Η ισχύς της νέας μονάδας εξαρτάται από επίπεδο της αιολικής διείσδυσης.

Στο ήπιο σενάριο με δύο αιολικά πάρκα, μια μονάδα ισχύος 379MW απαιτείται ενώ στο σενάριο της υψηλής διείσδυσης μια μονάδα 1423MW απαιτείται. Η νέα μονάδα θα λειτουργεί για πολύ περιορισμένο χρόνο κατά τη διάρκεια του έτους- λιγότερο από 1% του χρόνου (μόνο 15ώρες) στο ήπιο σενάριο, και 10% του χρόνου (813ωρες) στο σενάριο υψηλής διείσδυσης. Στην περίπτωση ενός αιολικού πάρκου η απαιτουμένη δυναμικότητα της νέας μονάδας είναι μεγαλύτερη 867MW και 1876MW στο ήπιο σενάριο και στο υψηλής διείσδυσης αντίστοιχα, ενώ ο νέος σταθμός αιχμής λειτουργεί μόνο λίγο περισσότερες ώρες την ημέρα από όσες είχε υπολογιστεί για δύο αιολικά πάρκα.

5.2 ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Για να γίνει κατανοητό πόσο εφικτό είναι το εγχείρημα της υποστήριξης με υδροηλεκτρικό σταθμό είναι απαραίτητο να υπολογιστεί το κόστος αγοράς πλεονάζουσας ενέργειας του υδροηλεκτρικού σταθμού από τα αιολικά πάρκα.

Θεωρούμε την εξής επένδυση:

Αντλιοστάσιο σε υπάρχον ΥΗΕ με ταμιευτήρα, εγκατεστημένης ισχύος Α KW και με κόστος επένδυσης Ε = 500 Ευρώ/KW. Η τιμή πώλησης της ενέργειας από το ΥΗΕ είναι Π = 0,08 Ευρώ/KW, ενώ ο βαθμός απόδοσης του κύκλου της αντλισιοταμίευσης είναι 70% (0,7).

Σε ετήσια βάση και αν υποθέσουμε ότι η εγκατάσταση λειτουργεί συνεχώς, θα πρέπει να έσοδα να είναι περισσότερα από τα έξοδα, δηλαδή:

Έσοδα > Έξοδα, άρα:

A KW x 8760 h/έτος x 0,7 x (0,08 – X) > (A KW x 500 Ευρώ/KW) / n (1)

Όπου:

X = το κόστος αγοράς πλεονάζουσας ενέργειας του υδροηλεκτρικού σταθμού από τα αιολικά πάρκα και

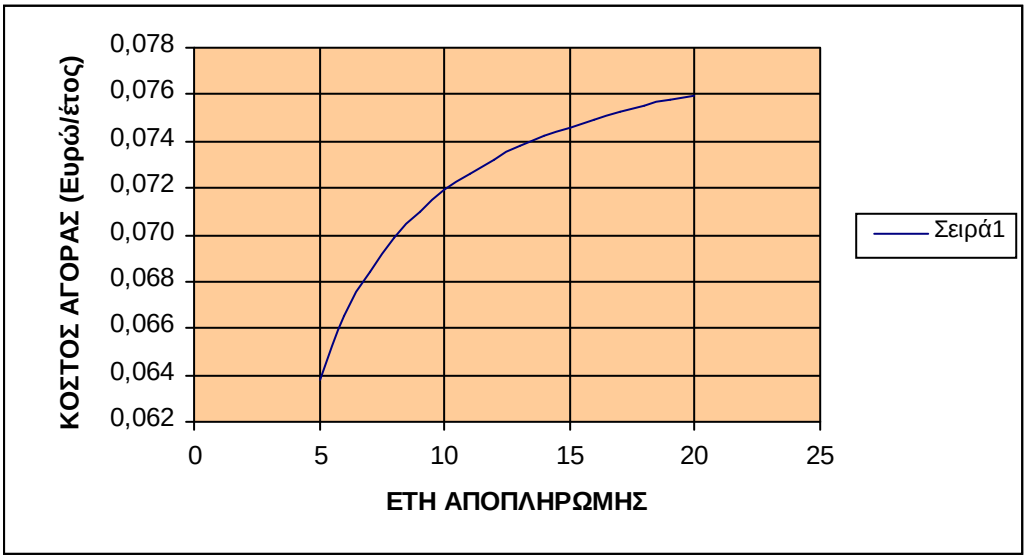
n = η διάρκεια αποπληρωμής επένδυσης σε έτη. Άρα η σχέση (1) γίνεται:

0,08 – x = 0,081 / n

Έχουμε τον πιο κάτω πίνακα:

Ε (Ευρώ/έτος)	n (έτη)	βαθμός απόδοσης	Π (Ευρώ/kwh)	Χ (Ευρώ/έτος)
500	5	0,7	0,08	0,064
500	6	0,7	0,08	0,067
500	7	0,7	0,08	0,068
500	8	0,7	0,08	0,070
500	9	0,7	0,08	0,071
500	10	0,7	0,08	0,072
500	11	0,7	0,08	0,073
500	12	0,7	0,08	0,073
500	13	0,7	0,08	0,074
500	14	0,7	0,08	0,074
500	15	0,7	0,08	0,075
500	16	0,7	0,08	0,075
500	17	0,7	0,08	0,075
500	18	0,7	0,08	0,076
500	19	0,7	0,08	0,076
500	20	0,7	0,08	0,076

Σύμφωνα με τις παραπάνω τιμές του πίνακα βγαίνει το διάγραμμα του κόστους αγοράς πλεονάζουσας ενέργειας του υδροηλεκτρικού σταθμού από τα αιολικά πάρκα (Χ), αυτό που ζητάμε δηλαδή, συναρτήσει των ετών αποπληρωμής της επένδυσης (n).



Αν η αγορά της πλεονάζουσας ενέργειας που παράγουν τα αιολικά από το υδροηλεκτρικό γίνεται με την χαμηλότερη οριακή τιμή συστήματος, δηλαδή:

- 0,032Ευρώ/kwh η μέση ελάχιστη οριακή τιμή συστήματος, θα έχουμε:

Για X = 0,032 και από την σχέση (1): ***n = 1,68 έτη***

Από την καμπύλη φαίνεται ότι όσο λιγότερα είναι τα έτη αποπληρωμής, τόσο το κόστος αγοράς της ενέργειας από τα αιολικά θα είναι χαμηλότερο, δηλαδή το υδροηλεκτρικό θα έχει μεγαλύτερο κέρδος τον χρόνο. Βέβεια συνολικά το κόστος αγοράς παραμένει χαμηλό και σίγουρα λιγότερο από την πώληση, που σημαίνει ότι θα υπάρχει κάποιο κέρδος. Για την μέση ελάχιστη οριακή τιμή του συστήματος, δηλαδή τις περιόδους χαμηλής ζήτησης, μπορεί η διάρκεια αποπληρωμής να πέσει σε πολύ χαμηλή τιμή, 1,68 έτη. Από άποψη επένδυσης είναι μια πολύ συμφέρουσα κατάσταση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ

[1]: EWEA (EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION), 2010

[2]: J.O. Tande (edt), Estimation of Cost of Energy from Wind Energy Conversion Systems, IEA Recommended Practices for Wind Turbine Testing, International Energy Agency, edition 2010.

[3]: T.K. Petersen – "Offshore wind power – the operational aspects", Vestas Danish Wind Technology A/S, Lem, Denmark.

[4]: CADDET report "5 MW Offshore Wind Farm", September 1999

[5]: DELEVERING OFFSHORE WIND POWER IN EUROPE

EWEA, 2010

[6]: State of the Art and Technology Trends for
Offshore Wind Energy: Operation and Maintenance
Issues, G.J.W. van Bussel, A.R. Henderson

[7]: Chr. Schontag, Optimisation of Operation and Maintenance of Offshore Wind Farms, Report IW-96108R,
Institute for Wind Energy, TU Delft, The Netherlands,
November 1996

[8]: G.J.W. van Bussel – "Reliability, availability and maintenance aspects of large-scale offshore wind farms, a concepts study",
Delft University of Technology, The Netherlands, MAREC 2001 Conference Proceedings.

[9]: Tuno Knob - Garrad Hassan questionnaire response, April 2001.

[10]: REPOWERING – MORE WIND POWER WITH FEWER WIND TURBINES. GERMAN WIND ENERGY ASSOCIATION (BWE).

[11]: R. THRESHER and A. LAXSON.

ADVANCED WIND TECHNOLOGY: NEW CHALLENGES FOR A NEW

CENTURY. EUROPEAN WIND ENERGY CONFERENCE ATHENS,

GREECE, FEBRUARY 27- MARCH 2, 2006

[12]: Research And Development Trends Of Wind Energy Market Globally Global Wind Energy Market Analysis and Forecasts to 2012 Report

[13]: INTERNATIONAL ENERGY TECHNOLOGY COLLABORATION AND

CLIMATE CHANGE MITIGATION (CASE STUDY 5: WIND POWER

INTEGRATION INTO ELECTRICITY SYSTEMS).

[14]: Hannele Holttinen, Peter Meibom, Antje Orths, Bernhard Lange, Mark O'Malley, John Olav Tande, Ana Estanqueiro, Emilio Gomez, Lennart Söder, Goran Strbac, J Charles Smith, Frans van Hulle
IMPACTS OF LARGE AMOUNTS OF WIND POWER ON DESIGN AND OPERATION OF POWER SYSTEMS; RESULTS OF IEA COLLABORATION 8th International Workshop on LargeScale Integration of Wind Power into Power Systems as well as on Transmission Networks of Offshore Wind Farms, 14-15 Oct. 2009 Bremen

[15]: Camille Belanger and Luc Gagnon
ADDING WIND ENERGY TO HYDROPOWER

[16]: Wind-Hydro Integration: Pumped Storage to Support Wind
Hydroworld, Hydro Review, June 2009.
Fernando Perán Montero and Juan J. Pérez

[17]: M. Farber De Anda, J. Boyes, W. Torres, "Lessons Learned From the Puerto Rico Battery Energy Storage System", Sandia National Laboratories Technical Report SAND99-2232, 1999

[18]: RUTHERFORD APPLETON LABORATORY

[19]: OUTLOOK OF ENERGY STORAGE TECNOLOGIES,
EUROPEAN PARLAMENT, 2010

[20]: Golden Valley Electric Association (GVEA) Fairbank's Battery Energy Storage System (BESS), διαθέσιμο http://www.gvea.com/about/bess/

[21]: Y. H. Pan, V. Srinivasan, C. Y. Wang, "An experimental and modeling study of isothermal charge/discharge behavior of commercial Ni–MH cells", J. of Power Sources, Vol. 112, Issue 1, 24 October 2002, pp 298-306.

[22]: EU-DEEP The birth of a EUropean Distributed EnErgy Partnership that will help the large-scale implementation of distributed energy resources in Europe.FP6 Project: SES6-CT-2003-503516,Technical Annex, available www.eu-deep.com

[23]: Stanley Atcitty, "Electrochemical Capacitor Characterization for Electric Utility Applications",Phd Dissertation, November 2006, Virginia Polytechnic Institute.

[24]: Enis, B., Lieberman, P. and Rubin, I.,van der Linden, S, “Transportable Compressed Air Energy Storage (T-CAES) System Driven by A 2,500-kW Wind Turbine”. Proc of the 19th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Capsis Hotel, Aghia Pelagia, Crete, Greece, July 12-14 2006.

[25]: Hystore Technologies Ltd, http://www.hystoretechnologies.com

[26]: M.Korpaas, “Distributed Energy Systems with Wind Power and Energy Storage”, Phd Dissertation, NTNU,Trondheim, April 2004

[27]: Δικτυακός τόπος Energy Storage Association www.energystorage.org

[28]: Ding, J.J, J.S. Buckeridge. Design considerations for a sustainable hybrid energy system. IPENZ Transactions, Vol. 27, No. 1/EMCh, 2000

[29]: Tariq Iqbal, M. Design of a hybrid energy system for households in Newfoundland. Presented at IEEE 12th, NECEC conference, St. John’s NF, 2002.

[30]: Papathanassiou, S.A., M. Tziantzi, M.P. Papadopoulos, S.T. Tentzerakis, P.S. Vionis, (2003). Possible benefits from the combined operation of wind parks and pumped storage stations. Proc. EWEC, Madrid, Spain

[31]: Protopapas, K., S. Papathanassiou (2004) Operation of hybrid wind – pumped storage systems in isolated island grids. Proc. MedPower 2004, Nov. 2004, Lemessos

[32]: OctavianCăpăţână,Mihaela Drăgan, Rareş Cazan
HYDRO-EOLIAN ENERGETICAL ENSAMBLE, 2007

[33]: Cristorafi C, Notton G, Poggi P, Muselli M, Heraud N, Nedelcheva S. Coupling hydro and wind electricity production by water-pumping storage, in Environment Identities and Mediterranean Area, ISEIMA 2006

[34]: Guan XH, Luh PB, Yan H, Rogan P. Optimization-based scheduling of hydrothermal power-systems with pumped-storage units, 1994.

[33]: Fernando Peran Montero and Juan J. Perez
Pump Up the Volume: Using Hydro Storage to Support Wind Integration

[34]: Michel Denault,Debbie Dupuis,Sébastien,Couture-Cardinal
Complementarity of Hydro and Wind Power: Improving the Risk Profile of Energy Inflows

[35]: Katsaprakakis DA, Dimitris PR, Christakis GA. Wind parks, pumped storage and diesel engines power system for the electric power production in Astypalaia.
EWEC 2006 European wind energy conference & exhibition. Athens, Greece: Megaron Conference Centre; 2006.

[36]: Bakos GC. Feasibility study of a hybrid wind/hydro power-system for low-cost electricity production. Appl Energy 2002.

[37]: Castronuovo ED, Lopes JAP. Optimal operation and hydro storage sizing of a wind-hydro power plant. Int J Elec Power 2004

[38]: Castronuovo ED, Lopes JAP. On the optimization of the daily operation of a wind-hydro power plant. IEEE T Power Syst 2004

[39]: Kaldellis JK. Parametrical investigation of the wind-hydro electricity production solution for Aegean Archipelago. Energy Convers Manage 2002

[40]: Kaldellis JK, Kavadias KA. Optimal wind-hydro solution for Aegean Sea islands' electricity-demand fulfilment. Appl Energy 2001

[41]: He W. A simulation model for evaluating Tianhuangping pumped storage hydro-plant. Renew Energy 1997

[42]: Sohrabi AR. Economic analysis of a pumped storage project for Iran generating system based on dynamic modeling. In: Proceedings of the 41st International
Universities Power Engineering Conference (UPEC-2006). 6–8 September 2006

[43]: Hosseini SMH, Forouzbakhsh F, Fotouhi M. Determination of installation capacity in reservoir hydro-power plants considering technical, economical and reliability indices. Int J Elec Power 2008

[44]: Nanahara T, Takimoto A. A study on required reservoir size for pumped hydrostorage. IEEE T Power Syst 1994

[45]: Anagnostopoulos JS, Papantonis DE. Pumping station design for a pumpedstorage wind-hydro power plant. Energy Convers Manage 2007

[46]: Kaldellis JK, Kavadias K, Christinakis E. Evaluation of the wind-hydro energy solution for remote islands. Energy Convers Manage 2001

[47]: Korpas M, Hildrum R, Holen AT. Operation and sizing of energy storage for wind power plants in a market system. 14th Power Systems Computation Conference, Sevilla, Spain 2002

[48]: Costello R, McCoy D, O'Donnell P, Dutton AG, Kariniotakis GN. Potential benefits of wind forecasting and the application of More-Care

in Ireland. MED POWER 2002 Conference, Athens, Greece 2002.

[49]: Decreto-Lei No 339-C/2001, Ministerio da Economia e do Ordenamento do Territorio de Portugal, Lisboa, December 29 2001

[50]: Edgardo D. Castronuovoa, Joa˜o A. Pec¸asLopesa
Optimal operation and hydro storage sizing of a wind–
hydro power plant

[51]: Rules of the Spanish Electricity Market, available at http://www.omel.es

[52]: S.J. Watson, L. Landerg, J.A. Halliday, Application of wind speed forecasting to the integration of wind energy into a large scale power system, IEE Proc. Gen. Transm., Distrib. 141 (July (4)) (1994)

[53]: G. Kariniotakis, et al., What performance can be expected by short term wind power prediction models depending on site characteristics in Proceedings of EWEC 2004, London, 2004.

[54]: Jorge Ma´rquez Angarita, Julio Garcia Usaola
Combining hydro-generation and wind energy
Biddings and operation on electricity spot markets

[55]: Michel Denault, Debbie Dupuis, Sebastien Couture-Cardinal
Complementarity of Hydro and Wind Power: Improving the Risk Profile of Energy Inflows, July 27, 2009

[56]: Daniel F. Ancona Stéphane Krau
Operational Constraints and Economic Benefits of Wind-Hydro Hybrid Systems. Analysis of Systems in the U.S./Canada and Russia
European Wind Energy Conference, Madrid, Spain, 16-19 June 2003

[57]: Bezrukikh PP. Resources and Efficiency of the Use of Renewable Sources of Energy in Russia, ISBN 5-02-024971-8, Moscow, May 2002

[58]:Elkraft System, Langsigtede udfordringer i elsystemet, Report available from www.elkraft-system.dk, 2005.

[59]: Hannele Holttinen, Peter Meibom, Antje Orths, Frans Van Hulle, Cornel Ensslin, Lutz Hofmann, John McCann, Jan Pierik, John Olav Tande, Ana Estanqueiro, Lennart Söder, Goran Strbac, Brian Parsons, J. Charles Smith, Bettina Lemström
Design and Operation of Power Systems with Large Amounts of Wind Power, first results of IEA collaboration
Global Wind Power Conference September 18-21,
2006, Adelaide, Australia

[60]: Pedersen, J., System and Market changes in a Scenario of increased Wind Power Production; internal paper, Energinet.dk; 2005.

[61]: Enhancing Efficient Functioning of the Nordic Electricity market, NORDEL, Februar 2005, available: http://www.Nordel.org.

[62]:Eriksen, P.B.; Orths, A. G.; Akhmatov, V.: Integrating Dispersed Generati on into the Danish Power System -Present Situation and Future Prospects; IE EE 2006 PES General Meeting, 18-22 June 2006, Montreal, Canada.

[63]:Eriksen, P.B.; Ackermann, Th.; Abildgaard, H.; Smith, P.; Winter, W.; Rod riguez Garcia, J.: System Operation with High Wind Penetration,
IEEE Power and Energy Magazine, pp 65- 74, Nov/Dec 2005.

[64]: Holttinen, H, Vogstad, K-O, Botterud, A, Hirvonen, R, 2001. Effects of Large-Scale Wind Production on the Nordic Electricity Market. Proceedings of European Wind Energy Conference, EWEC'01. Copenhagen, DK, 2 - 6
July 2001. CD-ROM. European Wind Energy Association.

[65]: S.A. Herman, J.T.G. Pierik: Locaties en opwekkosten 6000 MW Offshore Windenergie (Revisie maart 2004).

[66]:Tande J O, Uhlen K, Cost analysis case study of grid integration of larger wind farms, Wind engineering, volume 28, No3, 2004

[67]: Korpas M, Tande J O, Uhlen K, Gjengedal T, Planning and operation of large wind farms in areas with limited power transfer capacity.
European Wind Energy Conference (EWEC), Athens, Greece, 27 February - 2 March 2006

[68]: Pablo Benitez, Lilianna Dragulescu, G. Cornelis, van Kooten, 2008
The economics of wind power with energy storage