

Η Επίδραση της Γεωγραφικής Διασποράς στην Παροχή Εγγυημένης Αιολικής Ισχύος στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής

Γιώργος Κάραλης^{1,2}, Γιάννης Περιβολάρης¹, Κώστας Ράδος³, Αρθούρος Ζερβός²

1: InFlow, Σύμβουλοι Αιολικής Ενέργειας

2: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας

3: Τμήμα Τεχνολογιών Αντιρρύπανσης, ΤΕΙ Δυτ. Μακεδονίας

e-mail: info@inflow.gr

Αθήνα 21 Μαΐου 2007

Η αιολική ενέργεια αποτελεί την πλέον ώριμη τεχνολογικά και οικονομικά ανταγωνιστική ΑΠΕ, αλλά και από τις ελάχιστες ελπίδες του σύγχρονου κόσμου για την αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου και την προστασία του περιβάλλοντος. Έτσι, η επίτευξη των Εθνικών στόχων - έστω και για το 2020 - περνά σαφώς μέσα από το πρίσμα της μεγαλύτερης δυνατής αποδοτικής ενσωμάτωσης ανεμογεννητριών στο Σύστημα.

Στην προοπτικής μεγάλης διείσδυσης αιολικής ενέργειας στο Σύστημα, στο πλαίσιο του γενικότερου ενεργειακού σχεδιασμού σε Εθνικό επίπεδο, πρέπει να συνεκτιμηθεί η επίδραση που έχει η γεωγραφική διασπορά των αιολικών πάρκων στην παροχή εγγυημένης ισχύος. Άλλωστε κριτήριο δεν αποτελεί μόνο η μέγιστη δυνατή διείσδυση, αλλά η αξιόπιστη υποκατάσταση της εγκατάστασης συμβατικών μονάδων, ώστε, εκτός από την εξοικονόμηση ρύπων να παρέχεται και εγγυημένη ισχύς. Επιπλέον, η παροχή εγγυημένης ισχύος είναι ζήτημα μείζονος σημασίας σε ένα Σύστημα όπως το Ελληνικό, το οποίο σε περιόδους αιχμής χαρακτηρίζεται από αστάθεια και κάθε φορά απαιτούνται ειδικά μέτρα και κατάλληλη διαχείριση για τη μη κατάρρευσή του.

Για την εκτίμηση της επίδρασης της γεωγραφικής διασποράς των αιολικών πάρκων στην παροχή εγγυημένης ισχύος αναπτύχθηκε μια σύγχρονη και καινοτόμος μεθοδολογία, η οποία βασίζεται σε πιθανοθεωρητική ανάλυση αλλά κάνει επιπλέον χρήση προτύπου πρόγνωσης ανέμου για την αναπαράσταση του αιολικού δυναμικού σε οποιαδήποτε εν δυνάμει περιοχή εγκατάστασης ανά την επικράτεια. Η μεθοδολογία αναπτύχθηκε από εξειδικευμένη ομάδα τεχνολογικών φορέων στο πεδίο πρόγνωσης ατμοσφαιρικών παραμέτρων για εφαρμογές αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα και αποτελείται από το Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, τη Σχολή Τεχνολογιών Αντιρρύπανσης του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Μακεδονίας και την Εταιρεία Συμβούλων Αιολικής Ενέργειας InFlow.

Στην εργασία αυτή, αφού παρουσιαστούν οι βασικές αρχές της, εξετάζονται και αξιολογούνται ενδεικτικά σενάρια από τα οποία επιδιώκεται η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων αναφορικά με την προοπτική μεγάλης διείσδυσης αιολικής ενέργειας στο Σύστημα. Ταυτόχρονα, επιδιώκεται η δημιουργία εποικοδομητικού προβληματισμού ως προς την αναζήτηση των πραγματικά βέλτιστων κριτηρίων χωροταξικής κατανομής των αιολικών πάρκων στην επικράτεια, ένα ζήτημα ιδιαίτερα επίκαιρο στις μέρες μας, δεδομένης της έντονης συζήτησης που λαμβάνει χώρα σχετικά με το Ειδικό Χωροταξικό Πλαίσιο για τις ΑΠΕ.

1. Εισαγωγή

Στη χώρα μας, δυστυχώς, η ανάπτυξη των ΑΠΕ έχει καθυστερήσει και δεν αναμένεται η εκπλήρωση των Εθνικών στόχων, τουλάχιστον για το 2010. Ωστόσο, είναι ακόμα εφικτός ο θεσμοθετημένος από το νόμο 3468/2006 στόχος 29% ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ για το 2020, εφ' όσον βέβαια στο σύνολό τους οι εμπλεκόμενοι φορείς δράσουν άμεσα με ταυτόχρονα όμως κατάλληλο σχεδιασμό σε Εθνικό επίπεδο.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί την πλέον ώριμη τεχνολογικά και οικονομικά ανταγωνιστική ΑΠΕ, αλλά και από τις ελάχιστες ελπίδες του σύγχρονου κόσμου για την αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου και την προστασία του περιβάλλοντος. Έτσι, η επίτευξη των Εθνικών στόχων - έστω και για το 2020 - περνά σαφώς μέσα από το πρίσμα της μεγαλύτερης δυνατής αποδοτικής ενσωμάτωσης ανεμογεννητριών στο Σύστημα.

Είναι αδιαμφισβήτητο πως η αιολική ενέργεια συνεισφέρει στην εξοικονόμηση καυσίμων και στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Όσο εντονότερος είναι ο άνεμος της εκάστοτε περιοχής τόσο αυξημένη η απόδοση και τόσο μεγαλύτερα τα οφέλη. Έτσι, η εγκατάσταση αιολικών πάρκων, κατ' αρχάς, ενδείκνυται σε μέρη όπου υπάρχει άνεμος τα οποία και θα πρέπει να αξιοποιηθούν στο πλαίσιο ενός συνολικού αειφόρου σχεδιασμού, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη και την παράλληλη ανάπτυξη των τοπικών κοινωνιών και υποδομών αλλά και τον αμιγώς περιβαλλοντικό χαρακτήρα των αιολικών έργων.

Από την άλλη πλευρά, η ενσωμάτωση ανεμογεννητριών σε μεγάλη κλίμακα επιφέρει τεχνολογικούς προβληματισμούς ως προς τη μεταβλητότητα της παραγωγής, ακριβώς λόγω της στοχαστικότητας του ανέμου. Στο πλαίσιο της διαχείρισης του Συστήματος σε Εθνικό επίπεδο, ακόμα και αν υπάρχει σημαντική διείσδυση αιολικής ενέργειας, θα πρέπει να συνεκτιμάται ότι ο άνεμος ως ατμοσφαιρική παράμετρος χαρακτηρίζεται από χωρική μεταβλητότητα στη μεσοκλίμακα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι εάν σταματήσει να φυσάει κάπου, πιθανώς θα φυσάει κάπου αλλού, στοιχείο το οποίο πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε επίπεδο Εθνικού σχεδιασμού. Άλλωστε, σύμφωνα και με την Ευρωπαϊκή εμπειρία, η γεωγραφική διασπορά των αιολικών πάρκων κατά μήκος του Συστήματος, είναι ένας πολύ αποτελεσματικός τρόπος για να αντιμετωπιστεί η μεταβλητότητα της παραγωγής από αιολικά.

Ως εκ τούτου, τίθενται κάποια ζητήματα που εκτιμάται ότι θα πρέπει να απασχολήσουν a priori το γενικότερο ενεργειακό σχεδιασμό σε Εθνικό επίπεδο και που σχετίζονται άμεσα με τη χωροταξική κατανομή των αιολικών πάρκων ανά την επικράτεια. Ένα από τα κριτήρια ενός συνολικού σχεδιασμού αποτελεί η μέγιστη δυνατή αλλά αξιόπιστη υποκατάσταση της εγκατάστασης συμβατικών μονάδων, ώστε, εκτός από την εξοικονόμηση ρύπων να παρέχεται και εγγυημένη ισχύς. Άλλωστε, η παροχή εγγυημένης ισχύος είναι ζήτημα μείζονος σημασίας σε ένα Σύστημα όπως το Ελληνικό, το οποίο σε περιόδους αιχμής χαρακτηρίζεται από αστάθεια και κάθε φορά απαιτούνται ειδικά μέτρα και κατάλληλη διαχείριση για τη μη

Κάραλης Γ., Περιβολάρης Γ., Ράδος Κ., Ζερβός Α. (2007) «Η Επίδραση της Γεωγραφικής Διασποράς στην Παροχή Εγγυημένης Αιολικής Ισχύος στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής» Περιοδικό Ανεμολόγια, Τεύχος 44 & 45, ΕΛΕΤΑΕΝ, 2007.

κατάρρευσή του (αναφέρονται χαρακτηριστικά οι προβληματισμοί και τα σενάρια που αναπτύσσονται το τελευταίο διάστημα για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που αναμένονται το φετινό καλοκαίρι).

Έτσι, στο πλαίσιο της προοπτικής μεγάλης διείσδυσης αιολικής ενέργειας στο Σύστημα, πρέπει να συνεκτιμηθεί η επίδραση που έχει η γεωγραφική διασπορά των αιολικών πάρκων στην παροχή εγγυημένης ισχύος, αφού μπορεί επιπλέον να συμβάλει σημαντικά και στην ευστάθεια του Συστήματος.

Βάσει των ανωτέρω διαπιστώσεων, στο παρόν κείμενο παρουσιάζονται οι βασικές αρχές μιας σύγχρονης μεθοδολογίας σχετικά με την επίδραση της γεωγραφικής διασποράς των αιολικών μηχανών στην παροχή εγγυημένης ισχύος. Επίσης, εξετάζονται και αξιολογούνται ενδεικτικά σενάρια από τα οποία επιδιώκεται η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων αναφορικά με την προοπτική μεγάλης διείσδυσης ανεμογεννητριών στο Σύστημα.

Ταυτόχρονα αναδεικνύονται τα πλεονεκτήματα των εξειδικευμένων αριθμητικών μεθόδων (όπως των προτύπων πρόγνωσης ανέμου) και η χρησιμότητά τους σε ένα συνολικό σχεδιασμό με σκοπό την επίτευξη των Εθνικών στόχων για το 2020. Τέλος, οι συντάκτες επιδιώκουν να συμβάλλουν από τη μεριά τους στην δημιουργία εποικοδομητικού προβληματισμού ως προς την αναζήτηση των πραγματικά βέλτιστων κριτηρίων χωροταξικής κατανομής των αιολικών πάρκων στην επικράτεια, ένα ζήτημα ιδιαίτερα επίκαιρο στις μέρες μας, δεδομένης της έντονης συζήτησης σχετικά με το Ειδικό Χωροταξικό Πλαίσιο (ΕΧΠ) για τις ΑΠΕ το σχέδιο του οποίου έχει κατατεθεί προς δημόσια διαβούλευση.

2. Μεθοδολογία Εκτίμησης Εγγυημένης Ισχύος

Οι βασικές αρχές και τα κύρια χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας που εφαρμόζεται για την εκτίμηση της εγγυημένης αιολικής ισχύος από αιολικά παρουσιάζονται στα ακόλουθα.

2.1 Ορισμοί

Γενικά, ο ορισμός της εγγυημένης ισχύος μιας οποιασδήποτε μονάδας παραγωγής ισχύος, σχετίζεται με την ικανότητα της να αυξήσει την αξιοπιστία ενός Συστήματος. Η πιθανότητα να συμβεί έλλειμμα ισχύος ισοδυναμεί με την πιθανότητα απώλειας φορτίου *LOLP* (Loss Of Load Probability) και αντιστοιχεί στο ποσοστό του χρόνου που το Σύστημα δεν μπορεί να ανταποκριθεί στην απαιτούμενη ζήτηση. Απώλεια φορτίου πρακτικά σημαίνει ότι η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την δυνατότητα παραγωγής των διαθέσιμων μονάδων και επομένως κάποιοι καταναλωτές πρέπει να αποσυνδεθούν. Η πιθανότητα απώλειας φορτίου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως τα χαρακτηριστικά της ζήτησης, την διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία των μονάδων παραγωγής, τον αριθμό των μονάδων κ.α. Βεβαίως, τα Συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας σχεδιάζονται έτσι ώστε η πιθανότητα αυτή να είναι πολύ χαμηλή. Όταν μια νέα μονάδα εγκαθίσταται στο υπάρχον Σύστημα, το κόστος του Συστήματος αυξάνεται αλλά ταυτόχρονα μειώνεται η πιθανότητα αποσύνδεσης κάποιων καταναλωτών, δηλαδή αυξάνεται η αξιοπιστία του Συστήματος. Ανάλογα με τη φύση της μονάδας (στοχαστική, διακοπτόμενης ή μη διακοπτόμενης λειτουργίας) και τον συντελεστή διαθεσιμότητας διαφοροποιείται και η επίπτωσή της στην αξιοπιστία του Συστήματος.

Επειδή η παραγωγή ενέργειας ενός αιολικού πάρκου εξαρτάται από τον άνεμο, η ισχύς που παρέχεται από αυτό μεταβάλλεται στοχαστικά. Συνεπώς, κάθε αναφορά σε εγγυημένη αιολική ισχύ αντιμετωπίζεται με δυσπιστία. Από την άλλη πλευρά, σε μια συμβατική μονάδα, θεωρητικά, κάθε στιγμή μπορεί να παραχθεί η επιθυμητή ισχύς. Στην πράξη ωστόσο, για κάθε μονάδα υπάρχει μια πιθανότητα να βρίσκεται εκτός λειτουργίας λόγω προγραμματισμένης συντήρησης ή απρόβλεπτης βλάβης τη στιγμή που το Σύστημα θα την έχει ανάγκη. Επομένως, κανένας τύπος μονάδας παραγωγής ισχύος δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι παρέχει 100% εγγυημένη ισχύ.

Η πιθανότητα απώλειας φορτίου $LOLP_S$ ενός Συστήματος πριν την εγκατάσταση αιολικών πάρκων είναι:

$$LOLP_S = \sum_{i=1}^N P(C_i < L_i)$$

όπου,

P η συνάρτηση πιθανότητας,

C_i το διαθέσιμο φορτίο από τις συμβατικές μονάδες την ώρα i ,

L_i η ζήτηση την ώρα i ,

N , οι ώρες εντός χρονικού διαστήματος που ενδιαφέρει ο υπολογισμός της εγγυημένης ισχύος (π.χ. $N=8760$ για ετήσιο υπολογισμό).

Στη συνέχεια, η πιθανότητα απώλειας φορτίου $LOLP_W$ ενός Συστήματος μετά την εγκατάσταση αιολικών πάρκων εκφράζεται ως εξής:

$$LOLP_W = \sum_{i=1}^N P(C_i + W_i < L_i)$$

όπου,

W_i , η παραγόμενη αιολική ισχύς την ώρα i .

Είναι φανερό ότι $LOLP_W < LOLP_S$. Δηλαδή, η εγκατάσταση αιολικής ισχύος βελτιώνει την αξιοπιστία του Συστήματος.

Εάν η αξιοπιστία του Συστήματος είναι ήδη σε ανεκτά επίπεδα, η εγγυημένη ισχύς των αιολικών μπορεί να αποτιμηθεί με τον παρακάτω τρόπο. Υπολογίζεται κατά πόσο μπορεί να αυξηθεί η ζήτηση με ταυτόχρονη διατήρηση της αξιοπιστίας του Συστήματος στα επίπεδα που ήταν πριν την προσθήκη των αιολικών, οπότε και η πιθανότητα απώλειας φορτίου να είναι ίση με $LOLP_S$. Η αύξηση της ζήτησης ισχύος $ELCC$ (Effective Load Carrying Capability) που μπορούν να αναλάβουν τα αιολικά και να παραμείνει η αξιοπιστία του Συστήματος στα ίδια με πριν επίπεδα υπολογίζεται μέσω επαναληπτικής διαδικασίας από τη σχέση:

$$LOLP_S = \sum_{i=1}^N P(C_i + W_i < L_i + ELCC)$$

Τέλος, ορίζεται ο συντελεστής εγγυημένης ισχύος CC (Capacity Credit) της αιολικής ενέργειας σε ένα Σύστημα από τη σχέση:

$$CC = \frac{ELCC}{P_W}$$

όπου P_W είναι η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς.

2.2 Απαιτούμενα Στοιχεία

Η συνάρτηση πιθανότητας υπολογίζεται μέσω πιθανοθεωρητικής ανάλυσης με μεταβλητές τη ζήτηση, τη διαθέσιμη συμβατική ισχύ και την παραγόμενη αιολική ισχύ. Οι μεταβλητές αυτές θεωρούνται πλήρως ανεξάρτητες μεταξύ τους. Συνεπώς, για την εφαρμογή της μεθοδολογίας απαιτείται να είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά της ζήτησης του συστήματος, η διαθεσιμότητα των συμβατικών σταθμών παραγωγής καθώς και τα ανεμολογικά δεδομένα, ή, εναλλακτικά, η διαθέσιμη παραγόμενη αιολική ισχύς.

- Τα χαρακτηριστικά της ζήτησης εισάγονται μέσω της ετήσιας καμπύλης διάρκειας.
- Το υπό εξέταση Σύστημα μπορεί να αποτελείται από διάφορα είδη και μεγέθη συμβατικών σταθμών παραγωγής ενέργειας και χρειάζεται να είναι γνωστά τα επιμέρους χαρακτηριστικά των μονάδων παραγωγής ισχύος (αριθμός μονάδων, ονομαστική ισχύς, συντελεστής διαθεσιμότητας). Επιπλέον, θεωρείται ότι οι συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας είτε θα μπορούν να αποδώσουν το 100%

Κάραλης Γ., Περιβολάρης Γ., Ράδος Κ., Ζερβός Α. (2007) «Η Επίδραση της Γεωγραφικής Διασποράς στην Παροχή Εγγυημένης Αιολικής Ισχύος στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής» Περιοδικό Ανεμολόγια, Τεύχος 44 & 45, ΕΛΕΤΑΕΝ, 2007.

της εγκατεστημένης τους ισχύος (εφ' όσον απαιτηθεί), ή θα είναι εκτός λειτουργίας λόγω βλάβης ή προγραμματισμένης συντήρησης.

- Οι ανεμολογικές συνθήκες εισάγονται μέσω χρονοσειρών ταχυτήτων ανέμου. Εάν παράλληλα εξετάζεται η επίδραση της γεωγραφικής διασποράς, απαραίτητη προϋπόθεση είναι να υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για τον άνεμο σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις ταυτόχρονα. Έτσι, δεδομένης της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος σε κάθε περιοχή και των αντιπροσωπευτικών καμπύλων ισχύος, υπολογίζεται η παραγόμενη αιολική ισχύς. Αθροίζοντας την παραγόμενη αιολική ισχύ στις διάφορες περιοχές προκύπτει η συνολική διαθέσιμη αιολική ισχύς για κάθε χρονικό «παράθυρο» (π.χ. ώρα), συνεπώς προκύπτει και η ετήσια κατανομή της παραγόμενης αιολικής ισχύος.

2.3 Ανεμολογικά Δεδομένα

Όπως προαναφέρθηκε, για την εξέταση σεναρίων γεωγραφικής διασποράς των αιολικών, απαιτείται ταυτόχρονη πληροφορία για τον άνεμο σε όλες τις εξεταζόμενες περιοχές. Κάτι τέτοιο σημαίνει: διαθέσιμες μετρήσεις ανέμου, ταυτόχρονες, για κοινό χρονικό διάστημα, σε όλες τις εν δυνάμει θέσεις εγκατάστασης. Ακόμα και εάν υπάρχει διαθέσιμος πολύ μεγάλος όγκος μετρητικών δεδομένων, πέραν του ότι είναι πρακτικά αδύνατο να είναι όλες ταυτόχρονες, σε καμία περίπτωση δεν θα καλύπτουν το σύνολο των εν δυνάμει θέσεων ώστε να μπορεί να αξιολογηθεί κάθε σενάριο χωροθέτησης. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, η εγκατάσταση μετρητικού δικτύου για την απόκτηση της αναγκαίας αυτής πληροφορίας ενέχει πολλαπλές τεχνικές δυσκολίες, ενώ το κόστος είναι απαγορευτικό. Από την άλλη πλευρά, η χρήση ανεμολογικών χαρτών δεν μπορεί να συμβάλλει στην επίλυση του προβλήματος, αφού παρέχουν απλώς μια εκτίμηση για τη μέση τιμή ανέμου αλλά κανενός είδους πληροφορία για τη χρονική μεταβολή του.

Τη λύση στο πρόβλημα μπορεί να δώσει ένα μετεωρολογικό πρότυπο. Με κατάλληλη προσαρμογή των αριθμητικών παραμέτρων, συστηματική εφαρμογή του προτύπου σε υπερετήσια βάση και επεξεργασία των χαρακτηριστικών του ανέμου, παρέχεται η δυνατότητα για αναπαραγωγή ταυτόχρονων χρονοσειρών ανέμου στη μεσοκλίμακα για ολόκληρη την επικράτεια. Εν προκειμένω, χρησιμοποιείται το επιχειρησιακό μετεωρολογικό πρότυπο *COAMPS* που αναπτύχθηκε από το τμήμα Ναυτικής Μετεωρολογίας του Εργαστηρίου Θαλασσιών Ερευνών (Naval Research Laboratory) των ΗΠΑ. Η εφαρμογή του προτύπου και η επεξεργασία των αποτελεσμάτων διεξάγεται από εξειδικευμένη ομάδα τεχνολογικών φορέων στο πεδίο πρόγνωσης ατμοσφαιρικών παραμέτρων για εφαρμογές αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα και αποτελείται από την InFlow, τη Σχολή Τεχνολογιών Αντιρρύπανσης του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Μακεδονίας και το Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Η παραμετροποίηση και προσαρμογή του προτύπου έγινε κατ' αρχήν λαμβάνοντας υπόψη αποτελέσματα προγνώσεων ανέμου άλλων επιχειρησιακών προτύπων που χρησιμοποιούν Εθνικοί Μετεωρολογικοί φορείς καθώς και σύγχρονα μετρητικά δεδομένα από δίκτυο συστημάτων καταγραφής ανέμου.

Κάραλης Γ., Περιβολάρης Γ., Ράδος Κ., Ζερβός Α. (2007) «Η Επίδραση της Γεωγραφικής Διασποράς στην Παροχή Εγγυημένης Αιολικής Ισχύος στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής» Περιοδικό Ανεμολόγια, Τεύχος 44 & 45, ΕΛΕΤΑΕΝ, 2007.

Για την αύξηση της αξιοπιστίας της πρόγνωσης των φαινομένων έχει προσαρμοστεί ιδιαίτερα πυκνό υπολογιστικό πλέγμα στην περιοχή της Ελλάδας, οριζόντιας ανάλυσης 3 χλμ (σχ. 1). Επιπλέον, το πρότυπο εφαρμόζεται κάθε 12 ώρες με αρχικές συνθήκες (now-cast conditions) που προκύπτουν από τα αποτελέσματα προηγούμενης πρόγνωσης στα οποία αναμειγνύονται με χρήση μεθόδου βέλτιστης πολυμεταβλητής παρεμβολής (Multivariate Optimum Interpolation) οι μετεωρολογικές παρατηρήσεις/μετρήσεις που λαμβάνονται ανά 12 ώρες από κατάλληλη βάση δεδομένων. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως «ζεστό ξεκίνημα» (warm start) του προτύπου, οι δε υπολογισμοί διεξάγονται σε χρονικό ορίζοντα 24 ωρών με ωριαία αποθήκευση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων, κυρίως των ατμοσφαιρικών παραμέτρων που σχετίζονται με την τεχνολογία της αιολικής ενέργειας (συνιστώσες ταχύτητας ανέμου, θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση).

Η συστηματική εκτέλεση υπολογισμών και επεξεργασίας των αποτελεσμάτων του προτύπου από το τέλος του 2005 οδήγησε στην ανάπτυξη βάσης προγνωστικών δεδομένων ανέμου, η οποία και επικαιροποιείται διαρκώς. Ταυτόχρονα, κατασκευάζονται σε μηνιαία βάση οι Χάρτες Ανέμου Μεσοκλίμακας *MACH* που καλύπτουν το σύνολο της Ελληνικής επικράτειας αλλά και μεγάλες περιοχές από τις όμορες χώρες, παρέχοντας αναπαράσταση του ανέμου σε επίπεδο μεσοκλίμακας (σχ. 2).

Έτσι, από τη διαθέσιμη βάση δεδομένων μπορεί να εξαχθούν χρονοσειρές που είναι αντιπροσωπευτικές για οποιοδήποτε περιοχή ανά την επικράτεια. Ωστόσο, θα πρέπει να τονιστεί πως τα αποτελέσματα αφορούν στη μεσοκλίμακα, οπότε και είναι δόκιμο να γίνει διόρθωση σε αυτά ώστε να ανταποκρίνονται σε περιοχές εγκατάστασης αιολικών πάρκων όπου εν γένει υπάρχει επιτάχυνση του ανέμου λόγω τοπογραφίας (σχ. 3). Η διόρθωση αυτή γίνεται χρησιμοποιώντας ένα λόγο επιτάχυνσης που εφαρμόζεται σε ολόκληρη τη χρονοσειρά. Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας υιοθετήθηκε η τιμή 1.2 για το λόγο επιτάχυνσης (μια τιμή όχι ιδιαίτερα υψηλή ώστε τα συμπεράσματα να βρίσκονται προς την ασφαλή κατεύθυνση).

Η ικανοποιητική αξιοπιστία της συγκεκριμένης προσέγγισης των προγνώσεων έχει διαπιστωθεί και σε σχετική εργασία στην οποία παρουσιάζονται συγκρίσεις προβλέψεων και παραγόμενης αιολικής ισχύος από τα αιολικά πάρκα στο Λασιθί της Κρήτης.

2.4 Εκτίμηση Ενεργειακής Παραγωγής

Για την εκτίμηση της ενεργειακής παραγωγής από τα αιολικά, καθορίζονται αρχικά οι θέσεις ενδιαφέροντος ανά την επικράτεια. Πρόκειται για περιοχές όπου έχουν αναπτυχθεί ή υπάρχει δυναμική για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων και προεπιλέγονται αξιολογώντας πολύ συγκεκριμένα δεδομένα, όπως:

- το τρέχον καθεστώς με τα αιολικά, δηλαδή το πλαίσιο που ενσωματώνει την πληροφορία για τα ήδη εγκατεστημένα αιολικά πάρκα, εκείνα που πρόκειται να εγκατασταθούν άμεσα (κατέχουν άδεια εγκατάστασης), αλλά και το γενικότερο επιχειρηματικό ενδιαφέρον όπως προκύπτει από τις εκδοθείσες άδειες παραγωγής και τις επιπλέον αιτήσεις των επενδυτών (σχ. 4).

Κάραλης Γ., Περιβολάρης Γ., Ράδος Κ., Ζερβός Α. (2007) «Η Επίδραση της Γεωγραφικής Διασποράς στην Παροχή Εγγυημένης Αιολικής Ισχύος στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής» Περιοδικό Ανεμολόγια, Τεύχος 44 & 45, ΕΛΕΤΑΕΝ, 2007.

- τους Χάρτες Ανέμου Μεσοκλίμακας *MACH*,
- τις περιοχές αιολικής προτεραιότητας (ΠΑΠ), όπως περιγράφονται στο σχέδιο για το ΕΧΠ για τις ΑΠΕ (σχ. 5), καθώς και το γενικότερο σκεπτικό του,
- διαθέσιμες μετρήσεις από δίκτυο μετρητικών ιστών από τις οποίες αποτυπώνεται με σαφήνεια το αιολικό δυναμικό σε τοπικό επίπεδο σε περιοχές με ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Κάνοντας χρήση τυπικών καμπύλων ισχύος - με δεδομένες τις αριθμητικά αναπαραγόμενες χρονοσειρές ανέμου στα σημεία ενδιαφέροντος - προκύπτει η εκτίμηση της ενεργειακής παραγωγής από αιολικά για το εκάστοτε εξεταζόμενο σενάριο διεύθυνσης.

2.5 Πιθανοθεωρητική Ανάλυση

Για την εκτίμηση της ετήσιας εγγυημένης ισχύος της αιολικής ενέργειας με βάση τις παραδοχές που διατυπώθηκαν, ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- Προσδιορίζονται M καταστάσεις ζήτησης (π.χ. $M=50$). Για κάθε κατάσταση ζήτησης i , η ισχύς του φορτίου είναι P_{Li} και η διάρκειά της είναι h_i ώρες ετησίως. Η αντίστοιχη λοιπόν πιθανότητα να συμβεί είναι $f(P_{Li})=h_i/8760$, $i=1,M$. Επαναλαμβάνοντας τους υπολογισμούς για όλες τις καταστάσεις ζήτησης προκύπτει η κατανομή πιθανότητας της ζήτησης φορτίου και η αντίστοιχη καμπύλη διάρκειας. Σημειώνεται ότι η διαθεσιμότητα των υδροηλεκτρικών μονάδων λόγω της δυνατότητας διεποχιακής αποθήκευσης και της προγραμματισμένης λειτουργίας τους, δεν αντιμετωπίζεται ως στοχαστική, αλλά η παραγωγή τους θεωρείται εξαρτημένη με την ζήτηση, και αφαιρείται από την καμπύλη διάρκειας της ζήτησης.
- Προσδιορίζονται L καταστάσεις διαθέσιμης συμβατικής ισχύος (π.χ. $L=50$). Για κάθε κατάσταση k , η διαθέσιμη συμβατική ισχύς είναι P_{Ck} και η πιθανότητα εμφάνισης της είναι $h(P_{Ck})$, $k=1,L$. Επαναλαμβάνοντας τους υπολογισμούς για όλες τις καταστάσεις διαθέσιμης συμβατικής ισχύος, προκύπτει η διακριτή κατανομή πιθανότητας και η καμπύλη διάρκειας της διαθέσιμης συμβατικής ισχύος. Για λόγους υπολογιστικού κόστους, η κατανομή πιθανότητας της διαθέσιμης συμβατικής ισχύος, προκύπτει θεωρώντας το μέσο μέγεθος των συμβατικών μονάδων και την μέση τιμή διαθεσιμότητας. Για παράδειγμα ο αριθμός των διαφορετικών καταστάσεων λειτουργίας για 30 διαφορετικές μονάδες είναι $2^{30}=1.073.741.824$, ενώ με την παραδοχή ότι οι μονάδες είναι όμοιες μειώνεται σε 30.
- Προσδιορίζονται N (π.χ. $N=50$) καταστάσεις παραγόμενης αιολικής ισχύος. Για κάθε κατάσταση παραγόμενης αιολικής ισχύος j , η παραγόμενη αιολική ισχύς είναι P_{Wj} και πιθανότητα $g(P_{Wj})$, $j=1,N$, να συμβεί εντός του έτους. Επαναλαμβάνοντας τους υπολογισμούς για όλες τις καταστάσεις παραγόμενης αιολικής ισχύος, προκύπτει η κατανομή πιθανότητας της παραγόμενης αιολικής ισχύος και η αντίστοιχη καμπύλη διάρκειας.

Κάραλης Γ., Περιβολάρης Γ., Ράδος Κ., Ζερβός Α. (2007) «Η Επίδραση της Γεωγραφικής Διασποράς στην Παροχή Εγγυημένης Αιολικής Ισχύος στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής» Περιοδικό Ανεμολόγια, Τεύχος 44 & 45, ΕΛΕΤΑΕΝ, 2007.

Εφαρμόζεται συνέλιξη των τριών παραπάνω διακριτών κατανομών πιθανότητας, δηλαδή της ζήτησης φορτίου, της διαθέσιμης συμβατικής ισχύος και της παραγόμενης αιολικής ισχύος. Προκύπτει λοιπόν ένας τρισδιάστατος πίνακας $M \times L \times N$ και η πιθανότητα κάθε κατάστασης του πίνακα είναι: $\Pi_{ijk}(P_{Li}, P_{Ck}, P_{Wj}) = f(P_{Li}) \times h(P_{Ck}) \times g(P_{Wj})$. Επίσης, για κάθε λειτουργική κατάσταση (i,k,j) , μπορεί να ελεγχθεί η ύπαρξη ή όχι ελλείμματος ισχύος.

Αθροίζοντας όλες τις πιθανότητες των λειτουργικών καταστάσεων στις οποίες παρατηρείται έλλειμμα ισχύος, υπολογίζεται η πιθανότητα ύπαρξης απώλειας φορτίου. Παράλληλα, μπορεί να υπολογιστεί το συνολικό ενεργειακό έλλειμμα ως το άθροισμα των επιμέρους ενεργειακών ελλειμμάτων επί την πιθανότητα εμφάνισης της κάθε λειτουργικής κατάστασης κατά την οποία έχουμε έλλειμμα ισχύος. Συνεπώς, υπολογίζεται η πιθανότητα απώλειας φορτίου ($LOLP_s$) χωρίς εγκατεστημένη αιολική ισχύ και η πιθανότητα απώλειας φορτίου μετά την εγκατάσταση αιολικής ισχύος ($LOLP_w$).

Κατόπιν, με επαναληπτική διαδικασία υπολογίζεται κατά πόσο μπορεί να αυξηθεί η ζήτηση ($ELCC$) μετά την προσθήκη των αιολικών, έτσι ώστε να διατηρηθεί η αξιοπιστία του συστήματος στα επίπεδα πριν την προσθήκη των αιολικών. Εφαρμόζοντας την διαδικασία αυτή για διαφορετικά σενάρια χωροθέτησης, μελετάται η επίδραση της γεωγραφικής διασποράς της αιολικής ενέργειας στην παροχή εγγυημένης ισχύος στο διασυνδεδεμένο Σύστημα. Η πιθανοθεωρητική ανάλυση διεξάγεται με το υπολογιστικό εργαλείο *AEFOR_CC*.

3. Αντικειμενικά Δεδομένα και Υποθέσεις Εργασίας

3.1 Εύρος Διείσδυσης στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα

Στις περιπτώσεις εφαρμογής που ακολουθούν μελετώνται σενάρια γεωγραφικής διασποράς των αιολικών με έμφαση στο διασυνδεδεμένο Σύστημα. Παρ' ότι στη νησιωτική χώρα (ειδικά στο Αιγαίο) άνεμοι ισχυρής έντασης πνέουν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους – σε βαθμό που αν μπορούσαμε να εκμεταλλευτούμε το αιολικό δυναμικό του Αιγαίου, η Ελλάδα πρακτικά θα ήταν αυτόνομη ενεργειακά – δυστυχώς, λόγοι που εν μέρει σχετίζονται με ζητήματα διασύνδεσης και κατά το υπόλοιπο με διάφορες άλλες αιτίες που δεν αποτελούν αντικείμενο του παρόντος, η εξέταση σεναρίων μεγάλης διείσδυσης στα νησιά δεν έχει πραγματική αξία. Ωστόσο, για λόγους πληρότητας αλλά και γιατί κάθε επιστημονική προσέγγιση σε σχέση με την αιολική ενέργεια στην Ελλάδα οφείλει να εξετάζει – έστω και υποθετικά – την περίπτωση ενσωμάτωσης αιολικών πάρκων στα νησιά, στην ανάλυση που ακολουθεί εξετάζονται και σενάρια που λαμβάνουν υπόψη τους την περίπτωση αυτή.

Παράλληλα, το σχέδιο του Ειδικού ΕΧΠ για τις ΑΠΕ δίνει βαρύτητα στην ηπειρωτική χώρα (μετριάζοντας το ενδεχόμενο μεγάλης διείσδυσης στα νησιά) και χαρακτηρίζει τρεις κύριες περιοχές ιδιαίτερης ανάπτυξης αιολικών (χαρακτηριζόμενες ως ΠΑΠ: Περιοχές Αιολικής Προτεραιότητας) όπου τα κριτήρια στο ΕΧΠ για εγκατάσταση ανεμογεννητριών είναι ευνοϊκά (σχ. 5), ενώ επαναφέρει στο προσκήνιο και την περιοχή του νομού Αττικής. Ειδικότερα, προβλέπει εγκαταστάσεις 960MW στην ΠΑΠ1, 3237MW στην ΠΑΠ2, 876MW στην ΠΑΠ3 και 100MW στην Αττική, αλλά και επιπλέον εγκαταστάσεις στην λοιπή επικράτεια, στις λεγόμενες ΠΑΚ (Περιοχές Αιολικής Καταλληλότητας), εφ' όσον πληρούνται κατάλληλες προϋποθέσεις.

Για την Ελλάδα, το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας πρέπει να ανέλθει, μέχρι το 2020, σε 29% (όπως αναφέρθηκε προηγουμένως δεν είναι ρεαλιστική η αναφορά στους στόχους για το 2010). Η επίτευξη των στόχων αυτών προϋποθέτει εγκαταστάσεις αιολικών της τάξης των 4500MW τουλάχιστον στο διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό Σύστημα. Πρόκειται για μεγάλη διείσδυση αιολικής ενέργειας, που απαιτεί προσεκτικό χωροταξικό σχεδιασμό ώστε η ενσωμάτωση να γίνει με βέλτιστο τρόπο με ταυτόχρονη ικανοποίηση όσο το δυνατόν περισσότερων κριτηρίων.

Συνεπώς, για λόγους συμβατότητας και μόνο, θα απασχολήσουν κυρίως σενάρια που βασίζονται στο σκεπτικό του ως άνω σχεδίου, οπότε και αφορούν σε ενσωμάτωση ανεμογεννητριών στο διασυνδεδεμένο Σύστημα, ενώ σαν ενδεικτικός στόχος διείσδυσης τίθεται το όριο των 5000MW.

3.2 Πληροφοριακά Στοιχεία Συστήματος

Στο ηπειρωτικό διασυνδεδεμένο Σύστημα, η έως τώρα συνεισφορά της αιολικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα περιορισμένη και η ζήτηση κυρίως καλύπτεται από συμβατικές μονάδες. Σύμφωνα με τη ΜΑΣΜ 2006-2010, η συμβατική εγκατεστημένη ισχύς (συμπεριλαμβανομένων των μεγάλων υδροηλεκτρικών) είναι

Κάραλης Γ., Περιβολάρης Γ., Ράδος Κ., Ζερβός Α. (2007) «Η Επίδραση της Γεωγραφικής Διασποράς στην Παροχή Εγγυημένης Αιολικής Ισχύος στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής» Περιοδικό Ανεμολόγια, Τεύχος 44 & 45, ΕΛΕΤΑΕΝ, 2007.

11234.3MW. Το ηλεκτρικό Σύστημα της ηπειρωτικής Ελλάδας αποτελείται από 33 συμβατικές μονάδες, εκ των οποίων 22 λιγνιτικές (5288MW), 4 πετρελαϊκές (750MW), 4 μονάδες συνδυασμένου κύκλου (1630MW), 3 μονάδες φυσικού αερίου (507.8MW), καθώς και αρκετές υδροηλεκτρικές (3058.5MW).

Για τις περιπτώσεις εφαρμογής που εξετάστηκαν, χρησιμοποιήθηκε ως καθαρή συμβατική ισχύς 7587.9MW, η οποία δίνεται από την καθαρή ισχύ των 33 συμβατικών μονάδων (πλην δηλαδή των υδροηλεκτρικών), με μέση ικανότητα 230MW. Οι μονάδες αυτές θεωρούνται ότι έχουν διαθεσιμότητα 89%. Για την συνεισφορά των υδροηλεκτρικών μονάδων εξετάζονται δύο σενάρια (ένα «καλό» και ένα «κακό» υδραυλικό έτος, με παραγωγή 5 και 2TWh αντίστοιχα). Η παραγωγή αυτή κατανέμεται στις ώρες αιχμής της ζήτησης, με μέγιστη δυνατότητα παραγωγής 3058.5MW (εγκατεστημένη ισχύς υδροηλεκτρικών μονάδων). Στο σχήμα 6 δίνεται η καμπύλη διάρκειας της ζήτησης, καθώς και η καμπύλη διάρκειας της ζήτησης μετά την αφαίρεση της παραγωγής των υδροηλεκτρικών, η οποία θεωρείται πλήρως προγραμματισμένη και προβλέψιμη. Σημειωτέον ότι οι παραπάνω παραδοχές θεωρούνται «εκ του ασφαλούς» σε σχέση με τον υπολογισμό της αιολικής εγγυημένης ισχύος.

Σύμφωνα με τα Συνοπτικά Πληροφοριακά Δελτία για τις ΑΠΕ που δημοσιεύει σε μηνιαία βάση ο ΔΕΣΜΗΕ στην ιστοσελίδα του, η συνολική ισχύος των αιολικών πάρκων στο διασυνδεδεμένο ανήλθε στα 340.56MW στο τέλος του 2004, στα 411.96MW στο τέλος του 2005, και στα 549.21MW στο τέλος του 2006 (σχ. 7). Σύμφωνα και με τα Δελτία Ισοζυγίου Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα που επίσης δημοσιεύει ο ΔΕΣΜΗΕ στην ιστοσελίδα του, η αντίστοιχη συνεισφορά των αιολικών στο ενεργειακό ισοζύγιο για τα έτη 2004, 2005, 2006 είναι 1.51%, 1.77% και 2.21% αντίστοιχα. Επίσης, ο συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας των αιολικών (Capacity Factor), δεδομένης της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος και της παραγόμενης ενέργειας, σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει 30.44%, 29.27% και 27.38% αντίστοιχα (σχ. 8). Η μέση συνεισφορά των αιολικών στο φορτίο αιχμής (όπως προκύπτει από ανάλυση σε μηνιαία βάση) είναι για τα έτη 2004, 2005, 2006 ίση με 0.97, 0.96 και 1.59% αντίστοιχα (σχ. 9). Υπενθυμίζεται ότι τα παραπάνω πληροφοριακά στοιχεία για τα εγκατεστημένα αιολικά πάρκα αφορούν στο διασυνδεδεμένο Σύστημα και δεν περιλαμβάνουν τα νησιά και την Κρήτη.

3.3 Αξιολόγηση Ανεμολογικών Δεδομένων

Οι περιπτώσεις εφαρμογής βασίστηκαν σε ανεμολογικά δεδομένα του 2006, έτος για το οποίο διατίθεται πλήρης πληροφορία. Τα δεδομένα αρχικά αξιολογήθηκαν ως εξής: λαμβάνοντας τις χρονοσειρές που προκύπτουν στις περιοχές των υφιστάμενων αιολικών πάρκων και χρησιμοποιώντας μια τυπική καμπύλη ισχύος 0.65MW (αντιστοιχεί με καλή προσέγγιση στο μέσο μέγεθος των εγκατεστημένων Α/Γ το έτος 2006) εκτιμήθηκε η αιολική παραγωγή και προέκυψε συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας ίσος με 27,1%. Η πολύ καλή σύμπτωση που παρατηρείται με τον αντίστοιχο συντελεστή όπως προκύπτει από τα στοιχεία του ΔΕΣΜΗΕ (27.38%) επιβεβαιώνει την αξιοπιστία της μεθόδου και την εγκυρότητα των παραδοχών.

3.4 Επιλογή Τύπου Ανεμογεννητριών

Κάραλης Γ., Περιβολάρης Γ., Ράδος Κ., Ζερβός Α. (2007) «Η Επίδραση της Γεωγραφικής Διασποράς στην Παροχή Εγγυημένης Αιολικής Ισχύος στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής» Περιοδικό Ανεμολόγια, Τεύχος 44 & 45, ΕΛΕΤΑΕΝ, 2007.

Υιοθετείται το μέγεθος των 2MW για τις επιπλέον Α/Γ που πρόκειται να εγκατασταθούν στις υποψήφιες θέσεις, οπότε και χρησιμοποιείται μια αντίστοιχη τυπική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας. Η παραδοχή αυτή γίνεται και πάλι για λόγους συμβατότητας με το όλο σκεπτικό του σχεδίου για το ΕΧΠ (παρότι ως προς το συγκεκριμένο υπάρχουν σοβαρές ενστάσεις που σχετίζονται με το γεγονός ότι δεν λαμβάνονται υπόψη οι προοπτικές της τεχνολογικής εξέλιξης των ανεμογεννητριών).

3.5 Σενάρια Χωροθέτησης

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για τον προσδιορισμό της εγγυημένης ισχύος της αιολικής ενέργειας εφαρμόστηκε για ένα εύρος εγκατεστημένης ισχύος, με άνω όριο τα 5000MW, λαμβάνοντας υπόψη τη σημερινή κατάσταση (“ΣΚ”), δηλαδή τα αιολικά πάρκα που βρίσκονται σε λειτουργία στο διασυνδεδεμένο σύστημα (~550MW), καθώς επίσης και όσα έχουν ήδη άδεια εγκατάστασης (περίπου άλλα 850MW), δηλαδή σύνολο ~1400MW. Οι υπολογισμοί διεξήχθησαν τόσο για τη θεώρηση «καλού» όσο και «κακού» υδραυλικού έτους. Επίσης, λαμβάνεται υπόψη η σχετική ποσόστωση που αναλογεί στις περιοχές ΠΑΠ και στην Αττική, σύμφωνα με την κατανομή του σχεδίου του ΕΧΠ, δηλαδή 18.6% στην ΠΑΠ1, 62.6% στην ΠΑΠ2, 16.9% στην ΠΑΠ3 και 1.9% στην Αττική.

Για την εκτίμηση της γεωγραφικής διασποράς των αιολικών στην παροχή εγγυημένης ισχύος θεωρήθηκαν τα εξής σενάρια χωροθέτησης:

- “Α”: Εγκατάσταση επιπλέον αιολικών πάρκων μόνο στις περιοχές ΠΑΠ και στην Αττική, σύμφωνα με τα ποσοστά που αναλογούν στην κατανομή του σχεδίου.
- “Β”: Εγκατάσταση επιπλέον αιολικών πάρκων, σε ποσοστό 50% στις περιοχές ΠΑΠ και στην Αττική, σύμφωνα με τον ως άνω καταμερισμό, και κατά το υπόλοιπο 50% σε περιοχές ΠΑΚ όπου υπάρχει καλό αιολικό δυναμικό.
- “Γ”: Εγκατάσταση επιπλέον αιολικών πάρκων, σε ποσοστό 50% στις περιοχές ΠΑΠ και στην Αττική, σύμφωνα με τον ως άνω καταμερισμό, και κατά το υπόλοιπο 50% σε Νησιά.
- “Δ”: Εγκατάσταση επιπλέον αιολικών πάρκων, κατά το 1/3 στις περιοχές ΠΑΠ και στην Αττική, σύμφωνα με τον ως άνω καταμερισμό, κατά 1/3 σε περιοχές ΠΑΚ και κατά το υπόλοιπο 1/3 σε Νησιά.

Η επιλογή των περιοχών ΠΑΚ έγινε με κριτήριο το καλό αιολικό δυναμικό σε μια ευρεία γεωγραφική διασπορά. Ενδεικτικά ως περιοχές ΠΑΚ θεωρήθηκαν επιλεγμένες περιοχές της κεντρικής Μακεδονίας (στο Ν. Κιλκίς, Πέλλας, Φλώρινας και Καστοριάς), της Ηπείρου (στο Ν. Ιωαννίνων), της Θεσσαλίας (στο Ν. Τρικάλων, Λάρισας και Καρδίτσας) της Πελοποννήσου (στο Ν. Αχαΐας και Αργολίδας) και στα Επτάνησα (Κεφαλονιά και Κέρκυρα). Ενώ στα νησιά, για τις περιπτώσεις που εξετάζονται, επιλέχθηκαν η Χίος, η Λέσβος, η Λήμνος, οι Κεντρικές Κυκλάδες, και η Σκύρος.

Κάραλης Γ., Περιβολάρης Γ., Ράδος Κ., Ζερβός Α. (2007) «Η Επίδραση της Γεωγραφικής Διασποράς στην Παροχή Εγγυημένης Αιολικής Ισχύος στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής» Περιοδικό Ανεμολόγια, Τεύχος 44 & 45, ΕΛΕΤΑΕΝ, 2007.

Σε δεύτερη φάση, η μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκε επίσης για την αξιολόγηση της συνεισφοράς στην εγγυημένη ισχύ της κάθε μιας από τις τρεις περιοχές ΠΑΠ. Ως προς το συγκεκριμένο, εκτός από το σενάριο “Α” θεωρήθηκαν επιπλέον τα εξής:

- “1”: Εγκατάσταση επιπλέον αιολικών πάρκων μόνο στην περιοχή ΠΑΠ1.
- “2”: Εγκατάσταση επιπλέον αιολικών πάρκων μόνο στην περιοχή ΠΑΠ2.
- “3”: Εγκατάσταση επιπλέον αιολικών πάρκων μόνο στην περιοχή ΠΑΠ3.

Ο επιμέρους διαχωρισμός εγκατεστημένης ισχύος στις περιπτώσεις εφαρμογής καταγράφεται στον επισυναπτόμενο πίνακα 1.

4. Παρουσίαση - Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Από την εφαρμογή της μεθοδολογίας και την αποτύπωση των αποτελεσμάτων (σχ. 10-15) επιβεβαιώνονται κατ' αρχήν κάποια γενικότερα συμπεράσματα όπως:

- ✓ Η εγγυημένη ισχύς μειώνεται με την αύξηση της διείσδυσης αιολικής ενέργειας.
- ✓ Ο συντελεστής εγγυημένης ισχύος των αιολικών είναι χαμηλότερος του συντελεστή εκμεταλλευσιμότητας.
- ✓ Όσο αυξάνεται η γεωγραφική διασπορά, τόσο αυξάνεται η παροχή εγγυημένης αιολικής ισχύος.
- ✓ Η εγγυημένη ισχύς των αιολικών εμφανίζεται υψηλότερη στο «κακό» υδραυλικό έτος, αναδεικνύοντας τη συνεισφορά της αιολικής ενέργειας στην αξιοπιστία του συστήματος ειδικά σε περιόδους που αυτό την έχει ανάγκη.

4.1 Αξιολόγηση Σεναρίων Μεγάλης Διείσδυσης

Από την ανάλυση των σεναρίων “Α”, “Β”, “Γ”, “Δ” και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (σχ. 10, 11, 12) προκύπτουν τα ακόλουθα ειδικά συμπεράσματα:

- ✓ Το σενάριο “Α”, δηλαδή αυτό που δίνει βαρύτητα στις περιοχές ΠΑΠ και την Αττική, όπως ακριβώς παρουσιάζεται και στο σχέδιο του ΕΧΠ για τις ΑΠΕ, παρουσιάζει το χαμηλότερο συντελεστή εγγυημένης ισχύος.
- ✓ Η παροχή εγγυημένης αιολικής ισχύος στο διασυνδεδεμένο Σύστημα της ηπειρωτικής Ελλάδας αυξάνεται σημαντικά όταν εντάσσονται περιοχές ΠΑΚ (βλ. σύγκριση σεναρίων “Α” και “Β”). Στην υποτιθέμενη περίπτωση ένταξης των νησιών (σενάριο “Γ”) αντί των περιοχών ΠΑΚ, η παροχή εγγυημένης ισχύος σε ενδεχόμενο μεγάλης διείσδυσης αιολικών είναι αντίστοιχη με την περίπτωση ένταξης περιοχών ΠΑΚ (σενάριο “Β”), αλλά με καλύτερο συντελεστή εκμεταλλευσιμότητας (κατά 3%). Σε περίπτωση δε, όπου εντάσσονται περιοχές ΠΑΚ αλλά και νησιά (σενάριο “Δ”), ο συντελεστής εγγυημένης ισχύος αυξάνει ακόμα περισσότερο.
- ✓ Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι ενώ για μικρή εγκατεστημένη ισχύ το σενάριο “Γ” (με τις περιοχές ΠΑΠ και τα νησιά), εμφανίζεται ως προτιμότερο από το σενάριο “Β” (με τις περιοχές ΠΑΠ και ΠΑΚ), για μεγαλύτερη συνολική εγκατεστημένη ισχύ, η συμπεριφορά αυτή αλλάζει. Η τάση αυτή είναι εντονότερη σε «κακό» υδραυλικό έτος. Αυτό αιτιολογείται από το ότι στην διαμόρφωση του συντελεστή εγγυημένης ισχύος αρχικά υπερτερεί το αιολικό δυναμικό (που είναι ισχυρό στα νησιά), αλλά όσο αυξάνεται η εγκατεστημένη ισχύς, υπερτερεί ο ρόλος της διασποράς και της κατανομής της παραγόμενης ισχύος γύρω από την μέση τιμή (στοιχείο που ενισχύεται με εγκαταστάσεις σε διεσπαρμένες περιοχές ΠΑΚ).
- ✓ Η εγγυημένη ισχύς, σε «κακό» υδραυλικό έτος, μπορεί να ξεπεράσει το 15% για εγκατεστημένη αιολική ισχύ 5000MW στο διασυνδεδεμένο Σύστημα. Συνεπώς, μια διείσδυση της τάξης των 5000MW αιολικών, μπορεί να υποκαταστήσει συμβατική ισχύ της τάξης των 750MW.
- ✓ Το όφελος από την καλύτερη γεωγραφική διασπορά προσεγγίζει το 2% της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, το οποίο μεταφράζεται σε 100MW πρόσθετης υποκαθιστάμενης συμβατικής ισχύος.

4.2 Αξιολόγηση Περιοχών ΠΑΠ

Επιπλέον, η μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκε και για την αξιολόγηση της συνεισφοράς στην εγγυημένη ισχύ της κάθε μιας από τις τρεις περιοχές ΠΑΠ. Το ζητούμενο από την προσέγγιση αυτή είναι εάν πρέπει να δοθεί προτεραιότητα σε κάποια από τις τρεις ΠΑΠ που έχουν ορισθεί (σενάρια “1”, “2”, “3”). Δεδομένης της “ΣΚ”, υποτέθηκε ότι η ενσωμάτωση ανεμογεννητριών μέχρι εύρους εγκατεστημένης ισχύος 5000MW θα γίνει αποκλειστικά σε μία από τις ΠΑΠ. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν συγκρίνονται με την παρούσα κατάσταση, αλλά και με το σενάριο “Α” που περιλαμβάνει ταυτόχρονη ανάπτυξη σε όλες τις ΠΑΠ και την Αττική με τα γνωστά ποσοστά.

Από την ανάλυση των σεναρίων “Α”, “1”, “2”, “3” και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (σχ. 13, 14, 15) προκύπτουν τα ακόλουθα ειδικά συμπεράσματα:

- ✓ Η περιοχή ΠΑΠ που εμφανίζει την μεγαλύτερη συνεισφορά στην παροχή εγγυημένης ισχύος, είναι η ΠΑΠ2. Αυτό οφείλεται κυρίως στην μεγάλη γεωγραφική έκταση που καταλαμβάνει η συγκεκριμένη περιοχή, γεγονός που έχει επίδραση στην καλύτερη κατανομή της παραγόμενης ισχύος γύρω από την μέση τιμή, ενώ εμφανίζει και υψηλότερο συντελεστή εκμεταλλευσιμότητας, λόγω του ότι περιλαμβάνει την Εύβοια.
- ✓ Αναφορικά με το ενδεχόμενο μεγάλης διείσδυσης αιολικών στο Σύστημα, η ανάπτυξη εγκαταστάσεων σε όλες τις περιοχές ΠΑΠ παρέχει τη μεγαλύτερη εγγυημένη ισχύ ακριβώς λόγω των θετικών επιπτώσεων της γεωγραφικής διασποράς.

5. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Η παροχή εγγυημένης αιολικής ισχύος αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο, το οποίο πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον ενεργειακό σχεδιασμό για την αποδοτικότερη ενσωμάτωση μεγάλου ποσοστού εγκατεστημένης ισχύος αιολικής ενέργειας και την άρση των όποιων τεχνολογικών ζητημάτων ανακύπτουν εξ' αιτίας της στοχαστικότητας του ανέμου. Έτσι, πέραν της καθαρής παραγωγής ενέργειας και των ευεργετικών συνεπειών της στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου και την προστασία του περιβάλλοντος, μπορεί να καθοριστεί με ασφάλεια το ποσοστό υποκατάστασης των συμβατικών μονάδων. Εν προκειμένω, σε επίπεδο Εθνικού σχεδιασμού, η αποδοτική ενσωμάτωση αιολικών μπορεί να υποκαταστήσει συμβατικούς σταθμούς της τάξης των 750MW.

Η συστηματική καταγραφή των προγνώσεων ανέμου και οι παραγόμενοι μεσοκλιματικοί αιολικοί χάρτες παρέχουν τη δυνατότητα αξιόπιστης εκτίμησης της εγγυημένης ισχύος. Έτσι, υποκαθίσταται η ανάγκη ύπαρξης ταυτόχρονων μετρήσεων σε πολλαπλά σημεία. Στους υπολογισμούς που διεξήχθησαν θεωρήθηκαν σημειακές χρονοσειρές ανέμου ως αντιπροσωπευτικές για ευρύτερες περιοχές κάλυψης. Θα πρέπει να τονιστεί πως η χρήση δεδομένων με την παραπάνω παραδοχή παρέχει συμπεράσματα προς την ασφαλή πλευρά, δεδομένου ότι στην πραγματικότητα ο άνεμος είναι περαιτέρω ασυσχέτιστος και με ποικίλες διακυμάνσεις ανάμεσα στα σημεία ενδιαφέροντος.

Από τους υπολογισμούς αυτούς, κατέστη σαφές ότι η γεωγραφική διασπορά συμβάλλει ευεργετικά στην παροχή εγγυημένης ισχύος. Ως εκ τούτου, η υπερσυγκέντρωση αιολικών μονάδων, σε ευρύτερες έστω περιοχές, δεν αποτελεί πάντοτε τη βέλτιστη λύση. Συνυπολογίζοντας τις θετικές επιπτώσεις της διεσπαρμένης παραγωγής στην μείωση των απωλειών, αλλά και στην ποιότητα παροχής ισχύος, προκύπτει ότι σε επίπεδο Εθνικού σχεδιασμού θα πρέπει να προωθηθεί η εγκατάσταση αιολικών πάρκων οπουδήποτε σε τοπικό επίπεδο υπάρχει ισχυρό αιολικό δυναμικό. Έτσι, θα πρέπει να καθοριστούν ισοδύναμα κριτήρια ανάπτυξης αιολικών σε όλη την επικράτεια, εφ' όσον πληρούνται οι περιβαλλοντικοί όροι, ενώ βεβαίως τα έργα αυτά θα πρέπει να κρίνονται από όλους ως αμιγώς περιβαλλοντικά και έπειτα σαν οτιδήποτε άλλο.

Σε περίπτωση που η ισοδύναμη αντιμετώπιση όλων των περιοχών δεν είναι εφικτή στο πλαίσιο του χωροταξικού σχεδιασμού (παρ' ότι δεν προκύπτει από κάπου γιατί να μην μπορεί να συμβεί αυτό), και απαιτείται μεταβλητή φέρουσα ικανότητα από περιοχή σε περιοχή, για την επίτευξη της βέλτιστης γεωγραφικής διασποράς προτείνεται η ενσωμάτωση των διαθέσιμων χρονοσειρών (για κάθε εν δυνάμει υποψήφια θέση), σε εξειδικευμένη μέθοδο βελτιστοποίησης. Σχετικός αλγόριθμος στον οποίο γίνεται κατάλληλος χειρισμός των περιορισμών του προβλήματος κατά την εξελικτική διαδικασία έχει ήδη αναπτυχθεί. Εάν παρ' όλα αυτά, κρίνεται απαραίτητος ένας σχεδιασμός κατανομής που έχει σαν άξονα τις τρεις περιοχές ΠΑΠ, όπως προτείνεται στο σχέδιο του ΕΧΠ, τότε θα πρέπει να δοθεί ειδικό βάρος στην ΠΑΠ2.

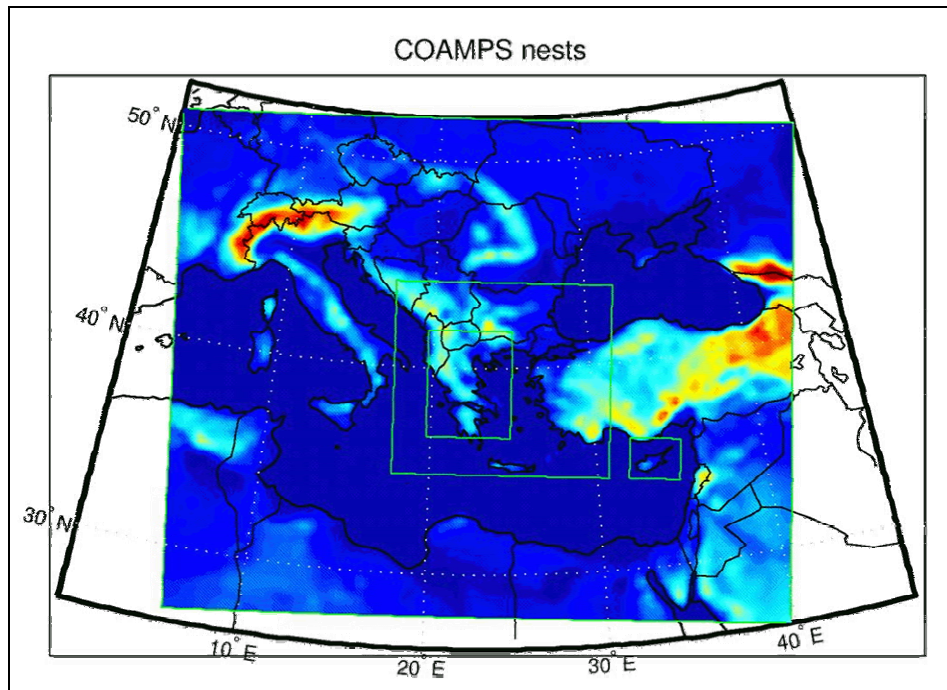
Κάραλης Γ., Περιβολάρης Γ., Ράδος Κ., Ζερβός Α. (2007) «Η Επίδραση της Γεωγραφικής Διασποράς στην Παροχή Εγγυημένης Αιολικής Ισχύος στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής» Περιοδικό Ανεμολόγια, Τεύχος 44 & 45, ΕΛΕΤΑΕΝ, 2007.

Τέλος, εκτιμάται ότι θα πρέπει να γίνει επαναπροσέγγιση (ως προς τις δυνατότητες εκμετάλλευσης) του αιολικού δυναμικού των νησιών που είναι ανεξάντλητο και να τεθούν επιτέλους οι βάσεις για τη διασύνδεσή τους.

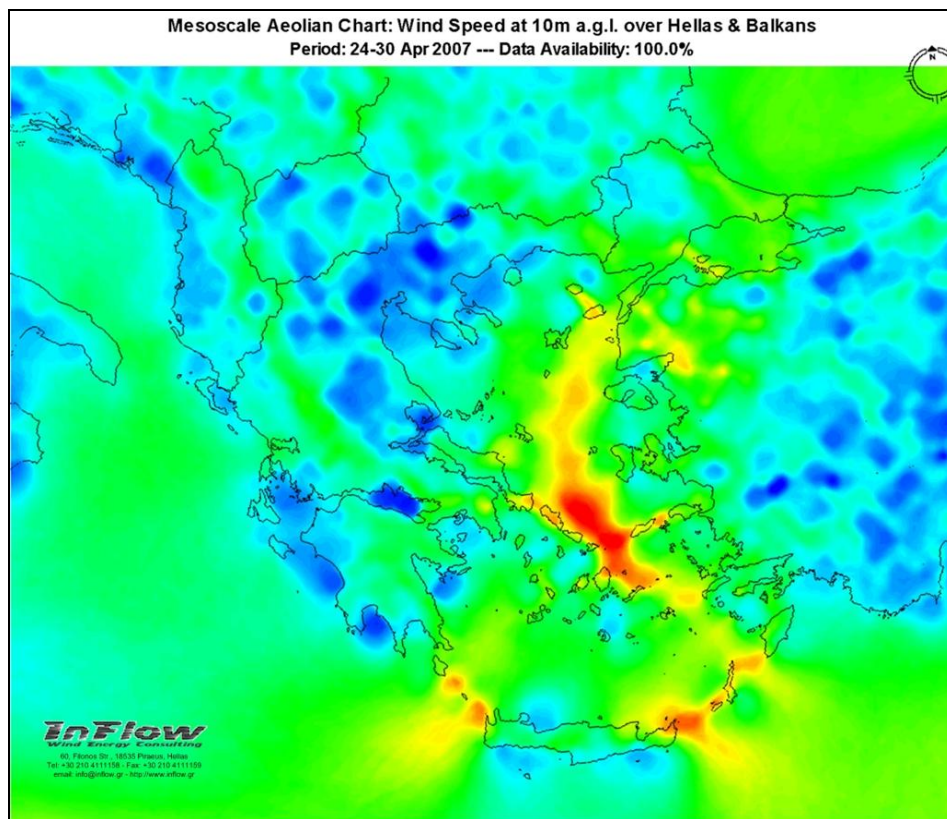
Αναφορές - Πηγές

- EWEA, “Large scale integration of wind energy in the European power supply: Analysis, issues and recommendations”, December 2005.
- Voorspools K., D’haeseleer W., “An analytical formula for the capacity credit of wind power”, Renewable Energy 31, p.45-54, 2005.
- Ackermann T., “Wind Power in Power Systems”, 2005.
- Milligan M., Graham M., “An enumerated Probabilistic Simulation Technique and Case Study: Integrating wind power into utility production cost models” NREL/TP-440-21530, July 1996.
- Milligan M., “Modeling Utility Scale Wind Power Plants, Part 1: Economics”, NREL/TP-500-27514, June 2000.
- Milligan M., “A sliding Window Technique for calculating system LOLP Contributions of Wind Power Plants” AWEA’s WINDPOWER 2001 Conference Washington, D.C., June 4-7, 2001.
- Milligan M., “Modeling Utility Scale Wind Power Plants, Part 2: Capacity Credit”, NREL/TP-500-29701, March 2002.
- Perivolaris Y., Vougiouka A., Alafouzou V., Mourikis D., Zagorakis V., Rados K., Barkouta D., Zervos A., Wang Quin, “Coupling of a Mesoscale Atmospheric Prediction System with a CFD Microclimatic Model for Production Forecasting of Wind Farms in Complex Terrain: Test Case in the Island of Evia”, EWEC Athens 2006.
- Rados K., Perivolaris Y., Vougiouka A., Venezis K., Caralis G., Zervos A., “Application of a Mesoscale Weather Prediction Model for Short-term Forecasting of Power Production of Wind Farms in Complex Terrain - Test case: Island of Crete”, CEST2007, Cos Island, Greece September 2007.
- “Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας”, Σχέδιο ΚΥΑ, Φεβρουάριος 2007.
- “Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα για την Ενέργεια”, ΥΠΙΑΝ.
- “ΜΑΣΜ 2006-2010: Μελέτη Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς, Περίοδος 2006-2010”, ΔΕΣΜΗΕ, Ιαν 2006.
- “Συνοπτικά Πληροφοριακά Δελτία για τις ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ”, ΔΕΜΣΗΕ, Ιαν 2004-Μαρ 2007.
- “Μηνιαία Δελτία Ισοζυγίου Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα”, ΔΕΣΜΗΕ, Ιαν 2004-Μαρ 2007.

Σχήματα

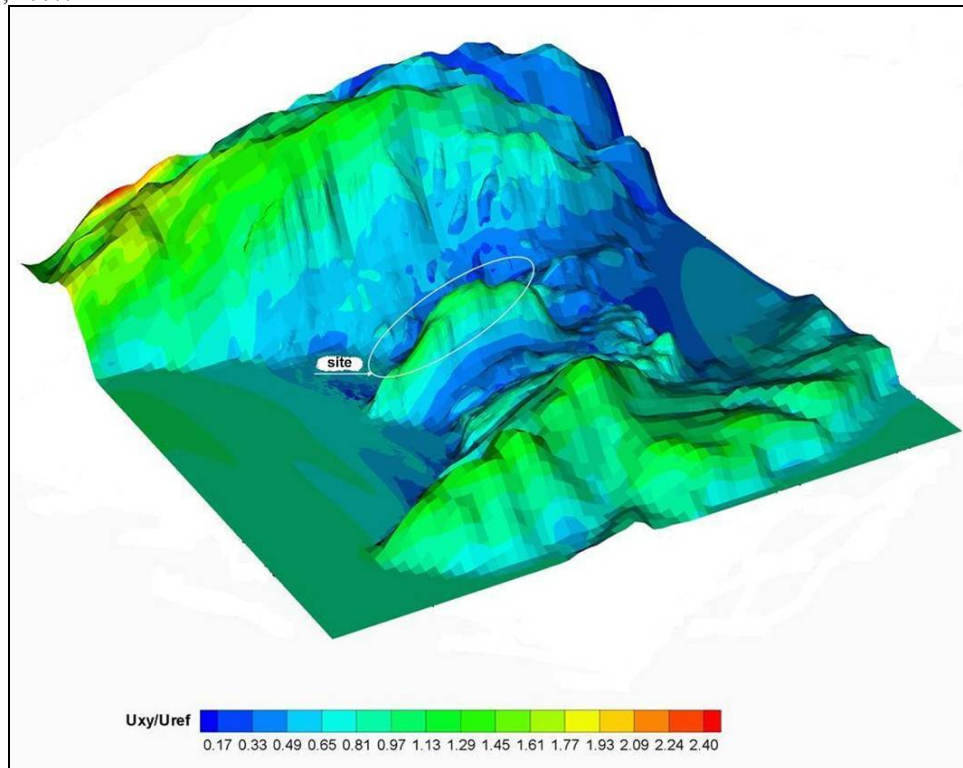


Σχήμα 1: Υπολογιστικό χωρίο του προτύπου *COAMPS*

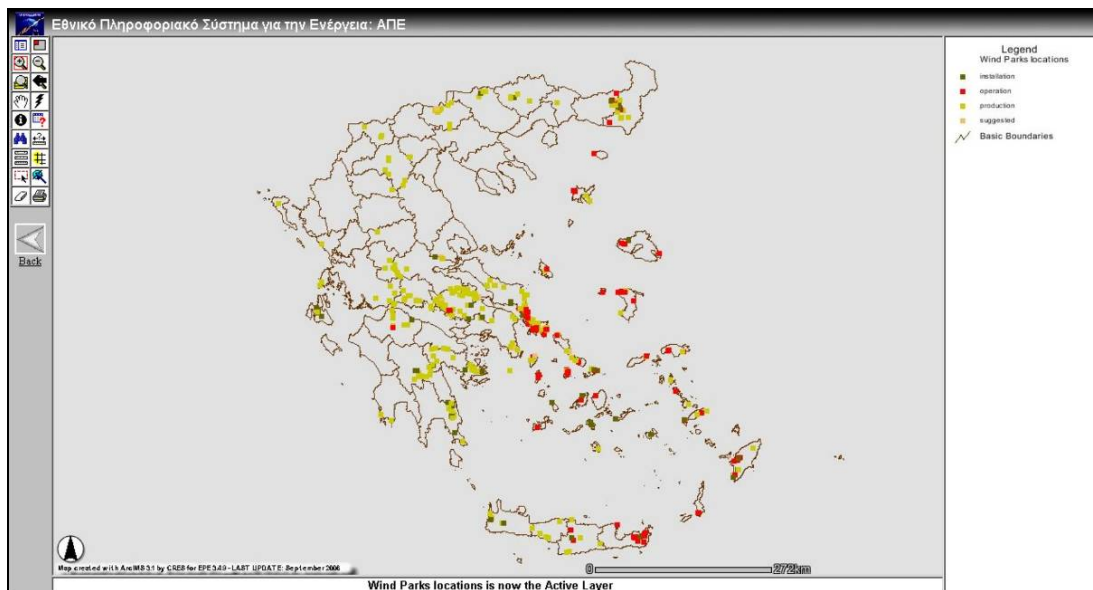


Σχήμα 2: Ενδεικτικός χάρτης *MACH* ανέμου μεσοκλίμακας (τελευταία εβδομάδα Απριλίου 2007)

Κάραλης Γ., Περιβολάρης Γ., Ράδος Κ., Ζερβός Α. (2007) «Η Επίδραση της Γεωγραφικής Διασποράς στην Παροχή Εγγυημένης Αιολικής Ισχύος στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής» Περιοδικό Ανεμολόγια, Τεύχος 44 & 45, ΕΛΕΤΑΕΝ, 2007.

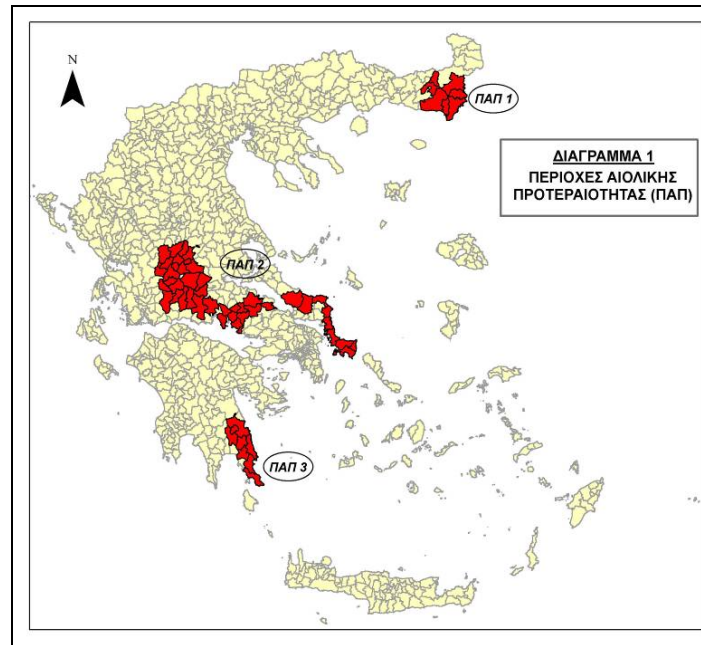


Σχήμα 3: Στις υποψήφιες περιοχές εγκατάστασης αιολικών πάρκων παρατηρείται επιτάχυνση του ανέμου, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά σε ενδεικτική αναπαράσταση του πεδίου ανέμου πάνω από σύνθετη τοπογραφία, όπως προέκυψε από το μικροκλιματικό πρότυπο *VANE*

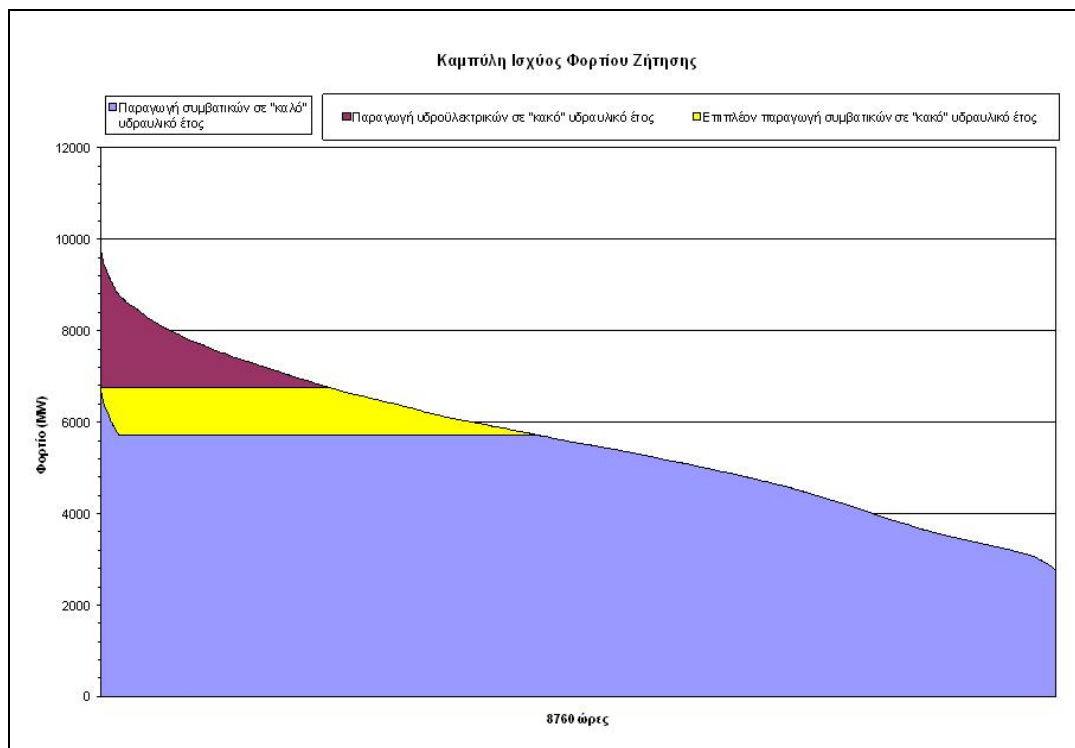


Σχήμα 4: Τρέχον καθεστώς σε σχέση με τα αιολικά πάρκα, όπως περιγράφεται σχηματικά στο Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα για την Ενέργεια του ΥΠΑΕ

Κάραλης Γ., Περιβολάρης Γ., Ράδος Κ., Ζερβός Α. (2007) «Η Επίδραση της Γεωγραφικής Διασποράς στην Παροχή Εγγυημένης Αιολικής Ισχύος στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής» Περιοδικό Ανεμολόγια, Τεύχος 44 & 45, ΕΛΕΤΑΕΝ, 2007.

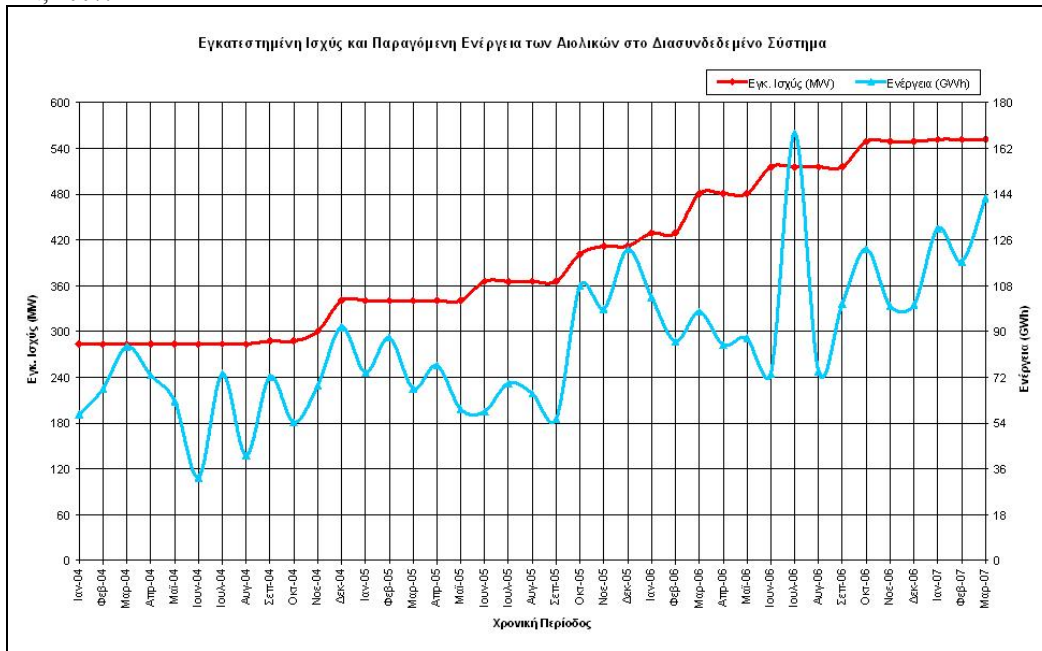


Σχήμα 5: Οι περιοχές αιολικής προτεραιότητας ΠΑΠ, όπως ορίζονται στο σχέδιο του ΕΧΠ για τις ΑΠΕ

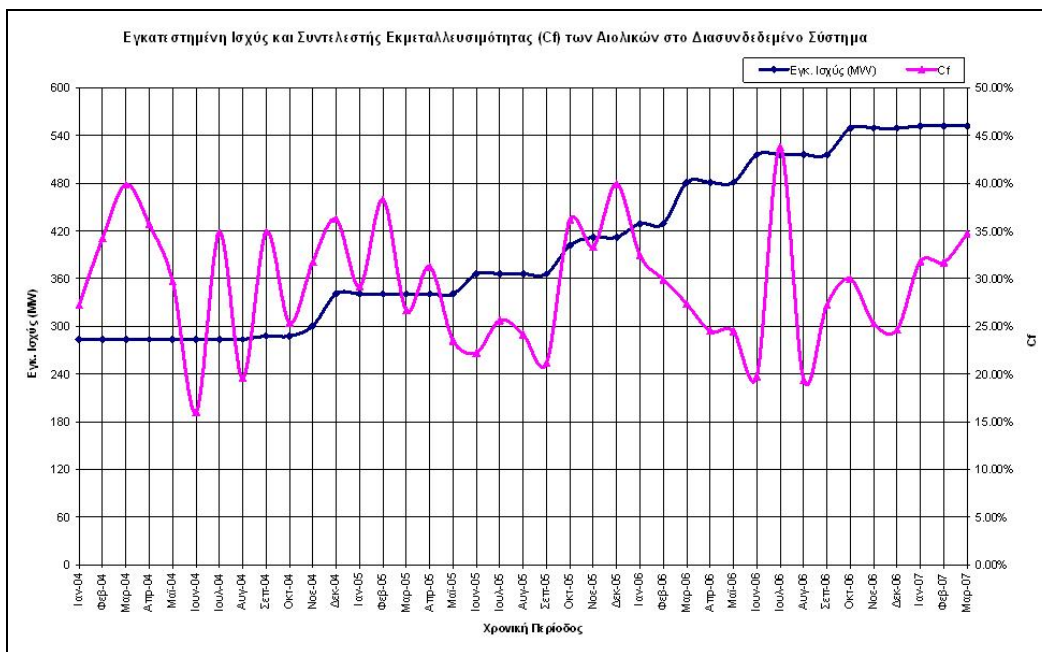


Σχήμα 6: Καμπύλη διάρκειας της ζήτησης και υδροηλεκτρική παραγωγή («καλό» και «κακό» έτος τα οποία αντιστοιχούν σε ετήσια ενδεικτική δυνατότητα παραγωγής των υδροηλεκτρικών μονάδων 5TWh και 2TWh αντίστοιχα)

Κάραλης Γ., Περιβολάρης Γ., Ράδος Κ., Ζερβός Α. (2007) «Η Επίδραση της Γεωγραφικής Διασποράς στην Παροχή Εγγυημένης Αιολικής Ισχύος στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής» Περιοδικό Ανεμολόγια, Τεύχος 44 & 45, ΕΛΕΤΑΕΝ, 2007.

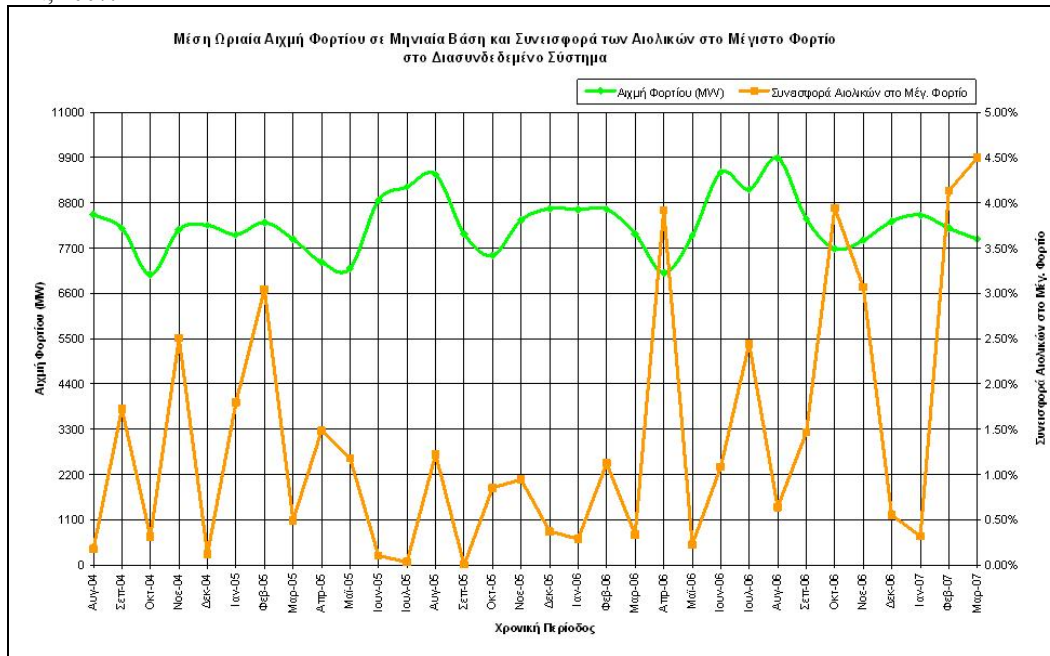


Σχήμα 7: Παραγωγή των αιολικών στο διασυνδεδεμένο κατά την περίοδο Ιανουάριος 2004 – Μάρτιος 2007 (πηγή ΔΕΣΜΗΕ)

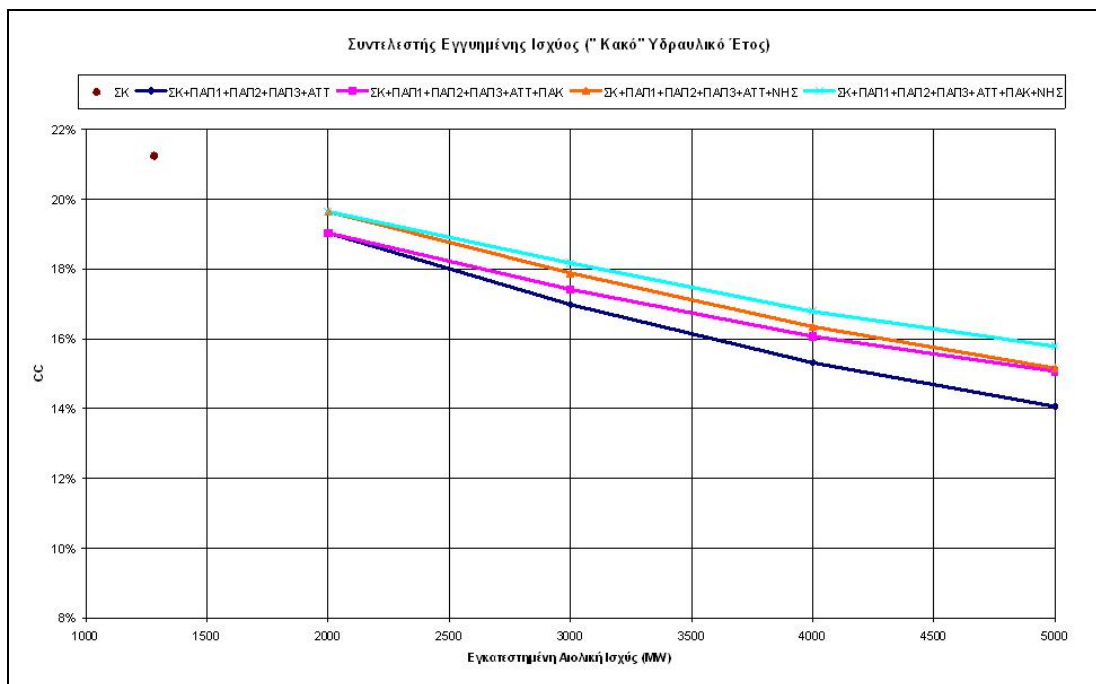


Σχήμα 8: Απόδοση των εγκατεστημένων αιολικών στο διασυνδεδεμένο κατά την περίοδο Ιανουάριος 2004 – Μάρτιος 2007 (πηγή ΔΕΣΜΗΕ)

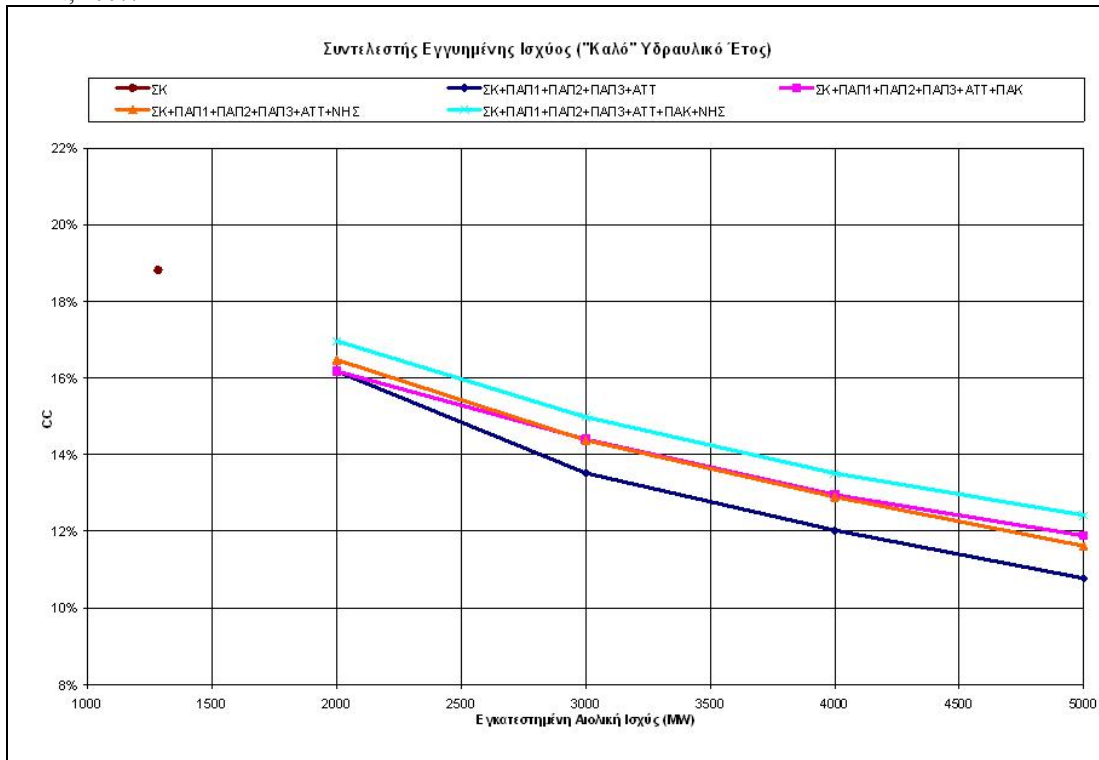
Κάραλης Γ., Περιβολάρης Γ., Ράδος Κ., Ζερβός Α. (2007) «Η Επίδραση της Γεωγραφικής Διασποράς στην Παροχή Εγγυημένης Αιολικής Ισχύος στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής» Περιοδικό Ανεμολόγια, Τεύχος 44 & 45, ΕΛΕΤΑΕΝ, 2007.



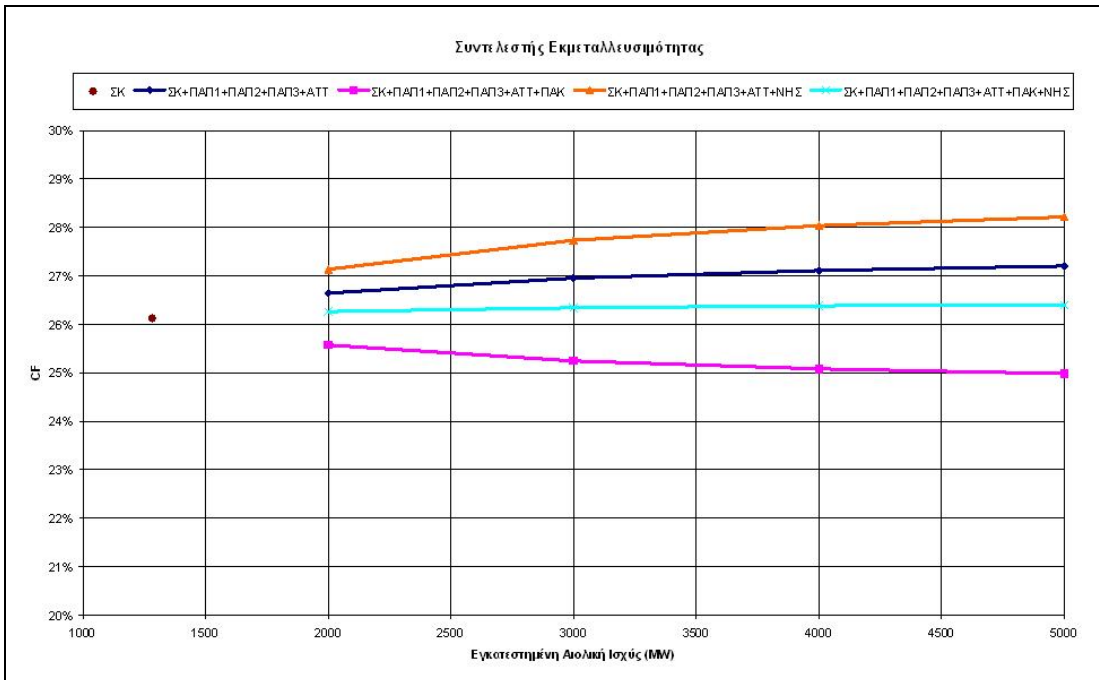
Σχήμα 9: Συνεισφορά στο φορτίο των εγκατεστημένων αιολικών στο διασυνδεδεμένο κατά την περίοδο Ιανουάριος 2004 – Μάρτιος 2007 (πηγή ΔΕΣΜΗΕ)



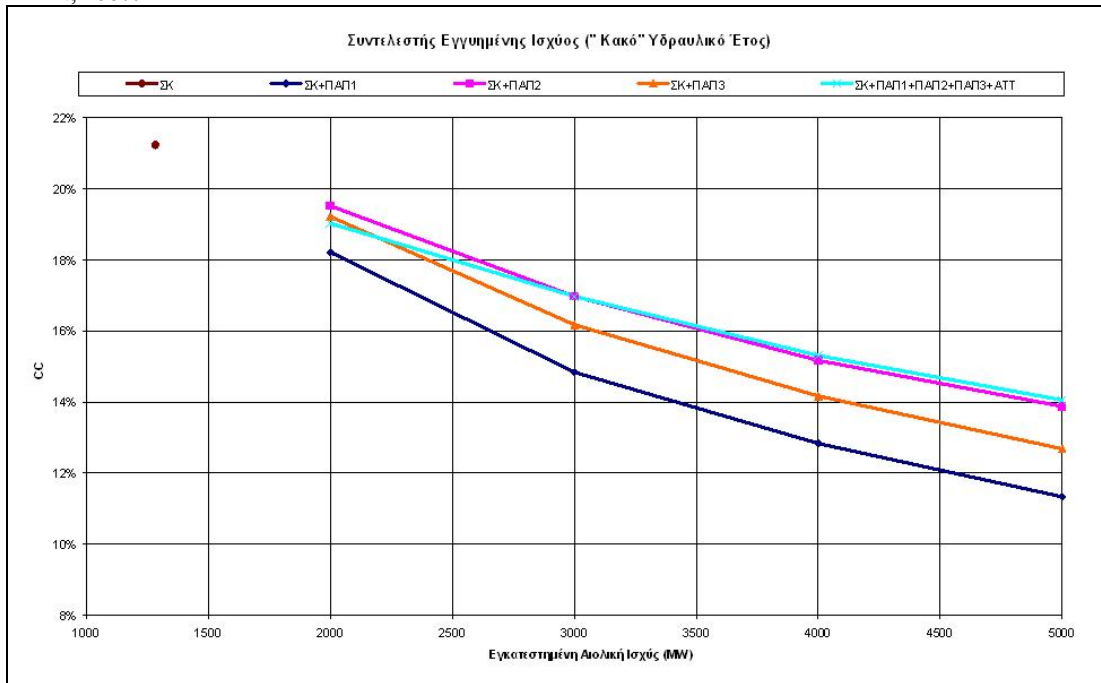
Σχήμα 10: Συντελεστής εγγυημένης ισχύος για εύρος διεύθυνσης αιολικών μέχρι 5000MW σε «κακό» υδραυλικό έτος για τα σενάρια “Α”, “Β”, “Τ”, “Δ”



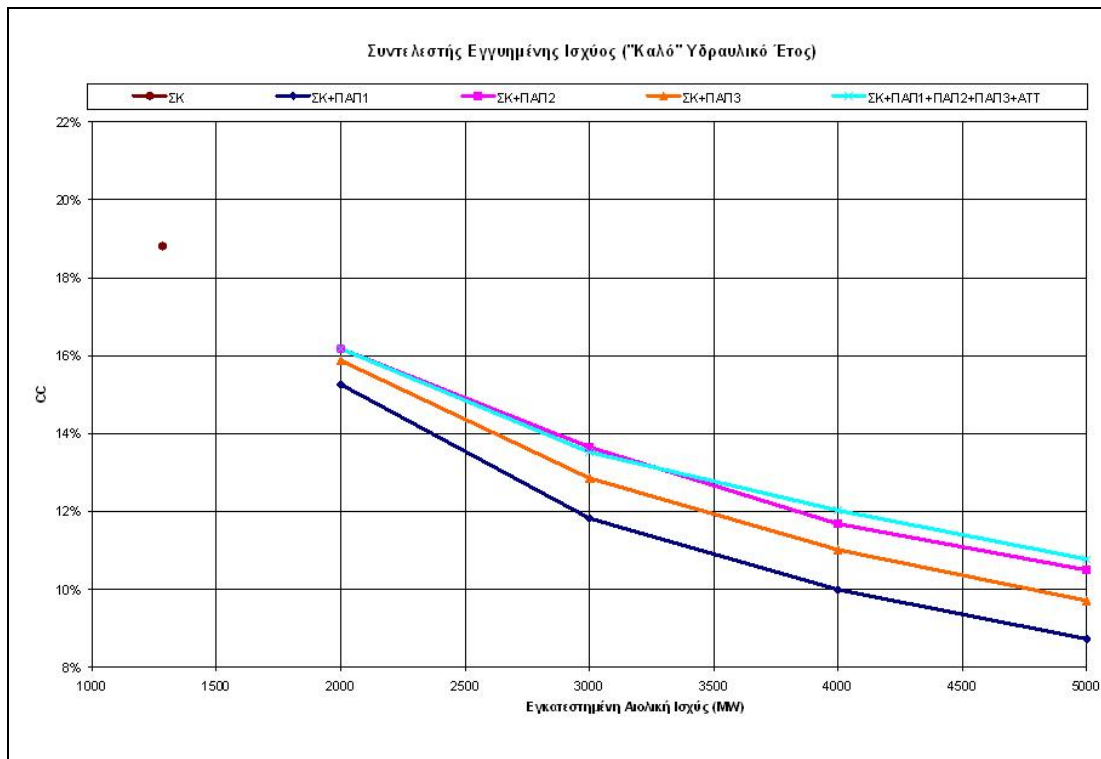
Σχήμα 11: Συντελεστής εγγυημένης ισχύος για εύρος διείσδυσης αιολικών μέχρι 5000MW σε «καλό» υδραυλικό έτος για τα σενάρια “Α”, “Β”, “Γ”, “Δ”



Σχήμα 12: Συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας αιολικών για εύρος διείσδυσης μέχρι 5000MW για τα σενάρια “Α”, “Β”, “Γ”, “Δ”

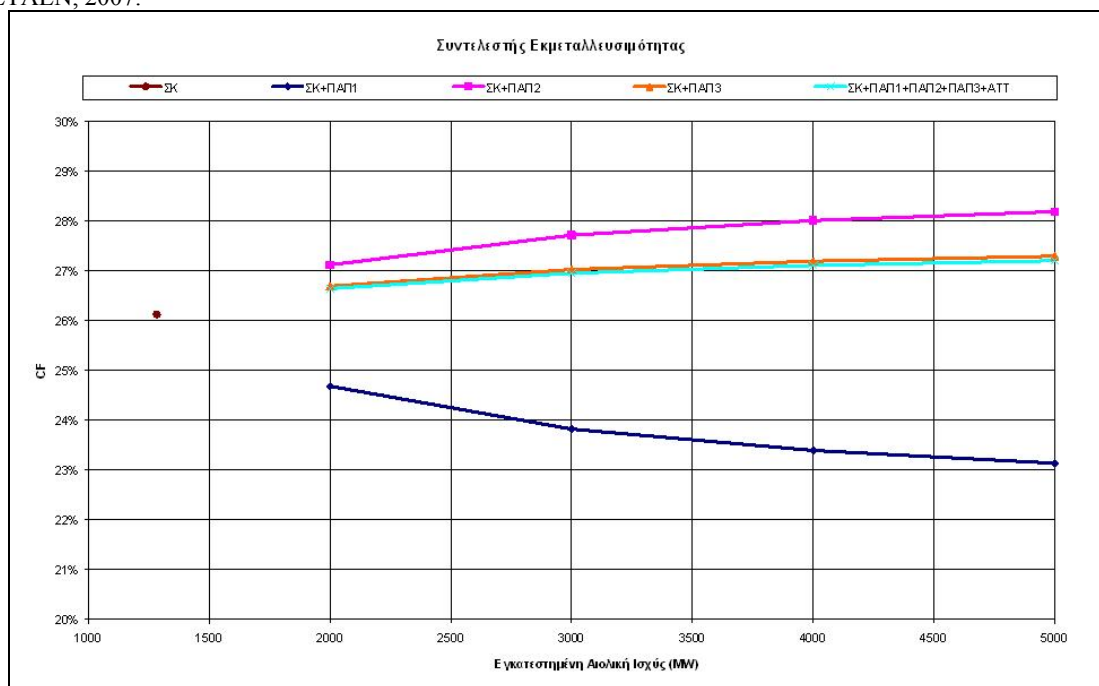


Σχήμα 13: Συντελεστής εγγυημένης ισχύος για εύρος διείσδυσης αιολικών μέχρι 5000MW σε «κακό» υδραυλικό έτος για τα σενάρια “Α”, “1”, “2”, “3”



Σχήμα 14: Συντελεστής εγγυημένης ισχύος για εύρος διείσδυσης αιολικών μέχρι 5000MW σε «καλό» υδραυλικό έτος για τα σενάρια “Α”, “1”, “2”, “3”

Κάραλης Γ., Περιβολάρης Γ., Ράδος Κ., Ζερβός Α. (2007) «Η Επίδραση της Γεωγραφικής Διασποράς στην Παροχή Εγγυημένης Αιολικής Ισχύος στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής» Περιοδικό Ανεμολόγια, Τεύχος 44 & 45, ΕΛΕΤΑΕΝ, 2007.



Σχήμα 15: Συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας αιολικών για εύρος διείσδυσης μέχρι 5000MW για τα σενάρια “Α”, “1”, “2”, “3”

Πίνακες

Σενάριο	Σύνολο (GW)	Νομός Έβρου	Νομός Δράμας	Νομός Κιλκίς	Νομός Πέλλας	Νομός Φλώρινας	Νομός Καστοριάς	Νομός Ιωαννίνων	Νομός Λάρισας - Πιερίας	Νομός Τρικάλων	Νομός Κεφαλλονιάς	Νομός Κέρκυρας	Νομός Αχαΐας	Νότια Εύβοια	Κεντρική - Νότια Εύβοια	Νομός Βοιωτίας	Νομός Ευρυτανίας	Σκύρος	Νομός Αττικής	Νομός Αργολίδας	Νομός Αρκαδίας - Λακωνίας	Νομός Χίου	Λέσβος	Λήμνος	Νάξος
ΣΚ	1.3	227	0	17	0	29	0	0	50	0	81	0	116	207	52	157	94	0	31	54	166	-	-	-	-
A2	2	287	60	17	0	29	0	0	50	24	81	0	116	352	196	229	191	0	43	54	272	0	0	0	0
A3	3	370	143	17	0	29	0	0	50	58	81	0	116	553	397	330	325	0	58	54	419	0	0	0	0
A4	4	453	226	17	0	29	0	0	50	91	81	0	116	754	599	430	459	0	74	54	567	0	0	0	0
A5	5	536	309	17	0	29	0	0	50	125	81	0	116	955	800	531	593	0	89	54	714	0	0	0	0
B2	2	257	30	35	18	65	54	54	104	12	117	36	170	279	124	193	142	0	37	54	219	0	0	0	0
B3	3	299	71	60	43	115	129	129	179	29	167	86	245	380	225	243	210	0	45	54	293	0	0	0	0
B4	4	340	113	85	68	165	204	204	254	46	217	136	320	481	325	294	277	0	53	54	367	0	0	0	0
B5	5	382	154	110	93	215	279	279	329	62	267	186	395	581	426	344	344	0	60	54	440	0	0	0	0
Γ2	2	257	30	17	0	29	0	0	50	12	81	0	116	279	124	193	142	72	37	54	219	72	72	72	72
Γ3	3	299	71	17	0	29	0	0	50	29	81	0	116	380	225	243	210	172	45	54	293	172	172	172	172
Γ4	4	340	113	17	0	29	0	0	50	46	81	0	116	481	325	294	277	272	53	54	367	272	272	272	272
Γ5	5	382	154	17	0	29	0	0	50	62	81	0	116	581	426	344	344	372	60	54	440	372	372	372	372
Δ2	2	247	20	29	12	53	36	36	86	8	105	24	152	256	101	181	127	47	35	54	202	47	47	47	47
Δ3	3	276	48	45	28	86	85	85	135	20	138	57	201	325	169	216	173	113	41	54	252	113	113	113	113
Δ4	4	304	77	62	45	119	135	135	185	31	171	90	251	393	238	250	218	179	46	54	303	179	179	179	179
Δ5	5	332	105	78	61	152	184	184	234	42	204	123	300	462	306	284	264	245	51	54	353	245	245	245	245
12	2	586	359	17	0	29	0	0	50	0	81	0	116	207	52	157	94	0	31	54	166	0	0	0	0
13	3	1086	859	17	0	29	0	0	50	0	81	0	116	207	52	157	94	0	31	54	166	0	0	0	0
14	4	1586	1359	17	0	29	0	0	50	0	81	0	116	207	52	157	94	0	31	54	166	0	0	0	0
15	5	2086	1859	17	0	29	0	0	50	0	81	0	116	207	52	157	94	0	31	54	166	0	0	0	0
22	2	227	0	17	0	29	0	0	50	36	81	0	116	422	267	264	238	0	31	54	166	0	0	0	0



23	3	227	0	17	0	29	0	0	50	86	81	0	116	722	567	414	438	0	31	54	166	0	0	0	0
24	4	227	0	17	0	29	0	0	50	136	81	0	116	1022	867	564	638	0	31	54	166	0	0	0	0
25	5	227	0	17	0	29	0	0	50	186	81	0	116	1322	1167	714	838	0	31	54	166	0	0	0	0
32	2	227	0	17	0	29	0	0	50	0	81	0	116	207	52	157	94	0	31	54	884	0	0	0	0
33	3	227	0	17	0	29	0	0	50	0	81	0	116	207	52	157	94	0	31	54	1884	0	0	0	0
34	4	227	0	17	0	29	0	0	50	0	81	0	116	207	52	157	94	0	31	54	2884	0	0	0	0
35	5	227	0	17	0	29	0	0	50	0	81	0	116	207	52	157	94	0	31	54	3884	0	0	0	0

Πίνακας 1: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στα διάφορα σενάρια

1ος Χαρακτήρας	
ΣΚ	Σημερινή Κατάσταση
Α	ΣΚ+ΠΑΠ1+ΠΑΠ2+ΠΑΠ3+ΑΤΤ
Β	ΣΚ+ΠΑΠ1+ΠΑΠ2+ΠΑΠ3+ΑΤΤ+ΠΑΚ
Γ	ΣΚ+ΠΑΠ1+ΠΑΠ2+ΠΑΠ3+ΑΤΤ+ΝΗΣ
Δ	ΣΚ+ΠΑΠ1+ΠΑΠ2+ΠΑΠ3+ΑΤΤ+ΠΑΚ+ΝΗΣ
1	ΣΚ+ΠΑΠ1
2	ΣΚ+ΠΑΠ2
3	ΣΚ+ΠΑΠ3
2ος Χαρακτήρας	
2	Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς 2000MW
3	Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς 3000MW
4	Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς 4000MW
5	Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς 5000MW

Πίνακας 2: Ονοματολογία σεναρίων – Αντιστοίχιση με τα σχήματα και τον πίνακα