Δημοσιεύτηκε στα ψηφιακά πρακτικά του 10ου Συνεδρίου της CFA «Lyon 2010», n. ref 200

Ηχοπροστασία Οικισμών από Αιολικά Πάρκα : συγκριτική αξιολόγηση μιας εγκατάστασης στην ορεινή Ροδόπη

Nicolas K. Barkas

Département d'Architecture, Faculté Polytechnique, Université Démocrite de Thrace, email : nbarkas@arch.duth.gr

Bien qu'elles produisent de l'énergie renouvelable et respectueuse de l'environnement, les installations éoliennes ne sont pas exemptes d'un certain impact sur l'environnement, dont le plus notable est la pollution acoustique due au bruit des turbines éoliennes en fonctionnement. La localisation d'un parc éolien tient quant à elle compte des données techniques de l'installation (quantité d'unités et bruit de fonctionnement) ainsi que de la distance qui le sépare des habitations riveraines, afin d'assurer le confort acoustique des habitants. La communication proposée s'inscrit dans un travail de recherche plus large effectué en 2008-09 dans la zone de Monastiri de la localité de Kechros située dans la partie montagneuse du département du Rhodope (Grèce), où fonctionne une installation éolienne composée de huit (8) turbines placées à 250 mètres de distance en amont des habitations. Ce travail de recherche présente les résultats des mesures d'émissions sonores réalisées in situ (en des points particuliers et avec diverses conditions de vent), ainsi que leur comparaison avec les données informatiques correspondantes issues de différents modèles de calcul de propagation du son à l'air libre. Les éléments de la recherche sont évalués en fonction des critères se rapportant au confort acoustique dans les réglementations grecques et européennes en matière d'isolation acoustique, ainsi que des seuils réglementaires de distances minimales obligatoires séparant une installation éolienne de différentes zones protégées. Cette communication analyse les paramètres agissant sur le désagrément causé par les installations éoliennes et tente de formuler des propositions d'aménagement relatives aux critères de localisation des parcs éoliens.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις για ενέργεια οδήγησαν στην ανάπτυξη των εναλλακτικών και οικολογικά καθαρών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Αιολική ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου, δηλαδή της κινητικής ενέργειας, λόγω τοπικών διαφορών στην ατμοσφαιρική πίεση. Οι αιολικές εγκαταστάσεις λειτουργούν, είτε με τη μορφή μεμονωμένων ανεμογεννητριών (Α/Γ), είτε με τη μορφή αιολικών πάρκων Α/Π (συστοιχιών Α/Γ). [1] Κατάλληλες θέσεις για την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής θεωρούνται οι κορυφές λείων λόφων με ελαφρές κατωφέρειες και ευρύ ορίζοντα, οι ανοικτές πεδιάδες, οι ακρογιαλιές και τα ορεινά ανοίγματα που εννοούν τη δημιουργία αερίων ρευμάτων.[2] Η χωροθέτηση μιας αιολικής εγκατάστασης προϋποθέτει ευκολία προσπέλασης και πρόσβασης, γειτνίαση με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο, κοινωνική αποδοχή, μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΜΠΕ) και κανονισμούς λειτουργίας.[3] Όπως κάθε τεχνικό έργο, η εγκατάσταση ενός Α/Π έχει ορισμένες επιπτώσεις στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον : [4]

1. Αισθητική προσβολή του τοπίου,
2. Εξολόθρευση πουλιών,
3. Πρόσκαιρες καταστροφές της τοπικής χλωρίδας, στη φάση κατασκευής,
4. Σχετικούς περιορισμούς στις χρήσεις γης,
5. Τοπική έξαρση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας,
6. Ηχορύπανση.

Η ηχορύπανση από τα Α/Π είναι η ουσιαστικότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις εγκατάστασης ενός πλήθους Α/Γ, μεγάλων διαστάσεων. Ο θόρυβος λειτουργίας τους προσομοιάζει με το θρόισμα των καλαμιών. Κατά τη λειτουργία μιας Α/Γ παράγονται 4 είδη ήχων :

-ο τονικός ήχος από τα γρανάζια, σε διακριτές συχνότητες,

-ο παλμικός ήχος, με μεταβλητό πλάτος,

-ο ευρέως φάσματος ήχος, με ομοιόμορφη κατανομή στις μέσες και ψηλές συχνότητες (>100Hz) και τέλος

-οι ήχοι χαμηλών συχνοτήτων (20 - 100Hz). [5]

Οι θόρυβος μιας Α/Γ είναι: μηχανικοί ή αεροδυναμικοί. Μηχανικός θόρυβος παράγεται από τα εξαρτήματα και τείνει να είναι τονικός, με πιθανές προσθήκες ήχων ευρέως φάσματος. Αεροδυναμικός θόρυβος προκύπτει από την περιστροφή και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πτερυγίων. Θόρυβοι χαμηλών συχνοτήτων δημιουργούνται εξαιτίας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του πύργου και τη θέση ροής (ανάντη ή κατάντη). [6] Οι σύγχρονες Α/Γ σχεδιάζονται για μειωμένες στάθμες λειτουργίας (χωρίς τονικότητα) και αυξημένη αεροδυναμική απόδοση. Οι τρέχουσες στάθμες θορύβου είναι περίπου 55 ως 45 dB(A), σε απόσταση 40 ως 200m. Η επικρατούσα αντίληψη πως οι ωφέλιμες ταχύτητες του ανέμου υπερκαλύπτουν το θόρυβο λειτουργίας των Α/Γ, οδήγησε στη θεσμοθέτηση ενός τυπικού ορίου 500m, ως ελάχιστης απόστασης για την εγκατάσταση ενός Α/Π εγγύς ενός οικισμού [4, 7]

2. Η ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΑΔΑ – ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η Ελλάδα, αν και ιδιαίτερα προικισμένη από ήλιο και ανέμους, παραμένει δέσμια των ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο, για να περιορίσει τις εκπομπές αέριων ρύπων, η Ελλάδα θα πρέπει να τροφοδοτήσει την εθνική ηλεκτροπαραγωγή της με ΑΠΕ σε ποσοστό 29% μέχρι το 2020. [3]

Η Ελλάδα έχει μεσογειακό κλίμα και πλούσιο τοπογραφικό ανάγλυφο, κατάλληλες προϋποθέσεις για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας ως οικονομικά ανταγωνιστικής ΑΠΕ. [2] Σύμφωνα με το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού για τις ΑΠΕ, η χωροθέτηση ενός Α/Π διακρίνει : [3]

-φυσικές περιοχές απόλυτης προστασίας, όπου απαιτείται ο προσδιορισμός ειδικών όρων,

-αρχαιολογικά μνημεία παγκόσμιου ενδιαφέροντος, όπου προβλέπεται ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης 3.000m,

-παραδοσιακούς οικισμούς ή υφιστάμενες εγκαταστάσεις, με ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης 1500m (για νέες εγκαταστάσεις απαιτούνται 2.500m από υφιστάμενο Α/Π),

-πόλεις >2000 κατοίκων ή οργανωμένα οικιστικά σύνολα < 2000 κατοίκων, ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης 1.000m,

-ζώνες αρχαιολογικής προστασίας, ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης 7d, όπου d η διάμετρος των φτερωτής Α/Γ (min 500m)

-άλλους οικισμούς ή μοναστήρια, ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης 500m,

-μεμονωμένες κατοικίες, απαίτηση ελάχιστης στάθμης θορύβου 45dB.

3. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ και ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΗΧΟΔΙΑΔΟΣΗ

Στις σύγχρονες Α/Γ ο θόρυβος λειτουργίας γίνεται αισθητός σε συνθήκες μέτριων ταχυτήτων ανέμου. Σε ψηλές ταχύτητες (> 8 m/s) είναι δύσκολη η διάκριση του θορύβου, επειδή η όχληση καλύπτεται ή συγχωνεύεται στους θορύβους βάθους, που προέρχονται από τη φύση, τις ανθρώπινες δραστηριότητες, την κυκλοφορία και συνήθως μεταβάλλεται ανάλογα με την ώρα, την εποχή και τις μετεωρολογικές συνθήκες. [5]

Βασικός παράγων αξιολόγησης της χωροθέτησης κάθε τεχνικής εγκατάστασης είναι η σχετική θέση της προστατευόμενης περιοχής ως προς τις πηγές όχλησης. Όταν η πηγή βρίσκεται κατάντη, η επίδραση ενός ενδιάμεσου ορύγματος περιγράφεται με τον παράγοντα δι-όρθωσης. Σε συνεπίπεδες διαμορφώσεις, ο περιορισμός των κώνων εκπομπής-λήψης επαφίεται συνήθως στην παρεμβολή φυτεύσεων ή τεχνητών ηχοφραγμάτων. Τέλος όταν η πηγή βρίσκεται ανάντη, η ηχοπροστασία θα απαιτήσει την παρεμβολή ηχοφραγμάτων αυξημένου ενεργού ύψους. [8]

Σύμφωνα με την κλασική θεωρία, η πρόγνωση της ηχητικής έντασης σε συνθήκες υπαίθριας ηχοδιάδοσης προκύπτει από τον τύπο :

$$I\theta = I\pi - 10*\log(d / d\alpha) - \Sigma 10*\log(Pi) \quad (1)$$

όπου είναι Iπ η στάθμη θορύβου της Α/Γ, Iθ η στάθμη στη θέση παρατήρησης, dα η απόσταση αναφοράς κατά την ηχομέτρηση της πηγής και d η ευθεία απόσταση της θέσης παρατήρησης από την Α/Γ, ενώ στις παραμέτρους του μοντέλου (Pi) περιλαμβάνονται επίσης τα χαρακτηριστικά της ηχητικής πηγής, η ηχοαπορρόφηση στον αέρα, η επίδραση του εδάφους και του ανάγλυφου της περιοχής, οι καιρικές και μετεωρολογικές συνθήκες. [8, 9]

Σχετικά, για την εκτίμηση του θορύβου λειτουργίας ενός Α/Π προτάθηκε ένα συγκεκριμένο μοντέλο ημισφαιρικής ηχοδιάδοσης σύμφωνα με τον τύπο :

$$Lp= Lw - 10*\log(2\pi R^2) - aR \quad (2)$$

όπου Lp (dB) η στάθμη θορύβου σε απόσταση R από την ηχητική πηγή, Lw (dB) η στάθμη ισχύος (που δίδεται από τον κατασκευαστή της Α/Γ) και a ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης στον αέρα.[10]

Οι μετρήσεις της ηχοστάθμης θορύβου ενός Α/Π στη θέση της εγκατάστασης και στις προστατευόμενες περιοχές πραγματοποιούνται συνδυαστικά (με τις Α/Γ εντός και εκτός λειτουργίας), ακολουθώντας τη μεθοδολογία των διεθνών προτύπων. [5] Σε πολλές χώρες οι Κανονισμοί ορίζουν ένα ανώτατο όριο έκθεσης στον θόρυβο και σε ορισμένες χώρες διαφορετικά όρια ημέρας / νύχτας. Στην Ελλάδα ισχύει το ανώτατο όριο 65 dB(A) σε περιοχές εμπορίου, 55 dB(A) σε μικτές περιοχές εμπορίου – κατοικίας και 45 dB(A) σε περιοχές αμιγούς κατοικίας.[1] Αξιοσημείωτο είναι πως, σε περιστάσεις τονικού θορύβου, οι Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί προβλέπουν προσαύξηση της στάθμης όχλησης κατά 5 dB(A), δηλαδή εάν μια Α/Γ παράγει δυνατό σφύριγμα σε περιοχή με όριο 45 dB(A), τότε δεν πρέπει να υπερβαίνει τη στάθμη λειτουργίας 40 dB(A). [5]

4. ΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε στον οικισμό Μοναστήρι της κοινότητας Κέχρος του Νομού Ροδόπης. Η Ροδόπη πήρε το όνομά της από την ομώνυμη οροσειρά που αποτελεί το φυσικό σύνορο μεταξύ Ελλάδας – Βουλγαρίας, διαθέτει αξιόλογο υδάτινο πλούτο, υψηλό δείκτη βροχοπτώσεων και προστατευόμενες φυσικές περιοχές. [6]

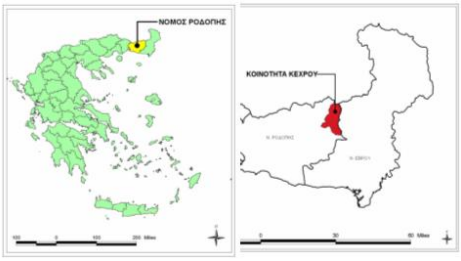


Figure 1 : La region de Kehros au N-E de la Grece

Η κοινότητα Κέχρος βρίσκεται στα βόρεια του Νομού Ροδόπης (υψόμετρο 900m) και περιλαμβάνει 12 οικισμούς, με ονομαστικό πληθυσμό 1.558 κατοίκους, μουσουλμάνους πομάκους (απογραφή 2001) που ασχολούνται κυρίως με την καλλιέργεια καπνού και την εκτροφή αιγοπροβάτων. Η περιοχή έχει ασφαλτοστρωμένο μόνο τον βασικό άξονα, διαθέτει ένα αγροτικό ιατρείο, ενώ το πλησιέστερο Γυμνάσιο-Λύκειο βρίσκεται σε απόσταση 45Km από τον Κέχρο. [11] Το πλούσιο αιολικό δυναμικό της περιοχής, σε συνδυασμό με υφιστάμενο ηλεκτρικό δίκτυο και τη συνεργατική στάση της τοπικής αυτοδιοίκησης απετέλεσαν

βασικούς παράγοντες επιλογής για μια μεγάλη αιολική εγκατάσταση που συγκροτείται από 5 Α/Π με 71 Α/Γ.

Το Μοναστήρι βρίσκεται σε μια ορεινή περιοχή με πλούσια βλάστηση και έντονο ανάγλυφο (υψόμετρο 780m). Έχει 79 μόνιμους κατοίκους, οι οποίοι ασχολούνται κυρίως με την εκτροφή αιγοπροβάτων. Διαθέτει πλατεία με καφενείο, διθέσιο μειονοτικό Δημοτικό Σχολείο και εξυπηρετείται από τις Δημόσιες Υπηρεσίες του Κέχρου. Οι μετακινήσεις των κατοίκων γίνονται αποκλειστικά με ιδιόκτητα οχήματα, μέσω του παλιού χωματόδρομου ή της νέας δασικής χάραξης που εξυπηρετεί το Α/Π. [6] Ο οικισμός δεν έχει θεσμική πολεοδομική οργάνωση, σχηματίζει ένα σύμπλεγμα λιθόκτιστων κατοικιών, διάσπαρτων στη πλαγιά του βουνού. Τα τελευταία χρόνια οι κάτοικοι χρησιμοποιούν σύγχρονα οικοδομικά υλικά (σκυρόδεμα, τούβλα, κεραμίδια, κουφώματα αλουμινίου) για προσθήκες ή επισκευές, με αποτέλεσμα τη μερική αλλοίωση της αρχιτεκτονικής φυσιογνωμίας του οικισμού.

Figure 2 : Le village Manastiri et l` installation eolien

5. Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ και ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι ο προσδιορισμός της ακουστικής άνεσης των κατοικιών ενός οικισμού εγγύς ενός αιολικού πάρκου. Το χωριό Μοναστήρι επιλέχθηκε επειδή δέχεται τη δυσμενέστερη επιβάρυνση (οι υπόλοιποι οικισμοί είτε βρίσκονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις, είτε δεν έχουν άμεση επίδραση από τις θέσεις εγκατάστασης).[12] Το Α/Π της θέσης «ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ Ι» συγκροτείται από 8 Α/Γ τύπου NORDEX N50/800 (ηχητική στάθμη 108 dB(A), ύψος πύργου 46m, διάμετρος φτερωτής 50m, ονομαστική ισχύς 800 kW).

Κατά την προετοιμασία της έρευνας εντοπίστηκαν οι θέσεις μέτρησης και υπολογίστηκαν οι σχετικές αποστάσεις, μέσω του ψηφιακού εποπτικού προγράμματος google earth. Στη συνέχεια έγιναν επισκέψεις στους εμπλεκόμενους φορείς και συλλέχθηκαν πληροφορίες αναφορικά με τα προβλήματα της περιοχής και τα δεδομένα των εγκαταστάσεων. Όπως πληροφορηθήκαμε, της εγκατάστασης των μονάδων δεν προηγήθηκε κάποιο στάδιο ενημέρωσης και διαβούλευσης. Κατά την αρχική περίοδο λειτουργίας του Α/Π, οι κάτοικοι εξέφρασαν σοβαρά παράπονα για το θόρυβο των Α/Γ (ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες, όταν πνέουν Β άνεμοι). Ωστόσο η αντίδραση τους δεν υιοθετήθηκε επίσημα από τη Κοινότητα Κέχρου, αρχικά υποβαθμίστηκε και τελικά αγνοήθηκε, καθώς υπήρξε μια σταδιακή εξοικείωση με το νέο θορυβικό περιβάλλον. Τα παράπονα αφορούν πλέον τη διαχείριση των αντισταθμιστικών ωφελημάτων, επειδή οι εγκαταστάσεις δεν εξασφάλισαν νέες θέσεις εργασίας, ούτε παρέχουν δωρεάν ηλεκτρικό ρεύμα στην περιοχή, ενώ με το ανταποδοτικό τέλος προς την Κοινότητα Κέχρου (3% επί των ακαθάριστων εσόδων) δεν έγινε καμία ουσιαστική επένδυση στο Μοναστήρι, ούτε βελτιώθηκαν οι συνθήκες διαβίωσής των κατοίκων. [12]

Κατά τη διάρκεια της έρευνας πραγματοποιήθηκαν τρεις (3) ερευνητικές επισκέψεις :

-1η επίσκεψη, 16/11/2008 (11:12 πμ-13.57μμ), Ν άνεμος, ταχύτητες 4,0 ως 4.5m/s. Κατά την άφιξη λειτουργούσε μόνο 1 από τις 8 Α/Γ, ενώ σταδιακά τέθηκαν σε λειτουργία άλλες 3 Α/Γ (συνολικά 4 Α/Γ). Λόγω των συγκεκριμένων μετεωρολογικών συνθηκών, εκτιμούμε ότι οι καταγεγραμμένες στάθμες είναι μικρότερες των τυπικά αναμενόμενων, σε όλες τις θέσεις παρατήρησης.

-2η επίσκεψη, 8/12/2008, (12:46-14:05μ.μ), ΒΔ άνεμος, ταχύτητες 4,1 ως 7.4m/s. Το Α/Π βρισκόταν σε πλήρη λειτουργία και η όχληση ήταν αισθητή σε ολόκληρη την περιοχή. Ειδικά στην θέση 4 (η κατοικία εγγύτερα στο Α/Π), καταμετρήθηκε η δυσμενέστερη στάθμη 48.3 dB(A), μέγεθος που καλύπτει το ανώτατο όριο 45 dB(A) της Ελληνικής Νομοθεσίας και υπερβαίνει σημαντικά το ανεκτό όριο 35dB(A) του Ελληνικού Κτιριοδομικού Κανονισμού, για την ακουστική άνεση σε περιοχές κατοικίας.

-3η επίσκεψη, 27/05/2009, (18:37-19:30μ.μ), ΒΑ άνεμος 5.0 ως 5.5m/s. Το Α/Π ήταν πάλι σε πλήρη λειτουργία και οι μετρημένες τιμές επαλήθευσαν τις προηγούμενες ηχομετρήσεις. Χαρακτηριστικό είναι πως, σε όλες τις θέσεις παρατήρησης οι μετρημένες στάθμες ανταποκρίνονται στο τυπικό μοντέλο της υπαίθριας ηχοδιάδοσης, με εξαίρεση τη θέση 6 (έξω από το σχολείο) όπου, εξαιτίας της πτώσης του ανέμου (και του πρωτογενούς θορύβου στην πηγή) η αντίστοιχη στάθμη εμφανίζεται δυσανάλογα χαμηλή (40,3 dBA) σε σχέση με την απόσταση ή το ανάγλυφο της περιοχής.

Σε κάθε επίσκεψη επαναλήφθηκε μια τυπική σειρά ηχομετρήσεων στις έξι (6) επιλεγμένες θέσεις παρατήρησης :

-θέση 1, απόσταση 6m από την ανατολική Α/Γ αα2 (στάθμιση του θορύβου πηγής),

-θέση 2, μεταξύ των ανατολικών Α/Γ αα 1 και 2 (απόσταση 65m),

-θέση 3, στην είσοδο του οικισμού (απόσταση 168m από την ανατολική Α/Γ αα 1),

-θέση 4, στη Β κατοικία του οικισμού (απόσταση 248m από την Α/Γ αα 2),

-θέση 5, στην πλατεία του οικισμού (απόσταση 320m από την Α/Γ αα 2),

-θέση 6, στο σχολείο του οικισμού (απόσταση 440m από την Α/Γ αα 2).

Κατά τη διάρκεια των ηχομετρήσεων συμπληρώθηκε ένα καταγραφικό έντυπο με τις στάθμες του θορύβου λειτουργίας των Α/Γ, του θορύβου βάθους, τα μετεωρολογικά στοιχεία και τη διάρκεια της μέτρησης. Παράλληλα καταγράφηκαν οι συντεταγμένες της θέσης (σε GPS), ώστε να προσδιοριστούν με ακρίβεια οι σχετικές αποστάσεις. Οι ηχομετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με ψηφιακό και αναλογικό ηχόμετρο (type 1). Οι ενδείξεις αποθηκεύθηκαν σε ισοδύναμες στάθμες Leq (10min), σε μέγιστες σφαιρικές στάθμες (κλίμακα A και Lin) και συχνοτικές οκταβικές τιμές (από 63 ως 4000Hz). Κατά τη 2η και 3η επίσκεψη, τα μετεωρολογικά δεδομένα διασταυρώθηκαν με στοιχεία από το σταθμό ελέγχου της εγκατάστασης.

Τα αποτελέσματα των ηχομετρήσεων, στις επιλεγμένες θέσεις καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα 1

dB(A) / Θέση	1η μ	2η μ	3η μ
Θ 1	60.3	63.9	64
Θ 2	55.2	57.2	60
Θ 3	42.8	49.6	-
Θ 4	44.7	48.3	46
Θ 5	43.2	47.1	-
Θ 6	37.3	40.3	38

Table 1 : détails des styles utilisés en fichier .doc

6. ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΤΗΣ ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗΣ

Τις ηχομετρήσεις ακολούθησε ένα στάδιο υπολογισμού και αξιολόγησης της ηχορύπανσης, σύμφωνα με τρία (3) διακριτά μοντέλα υπολογισμού

-το τυπικό μοντέλο της απομείωσης λόγω απόστασης, σε συνθήκες υπαίθριας ηχοδιάδοσης (τύπος 1)

-το ειδικό μοντέλο υπολογισμού του θορύβου λειτουργίας των Α/Π (τύπος 2)

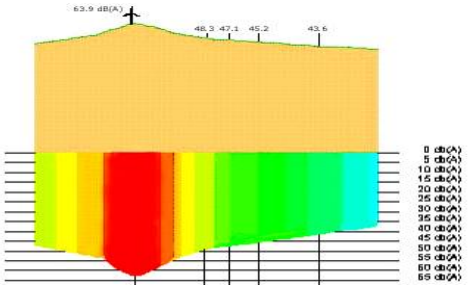
-το λογισμικό μοντέλο πρόγνωσης Wind PRO (DECI-BEL, Assumptions for noise calculation, version 2.5.7.83, 2007).

Στον πίνακα 2 εμφανίζονται οι υπολογισμένες τιμές (Ιυ) της υπαίθριας ηχοδιάδοσης κυλινδρικού κύματος (τύπος 1) στις θέσεις παρατήρησης (οι αναγραφόμενες αποστάσεις d προέκυψαν από ψηφιακό χάρτη, ενώ η απόσταση αναφοράς είναι 6m) και συγκρίνονται με τα δεδομένα της 2ης σειράς των ηχομετρήσεων (Ιμ).

ΘΕΣΗ	Ιπ	d (m)	Ιμ	Ιυ	+/- dB(A)
Θ 2	63.9	65	57.2	56.6	0.6
Θ 3	63.9	168	49.6	49.4	0.2
Θ 4	63.9	248	48.3	47.7	0.6
Θ 5	63.9	320	47.1	46.6	0.5
Θ 6	59	440	40.3	40.3	0.0

Table 2 : détails des styles utilisés en fichier .doc

Όπως φαίνεται από τη σύγκριση, η συνέλιξη των τιμών μέτρησης και υπολογισμού είναι πολύ καλή (< +/-0,6 dBA) και η κατανομή των υπολογισμένων τιμών ιδιαίτερα ομαλή, με εξαίρεση τη θέση παρατήρησης 6 (το σχολείο) σε απόσταση 440m από την εγκατάσταση. Ωστόσο και αυτή η ασύμπτωτη τιμή, μας βοηθά να διορθώσουμε τη στάθμη του θορύβου στην πηγή, λόγω της σημαντικής πτώσης στις ταχύτητες του ανέμου (περίπου -5dB(A) από την έναρξη της μέτρησης).

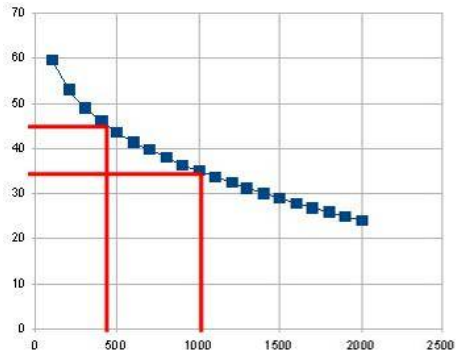


Εικόνα 3. Η κατανομή της ηχητικής όχλησης στην περιοχή του οικισμού, σύμφωνα με το μοντέλο της υπαίθριας ηχοδιάδοσης

Αναζητώντας τις επιβεβλημένες αποστάσεις, ώστε η αναμενόμενη όχληση να υπολείπεται των ορίων 45 (ή 35) dB(A) των Ελληνικών Κανονισμών (με σταθερή στάθμη αναφοράς 63.9 dB(A)], αποδεικνύεται ότι η χωροθέτηση του Α/Π θα έπρεπε να απέχει 465m (ή αντίστοιχα 1450m) από τον οικισμό Μοναστήρι, αντί της υφιστάμενης απόστασης περίπου 250m. Δηλαδή, ακόμη και στην πλέον απομακρυσμένη θέση 6 (έξω από το σχολείο), η αναμενόμενη στάθμη όχλησης υπερβαίνει το προβλεπόμενο ευμενές όριο 45dB(A) της μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Σχηματικά, η κατανομή των ηχητικών εντάσεων στην περιοχή του οικισμού εμφανίζεται στην εικόνα 3, όπου οριζόντια καταγράφονται οι πραγματικές αποστάσεις των θέσεων παρατήρησης από την πηγή Α/Γ και κατακόρυφα οι στάθμες του θορύβου λειτουργίας.

Αποδεικνύεται λοιπόν ότι, η υποκειμενική ακουστική αίσθηση του θορύβου είναι αληθινή, επαληθεύεται από τις ηχομετρήσεις και όχληση είναι ευδιάκριτη επειδή ο θόρυβος βάθους της περιοχής είναι ιδιαίτερα χαμηλός. Αυτή η δυσμενής εξέλιξη θα μπορούσε να είχε προβλεφτεί ακόμη και με το τυπικό μοντέλο υπολογισμού της υπαίθριας ηχοδιάδοσης. Κατά συνέπεια η συνέχιση της λειτουργίας του Α/Π Μοναστήρι Ι απαιτεί τη λήψη πρόσθετων μέτρων ηχοπροστασίας.

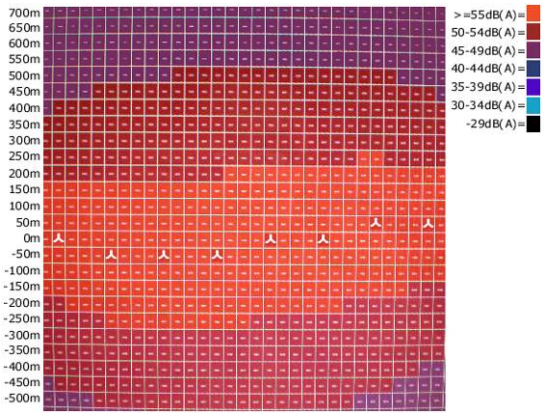
Συνεχίζοντας την αξιολόγηση της ηχητικής όχλησης σύμφωνα με το εξειδικευμένο μοντέλο ημισφαιρικής ηχοδιάδοσης (τύπος 2, μέγιστη στάθμη θορύβου 108dB(A, ταχύτητα ανέμου 8m/s, ύψος μέτρησης 10 m από το έδαφος και συντελεστής ηχοαπορρόφησης a=0,005 dB/m στα 1000zHzHz) προκύπτει ότι, η αναμενόμενη στάθμη θορύβου από την Α/Γ αα 2, ανάντη της εγγύτερης οικίας του οικισμού (απόσταση 248m), ανέρχεται σε 50.89 dB(A). Όπως φαίνεται στην εικόνα 4, σύμφωνα με αυτό το μοντέλο πρόγνωσης, μια ανεκτή στάθμη όχλησης 45 / 35 dB(A) οδηγεί σε επιβεβλημένες αποστάσεις χωροθέτησης περίπου 440 / 1000m αντίστοιχα.



Εικόνα 4. Η μεταβολή της ηχητικής στάθμης της πηγής σε συνάρτηση με την απόσταση

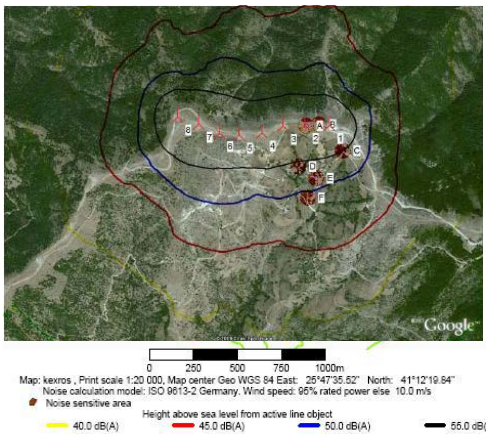
Εφαρμόζοντας τα ίδια δεδομένα στο λογισμικό μοντέλο υπολογισμού της Danish Wind Industry Association προκύπτει ότι η ηχητική επιβάρυνση από το σύνολο των 8 Α/Γ αυξάνει κατά περίπου 4 dB(A) την όχληση στην θέση 4 (την εγγύτερη κατοικία), προσδίδοντας μια συνολική επιβάρυνση περίπου 55 dB(A).

Η γραφική απεικόνιση των παραπάνω υπολογιστικών δεδομένων, για πλήρη λειτουργία του Α/Π, εμφανίζεται στην εικόνα 5, με τοπογραφικό κάναβο 50m και χρωματική διαβάθμιση ανάλογα με το μέγεθος του θορύβου. Όπως φαίνεται, η αναμενόμενη ηχητική επιβάρυνση στο σύνολο του οικισμού κυμαίνεται μεταξύ 50 και 54 dB(A).



Εικόνα 5. Στάθμες θορύβου λειτουργίας [Danish Wind Turbine Manufacturers Association, 1997, guided tour]

Τέλος, σε ανάλογα αποτελέσματα καταλήγει και το υπολογιστικό μοντέλο πρόγνωσης Wind PRO (version 2.5.7.83 – 2007), που εφαρμόστηκε με παραπλήσιες παραδοχές (μέγιστη στάθμη Α/Γ 107 dB(A), ταχύτητα ανέμου 10m/sec, απόσταση θέσης 253m, ανάντη της Α/Γ αα2 m). Όπως φαίνεται στην εικόνα 6 (MAP – KEXROS, Wind farm WT1 – WT8), το σύνολο του οικισμού καλύπτεται από τις ισοσταθμικές καμπύλες θορύβου 50 / 55 dB(A), διακύμανση που δίνει από 49.2 dB(A) στη θέση 6 του σχολείου έως 54dB(A) στη θέση 4 της εγγύτερης κατοικίας.



Εικόνα 6. Στάθμες θορύβου

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, η εγκατάσταση ενός Α/Π πραγματοποιείται σε ελάχιστη απόσταση 500m από την τελευταία κατοικία του εγγύς οικισμού, με μέγιστη ανεκτή στάθμη θορύβου 45 dB(A). Όπως έδειξαν οι ηχομετρήσεις, η υφιστάμενη όχληση ανέρχεται σε 48.3 dB(A). Επιπλέον, οι υπολογισμοί σε συνθήκες πλήρους λειτουργίας του Α/Π, είτε με το τυπικό μοντέλο υπαίθριας ηχοδιάδοσης, είτε με κάποιο εξειδικευμένο λογισμικό προγράμματα προσδιορίζουν την αναμενόμενη όχληση μεταξύ 49.2 και 55dB(A).

Αποδεικνύεται λοιπόν πως στον οικισμό Μοναστήρι δεν έχει τηρηθεί ούτε η τοπογραφική, ούτε η ακουστική απαίτηση με αποτέλεσμα το Α/Π να αντιμετωπίζει σοβαρό πρόβλημα ηχορύπανσης. Μερική, αλλά ανακουφιστική παρέμβαση θα αποτελούσε η συστηματική οικοδομική ενίσχυση των κατοικιών του οικισμού (νέα κουφώματα, διπλά παράθυρα, θερμομονωτικοί υαλοπίνακες) με ευθύνη της εταιρείας, παρέμβαση που σε συνδυασμό με την παραδοσιακή λιθοδομή του υφιστάμενου κελύφους θα αύξανε σημαντικά την ηχομονωτική ικανότητα των κατασκευών.

Επιπροσθέτως γίνεται φανερό ότι τα ελάχιστα όρια της Ελληνικής Νομοθεσίας δεν είναι ικανά να προστατεύσουν την ακουστική άνεση των κατοίκων ενός υφιστάμενου οικισμού. Πρόκειται για μια επιστημονικά ευάλωτη διάταξη, τα τοπογραφικά όρια της οποίας θα πρέπει κατά περίπτωση να διπλασιαστούν ή και να τριπλασιαστούν, ώστε να εξασφαλίζεται η ελάχιστη επιβεβλημένη ησυχία 35dB(A) που προβλέπουν οι Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί Ηχοπροστασίας.

Γενικά, η αντιμετώπιση του θορύβου λειτουργίας ενός Α/Π αφορά την υποβάθμιση της ηχορύπανσης στην πηγή (μηχανολογικές βελτιώσεις), ή / και την ελαχιστοποίηση της όχλησης στην προστατευόμενη περιοχή (θεσμικό πλαίσιο, χωροταξικός σχεδιασμός). Όπως εύκολα διαπιστώνουμε, στην περιοχή της έρευνας πνέουν ισχυροί Β άνεμοι, φαινόμενο που θέτει σε απόλυτη αμφισβήτηση τη χωροθέτηση της εγκατάστασης βόρεια και ανάντη του οικισμού. Η ηχοαπορρόφηση με φυτεύσεις, αποτελεί έναν συνήθη τρόπο απομείωσης του περιβαλλοντικού θορύβου, όμως στην περίπτωση των Α/Π δεν είναι εφικτή, επειδή παρεμποδίζουν τον άνεμο. Επομένως, βασικά εργαλεία της χωροθέτησης των Α/Π εγγύς οικισμών απομένουν η θεσμοθέτηση κατάλληλων αποστάσεων και η πρόβλεψη ηχοφραγμάτων.

Références

[1] Leclair J.M., Marchand L., "Baroque music in the early 18th", *Acta Acustica united with Acustica, 55*, 147-159 (1984).

[2] Ampère A.M. "Home sweet home in Poleymieux", *J. Acoust. Soc. Am*. 121 (5), 2852-2861 (2007).

[1] Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, *Δεδομένα, Δράσεις, Προγράμματα, για την Προστασία του Περιβάλλοντος,* Αθήνα, Ιούλιος 1995

[2] Καλδέλης Κ.Ι., *Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας,* Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα, 1999

[3] Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε *Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού & Αειφόρου Ανάπτυξης για Α.Π.Ε* Αθήνα Ιανουάριος 2008

[4] GREEN PEACE : Μύθοι και πραγματικότητα για την Αιολική Ενέργεια,

[6] Βαβαλέκας Κ., *Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Άνεμος ΑΕ,* Σέρρες 2005

[7] Περιοδικό Ανεμολόγια, Έκδοση Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας, Τεύχος 44, 2007

[8] Μπάρκας Ν. *Η ηχοπροστασία ως παράμετρος σχεδιασμού στην αρχιτεκτονική τοπίου,* Πρακτικά Συνεδρίου «Αρχιτεκτονική Τοπίου», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2005

[11] Περιφέρεια Ανατ. Μακεδονίας – Θράκης, *.Δημογραφικές Πληροφορίες Κοινότητας Κέχρου*

[12] ΣκλαβούνοςΑ. - Παπαδίτση Σ. *Ηχοπροστασία οικισμών από αιολικά πάρκα,* Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΔΠΘ, Ξάνθη, Ιούνιος 2009