

Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών

ΚΑΠΕ **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**

19th Χλμ. Λεωφ. Μαραθώνος
190 09, Πικέρμι
Τηλ: 210-6603300
Fax: 210-6038006
www.cres.gr

Δημήτρης Θεοφιλογιαννάκος
e-mail: dtheof@cres.gr

11/04/2009



Wind Energy Department

Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών

Οι εκπομπές θορύβου από ανεμογεννήτριες, προκαλούνται από δύο κύριους μηχανισμούς και χαρακτηρίζονται αντίστοιχα, ως μηχανικός και αεροδυναμικός θόρυβος.

Ο αεροδυναμικός θόρυβος είναι κυρίως συνδεδεμένος με την αλληλεπίδραση της τύρβης με την επιφάνεια των πτερυγίων και είναι ο κύριος μηχανισμός παραγωγής ακουστικού θορύβου.

Μηχανικός θόρυβος, π.χ. μεταλλικά εξαρτήματα σε κίνηση ή τριβή μεταξύ τους, δημιουργείται από τον πολλαπλασιαστή, το σύστημα μετάδοσης κίνησης, και τη γεννήτρια. Ο θόρυβος μεταδίδεται μέσω των δομικών στοιχείων της μηχανής και εκπέμπεται από επιφάνειες όπως ο πύργος, τα πτερύγια και η άτρακτος.

Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών

Στις σύγχρονες Α/Γ η ισχύς του εκπεμπόμενου θορύβου είναι συνήθως **98 - 104 dB(A)**, με τις περισσότερες να κυμαίνονται γύρω στα 101 dB(A). Η ισχύς του εκπεμπόμενου θορύβου χρησιμεύει για την σύγκριση των διαφόρων τύπων και για τον υπολογισμό των αναμενόμενων επιπέδων ηχητικής πίεσης σε διάφορες αποστάσεις από τη πηγή του θορύβου.

Η στάθμη της ηχητικής πίεσης, η οποία είναι και το μέγεθος στο οποίο αναφέρεται η νομοθεσία και αφορά τον αποδέκτη του θορύβου, είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης, μειώνεται δηλαδή κατά 6 dB για κάθε διπλασιασμό της απόστασης. Αυτό ως μία πρώτη εκτίμηση, ένας ενδεικτικός υπολογισμός, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση του αέρα και της τοπογραφίας.

Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών

Ανώτατα επιτρεπόμενα όρια θορύβου σύμφωνα με το Π.Δ. 1180/1981

Περιοχή	Όριο σε dB
Βιομηχανική	70
Κυρίως βιομηχανική	65
Μικτή	55
Αστική	50
Κατοικία σε επαφή	45

Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών

Για μία Α/Γ με ισχύ εκπεμπόμενου θορύβου 101 dB(A), η αναμενόμενη στάθμη ηχητικής πίεσης σε 200 m απόσταση από την βάση της, θα είναι περίπου 43 dB(A), ενώ σε απόσταση 400 m θα είναι περίπου 38 dB(A).

Στην περίπτωση των αιολικών πάρκων η εμπειρία έχει δείξει ότι συνήθως μία ή δύο το πολύ ανεμογεννήτριες (οι πλέον κοντινές στον αποδέκτη) είναι αυτές οι οποίες ουσιαστικά συμβάλλουν στην ενόχληση. Αυτός είναι ο κανόνας αλλά ασφαλώς μπορεί να υπάρξουν περιπτώσεις όπου ο αποδέκτης βρίσκεται σε ικανές αποστάσεις για πρόκληση ενόχλησης από περισσότερες. Αν θεωρήσουμε την ακραία περίπτωση των 4 Α/Γ που θα αυξήσουν την στάθμη θορύβου κατά 6 dB, για να βρισκόμαστε κάτω από το νομοθετημένο όριο εκτιμάται ότι χρειάζεται μία απόσταση ασφαλείας από 300 έως 400 μέτρα.

Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών

Πίνακας αντιστοιχίας σταθμών ηχητικής πίεσης

Στάθμη ηχητικής πίεσης dB(A)	Θόρυβος
120-130	Απογείωση αεροπλάνου jet στα 100 m
110-120	Rock συναυλία
100-110	Κομπρεσέρ
90-100	Βαρύ φορτηγό
80-90	Δρόμος με σημαντική κίνηση
70-80	Εσωτερικό αυτοκινήτου με 64 km/h
60-70	Χώρος γραφείων
50-60	Συνήθης ομιλία
40-50	Ήσυχη μικρή πόλη
30-40	Ήσυχο καθιστικό, ψίθυρος
20-30	Βιβλιοθήκη, Studio ηχογραφήσεων
10-20	Φύλλο που πέφτει
0-10	Κατώφλι ακοής

Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών

Μέτρηση της ισχύος του εκπεμπόμενου θορύβου (Noise Emission measurement)

Το μικρόφωνο τοποθετείται σε επίπεδο πίνακα πάνω στο έδαφος, σε κοντινή σχετικά απόσταση από την Α/Γ.

Παράλληλα με το ακουστικό σήμα, μετρούνται η ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου, η θερμοκρασία, η βαρομετρική πίεση, η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς και η ταχύτητα περιστροφής του ρότορα.



Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών

Σχέση της ηχοστάθμης ισχύος του εκπεμπόμενου θορύβου με την ηχοστάθμη ακουστικής πίεσης στη θέση μέτρησης

Η ηχοστάθμη της ισχύος του θορύβου από την Α/Γ, $L_{WA,k}$ και η ηχοστάθμη ακουστικής πίεσης, $L_{Aeq,c,k}$ συνδέονται ως ακολούθως:

$$L_{WA,k} = L_{Aeq,c,k} - 6 + 10 \lg \left[\frac{4 \pi R_1^2}{S_0} \right]$$

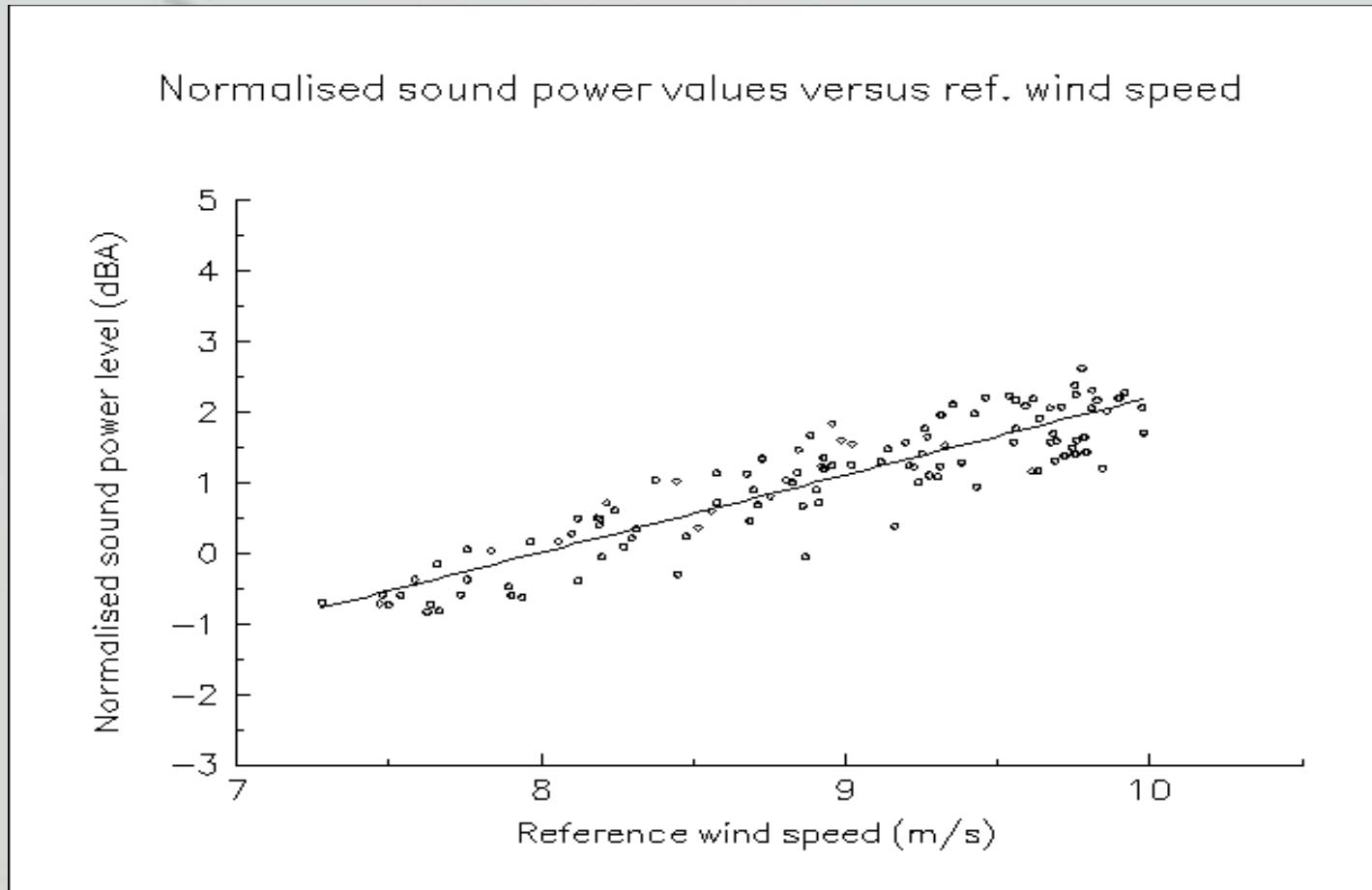
Όπου

$L_{Aeq,c,k}$ είναι η διορθωμένη για θόρυβο βάθους ηχοστάθμη ακουστικής πίεσης

R_1 είναι η απόσταση του κέντρου του ρότορα της Α/Γ από το μικρόφωνο

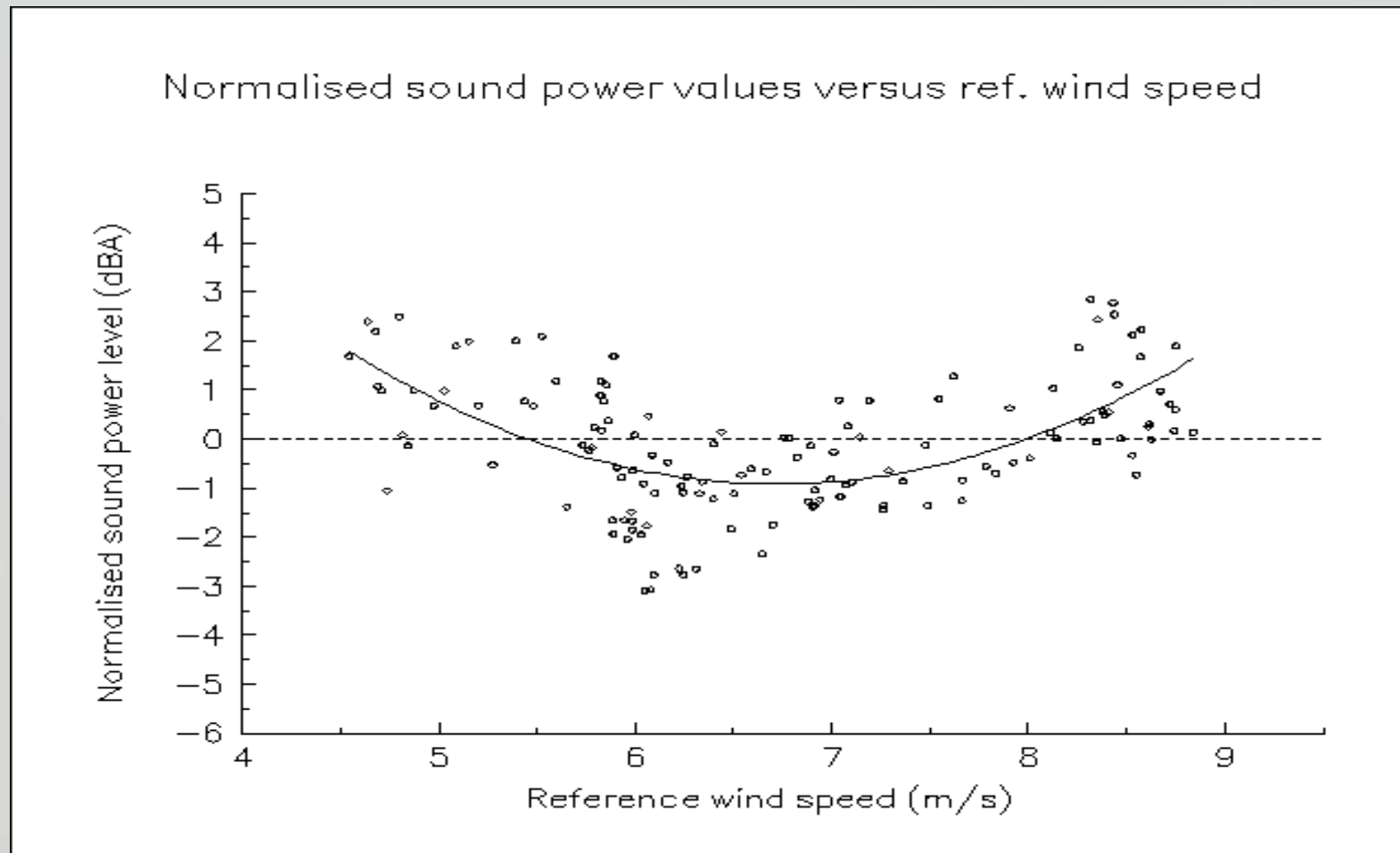
S_0 είναι η επιφάνεια αναφοράς, $S_0 = 1 \text{ m}^2$.

Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών



Stall-regulated wind-turbine

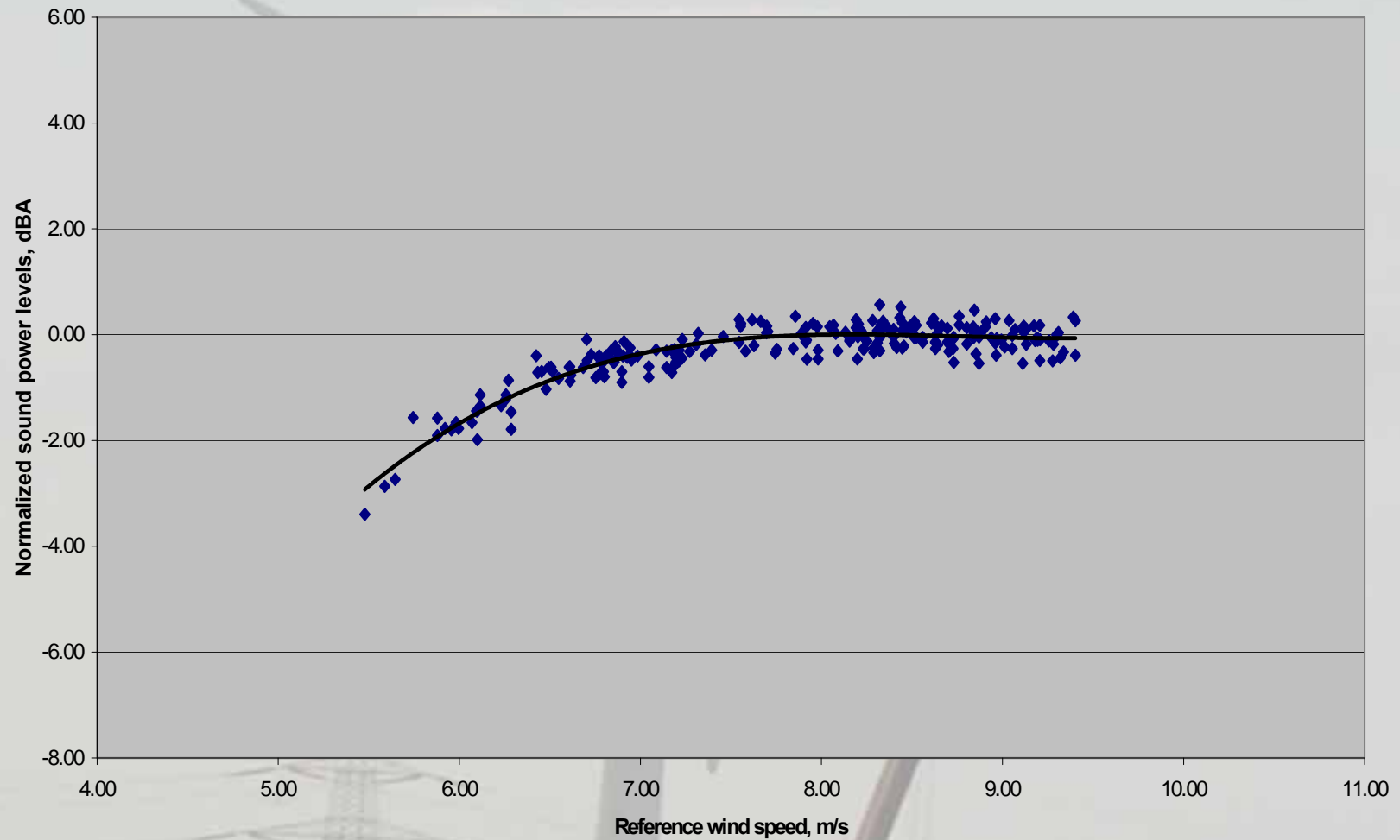
Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών



Variable speed pitch-regulated wind-turbine (extreme case)

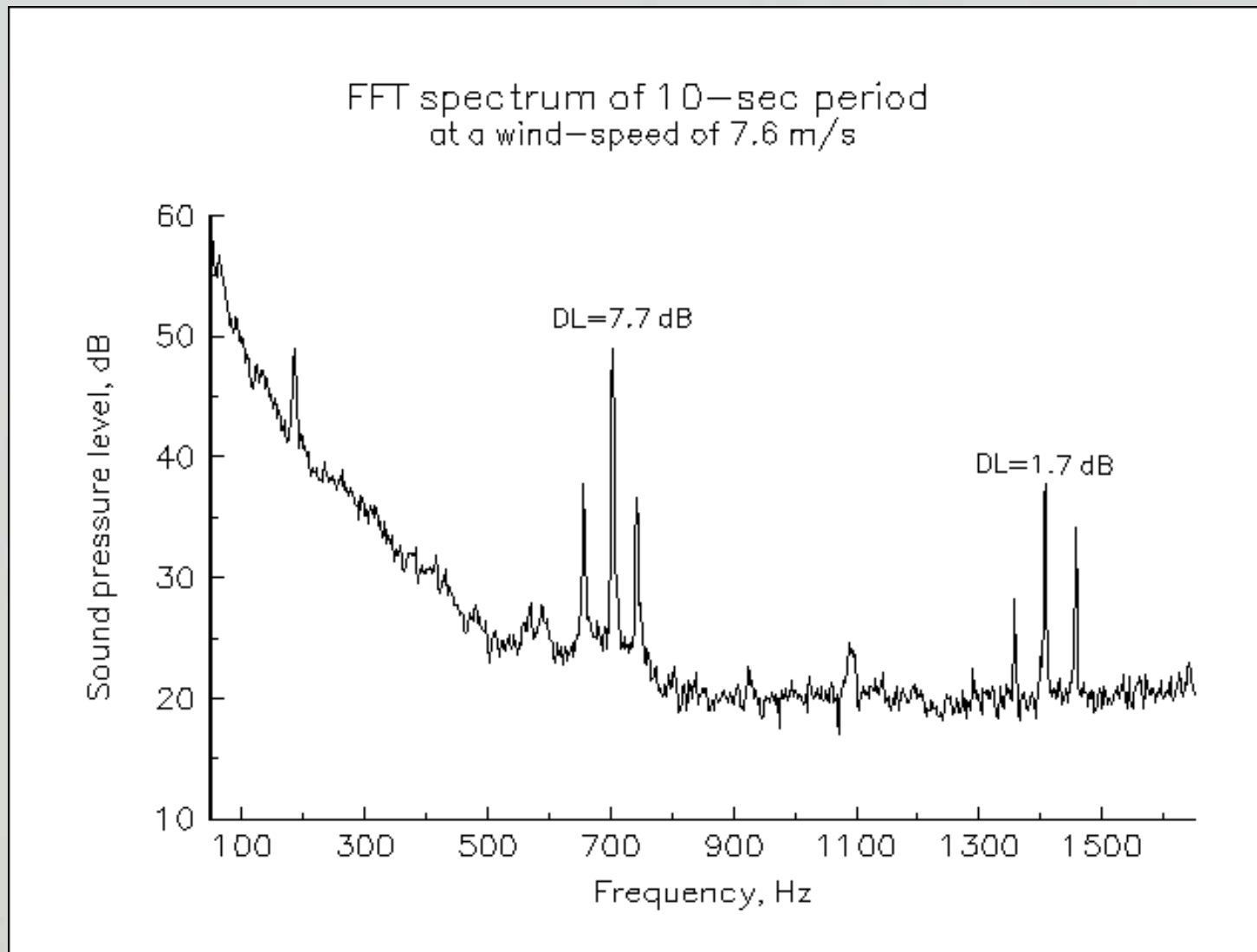
Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών

Normalized sound power levels



Variable speed pitch-regulated wind-turbine

Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών



Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών

Ως Τονικότητα, ΔL , ορίζεται η διαφορά της στάθμης του τόνου από τη στάθμη του θορύβου επικάλυψης στην αντίστοιχη κρίσιμη ζώνη.

Με βάση το κριτήριο ακουστότητας, L_a , καθώς η ενόχληση εξαρτάται όχι μόνο από το ύψος αλλά και από τη συχνότητα του τόνου, το τελικό μέγεθος της **Ακουστότητας του τόνου**, $\Delta L_{a,k}$, δίνεται από τον τύπο:

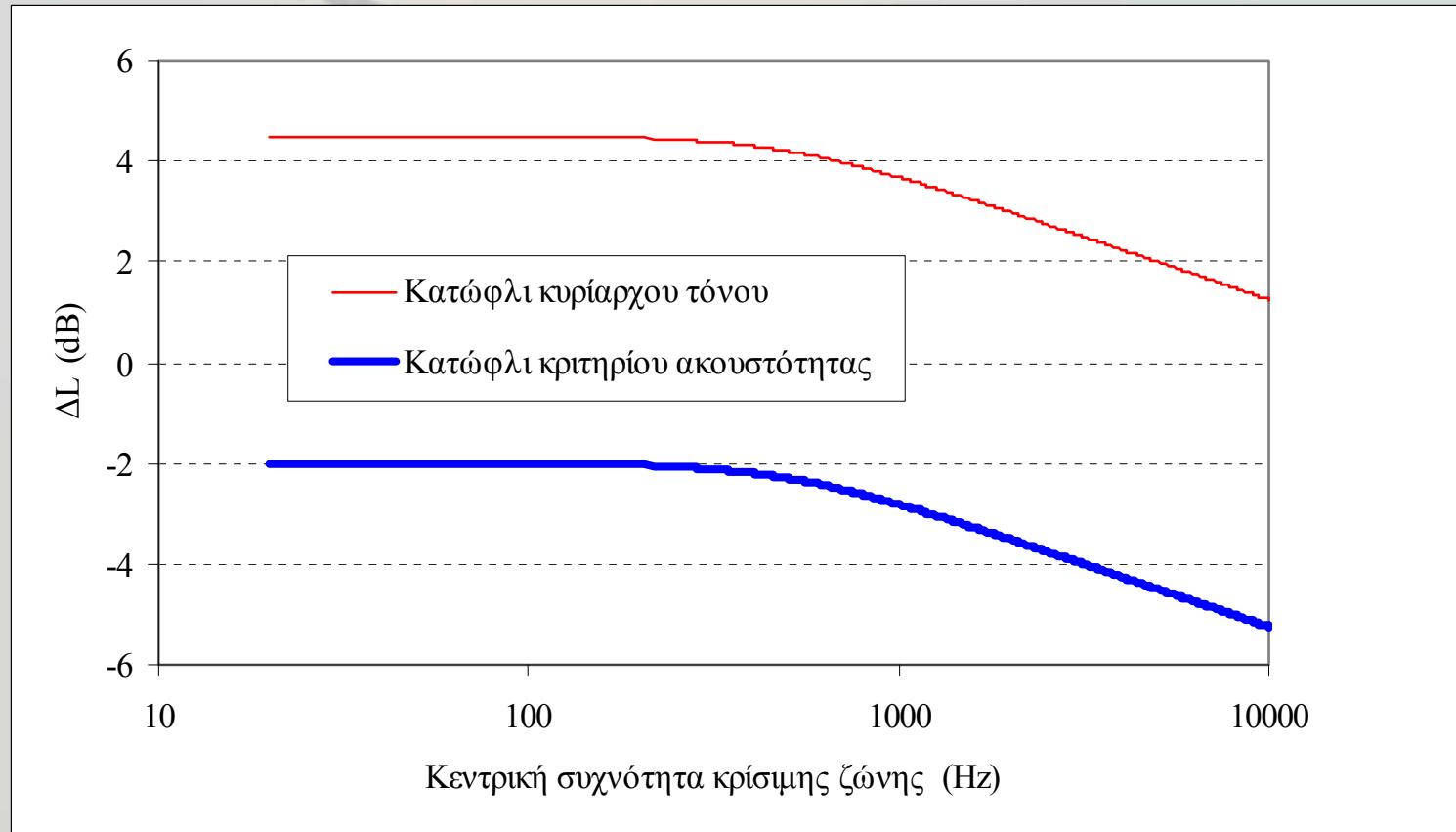
$$\Delta L_{a,k} = \Delta L_k - L_a$$

L_a είναι το κριτήριο ακουστότητας:

$$L_a = -2 - \lg \left[1 + \left(\frac{f}{502} \right)^{2.5} \right]$$

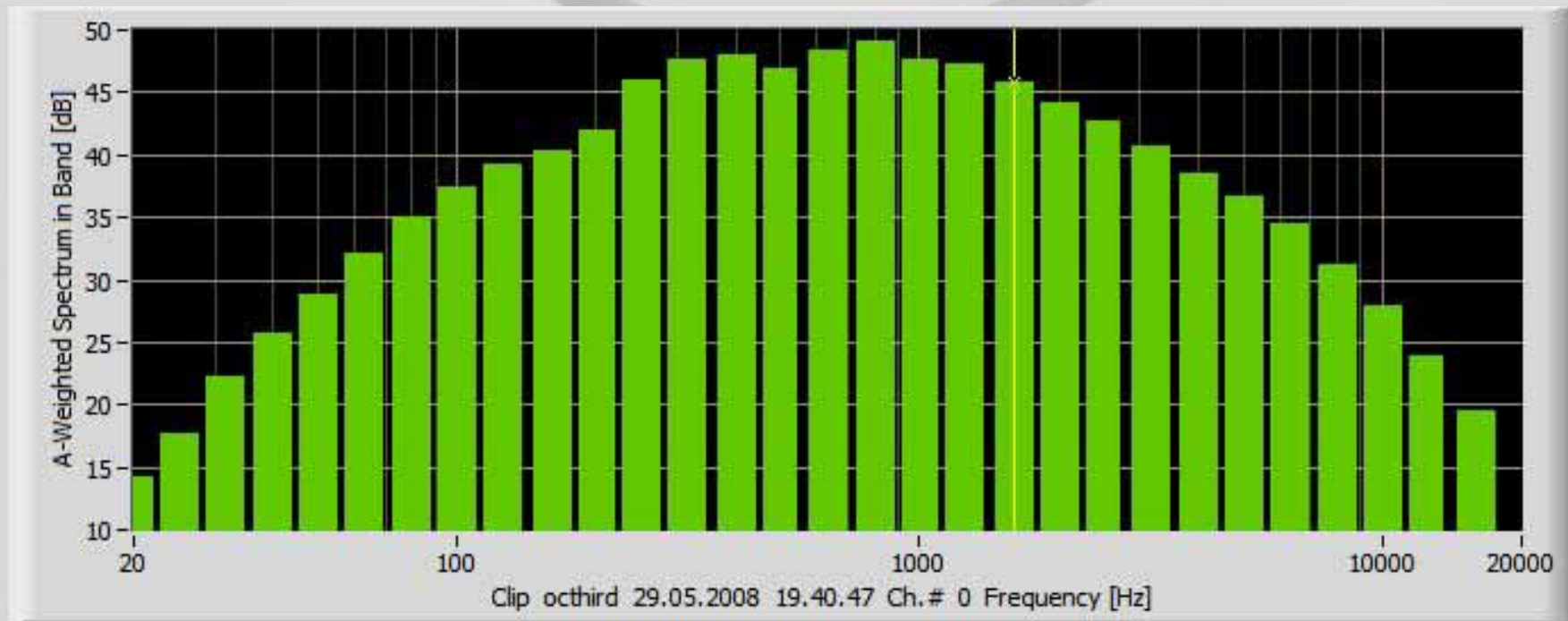
Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών

Καμπύλες αξιολόγησης της ακουστικής επίδρασης τόνου.



Μέτρηση ακουστικού θορύβου ανεμογεννητριών

Ανάλυση ανά τριτοκτάβες



Μέτρηση ακουστικού θορύβου ανεμογεννητριών



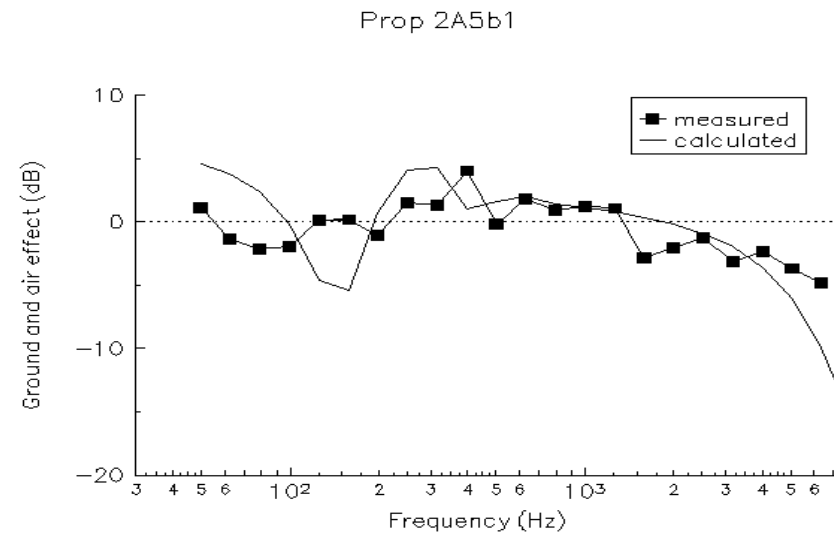
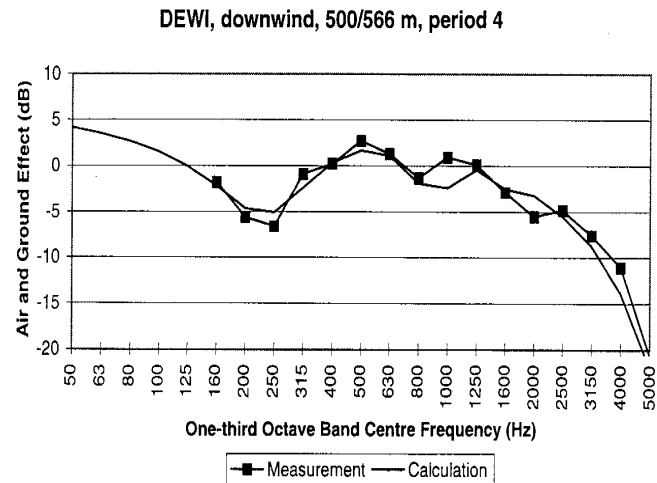
Μέτρηση της ηχοστάθμης στη θέση του αποδέκτη.

Το μικρόφωνο τοποθετείται σε ύψος 1.2 – 5 m από το έδαφος, στη θέση του αποδέκτη του θορύβου.

Παράλληλα με το ακουστικό σήμα, μετρούνται η ταχύτητα του ανέμου στη θέση της Α/Γ και στη θέση της μέτρησης, ή διεύθυνσή του, καθώς και άλλα μετεωρολογικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της Α/Γ, ανάλογα με τον σκοπό της μέτρησης.

Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών

WinTuProp program for the calculation of W/T noise propagation,
developed by Delta Acoustics & Vibration.
Heuristic model based on Ray theory for linear sound speed profile



Επίπεδη τοπογραφία

Σύνθετη τοπογραφία

Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών

Η μέτρηση της ισχύος εκπομπής θορύβου στην πηγή, γίνεται για λόγους πιστοποίησης/επαλήθευσης των εκπομπών από μία Α/Γ ή για την αποτίμηση διαφορετικών επιλογών της λογικής ελέγχου της ισχύος μιας Α/Γ στα πλαίσια του R&D κατά την ανάπτυξη καινούργιων μοντέλων.

Η μέτρηση της ηχοστάθμης στη θέση του αποδέκτη του θορύβου, γίνεται για την αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της λειτουργίας αιολικών πάρκων, καθώς και για την αποτίμηση των μοντέλων πρόβλεψης του θορύβου.

Ακουστικός θόρυβος ανεμογεννητριών

Πρότυπα και οδηγίες μέτρησης

- IEC document 61400-11, ed.2, 12/2002, “Wind turbine generator systems- Part 11: Acoustic noise measurement techniques’, Amendment 1(05/2006).
 - MEASNET Acoustic Noise Measurement Procedure, Version 2, 01/2005.
 - FGW Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil 1: Bestimmung der Schallemissions-werte, Revision 18, Stand 01.02.2008
 - IEC/TS 61400-14 (2005-03) Ed. 1.0 Wind turbines - Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values
-
- ISO 1996-2, Part 2 (15/3/2007), Determination of environmental noise
 - IEA Recommended practices for W/T testing and evaluation – Part 10. “Measurement of noise immission from wind turbines at noise receptor locations” Edition 1997
 - ELOT/CRES TE-81,OE-5(12/99), Draft of a Greek noise measurement standard concerning a Wind Turbine Generator at the receptor site.

Το ΚΑΠΕ είναι ενεργό μέλος των αντίστοιχων ομάδων εργασίας, στα πλαίσια των IEC,IEA και MEASNET, με κύριο αντικείμενο την ανάπτυξη καινούργιων προτύπων μέτρησης και την αναθεώρηση των παλαιότερων.