



Χώρος αειχώρας

Κείμενα Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Ανάπτυξης

Ειδικό τεύχος - Αφιέρωμα

Μέθοδοι ανάλυσης και σχεδιασμός
του ελληνικού τοπίου

2014

19

ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ ΔΗΜΗΤΡΗΣ
ΣΚΑΓΙΑΝΝΗΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ
ΓΟΣΠΟΔΙΝΗ ΑΣΠΑ
ΔΕΦΝΕΡ ΑΛΕΞΗΣ
ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΥ ΟΛΓΑ
ΨΥΧΑΡΗΣ ΓΙΑΝΝΗΣ
ΣΤΑΘΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΣΥΝΤΑΞΗΣ

Αραβαντινός Αθανάσιος	- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)
Ανδρικόπουλος Ανδρέας	- Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Βασενγρόβεν Λουδοβίκος	- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)
Γιαννακούρου Τζίνα	- Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Γιαννιάς Δημήτρης	- Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δελλαδέτσιμας Παύλος	- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
Δεμαθάς Ζαχαρίας	- Πάντειο Πανεπιστήμιο
Ιωαννίδης Γιάννης	- Tufts University, USA
Καλογήρου Νίκος	- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ)
Καρύδης Δημήτρης	- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)
Κοσμόπουλος Πάνος	- Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (ΔΠΘ)
Κουκλέλη Ελένη	- University of California, USA
Λαμπριανίδης Λόης	- Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
Λουκάκης Παύλος	- Πάντειο Πανεπιστήμιο
Λουρή Ελένη	- Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Μαλούτας Θωμάς	- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
Μαντουβάλου Μαρία	- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)
Μελαχροινός Κώστας	- Queen Mary, University of London
Μοδινός Μιχάλης	- Διεπιστημονικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών (ΔΙΠΕ)
Μπριασουλή Ελένη	- Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Παπαθεοδώρου Ανδρέας	- Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Πρεβελάκης Γεώργιος-Στυλ.	- Université de Paris I, France
Φωτόπουλος Γιώργος	- Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου
Χαστάογλου Βίλμα	- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ)



Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας

Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης

Ειδικό τεύχος – Αφιέρωμα
Special Issue

**Μέθοδοι ανάλυσης και σχεδιασμός
του ελληνικού τοπίου**

Επιμέλεια

Άρης Σαπουνάκης
Δημήτρης Σταθάκης

Επιστημονικό Περιοδικό

αειχώρος

Διεύθυνση:
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας
και Περιφερειακής Ανάπτυξης
Περιοδικό ΑΕΙΧΩΡΟΣ
Πεδίον Άρεως, 383 34 ΒΟΛΟΣ
<http://www.aeihoros.gr>, e-mail: aeihoros@prd.uth.gr
τηλ.: 24210 – 74486

Επιμέλεια έκδοσης: Εύη Κολοβού-Άννα Σαμαρίνα
Λαγού: Παναγιώτης Μανέτος-Παναγιώτης Πανταζής
Σχεδιασμός εξωφύλλου: Γιώργος Παρασκευάς-Παναγιώτης Πανταζής-Παναγιώτης Μανέτος

Σαουνάκης Α., Σταθάκης Δ.	4
Εισαγωγή	
Κίζος Θ.	6
Από το αγροτικό τοπίο στο τοπίο της υπαίθρου: Η γεωγραφία και οι προσλήψεις των τοπίων της ελληνικής υπαίθρου	
Τσιλιμίγκας Γ., Γουργιώτης Α.	24
Η διαχείριση του τοπίου στο πλαίσιο του χωροταξικού σχεδιασμού	
Γουργιώτης Α.	38
Η συμβολή του Συμβουλίου της Ευρώπης στο χωρικό σχεδιασμό και το τοπίο	
Σαουνάκης Α.	58
Περιαστικό τοπίο στην Ελλάδα: Απειλές και προοπτικές	
Τσιλιμίγκας Γ.	80
Οι επιπτώσεις των χρήσεων γης στη διαμόρφωση των χαρακτηριστικών του τοπίου: Ποσοτικοποίηση της δομής και της χωρικής κατανομής των χρήσεων γης στις Ευρύτερες Αστικές Ζώνες.	
Σταθάκης Δ., Φαρασλής Γ., Σηφάκη Α.	106
Αξιολόγηση των επιπτώσεων της δόμησης στο τοπίο της Κνώσου.	
Σταθάκης Δ.	124
Χωροθέτηση ανεμογεννητριών ελαχιστοποιώντας την οπτική όχληση	
ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ	
Μπεριάτος Η.	140
Η διακήρυξη της Συμφαλίας και το έλλειμμα πολιτικής τοπίου στην Ελλάδα	

Χωροθέτηση ανεμογεννητριών ελαχιστοποιώντας την οπτική όχληση

Δημήτρης Σταθάκης

Επίκουρος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Περίληψη

Σκοπός του άρθρου είναι να δείξει ότι μπορούν να βρεθούν ζώνες χωροθέτησης αιολικών εγκαταστάσεων με κριτήριο την κατά το δυνατόν λιγότερη οπτική όχληση στο τοπίο. Η διαδικασία αυτή είναι μακροσκοπική, από πάνω προς τα κάτω, σε αντιδιαστολή με το ισχύον ειδικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ που εξετάζει *ad hoc* αδειοδοτήσεις, δημιουργώντας δυναμική από κάτω προς τα πάνω. Η προτεινόμενη μέθοδος βασίζεται στην έννοια των ισοπτικών, δηλαδή ζωνών ίσης απόστασης παρατήρησης. Η μέθοδος εφαρμόζεται στη νήσο Άνδρο. Προκύπτει ότι πραγματικά εντοπίζονται ζώνες με διαβαθμισμένες επιπτώσεις στο τοπίο. Οι ζώνες αυτές θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν σε επίπεδο τοπικού σχεδιασμού για να κατευθύνουν τις επενδύσεις ΑΠΕ σε περιοχές με τη λιγότερη υποβάθμιση στο τοπίο.

Λέξεις κλειδιά

ΑΠΕ, μελέτη λεκάνης ορατότητας, ανεμογεννήτρια, τοπίο, ισοπτική

Optimizing windmill's location selection to reduce impacts on landscape

The goal of this paper is to show that there can be found zones suitable for locating windmills where the visual impact on the landscape is minimized. The process is macroscopic in nature, top-down, in contrast to the currently established framework that examines permits in an ad hoc basis, generating a bottom-up dynamic. The proposed method is based on the concept of isoptics, that is zones of equal distance of observation. The method is applied on the island of Andros in the Aegean Sea. The results show that zones with varying impact on the landscape can indeed be identified. These zones could be exploited at the local level of planning in order to channel wind energy investments towards areas where as less as possible landscape degradation is caused.

Keywords

REC, viewshed analysis, windmill, landscape

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

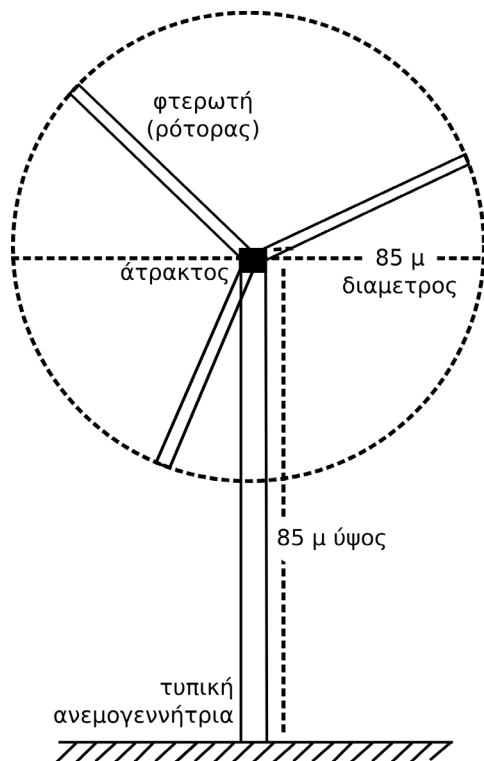
Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής έχουν γίνει απτές την τελευταία δεκαετία. Περιλαμβάνουν αύξηση της θερμοκρασίας, άνοδο της στάθμης της θάλασσας αλλά και άλλες μεταβολές (Pachauri and Reisinger, 2007). Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το πιο σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου αντιστοιχώντας περίπου στα 2/3 του συνολικού όγκου των αερίων του θερμοκηπίου (ibid). Σε παγκόσμιο επίπεδο η παραγωγή ενέργειας ευθύνεται για το 1/4 των αερίων του θερμοκηπίου (ibid). Επίσης, σε παγκόσμιο επίπεδο οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) καλύπτουν σταθερά το 13% της παροχής ενέργειας την τελευταία δεκαετία (World Energy Outlook 2012: κεφ. 7). Αυτό που αλλάζει είναι η συμμετοχή της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας σε αυτό το ποσοστό (ibid). Την τελευταία δεκαετία σε παγκόσμιο επίπεδο η παραγωγή αιολικής ενέργειας τριπλασιάστηκε (ibid). Η παραγωγή ανά κράτος είναι σημαντικά διαφοροποιημένη. Χαρακτηριστικό είναι πως οι ΗΠΑ, η Κίνα και η Γερμανία μαζί συνεισφέρουν πάνω από το μισό της παγκόσμιας αιολικής ενέργειας. Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Γερμανία και η Ισπανία μαζί συνεισφέρουν πάνω από το μισό της αιολικής ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση συνεισφέρει περίπου το 1/3 της παγκόσμιας παραγωγής αιολικής ενέργειας (Wind Energy Report 2012). Η Ελλάδα κατατάσσεται σήμερα σε απόλυτες τιμές παραγωγής αιολικής ενέργειας 12η και 20ή στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στον κόσμο αντίστοιχα. Το 2012 η Ελλάδα συνει-

σέφερε το 1,65% και το 0,62% στη συνολική παραγωγή αιολικής ενέργειας σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης και σε παγκόσμιο αντίστοιχα (Global Wind Statistics 2012). Το 2012 η συμμετοχή των ΑΠΕ στο σύνολο της παραγωγής ενέργειας της χώρας μας ήταν 17%. Ο εθνικός μας στόχος είναι να ανέλθει η συμμετοχή των Α.Π.Ε. στο 20% ως το 2020 και στο 29% ως το 2030. Ο στόχος αυτός είναι σε πλήρη αντιστοιχία με την οδηγία ανανεώσιμης ενέργειας 2009/28/EC που καθιστά υποχρεωτική τη συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο 20% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης έως το 2020 (στόχος 20-20-20). Ο εθνικός στόχος για το 2030 συμβαδίζει με την πρωτοβουλία “Βιώσιμη ενέργεια για όλους” του ΟΗΕ που αφορά στο διπλασιασμό του ποσοστού ανανεώσιμης ενέργειας στο σύνολο της παγκόσμιας ενέργειας ως το 2030, δηλαδή να γίνει περίπου 26% (Ban Ki-moon, 2011).

Ο πιο βασικός αντίλογος στη χρήση αιολικής ενέργειας είναι οι επιπτώσεις της στο τοπίο. Το τοπίο στη Μεσόγειο και την Ελλάδα είναι ακόμα πιο σημαντικό λόγω της μεγάλης ιστορικής κληρονομιάς και της ευθραυστότητας του φυσικού και δομημένου περιβάλλοντος (Μπεριάτος, 2007). Εκτός των άλλων, το τοπίο θεωρείται οικονομικός πόρος που μπορεί να αξιοποιηθεί αναπτυξιακά στον εξωαστικό χώρο (Γουργιώτης και Τσιλιμίγκας, 2010). Η αισθητική των ανεμογεννητριών είναι το πιο προβληματικό θέμα στη χωροθέτησή τους, δεδομένου ότι μέρος της κοινής γνώμης είναι αρνητικά διακείμενη (Jones and Eiser, 2010). Υπάρχει όμως μια ειδοποιός διαφορά σε σχέση με τη χωροθέτηση άλλων εν δυνάμει οχλουσών χρήσεων. Η αντίδραση της τοπικής κοινωνίας στη χωροθέτησή τους δεν είναι απλά συνάρτηση της εγγύτητας, αλλά κυρίως συνάρτηση του βαθμού ορατότητας (ibid). Με άλλα λόγια, η τοπική κοινωνία μπορεί να αποδεχθεί τη χωροθέτηση παρόλο που είναι κοντά, αρκεί να είναι σε αόρατη θέση (ibid). Υπολογίστηκε πρόσφατα ότι, με την υλοποίηση και των αιτήσεων που εκκρεμούν, το μισό τοπίο της Σκοτίας θα έχει θέα σε ανεμογεννήτρια (Carver and Markieta, 2012). Οι αιολικές εγκαταστάσεις, εκτός από τις ανεμογεννήτριες, περιλαμβάνουν και συνοδευτικές εγκαταστάσεις (γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσεως, υποσταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας, οδικές συνδέσεις, κ.λπ.), οι οποίες σαφώς έχουν επιπτώσεις στο τοπίο. Οι συνοδευτικές εγκαταστάσεις όμως δεν προκαλούν μεγάλη οπτική όχληση, γιατί δεν προκαλούν ασυνήθιστες μεταβολές στο τοπίο και γιατί συνήθως οι μεταβολές αυτές είναι ψηλότερα από τα σημεία συνήθους παρατήρησης. Αντίθετα μια τυπική ανεμογεννήτρια, όπως φαίνεται στο σχήμα 1, δεν είναι κάτι συνηθισμένο. Έχει κινούμενα μέρη που προσελκύουν την προσοχή του παρατηρητή. Με φτερωτή (ρότορα) τουλάχιστον 85 μέτρων που περιστρέφεται με 10 - 30 κύκλους ανά λεπτό λογικό είναι να ξεχωρίζει από απόσταση. Υπάρχει συνεπώς θέμα κόστους/ωφέλειας στη χωροθέτηση ανεμογεννητριών. Η ωφέλεια γίνεται αμέσως αντιληπτή από το ότι μια τυπική ανεμογεννήτρια παράγει αρκετή ενέργεια για μερικές χιλιάδες νοικοκυριά το χρόνο χωρίς να

ρυπαίνει. Το κόστος στο τοπίο είναι υπαρκτό, αλλά μπορεί να μειωθεί δεδομένου ότι δεν έχουν όλες οι θέσεις τις ίδιες επιπτώσεις.

Σχήμα 1. Μια τυπική ανεμογεννήτρια.



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Από το ειδικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ (ΦΕΚ2464/Β/2008, Παράρτημα ΙΙ) προκύπτουν ορισμένες βασικές αποστάσεις που καθορίζουν πού μπορούν να χωροθετηθούν αιολικές εγκαταστάσεις. Αρχικά, οι εγκαταστάσεις πρέπει να μην απέχουν περισσότερο από μια συγκεκριμένη απόσταση από το υφιστάμενο οδικό δίκτυο. Η απόσταση αυτή για νησιά είναι δέκα χιλιόμετρα. Πρέπει επίσης να απέχουν τουλάχιστον 500 μέτρα από οικισμούς μικρότερους των 2000 κατοίκων ή 1000 μέτρα για οικισμούς άνω των 2000 κατοίκων (και για κάποιες ειδικές κατηγορίες μικρότερων οικισμών). Εκτός από τις βασικές αποστάσεις αυτές προβλέπονται και αρκετές άλλες αποστάσεις από στοιχεία ειδικού ενδιαφέροντος. Η πιο μεγάλη από αυτές είναι 3000 μέτρα από σημαντικά στοιχεία πολιτιστικής κληρονομιάς. Η αμέσως επόμενη είναι 1500 μέτρα από ορισμένες ακτές κολύμβησης και από τους

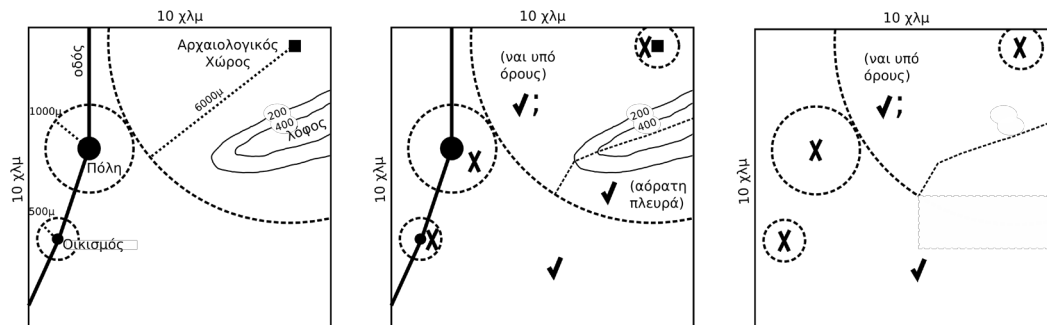
παραδοσιακούς οικισμούς (με κάποια μείωση για τους παραδοσιακούς οικισμούς με πολύ μικρούς πληθυσμούς). Όλες οι άλλες αποστάσεις από στοιχεία ειδικού ενδιαφέροντος είναι σε κάθε περίπτωση κάτω από 1000 μέτρα.

Στο ίδιο ειδικό πλαίσιο (ΦΕΚ2464/Β/2008, Παράρτημα IV) ορίζονται και κάποια κριτήρια ένταξης των αιολικών εγκαταστάσεων στο τοπίο. Ως ένταξη στο τοπίο ερμηνεύεται ρητά ότι εννοείται η οπτική παρεμβολή με σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος σε διαφορετικές κατά περίπτωση αποστάσεις. Αν η απόσταση είναι μικρότερη ή αν η εγκατάστασή δεν έχει οπτική επαφή με το σημείο ιδιαίτερου ενδιαφέροντος τότε επιτρέπεται η χωροθέτηση. Τα σημεία ενδιαφέροντος είναι σημαντικά μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς, αρχαιολογικοί χώροι, σημαντικά δάση ή φυσικά μνημεία, παραδοσιακοί οικισμοί, οικισμοί και τουριστικές περιοχές. Η μέγιστη απόσταση που τίθεται είναι 6 χιλιόμετρα. Στο τοπίο πέριξ των σημείων ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, τίθεται και περιορισμός τόσο ως προς την πυκνότητα όσο και ως προς την οπτική κάλυψη του ορίζοντα. Το πρώτο ονομάζεται κριτήριο πυκνότητας ενώ το δεύτερο κριτήριο οπτικής κάλυψης. Μόνον αν υφίσταται υπέρβαση του πρώτου εξετάζεται το δεύτερο κριτήριο. Το κριτήριο πυκνότητας αφορά στο πόσες αιολικές μονάδες είναι εγκατεστημένες σε κάθε μια από 3 ομόκεντρες ζώνες από το σημείο ενδιαφέροντος. Το κριτήριο της οπτικής κάλυψης αφορά στο ποσοστό του ορίζοντα που καλύπτεται από ανεμογεννήτριες με σημείο παρατήρησης το σημείο ιδιαίτερου ενδιαφέροντος. Σε καμία περίπτωση δεν επιτρέπεται να καλυφθεί άνω του 30% του ορίζοντα, ποσοστό που συντίθεται όμως υπολογίζοντας με διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας για κάθε μία από τις 3 ομόκεντρες ζώνες. Συνολικά η αποτίμηση της ορατότητας λύνεται με αναγωγή του προβλήματος σε παρατήρηση από ορισμένα συγκεκριμένα σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος προς γραμμές που ορίζονται ενώνοντας σημειακά τις ανεμογεννήτριες.

Στην ουσία από την εφαρμογή του ειδικού πλαισίου για τις ΑΠΕ (ΦΕΚ2464/Β/2008) προκύπτουν τρεις κατηγορίες χώρου όπως φαίνεται στο σχήμα 2. Πρώτον, οι περιοχές αποκλεισμού και οι ζώνες ασυμβατότητας, εκεί δηλαδή που απαγορεύεται σε κάθε περίπτωση η εγκατάσταση αιολικών εγκαταστάσεων (Ζώνη I). Δεύτερον εκεί που επιτρέπεται η εγκατάσταση αιολικών εγκαταστάσεων (Ζώνη II). Τρίτον εκεί που επιτρέπεται η εγκατάσταση αν δεν υπάρχει σημαντική επίπτωση στο τοπίο, με βάση τα κριτήρια πυκνότητας και κριτήριο οπτικής κάλυψης (Ζώνη III). Για τις Ζώνες II και III αποτελεί πάντα προϋπόθεση και η τήρηση των επιτρεπομένων πυκνοτήτων αιολικών εγκαταστάσεων σε επίπεδο πρωτοβάθμιου Ο.Τ.Α. Μια παρατήρηση που είναι χρήσιμη για τη μετέπειτα συζήτηση είναι ότι οι επιπτώσεις στο τοπίο ελέγχονται μόνο για τη Ζώνη III. Δηλαδή μόνο τότε, εντός έξι χιλιομέτρων ή λιγότερο από τα σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, γίνεται έλεγχος οπτικής όχλησης. Εκεί που επιτρέπεται η χωροθέτηση (Ζώνη II) δε γίνεται περαιτέρω αξιολόγηση.

Όλη η ζώνη αυτή θεωρείται εξίσου κατάλληλη ανεξάρτητα από το πόσο απέχει ο παρατηρητής από τον στόχο ή ακόμα και αν φαίνεται ή όχι ο στόχος από τον παρατηρητή.

Σχήμα 2. Εφαρμογή των κριτηρίων του ειδικού πλαισίου για της ΑΠΕ σε υποθετικό παράδειγμα.



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

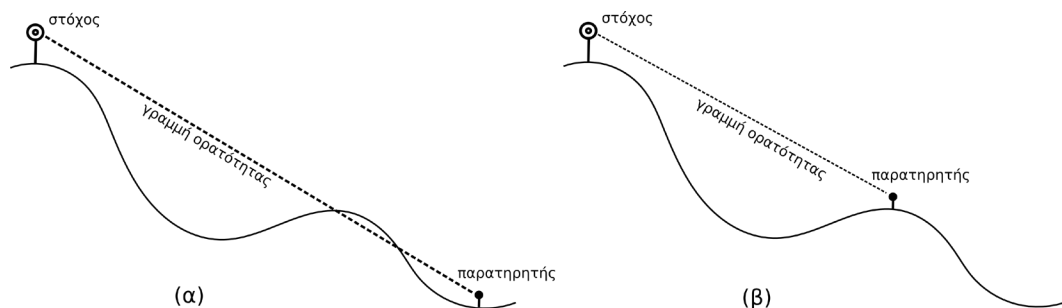
Οι θεσμοθετημένες αποστάσεις του κριτηρίου οπτικής κάλυψης είναι μάλλον μικρές δεδομένου ότι η οπτική επίπτωση μιας ανεμογεννήτριας με φτερωτή διαμέτρου 50 μέτρων παραμένει σχετικά σταθερή στο μέγιστο ως τα 6 χιλιόμετρα και μετά μειώνεται απότομα ως το διπλάσιο αυτής της απόστασης (Bishop 2002). Στα 12 χιλιόμετρα μόνον 15% των παρατηρητών μπορούν να εντοπίσουν ανεμογεννήτρια καθ' υπόδειξη σε καθαρή ή ελαφρώς ομιχλώδη ατμόσφαιρα (ibid). Το ποσοστό αναγνώρισης σε μεγαλύτερες αποστάσεις γίνεται σταδιακά ασήμαντο. Γίνεται 10% και 5% για αποστάσεις 20 και 30 χλμ αντίστοιχα με καθαρή ατμόσφαιρα (ibid). Για την επιλογή αποστάσεων πρέπει να ληφθεί υπόψη από τη μια πλευρά ότι η τυπική ανεμογεννήτρια όπως περιγράφεται στο ειδικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ έχει αρκετά μεγαλύτερη φτερωτή αλλά και ότι οι συνθήκες καθαρής ατμόσφαιρας στην Ελλάδα δεν είναι σπάνιες. Από την άλλη πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ειδικά στο νησιωτικό χώρο οι αποστάσεις εκ των πραγμάτων δεν μπορούν να είναι πολύ μεγάλες.

Μια βασική δυσκολία της μελέτης ορατότητας είναι ότι οι παρατηρητές και οι στόχοι είναι πολλοί. Έχουμε δηλαδή ένα πρόβλημα παρατήρησης πολλά προς πολλά (M:M) που είναι σαφώς πιο δύσκολο από το αν είχαμε ένα προς πολλά (1:M ή M:1) ή ένα προς ένα (1:1). Ένα δεύτερο θέμα, που δε φαίνεται να αντιμετωπίζεται επαρκώς στο ειδικό πλαίσιο, είναι ότι η παρατήρηση μπορεί να προέρχεται από εκτατικές αφετηρίες. Συγκεκριμένα, στην ερώτηση αν μια ανεμογεννήτρια είναι ορατή από έναν οικισμό είναι υπεραπλουστευτικό να θεωρείται σημειακός ο οικισμός. Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις που η επικράτεια ενός οικισμού είναι σημαντικά εκτατική όπως και δεν αποκλείεται να έχει και μεγάλη υψομε-

τρική διακύμανση. Αυτό συμβαίνει ειδικά στον ορεινό χώρο που τείνουν να χωροθετούνται οι ανεμογεννήτριες. Ένα τρίτο θέμα είναι ότι, όπως και σε όλα τα προβλήματα βελτιστοποίησης, το ζήτημα της ελαχιστοποίησης της ορατότητας μπορεί να διατυπωθεί με διάφορους τρόπους ανάλογα το κριτήριο που θέλουμε να βελτιστοποιηθεί.

Πριν προχωρήσουμε στο θέμα της διατύπωσης του προβλήματος ας σημειωθεί εδώ η διαφορά μεταξύ μελέτης ορατότητας (visibility analysis) και μελέτης λεκάνης ορατότητας (viewshed analysis). Η μελέτη ορατότητας αφορά στο αν ένας στόχος είναι ορατός από έναν παρατηρητή (1:1). Υπολογίζεται κατασκευάζοντας τη γραμμή ορατότητας όπως φαίνεται στο σχήμα 3. Την ευθεία στον τρισδιάστατο χώρο δηλαδή που ενώνει στόχο με παρατηρητή. Αν η γραμμή ορατότητας τέμνεται από το ανάγλυφο τότε ο στόχος είναι αόρατος. Σε αντίθετη περίπτωση είναι ορατός.

Σχήμα 3. Γραμμή ορατότητας. Αριστερά (α) φαίνεται η περίπτωση που ο στόχος είναι αόρατος και η γραμμή ορατότητας τέμνει το ανάγλυφο. Δεξιά η αντίθετη περίπτωση, με ορατό στόχο.



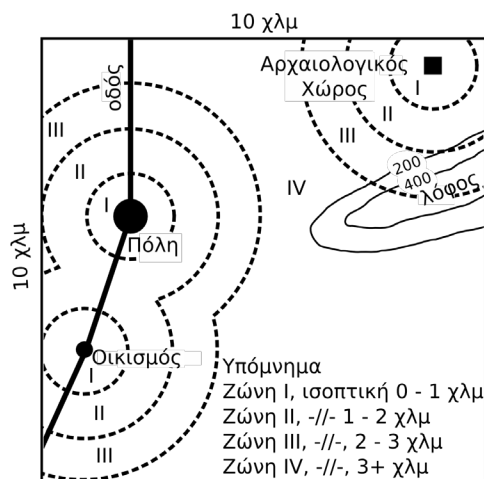
Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Λεκάνη ορατότητας είναι η περιοχή που καλύπτεται από ανεμπόδιστες γραμμές παρατήρησης ορμόμενες από ένα μοναδικό σημείο παρατήρησης, που λειτουργεί ως το ανάλογο του σημείου εκροής μιας λεκάνης απορροής (Rod και van der Meer, 2009). Πιο απλά, λεκάνη ορατότητας είναι το σύνολο των σημείων που είναι ορατά από έναν παρατηρητή. Για τον υπολογισμό της λεκάνης ορατότητας κατασκευάζονται όλες οι γραμμές παρατήρησης από το σημείο παρατήρησης προς όλα τα σημεία μιας περιοχής μελέτης. Το αποτέλεσμα είναι ένας διαδικός κάρναβος με στοιχεία που λαμβάνουν την τιμή 0 αν είναι αόρατα ή την τιμή 1 αν είναι ορατά. Το σύνολο των στοιχείων με τιμή 1 είναι η λεκάνη ορατότητας (ibid). Η λεκάνη ορατότητας, όπως καλείται στη βιβλιογραφία της γεωγραφίας, είναι συνώνυμη με την έννοια της ισορατότητας (isovist) όπως εμφανίζεται στη βιβλιογραφία της αρχιτεκτονικής (Benedikt 1979, Morello και Rati 2009). Το πεδίο ισορατότητας (isovist field) είναι μια συλλογή σημείων

ισορατότητας όπως αυτά για παράδειγμα που βρίσκονται πάνω σε μία διαδρομή (Benedikt 1979, Morello και Rati 2009). Έτσι ενώ η λεκάνη ορατότητας ή ισορατότητα είναι η περίπτωση 1:Μ το πεδίο ισορατότητας είναι η περίπτωση Μ:Μ.

Επιστρέφοντας στο θέμα της διατύπωσης του προβλήματος, μια περίπτωση μπορεί να είναι να βρεθούν τα σημεία του χώρου από τα οποία οι ανεμογεννήτριες είναι ορατές σε όσο το δυνατόν λιγότερους παρατηρητές (Thogersen κ.α., 2004). Στην περίπτωση αυτή υπολογίζεται η αθροιστική λεκάνη ορατότητας με πολλούς παρατηρητές. Είναι αθροιστική γιατί κάθε στοιχείο του καννάβου αντιπροσωπεύει το πλήθος των παρατηρητών από τους οποίους είναι ορατό (Rod και van der Meer, 2009). Αν δοθεί διαφορετικό βάρος σε κάθε παρατηρητή με βάση την απόσταση από το στόχο τότε υπολογίζεται η σταθμισμένη με βάση την απόσταση αθροιστική λεκάνη ορατότητας. Αν δοθεί διαφορετικό βάρος σε κάθε παρατηρητή με βάση τον πληθυσμό που του αντιστοιχεί τότε έχουμε την πληθυσμιακά σταθμισμένη αθροιστική λεκάνη ορατότητας. Μια δεύτερη περίπτωση διατύπωσης είναι να βρεθούν τα σημεία του χώρου στα οποία οι ανεμογεννήτριες είναι ορατές από μια συγκεκριμένη απόσταση από τον πλησιέστερο παρατηρητή. Κατά τη διατύπωση αυτή δεν μας ενδιαφέρει αν ένας στόχος είναι ορατός από τους παρατηρητές ή όχι. Μας ενδιαφέρει το από πια απόσταση είναι ορατός. Η απόσταση ορατότητας συνδέεται με το κατά πόσον το στοιχείο της ανεμογεννήτριας κυριαρχεί στο τοπίο ή όχι. Ας ονομάσουμε τις ζώνες ίσης απόστασης παρατήρησης ισοπτικές (isoptics).

Σχήμα 4. Εννοιολογική απεικόνιση των ισοπτικών



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

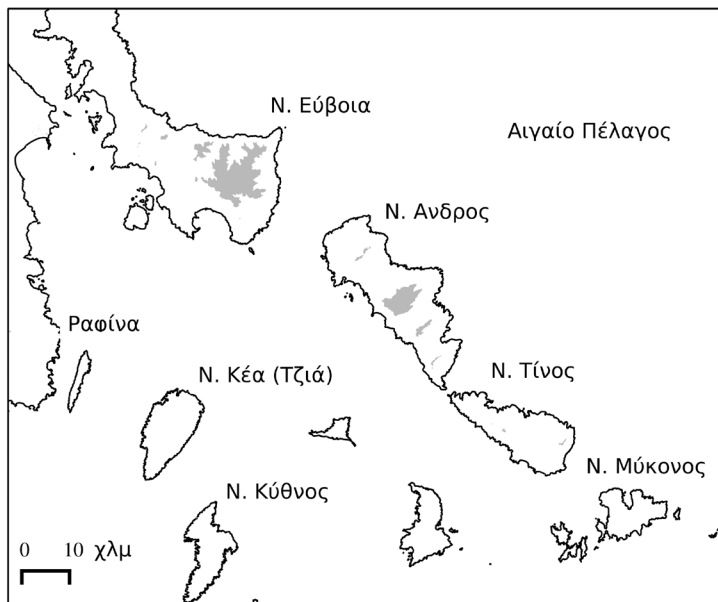
Η διαφορά των δυο διατυπώσεων είναι θέμα στόχευσης πολιτικής. Το ανάλογο σε ένα πιο κλασικό παράδειγμα χωροθέτησης σχολείου είναι από τη μία να προσπαθήσουμε να βρούμε τη θέση που ελαχιστοποιεί το μέσο όρο της διανυόμενης απόστασης από το σύνολο των μαθητών ενώ από την άλλη να εξασφαλίσουμε ότι κανένας μαθητής δε θα βαδίζει πάνω από ένα συγκεκριμένο κατώφλι. Στη μια περίπτωση βελτιστοποιούμε το μέσο όρο ενώ στην άλλη τη χειρότερη περίπτωση. Ο στόχος και η βασική καινοτομία του παρόντος άρθρου είναι να αντιμετωπίσει τη χωροθέτηση των ανεμογεννητριών ακολουθώντας τη δεύτερη διατύπωση. Το πρόβλημα επιλύεται ως M:M με βάση την εισαγωγή της νέας έννοιας των ισοπτικών. Πρέπει να είναι σαφές από την ως τώρα συζήτηση ότι δεν αποτελεί στόχο του άρθρου η εφαρμογή των κριτηρίων της νομοθεσίας ώστε να βρεθεί που επιτρέπεται και που απαγορεύεται η χωροθέτηση ανεμογεννητριών. Το άρθρο ξεκινά αμέσως μετά από το στάδιο αυτό. Πραγματοποιείται αξιολόγηση, ως προς την ορατότητα πάντα, της περιοχής στην οποία επιτρέπεται η χωροθέτηση. Συνολικά ο σκοπός του άρθρου εντάσσεται στην προσπάθεια εκ των προτέρων εκτίμησης και αξιολόγησης των στοιχείων σχεδιασμού του χώρου ώστε να βρεθούν κατάλληλες περιοχές χωροθέτησης έργων ΑΠΕ. Σε αντιδιαστολή, η προσέγγιση που ακολουθεί το ειδικό πλαίσιο σήμερα έχει στόχο τον προσδιορισμό κανόνων χωροθέτησης ώστε να αντιμετωπιστεί το θέμα των ΑΠΕ ως ad hoc αδειοδοτική διαδικασία (Γουγριώτης και Τσιλιμίγκας, 2011).

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Για τη δοκιμή της μεθόδου θα εξυπηρετήσει ως περιοχή μελέτης η νήσος Άνδρος στις Κυκλάδες που φαίνεται στο σχήμα 5. Η επιλογή βασίζεται τόσο στο γεγονός ότι η Άνδρος έχει αιολικό ενδιαφέρον αλλά κυρίως επειδή εκεί υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα. Για λόγους απλοποίησης έχει θεωρηθεί ότι δεν υπάρχει οπτική αλληλεπίδραση με τα γύρω νησιά κάτι που φυσικά δεν είναι αλήθεια δεδομένου ότι οι μεταξύ τους αποστάσεις δεν είναι και τόσο μεγάλες.

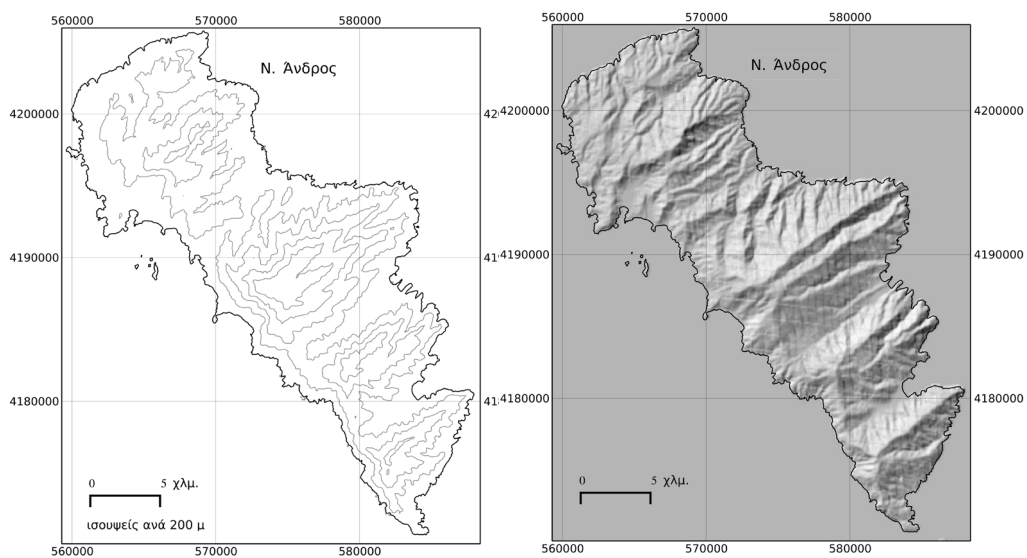
Ως ψηφιακό μοντέλο εδάφους χρησιμοποιήθηκε απόσπασμα από τα δεδομένα ASTER που ανακτήθηκαν από την υπηρεσία EarthExplorer του U.S. Geological Survey. Η ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους είναι 30 μέτρα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 6 τα ύψη στην Άνδρο ξεκινούν από το επίπεδο της θάλασσας και φτάνουν ως και λίγο πάνω από 800 μέτρα.

Σχήμα 5. Χάρτης προσανατολισμού. Η υψομετρική ζώνη άνω των 600 μ εμφανίζεται σκιασμένη.



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

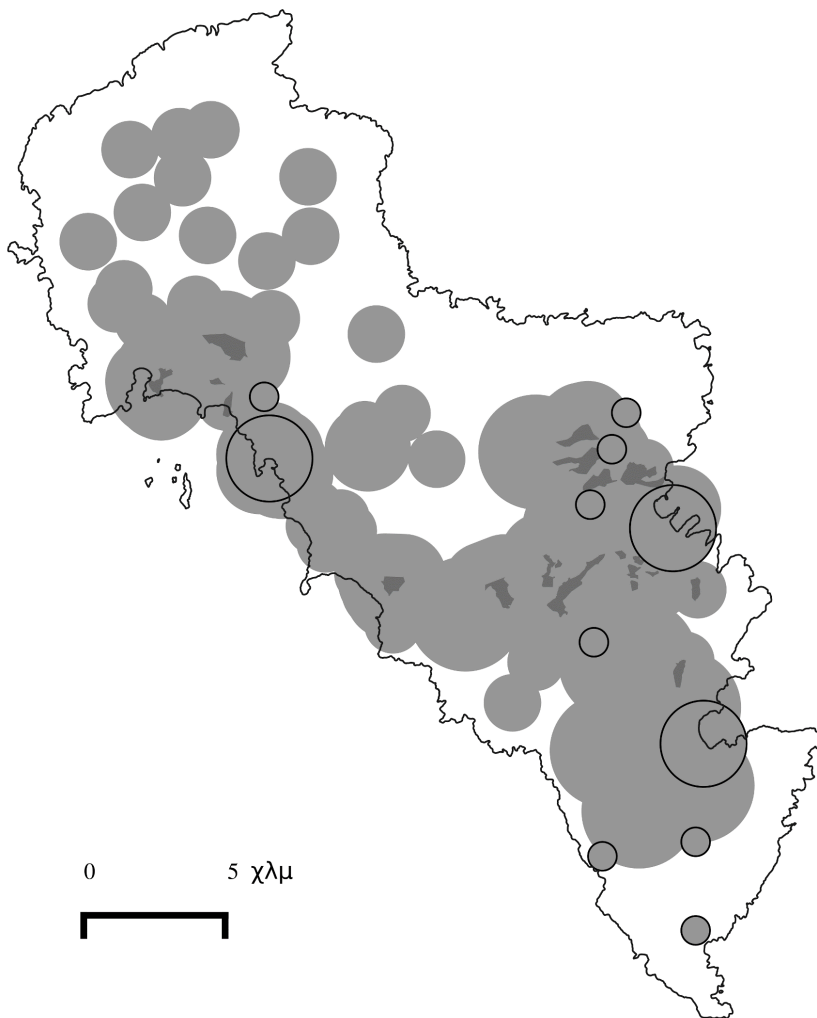
Σχήμα 6. Ανάγλυφο περιοχής μελέτης



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Στο σχήμα 7 φαίνονται οι περιοχές απαγόρευσης αιολικών εγκαταστάσεων με βάση το θεσμικό πλαίσιο.

Σχήμα 7. Η σκιασμένη περιοχή είναι η ζώνη απαγόρευσης εγκατάστασης ανεμογεννητριών. Με απλή σκίαση φαίνεται η απόσταση από τους οικισμούς, με μικρό κύκλο η απόσταση από μονοαπήρια και με μεγάλο κύκλο η απόσταση από ακτές κολύμβησης.



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

3. ΜΕΘΟΔΟΣ

Με βάση τη συζήτηση που έγινε στην εισαγωγή οι ζώνες που θα εξεταστούν στη συνέχεια είναι:

- 0 – 6 χλμ, ζώνη υψηλής ορατότητας
- 6 – 12 χλμ, ζώνη μέσης ορατότητας
- 12 χλμ – 30, ζώνη χαμηλής ορατότητας
- μηδενικής ορατότητας

Συνοπτικά το πρόβλημα είναι να βρεθεί για κάθε σημείο του νησιού η ελάχιστη απόσταση που είναι ορατό από οικισμό. Είναι πρόβλημα M:M με πολλούς παρατηρητές (τα σημεία εντός οικισμών) και πολλούς στόχους (όλα τα σημεία του χώρου). Στους παρατηρητές προστίθεται ύψος +18.5 μέτρα πάνω από τη στάθμη του εδάφους, ένα προσεγγιστικό μέγιστο ύψος κτιρίων. Στους στόχους προστίθεται ύψος +100μ από το έδαφος ώστε να αντιστοιχεί στην άτρακτο της ανεμογεννήτριας. Για τον υπολογισμό της ορατότητας έχει συνεκτιμηθεί η καμπυλότητα της γης όπως και ένα μικρός συντελεστής ατμοσφαιρικής διάθλασης (0.14286).

Τα βήματα της μεθόδου για την επίλυση του προβλήματος ορατότητας είναι:

α. Επιλογή παρατηρητών. Ως παρατηρητές νοούνται όλα τα σημεία εντός οικισμών. Στην πράξη και με βάση ότι η όλη διαδικασία είναι πολύ πιο κατάλληλο να υλοποιηθεί σε δομή δεδομένων καννάβου (raster) από ότι σε διανυσματική δομή (vector) οι παρατηρητές ταυτίζονται με τα εικονοστοιχεία του καννάβου που αντιστοιχούν σε οικισμούς. Κατά κανόνα αυτά είναι πάρα πολλά λόγω της ανάλυσης του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους. Στο παράδειγμα εδώ το σύνολο των εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν σε οικισμούς είναι 8680. Για να μπορεί να απλοποιηθεί το πρόβλημα έγινε πρόβλεψη στον αλγόριθμο υλοποίησης για επιλογή λεπτομέρειας επίλυσης. Έτσι μπορεί να λαμβάνεται υπόψη κάθε n -οστό εικονοστοιχείο αγνοώντας τα ενδιάμεσα. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται εδώ είναι για $n = 100$. Ενδεικτικά, η επίλυση με $n = 1000$ εκτελείται σε έναν τυπικό ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσα σε πέντε λεπτά. Με $n = 100$ χρειάζονται περίπου 8 ώρες. Η διαφορά στο αποτέλεσμα κάτω από ένα όριο n είναι ασήμαντη.

β. Υπολογισμός αποστάσεων από τους παρατηρητές. Οι αποστάσεις αυτές υπολογίζονται στον τρισδιάστατο χώρο για κάθε παρατηρητή προς όλα τα σημεία.

$$D_1, D_2, \dots, D_v \quad (1)$$

γ. Στη συνέχεια υπολογίζεται η ορατότητα από τους επιλεγμένους παρατηρητές προς όλα τα γύρω τους σημεία. Στον υπολογισμό της ορατότητας έχει τεθεί όριο 30 χμλ πέρα από το οποίο θεωρούνται τα σημεία πρακτικά αόρατα. Το αποτέλεσμα είναι ένας δυαδικός κάρναβος ορατότητας για κάθε παρατηρητή. Έχει την τιμή 0 αν το σημείο είναι αόρατο ή την τιμή 1 αν είναι ορατό.

$$V_1, V_2, \dots, V_v \quad (2)$$

δ. Υπολογίζεται η απόσταση ορατότητας από κάθε παρατηρητή.

$$R = V_v * D_v \quad (3)$$

ε) Για κάθε σημείο του χώρου υπολογίζεται η ελάχιστη απόσταση παρατήρησης από οικισμό.

$$O = \min(R_1, R_2, \dots, R_v) \quad (4)$$

στ) Εξαιρούνται οι ζώνες απαγόρευσης που προκύπτουν από το ειδικό πλαίσιο.

$$O' = O * M, \quad (5)$$

με M δυαδικός κάρναβος που παίρνει τιμή 1 αν επιτρέπονται οι ανεμογεννήτριες και 0 αν όχι.

ζ) Οι ελάχιστες αποστάσεις ταξινομούνται σε κάρναβο με ζώνες ίσης απόστασης παρατήρησης (ισοπτικές με βάση τις αποστάσεις που έχουν αποφασιστεί στην αρχή του παρόντος κεφαλαίου).

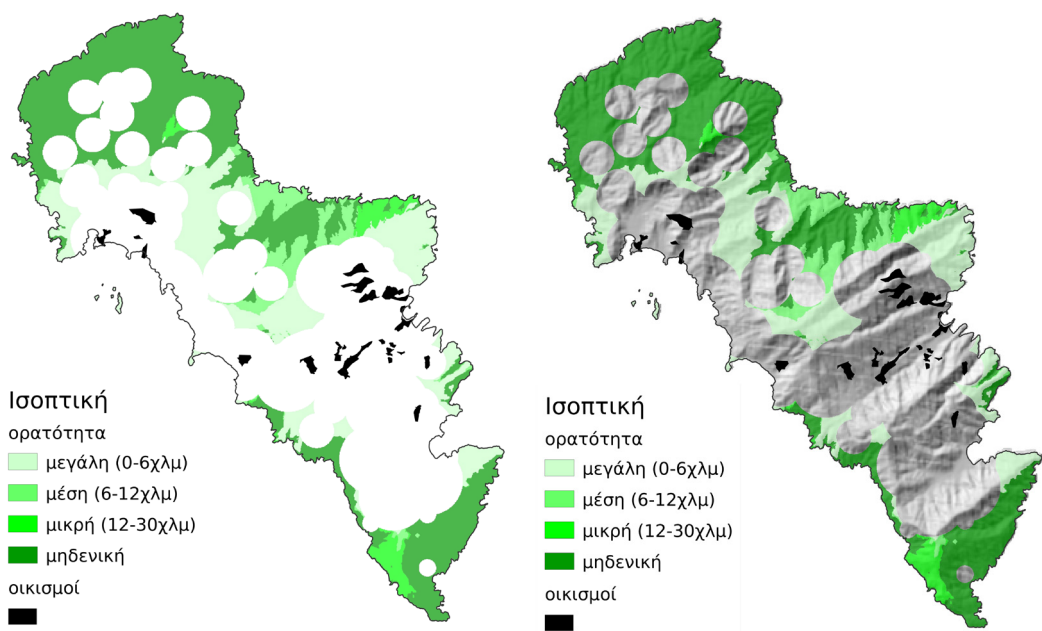
$$P = \text{reclass}(O'), \quad (6)$$

με $0 - 6 \text{ χλμ} = 1, 6 - 12 \text{ χλμ} = 2, 12 - 30 \text{ χλμ} = 3, > 30 \text{ χλμ} = 4.$

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το αποτέλεσμα της μεθόδου, δηλαδή ο κάρναβος P, φαίνεται στο σχήμα 8. Από το σχήμα αυτό προκύπτει πρώτα από όλα πως υπάρχει εκτεταμένη ζώνη μηδενικής ορατότητας μέσα στην οποία οι ανεμογεννήτριες είναι αόρατες. Αυτό από πλευράς σχεδιασμού είναι πολύ σημαντικό. Επίσης πολύ σημαντικό για το σχεδιασμό είναι, αν και ενδεχομένως αναμενόμενο, πως υπάρχουν περιοχές που παρόλο που είναι πολύ κοντά σε οικισμούς είναι αόρατες από αυτούς. Προκύπτει ακόμα πως οι συγκεκριμένες αποστάσεις που τέθηκαν έχουν νόημα ακόμα και σε έναν περιορισμένο χώρο όπως ένα νησί στις Κυκλάδες.

Σχήμα 8. Αποτέλεσμα. Αριστερά οι ισοπτικές ζώνες. Δεξιά οι ίδιες ζώνες πάνω σε σκιασμένο ανάγλυφο.



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα της προτεινόμενης μεθόδου είναι πρώτον ότι τα στοιχεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος δεν πρέπει κατ' ανάγκη να είναι σημειακά αλλά μπορούν αν μοντελοποιηθούν και εκτατικές περιοχές. Αυτό συνεπάγεται πολύ πιο αποτελεσματική παρατήρηση δεδομένου ότι πολλοί οικισμοί μπορούν να έχουν μεγάλη υψομετρική διακύμανση αλλά και διακύμανση του αναγλύφου τους. Δεύτερον ότι γίνεται εκτίμηση όλων των σημείων του χώρου και όχι μόνον ad hoc συγκεκριμένων υποψήφιων σημείων. Ενώ αυτό σε επίπεδο αδειοδότησης μπορεί να μην είναι σημαντικό, σε επίπεδο σχεδιασμού είναι αξιοποιήσιμο για να κατευθυνθούν οι επενδύσεις εκεί που υπάρχει συνολικά μικρότερη επίπτωση στο τοπίο. Τρίτον, ένα από τα εξαγόμενα του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε είναι και οι περιοχές που είναι εντελώς άρατες από τους παρατηρητές. Το στοιχείο αυτό μπορεί να είναι ίσως ένας συντελεστής επενδυτικής ασφάλειας δεδομένου ότι οι τοπικές αντιδράσεις σε αυτές τις περιοχές θα είναι ενδεχομένως λιγότερες.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

- Γουργιώτης, Α. και Τσιλιμίγκας, Γ. (2011) «Ο ρόλος του χωροταξικού σχεδιασμού στην ανάπτυξη των ΑΠΕ». *Τεχνικά Χρονικά*, 1, σελ. 1-10.
- Γουργιώτης, Α. και Τσιλιμίγκας, Γ. (2010) «Η νέα ταυτότητα του ελληνικού τοπίου: Μηχανισμοί και εργαλεία για την διαχείρισή του». Στο: Ρόντος, Κ. (επιμ.) Θέματα περιφερειακού σχεδιασμού και χωρικής ανάλυσης: *Μέθοδοι, εργαλεία και συστήματα υποστήριξης*. Αθήνα: Γ. Μπένου.
- Ειδικό πλαίσιο χωροταξικού σχεδιασμού και αειφόρου ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*. ΦΕΚ 2464/Β/2008.
- Μπεριάτος, Η. (2007) «Για μια πολιτική του τοπίου στην Ελλάδα» Στο: Μπεριάτος, Η. και Ballesta, J. (επιμ.) Θεωρία και πολιτική του τοπίου: *Ελληνικές και γαλλικές εμπειρίες*. Βόλος: ΤΜΧΠΠΑ-ΠΑΘΕ, σελ. 58-64.

Ξενόγλωσση

- Ban, Ki-moon (2011) *Sustainable energy for all*. New York: United Nations.
- Benedikt, M. (1979) "To take hold of space: Isovists and isovist fields". *Environment and Planning B: Planning and Design*, 6 (1), pp. 47-65.

- Bishop, I. (2002) “Determination of thresholds of visual impact: The case of wind turbines”. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 29 (5), pp. 707-718.
- Carver, S. and Markieta, M. (2012) “No high ground: Visualising Scotland's renewable energy landscapes using rapid viewshed assessment tools”. In: *GIS Research UK 20th Annual Conference*. Lancaster, 11-13 April.
- EWEA (2003) *Wind energy: The facts: An analysis of wind energy in the EU-25*. Brussels: EWEA.
- EWEA (2013) *Wind in power: 2012 European statistics*. Brussels: EWEA.
- Global Wind Energy Council (2012) *Global wind statistics: 2012*. Brussels: Global Wind Energy Council.
- Haverkort, H. Toma, L. and Zhuang, Y. (2008) “Computing visibility on terrains in external memory”. *Journal on Experimental Algorithmics*, 13 (5), pp. 1-23.
- International Energy Agency (2012) *World energy outlook 2012*. Paris: International Energy Agency.
- Jones, C. and Eiser, J. (2010) “Understanding ‘local’ opposition to wind development in the UK: How big is a backyard?” *Energy Policy*, 38 (6), pp. 3106-3117.
- Morello, E. and Ratti, C. (2009) “A digital image of the city: 3D isovists in Lynch's urban analysis”. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36 (5), pp. 837-853.
- Pachauri, R.K. and Reisinger, A., eds. (2007) *Climate change 2007 synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Rod, J.K. and Van der Meer, D. (2009) “Visibility and dominance analysis: Assessing a high-rise building project in Trondheim”. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36 (4), pp. 698-710.
- Thogersen, M., Nielsen, P., Sorensen, M., Toppenberg, P. and Christiansen, E. (2003) “Applying new computer-aided tools for wind farm planning and environmental impact analysis”. In: *EWEA Conference*. Madrid, 16-19 June.

Δημήτρης Σταθάκης

Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης,

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πεδίον Άρεως, 383 34 Βόλος,

e-mail: dstath@uth.gr

αιχώρος

ΤΕΥΧΟΣ 19 | ΕΤΟΣ 2014
ISSUE | YEAR

- 4 Σαπουνάκης Α., Σταθάκης Δ.**
Εισαγωγή
- 6 Κίζος Θ.**
Από το Αγροτικό Τοπίο στο Τοπίο της Υπαίθρου:
Η Γεωγραφία και οι Προσλήψεις των Τοπίων της Ελληνικής Υπαίθρου
- 24 Τσιλιμίγκας Γ., Γουργιώτης Α.**
Η διαχείριση του τοπίου στο πλαίσιο
του χωροταξικού σχεδιασμού
- 38 Γουργιώτης Α.**
Η Συμβολή του Συμβουλίου της Ευρώπης
στο χωρικό σχεδιασμό και το τοπίο
- 58 Σαπουνάκης Α.**
Περιαστικό τοπίο στην Ελλάδα: Απειλές και προοπτικές
- 80 Τσιλιμίγκας Γ.**
Οι επιπτώσεις των χρήσεων γης στη διαμόρφωση των χαρακτηριστικών
του τοπίου: Ποσοτικοποίηση της δομής και της χωρικής κατανομής των
χρήσεων γης στις Ευρύτερες Αστικές Ζώνες
- 106 Σταθάκης Δ., Φαρασλής Γ., Σηφάκη Α.**
Αξιολόγηση των επιπτώσεων της δόμησης στο τοπίο της Κνωσού. Οι
επιπτώσεις της διαχρονικής μεταβολής της δόμησης στο τοπίο της Κνωσού
- 124 Σταθάκης Δ.**
Χωροθέτηση ανεμογεννητριών ελαχιστοποιώντας την οπτική όχληση
- 140 ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**
Μπεριάτος Η.
Η διακήρυξη της Στυμφαλίας και το έλλειμμα
πολιτικής τοπίου στην Ελλάδα

ISSN

1109-5008

Webpage

<http://www.aeihoros.gr>