



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

*Διαχείριση Κινδύνου στην Κατασκευή Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων*

Μεταπτυχιακός Φοιτητής: *Σπυρίδων Κλάγκος*

Επιβλέπων Καθηγητής: *Κηρυτόπουλος Κωνσταντίνος, Καθηγητής ΕΜΠ*

Ημερομηνία: *Φεβρουάριος 2025*

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη εξετάζει τη διαχείριση κινδύνων κατά την κατασκευή υπεράκτιων αιολικών πάρκων, εστιάζοντας στην αναγνώριση, αξιολόγηση και κατηγοριοποίησή τους. Καθώς η αιολική ενέργεια διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη βιώσιμη ενεργειακή μετάβαση, η κατανόηση των σχετικών κινδύνων είναι ζωτικής σημασίας. Παρότι τα υπεράκτια αιολικά πάρκα προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα, αντιμετωπίζουν επίσης προκλήσεις, όπως ακραίες καιρικές συνθήκες, κατασκευαστικές δυσκολίες και οικονομικές αβεβαιότητες. Η διαχείριση κινδύνων περιλαμβάνει διαδικασίες αναγνώρισης, ανάλυσης και απόκρισης, αξιοποιώντας μεθόδους όπως η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP) και η προσομοίωση Monte Carlo. Ωστόσο, εξακολουθεί να υπάρχει ερευνητικό κενό όσον αφορά την ολοκληρωμένη ενσωμάτωση ποιοτικών και ποσοτικών αναλύσεων σε διαφορετικά στάδια υλοποίησης των έργων.

Το τρίτο κεφάλαιο της μελέτης περιγράφει το ερευνητικό πλαίσιο και τις μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν για την αναγνώριση, κατηγοριοποίηση και ανάλυση των κινδύνων που σχετίζονται με την κατασκευή υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση μέσω ακαδημαϊκών βάσεων δεδομένων (Scopus, ResearchGate, Google Scholar, Science Direct) με στοχευμένες λέξεις-κλειδιά. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν την περιορισμένη ύπαρξη ερευνών που εστιάζουν αποκλειστικά στους κινδύνους της φάσης κατασκευής, γεγονός που οδήγησε σε διεύρυνση της αναζήτησης σε συναφείς τομείς, όπως η τοποθέτηση υποθαλάσσιων καλωδίων, προκειμένου να επιτευχθεί πληρέστερη κατανόηση των σχετικών προκλήσεων.

Η ανάλυση των συλλεχθέντων δεδομένων επέτρεψε την ανάπτυξη μιας Δομής Ανάλυσης Κινδύνων (Risk Breakdown Structure - RBS), βασισμένης σε θεωρητικά μοντέλα διαχείρισης κινδύνων (Kirytopoulos, 2021). Η RBS συστηματοποιεί τους κινδύνους σε επιμέρους κατηγορίες, διευκολύνοντας τη βαθύτερη κατανόηση και ανάλυσή τους.

Στη συνέχεια, σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε ένα ερωτηματολόγιο δύο τμημάτων. Το πρώτο μέρος αφορούσε τα δημογραφικά στοιχεία των συμμετεχόντων (εκπαίδευση, επαγγελματική εμπειρία, ειδίκευση, αριθμός συμμετοχών σε έργα κ.λπ.), ενώ το δεύτερο περιλάμβανε την αξιολόγηση της σημασίας των κινδύνων μέσω πενταβάθμιας κλίμακας Likert. Το ερωτηματολόγιο δημιουργήθηκε στην πλατφόρμα Google Forms και διανεμήθηκε με μικτή δειγματοληψία (σκοπίμη και χιονοστιβάδας) μέσω διαδικτυακών δικτύων και άμεσων επαφών με επαγγελματίες του κλάδου.



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
**«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»**

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στις ηθικές διαστάσεις της έρευνας. Οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν αναλυτικά για το δικαίωμα εθελοντικής συμμετοχής, την ανωνυμία των απαντήσεών τους, τη διασφάλιση των δεδομένων τους και τη δυνατότητα πρόσβασης στα ερευνητικά αποτελέσματα. Πριν από τη συμμετοχή, έπρεπε να επιβεβαιώσουν τη συγκατάθεσή τους μέσω μιας κλειστής ερώτησης ("Ναι" ή "Όχι").

Για την ανάλυση των δεδομένων, πραγματοποιήθηκε δοκιμή Kolmogorov-Smirnov για την κανονικότητα των δεδομένων, καταλήγοντας στη χρήση μη παραμετρικών μεθόδων. Εφαρμόστηκαν περιγραφικά στατιστικά μέτρα (μέσος όρος, διάμεσος, τυπική απόκλιση) καθώς και ανάλυση συσχέτισης κατά Spearman για τη μελέτη της σχέσης μεταξύ της αντίληψης των κινδύνων και της επαγγελματικής εμπειρίας των συμμετεχόντων. Επιπλέον, υπολογίστηκε ο Σχετικός Δείκτης Σημαντικότητας (Relative Importance Index - RII) για την ιεράρχηση των κινδύνων βάσει της σημασίας τους.

Παράλληλα, αναπτύχθηκε ένα ημιδομημένο πλαίσιο συνέντευξης με δύο κύριες ενότητες: η πρώτη επικεντρωνόταν στο επαγγελματικό προφίλ των συμμετεχόντων (ειδικότητα, εμπειρία σε θαλάσσια έργα κ.λπ.), ενώ η δεύτερη ζητούσε από τους συνεντευξιζόμενους να προτείνουν τουλάχιστον δύο στρατηγικές διαχείρισης ή μέτρα μετριασμού για τους πέντε πιο κρίσιμους κινδύνους.

Οι ηθικές διαστάσεις των συνεντεύξεων ήταν αντίστοιχες με αυτές του ερωτηματολογίου, με τους συμμετέχοντες να λαμβάνουν γραπτή ενημέρωση και να παρέχουν ρητή συγκατάθεση πριν την έναρξη της διαδικασίας.

Οι συνεντεύξεις διεξήχθησαν μετά από έλεγχο και αναθεώρηση του ερωτηματολογίου από τον επιβλέποντα καθηγητή, ο οποίος παρείχε συστάσεις για τη σαφήνεια και τη δομή των ερωτήσεων. Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν και προσκλήθηκαν επαγγελματίες με αποδεδειγμένη εμπειρία σε θαλάσσια έργα, διασφαλίζοντας τη συμμετοχή τουλάχιστον δύο ειδικών.

Το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει τα ευρήματα της έρευνας, εστιάζοντας στην κατηγοριοποίηση των κινδύνων που σχετίζονται με την κατασκευή υπεράκτιων αιολικών πάρκων, την ανάλυση των συμπληρωμένων ερωτηματολογίων και τις συνεντεύξεις με ειδικούς.

Από τα δεδομένα προκύπτει ότι οι συχνότερα αναφερόμενοι κίνδυνοι αφορούν φυσικά και περιβαλλοντικά φαινόμενα, όπως ακραίες καιρικές συνθήκες, δυσμενείς ωκεάνιες συνθήκες και προκλήσεις στο γεωλογικό περιβάλλον του βυθού. Επιπλέον, σημαντικοί παράγοντες κινδύνου περιλαμβάνουν την αλυσίδα εφοδιασμού, τις κανονιστικές απαιτήσεις και την ασφάλεια του εργατικού δυναμικού. Οι έρευνες των Huang et al. (2024) και Zhang et al. (2024) ξεχωρίζουν ως οι πιο αναλυτικές, παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες για τις κατασκευαστικές προκλήσεις και την ασφάλεια των εργαζομένων.

Στη συνέχεια, αναπτύχθηκε η Δομή Ανάλυσης Κινδύνων (Risk Breakdown Structure - RBS), η οποία ταξινομεί τους κινδύνους σε έξι κατηγορίες: πολιτικοί, κοινωνικοί, τεχνολογικοί/κατασκευαστικοί, περιβαλλοντικοί, ατυχήματα και οργανωτικοί κίνδυνοι. Οι τεχνολογικοί/κατασκευαστικοί κίνδυνοι αναδεικνύονται ως η πιο εκτενής κατηγορία, περιλαμβάνοντας πέντε κινδύνους, ενώ ακολουθούν οι κίνδυνοι ατυχημάτων με τέσσερις και οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι με τρεις.



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
**«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»**

Το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει τα αποτελέσματα της έρευνας, αναλύοντας τα δεδομένα του ερωτηματολογίου, το οποίο διεξήχθη από τις 6 Δεκεμβρίου 2024 έως τις 7 Ιανουαρίου 2025. Από τις 94 απαντήσεις, οι 92 κρίθηκαν έγκυρες (98%). Η πλειονότητα των συμμετεχόντων είχε Μεταπτυχιακό Δίπλωμα (77,2%) και εμπειρία στην Ανάπτυξη και Σχεδιασμό Έργων (37%) ή στη Διαχείριση Έργων (29,3%). Το 54,3% ειδικευόταν σε κατασκευαστικά έργα, ενώ το 67,4% είχε 1-10 χρόνια επαγγελματικής εμπειρίας.

Η ανάλυση των κινδύνων βασίστηκε σε κλίμακα Likert και έδειξε πως τα δεδομένα δεν ακολουθούν κανονική κατανομή, απαιτώντας τη χρήση μη παραμετρικών στατιστικών μεθόδων. Οι πέντε σημαντικότεροι κίνδυνοι ήταν: ακραίες καιρικές συνθήκες, γεωλογικές προκλήσεις (Μ.Ο.: 3,90), ολισθήσεις/πτώσεις, μη χρήση προστατευτικού εξοπλισμού και δυσμενείς ωκεάνιες συνθήκες.

Η περιβαλλοντική κατηγορία κινδύνων αναδείχθηκε ως η πιο σημαντική, ενώ οι οργανωτικοί κίνδυνοι θεωρήθηκαν οι λιγότερο κρίσιμοι. Η μεγαλύτερη διακύμανση παρατηρήθηκε στον κίνδυνο "Σύγκρουση με άλλους χρήστες της θαλάσσιας περιοχής", δείχνοντας διαφορετικές αντιλήψεις μεταξύ των συμμετεχόντων.

Ο Σχετικός Δείκτης Σημαντικότητας (Relative Importance Index - RII) χρησιμοποιήθηκε για την ιεράρχηση των κινδύνων που ενδέχεται να προκύψουν κατά την κατασκευή υπεράκτιων αιολικών πάρκων, με βάση τη σημασία τους, όπως αξιολογήθηκε από τους συμμετέχοντες μέσω της κλίμακας Likert. Ο υπολογισμός του RII πραγματοποιήθηκε για τρεις ομάδες συμμετεχόντων με εμπειρία σε κατασκευαστικά, αιολικά και θαλάσσια έργα. Όσο υψηλότερη η τιμή RII, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντιλαμβανόμενη σημασία του κινδύνου.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι ο κίνδυνος "Ακραίες καιρικές συνθήκες" (Risk No.1) κατατάχθηκε ως ο πιο σημαντικός και από τις τρεις ομάδες, με συνολικό RII 82,61% και μέγιστη τιμή RII 92,38% από τους συμμετέχοντες με εμπειρία σε θαλάσσια έργα. Στον αντίποδα, ο κίνδυνος "Ανεπαρκής διαχείριση θαλάσσιας κυκλοφορίας" (Risk No.9) κατατάχθηκε ως ο λιγότερο σημαντικός, με συνολικό RII 54,35%.

Η σύγκριση μεταξύ των τριών ομάδων αποκάλυψε σημαντικές διαφοροποιήσεις στην αξιολόγηση ορισμένων κινδύνων. Για παράδειγμα, ο κίνδυνος "Διακοπή ή περιορισμοί στην εφοδιαστική αλυσίδα" (Risk No.4) κατατάχθηκε 8ος στα αιολικά έργα, 4ος στα θαλάσσια και 10ος στα κατασκευαστικά, γεγονός που υποδηλώνει διαφορετικές αντιλήψεις ανάλογα με τον τύπο του έργου. Αντίθετα, κίνδυνοι όπως οι "Δυσμενείς ωκεάνιες συνθήκες" (Risk No.2) και οι "Ρυθμιστικά και γραφειοκρατικά εμπόδια" (Risk No.8) παρουσίασαν μικρότερες αποκλίσεις στις κατατάξεις μεταξύ των τριών ομάδων.

Η κατάταξη των κατηγοριών κινδύνων σύμφωνα με τον μέσο όρο των RII έδειξε ότι οι Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι κατέχουν την υψηλότερη σημασία, με RII 77,76%, ενώ οι Οργανωτικοί κίνδυνοι κατέχουν τη χαμηλότερη, με RII 59,35%.

Για την ανάλυση της συμφωνίας μεταξύ των τριών ομάδων σχετικά με τη σειρά προτεραιότητας των κινδύνων, χρησιμοποιήθηκε ο Συντελεστής Συσχέτισης Κατατάξεων του Spearman (rs). Οι τιμές του rs ήταν υψηλές, κυμαινόμενες από 0,863 έως 0,935, υποδεικνύοντας σημαντικό βαθμό συμφωνίας μεταξύ των ομάδων. Η μεγαλύτερη συσχέτιση παρατηρήθηκε μεταξύ των συμμετεχόντων με εμπειρία σε αιολικά και



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
**«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»**

κατασκευαστικά έργα ( $r_s = 0,935$ ), γεγονός που ενδέχεται να αντανakλά ομοιότητες στις αντιλήψεις κινδύνου μεταξύ αυτών των δύο κλάδων.

Οι συνεντεύξεις διεξήχθησαν μεταξύ 18 και 25 Ιανουαρίου 2025, με τη συμμετοχή τριών επαγγελματιών από τον κατασκευαστικό και ενεργειακό τομέα. Δύο από τις συνεντεύξεις πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονα μέσω της πλατφόρμας Microsoft Teams, ενώ η τρίτη διεξήχθη μέσω ανταλλαγής ερωτήσεων και απαντήσεων μέσω email. Οι συμμετέχοντες κατείχαν σημαντικές θέσεις ευθύνης σε τομείς όπως η διαχείριση κινδύνων, η κατασκευή λιμενικών έργων και η ανάπτυξη ενεργειακών υποδομών, με πολυετή εμπειρία σε θαλάσσια έργα.

Αναλύοντας τις απαντήσεις, προσδιορίστηκαν συγκεκριμένα μέτρα μετριασμού για τους πέντε σημαντικότερους κινδύνους που εντοπίστηκαν μέσω του Δείκτη Σχετικής Σημαντικότητας (RII). Ο σημαντικότερος κίνδυνος, οι ακραίες καιρικές συνθήκες, αντιμετωπίζεται μέσω της προσαρμογής του χρονοδιαγράμματος του έργου με βάση μετεωρολογικά δεδομένα των τελευταίων 5-10 ετών και της χρήσης μοντέλων προσομοίωσης καιρού, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο οικονομικός και χρονικός αντίκτυπος.

Όσον αφορά τις προκλήσεις στο γεωλογικό υπόβαθρο του θαλάσσιου πυθμένα, οι ειδικοί χαρακτήρισαν τον κίνδυνο ως σπάνιο αλλά με δυνητικά τεράστιες οικονομικές επιπτώσεις. Για τον μετριασμό του, προτείνεται η συνεργασία με διεθνώς πιστοποιημένες εταιρείες με εξειδίκευση στις μελέτες υπεράκτιων αιολικών πάρκων, καθώς και η συγκρότηση εξειδικευμένης διαχειριστικής ομάδας που θα εξασφαλίζει την ορθή αξιολόγηση όλων των φάσεων ανάπτυξης του έργου. Οι μελέτες αυτές περιλαμβάνουν εκστρατείες συλλογής δεδομένων για τη γεωλογία, τις ωκεανογραφικές συνθήκες και την παρουσία υποθαλάσσιων καλωδίων ή ναρκών.

Ο κίνδυνος που σχετίζεται με ολισθήσεις, παραπατήματα και πτώσεις κρίθηκε ως ιδιαίτερα πιθανός και επικίνδυνος για την ασφάλεια των εργαζομένων. Προτεινόμενα μέτρα περιλαμβάνουν την εφαρμογή αυστηρής πολιτικής υγείας και ασφάλειας, την τακτική εκπαίδευση και τα σεμινάρια ευαισθητοποίησης των εργαζομένων, καθώς και την ενσωμάτωση ρητρών ασφάλειας στις συμβάσεις, όπως η εξασφάλιση επείγουσας αεροδιακομιδής σε περίπτωση ατυχήματος.

Για τον κίνδυνο μη χρήσης ή ανεπαρκούς χρήσης προστατευτικού εξοπλισμού, προτάθηκε η συνεργασία με εταιρείες που διαθέτουν εμπειρία και ισχυρή κουλτούρα ασφαλείας, καθώς και η υποχρεωτική πιστοποίηση των υπεργολάβων τους στην εκπαίδευση ασφαλείας. Οι ειδικοί ανέφεραν ότι αν και η πιθανότητα εμφάνισης αυτού του κινδύνου είναι χαμηλή, η σοβαρότητα των επιπτώσεών του επιβάλλει αυξημένη προσοχή.

Τέλος, οι δυσμενείς ωκεάνιες συνθήκες, όπως ισχυρά ρεύματα και παλίρροιες, αντιμετωπίζονται μέσω της συγκέντρωσης δεδομένων από θαλάσσια ερευνητικά ινστιτούτα και της διεξαγωγής εκστρατειών συλλογής μετρήσεων. Η διαχειριστική ομάδα πρέπει να διαθέτει εξειδίκευση στην αξιολόγηση αυτών των δεδομένων και να διασφαλίζει ότι το έργο περιλαμβάνει ασφαλιστικές καλύψεις για οικονομικές επιπτώσεις που απορρέουν από δυσμενείς θαλάσσιες συνθήκες.



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
**«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»**

Η μελέτη αυτή εξέτασε τη διαχείριση κινδύνων κατά την κατασκευή υπεράκτιων αιολικών πάρκων, γεφυρώνοντας το υφιστάμενο ερευνητικό κενό μέσω της ταυτοποίησης και αξιολόγησης κρίσιμων κινδύνων. Πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση, μελέτη σχετικών περιπτώσεων και ανάλυση δεδομένων από ερωτηματολόγια και συνεντεύξεις. Οι 92 συμμετέχοντες του ερωτηματολογίου κατέταξαν 16 επαναλαμβανόμενους κινδύνους, με τους πέντε πιο κρίσιμους να λαμβάνουν βαθμολογία άνω του 70% στον Δείκτη Σχετικής Σημαντικότητας (RII).

Οι συνεντεύξεις με ειδικούς ανέδειξαν στρατηγικές μετριασμού για τους πιο σημαντικούς κινδύνους, όπως η προσαρμογή του χρονοδιαγράμματος βάσει μετεωρολογικών δεδομένων, η συνεργασία με εξειδικευμένες εταιρείες για την ανάλυση του θαλάσσιου πυθμένα και η αυστηρή εφαρμογή μέτρων ασφάλειας. Παράλληλα, η ανάπτυξη μιας Δομής Ανάλυσης Κινδύνων (RBS) παρείχε ένα σαφές πλαίσιο κατηγοριοποίησης.

Η βασική περιοριστική παράμετρος της μελέτης είναι η γεωγραφική συγκέντρωση των συμμετεχόντων στην Ελλάδα, όπου δεν υπάρχουν ολοκληρωμένα υπεράκτια αιολικά πάρκα. Ωστόσο, η εμπειρία τους σε παράκτια και χερσαία έργα συμβάλλει στην εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Συνολικά, η έρευνα ενισχύει την επιστημονική γνώση και θέτει τα θεμέλια για μελλοντικές, στοχευμένες μελέτες στον τομέα της διαχείρισης κινδύνων σε υπεράκτια αιολικά έργα.

**Λέξεις Κλειδιά:** Διαχείριση Κινδύνων, Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα, Φάση Κατασκευής, Δείκτη Σχετικής Σπουδαιότητας, Μη Παραμετρικές Στατιστικές Μέθοδοι, Εντοπισμός Κινδύνων, Αντιμετώπιση Κινδύνων.